



UNIVERSITÉ
LAVAL

GEL-4074 : Ingénierie de la compatibilité électromagnétique

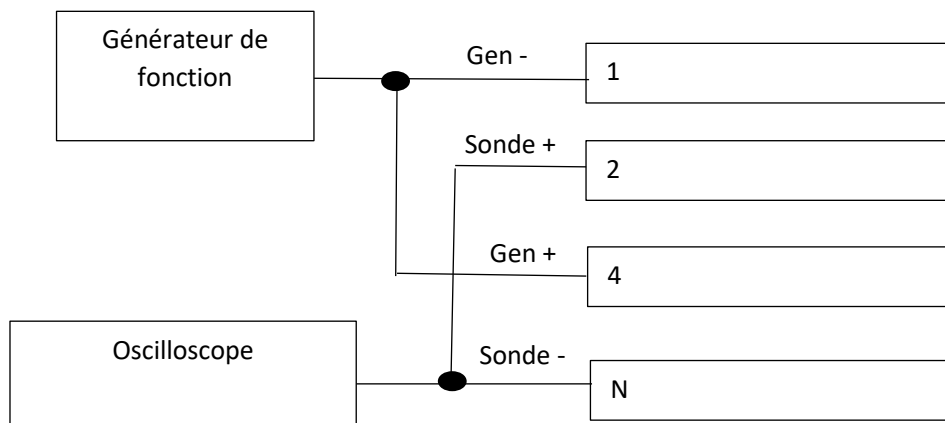
Laboratoire 1 : Couplage capacitif

Partie 1 : Pré laboratoire

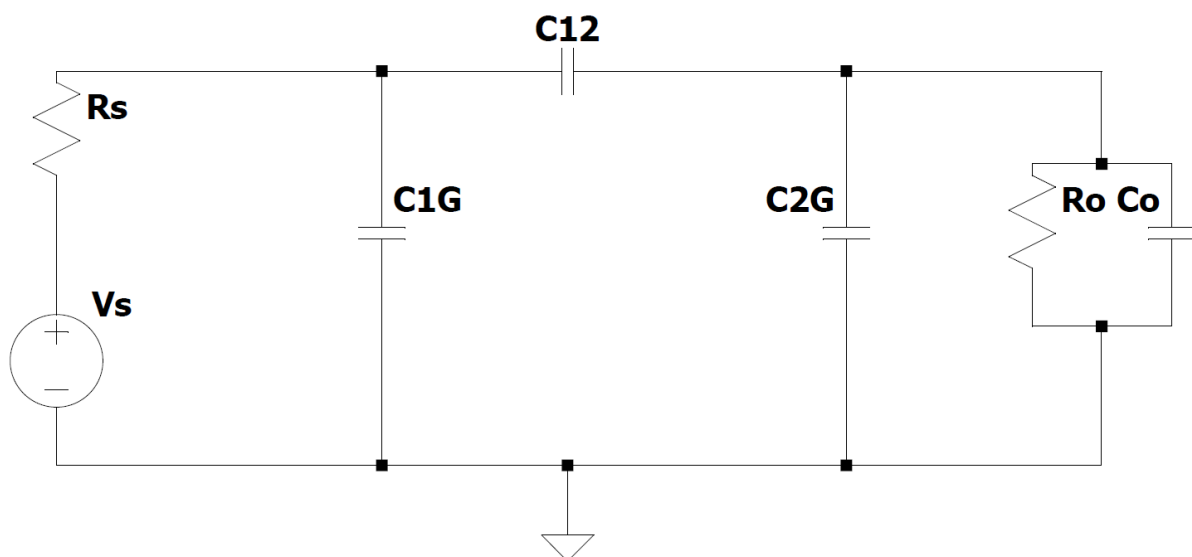
Les codes Matlab du laboratoire sont disponibles en pièces jointes ou sur

<https://github.com/denizsoysal/Electromagnetic-comptability>

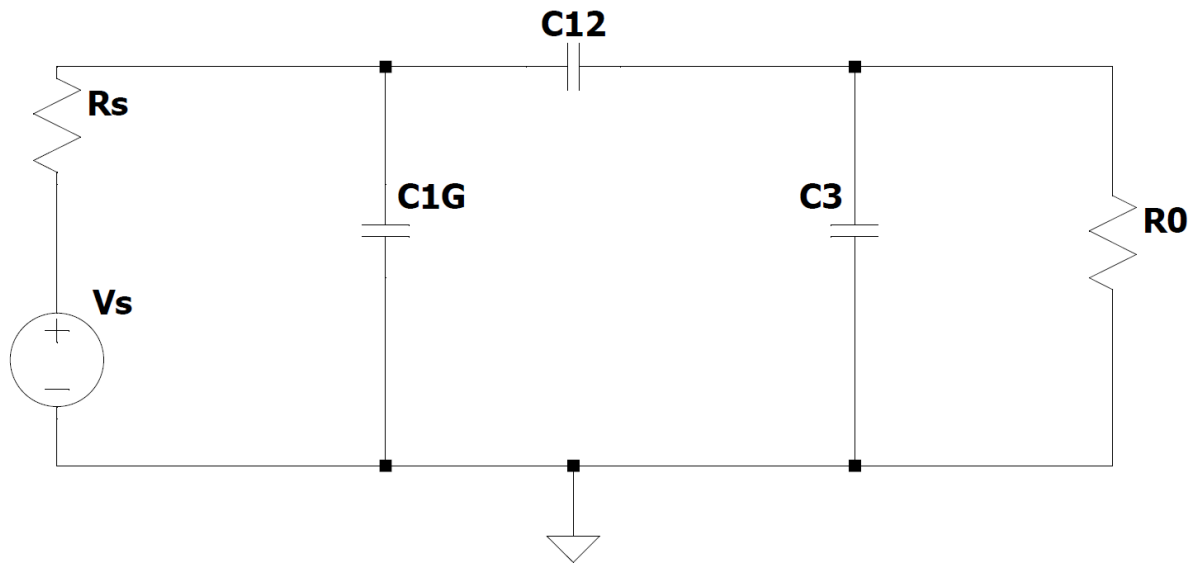
Configuration A



Circuit équivalent configuration A et B



Et en posant $C3 = C2G + Co$:



Type de couplage dominant

Le type de couplage dominant est le couplage capacitif

Détermination de la fonction de transfert pour les configurations A et B:

1^{ère} partie :

On obtient :

$$Z0 = \frac{R0}{(R0 * C3 * s) + 1}$$

$$Z1 = \frac{1}{s * C2} + Z0 = \frac{1}{s * C2} + \frac{R0}{(R0 * C3 * s) + 1} = \frac{R0 * s * (C3 + C2) + 1}{s * C2 * [(R0 * C3 * s) + 1]}$$

Donc :

$$H2 = \frac{Z0}{Z1} = \frac{\frac{R0}{(R0 * C3 * s) + 1}}{\frac{R0 * s * (C3 + C2) + 1}{s * C2 * [(R0 * C3 * s) + 1]}} = \frac{R0 * s * C2}{R0 * s * (C3 + C2) + 1} = \frac{C2}{C3 + C2 + \frac{1}{R0 * s}}$$

2^{ème} partie :

$$Z2 = \frac{\frac{1}{s * C2} * Z1}{\frac{1}{s * C2} + Z1} = \frac{Z1}{1 + s * C1} = \frac{R0 * s * C2}{(R0 * (C3 + C2) * s) + 1 + R0 * C2 * C1 * s}$$

Donc :

$$\begin{aligned} H1 &= \frac{Z2}{R + Z2} = \frac{\frac{R0 * s * C2}{(R0 * (C3 + C2) * s) + 1 + R0 * C2 * C1 * s}}{R + \frac{R0 * s * C2}{(R0 * (C3 + C2) * s) + 1 + R0 * C2 * C1 * s}} \\ &= \frac{C2}{R0 [C2 + R(C3 + C2) + R * C2 * C1 + \frac{R}{R0 * s}]} \end{aligned}$$

Finalement :

$$H = H1 * H2 = \frac{C2}{R0 [C2 + R(C3 + C2) + R * C2 * C1 + \frac{R}{R0 * s}]} * \frac{C2}{C3 + C2 + \frac{1}{R0 * s}}$$

Simplification de la fonction de transfert en fonction de la fréquence

$$H = H1 * H2 = \frac{C2}{R0 \left[C2 + R(C3 + C2) + R * C2 * C1 + \frac{R}{R0 * j * 2\pi * f} \right]} * \frac{C2}{C3 + C2 + \frac{1}{R0 * j * 2\pi * f}}$$

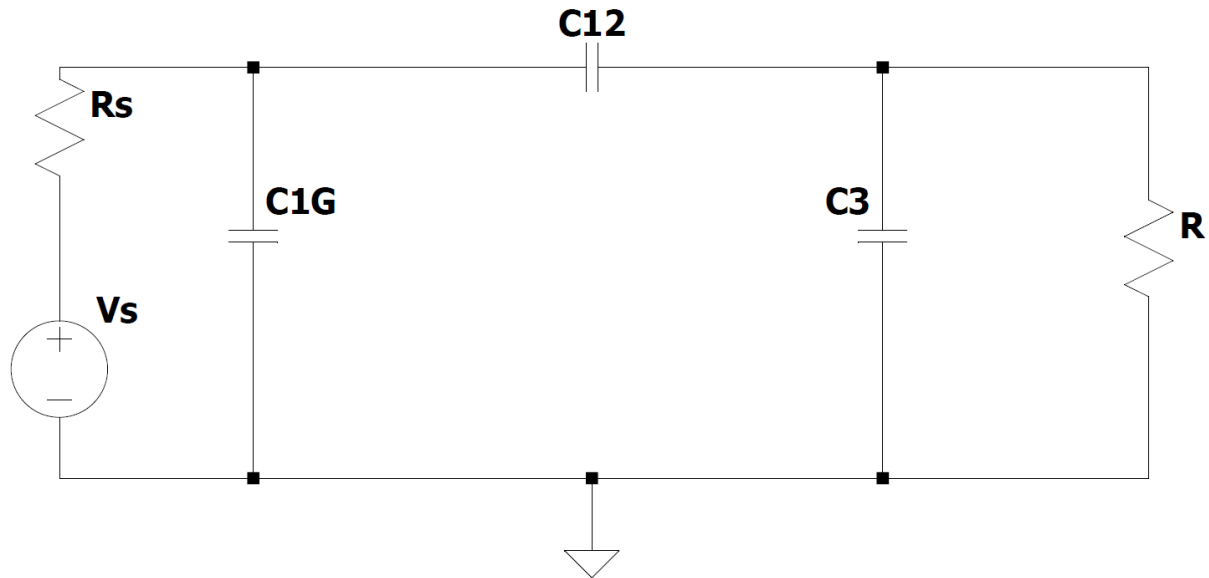
- Pour f tend vers 0 :

H tend vers 0 aussi

- Pour f tend vers l'infini :

$$H = H1 * H2 = \frac{C2}{R0 [C2 + R(C3 + C2) + R * C2 * C1]} * \frac{C2}{C3 + C2}$$

Circuit équivalent configurations C, D et E



où $R = R_f // R_0$

Détermination de la fonction de transfert pour les configurations C,D et E

$$H = H_1 * H_2 = \frac{C_2}{\frac{R_0 * R_f}{R_0 + R_f} \left[C_2 + R(C_3 + C_2) + R * C_2 * C_1 + \frac{R}{\frac{R_0 * R_f}{R_0 + R_f} * s} \right]} * \frac{C_2}{C_3 + C_2 + \frac{1}{\frac{R_0 * R_f}{R_0 + R_f} * s}}$$

Routine Matlab pour la capacité de 2 fils

```
function [cap] = wirecap(separation, rayon, longueur)
%calcul de la capacite
epsilon = 8.85418782e-12; %% `F/m
k = separation/(2*rayon);
G = k+sqrt(k^2-1);
cap = (pi*epsilon*longueur)/log(G);
end
```

Détermination des capacités

Config A2 :

[C1g C2g C12] = 4.208151281588689e-12 6,13714295837539e-12 3.126173063314256e-12

Config A5 :

[C1g C2g C12] = 4.208151281588689e-12 3.977024534408707e-12 4.620797272800191e-12

Config A7 :

[C1g C2g C12] = 4.208151281588689e-12 3,73051044415221e-12 2.672389109076318e-12

Config B2 :

[C1g C2g C12] = 2.672389109076318e-12 3.126173063314256e-12 4.620797272800191e-12

Config B5 :

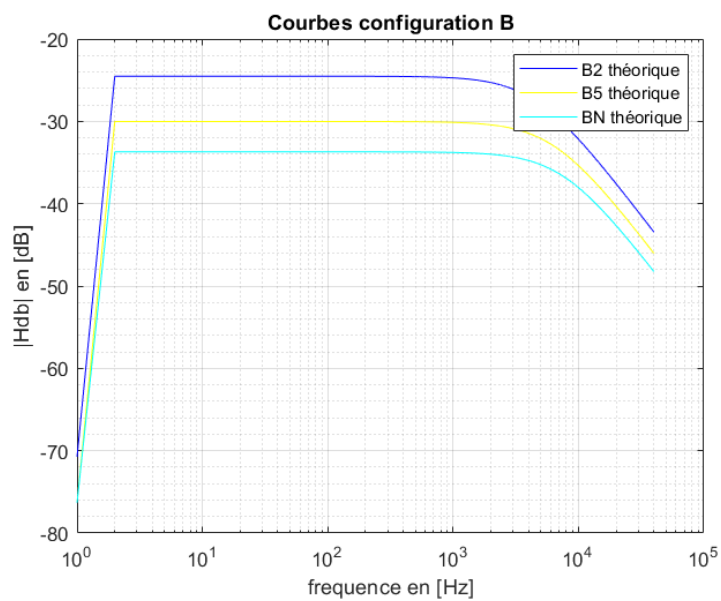
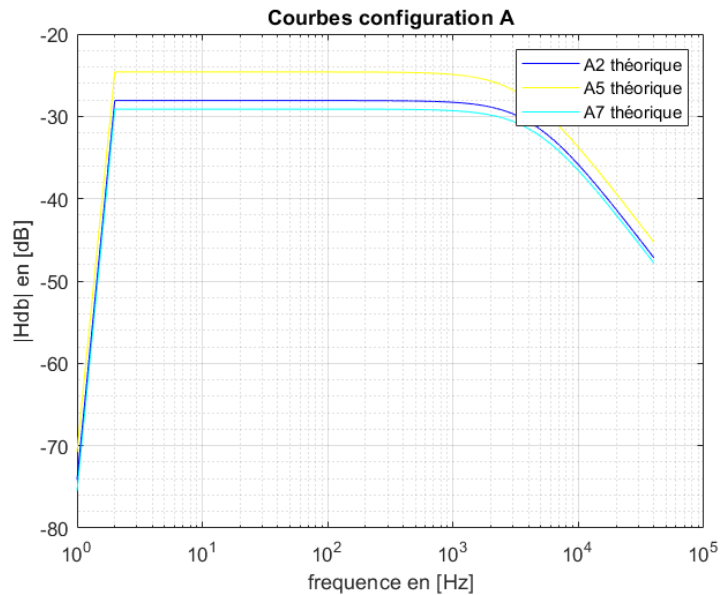
[C1g C2g C12] = 2.672389109076318e-12 4.620797272800191e-12 2.430821186409632e-12

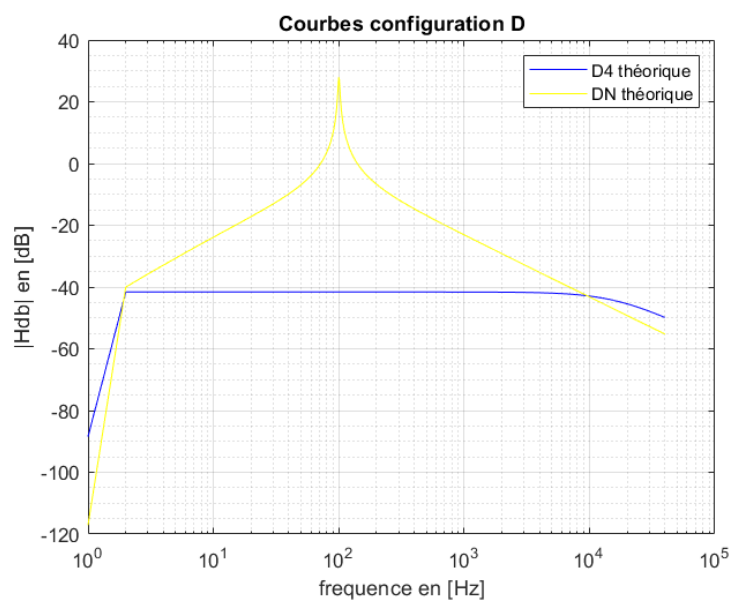
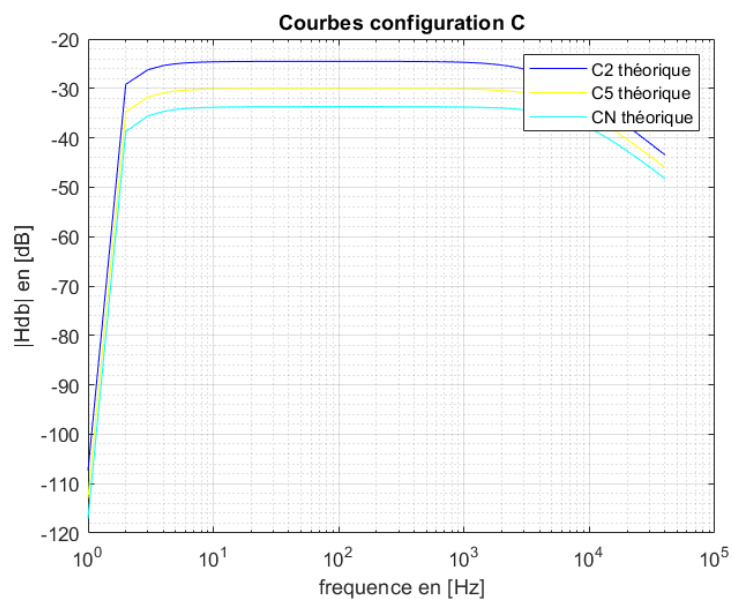
Config BN :

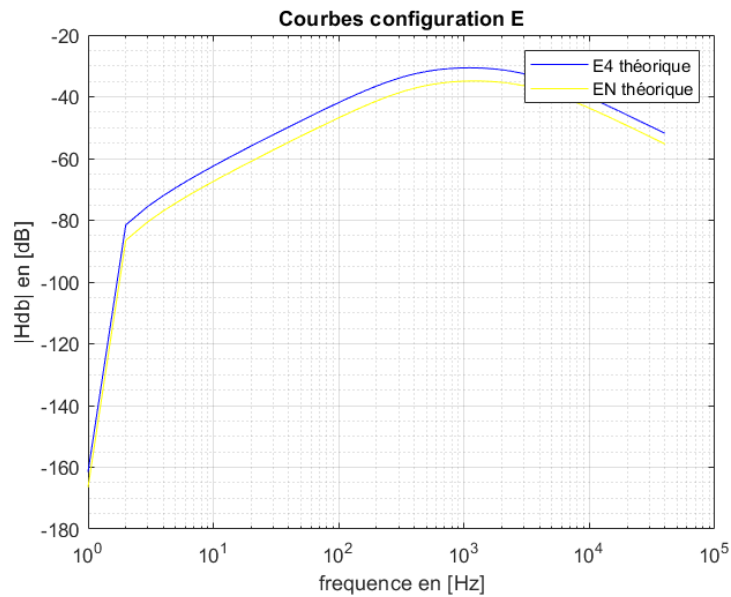
[C1g C2g C12] = 2.672389109076318e-12 1.535762172512371e-12 1.507292627854441e-12

P.S. : Voir codes Matlab pour plus de détails

Graphes des fonctions de transfert







Impact de la résistance

Dans les 2 cas, la résistance sera en parallèle avec la capacité C3, donc la position de la résistance n'a pas d'impact.

Fonction de transfert de la config A avec Rl

1^{ère} partie :

$$Z1 = \frac{Rl}{(Rl * C1 * s) + 1}$$

$$Z2 = \frac{Ro}{(Ro * C * s) + 1} , \text{ avec } C = C2 + Co$$

$$Zeq1 = \frac{1}{S * c2} + \frac{Ro}{(Ro * c * s) + 1}$$

Donc :

$$H2 = \frac{Z2}{Zeq1} = \frac{Z2}{Z2 + \frac{1}{S * C2}} = \frac{Z2 * S * C2}{Z2 * S * C2 * 1 + 1}$$

2^{ème} partie :

$$Z_{eq} = \frac{Z1 * Z_{eq1}}{Z1 + Z_{eq1}}$$

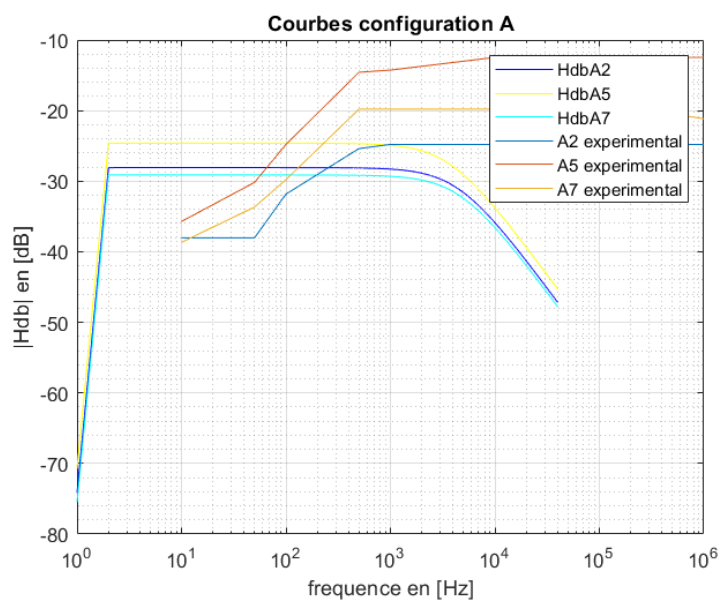
$$H1 = \frac{Z_{eq}}{R1 + Z_{eq}} = \frac{\frac{Z1 * Z_{eq1}}{Z1 + Z_{eq1}}}{\frac{Z1 * Z_{eq1}}{Z1 + Z_{eq1}} + R1} = \frac{Z1 * Z_{eq1}}{Z1 * Z_{eq1} + R1 * (Z1 + Z_{eq1})}$$

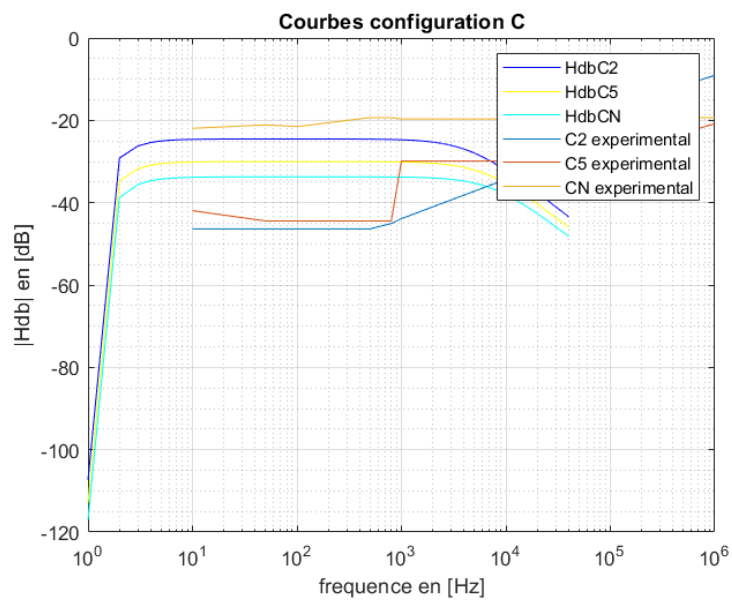
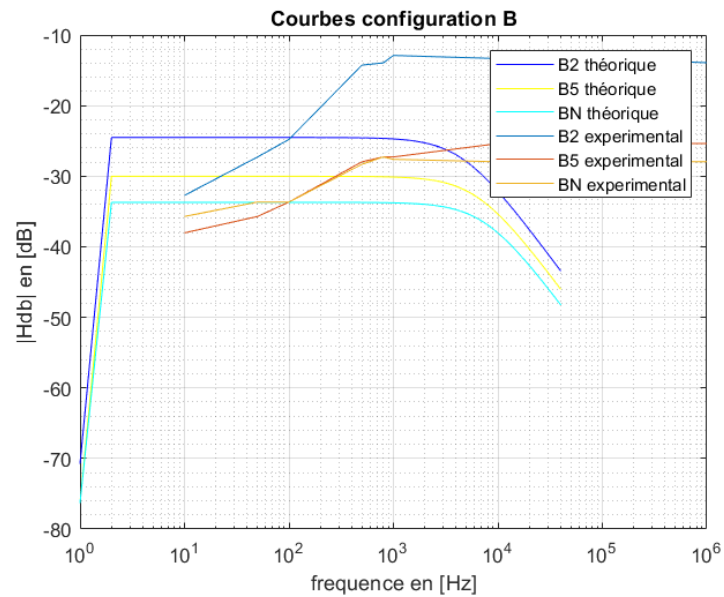
Finalement :

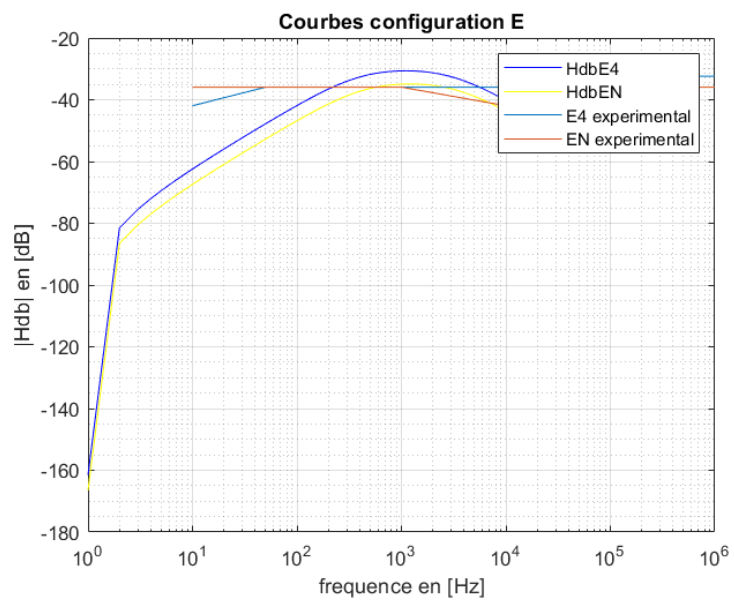
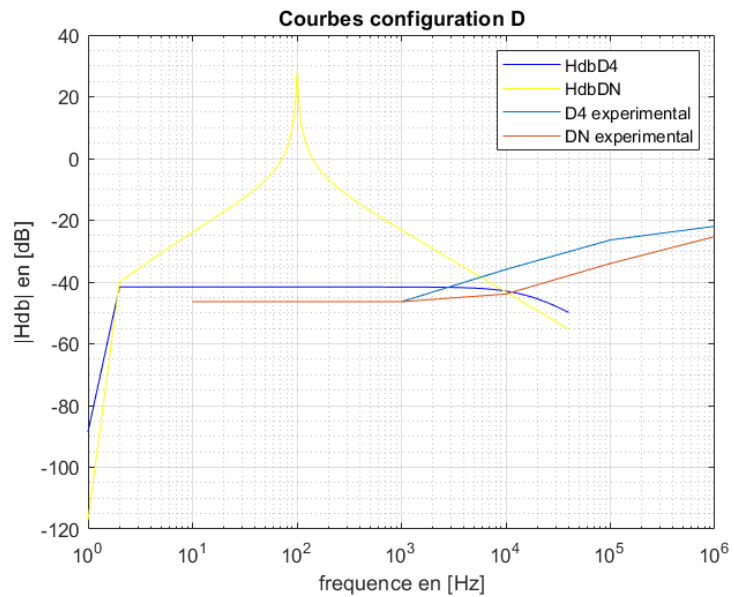
$$H = H1 * H2 = \frac{Z1 * Z_{eq1}}{Z1 * Z_{eq1} + R1 * (Z1 + Z_{eq1})} * \frac{Z2 * S * C2}{Z2 * S * C2 * 1}$$

Partie 1 : Mesures et expérimentations

Résultats des mesures







Interprétations

Pour les configurations E, D4, et C, l'allure et les valeurs des courbes expérimentales sont assez proches des courbes théoriques. Pour les configurations A et B, l'allure des graphes expérimentales est bonne mais nous avons un problème au niveau du gain.

La différence entre les mesures et la théorie peut s'expliquer par le protocole de mesures : La mesure des tensions était assez difficile à opérer, le signal fluctuait beaucoup. Nos mesures ne sont, par conséquent, pas assez précises. De plus, le fait de bouger un peu les câbles a pu potentiellement engendrer des erreurs. Le bruit magnétique présent dans le laboratoire est également un facteur parasite.

Conclusion

Dans un premier temps à l'aide de simulations et ensuite à l'aide de mesures, nous avons pu constater l'effet du couplage capacitif et son comportement en fonction de différents paramètres (fréquence, distance,...)