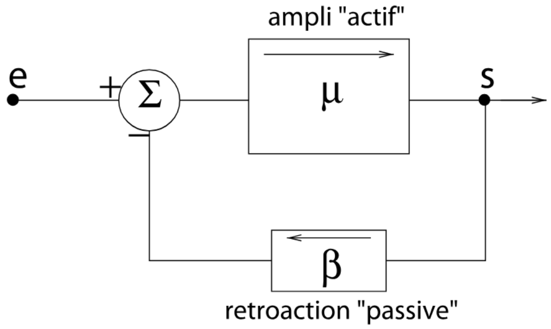
Manip : Oscillateur à pont de Wien

Référence : Polycopié de TP – Série 2 – Systèmes bouclés

À partir du schéma ci-dessous d'un système bouclé, on peut réaliser un oscillateur sinusoïdal. Pour ce faire, la fonction de transfert $\mu'(\omega)$ du système bouclé, qui vérifie

$$\mu'(\omega) = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \frac{\mu(\omega)}{1+\beta(\omega)\mu(\omega)} \tag{1}$$

doit être telle qu'il existe une fréquence ω_0 pour laquelle $\beta(\omega_0)\mu(\omega_0) = -1$. Alors, même en l'absence de signal d'entrée, le système est instable et il apparaît un signal de sortie à cette fréquence. On notera désormais $\beta(\omega_0) = \beta_0$ la valeur caractéristique correspondante. L'amplitude du signal s est limitée par saturation (non-linéarité) ou bien elle est commandée par un réglage paramétrique qui ajuste μ en fonction de l'amplitude de s (cf. Châtelain tome 2. p. 235).



Pont de Wien est réalisé à l'aide d'un **amplificateur non inverseur** de gain μ :

$$\mu = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

et d'un **filtre passe-bande d'ordre 2 (que R-C)**, dit filtre de Wien, qui constitue la boucle de rétroaction :

$$\beta(\omega) = \frac{\beta_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = \frac{\frac{1}{3}}{1 + \frac{1}{3}j\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$$

Donc $\beta_0 = Q = \frac{1}{3}$ et $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ puisque $Q < 0.5$ donc filtre 2nd ordre sous-amorti

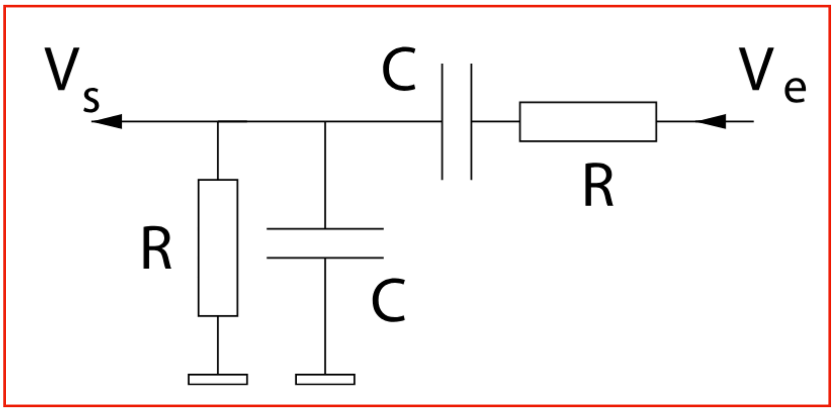
Donc il y a des oscillations mais s'arrêtent rapidement d'où la boucle rétroaction active pour entretenir les oscillations. On reprend le signal de sortie et on le réinjecte en entrée avec le bon gain. Si le gain de boucle vaut exactement 3, alors le filtre compense ses pertes internes. (Le filtre a G=1/3 donc atténue le signal d'un facteur 3 à f_0) donc il faut amplifier le signal de sortie d'un facteur 3 avant de le réinjecter.

- Pour $\omega \ll \omega_0$: comportement de passe-haut d'ordre 1 donc pente +20 dB/décade
- Pour $\omega \gg \omega_0$: comportement de passe-bas d'ordre 1 donc pente -20 dB/décade

Donc $G_{dB} = 20 \times log(\beta(\omega))$ et $G_{max} = -9.5$ dB

- A basse fréquence, Le signal en sortie prend du retard, mais le condensateur agit comme un circuit ouvert donc la phase est positive (typiquement +45°)
- A haute fréquence, Le condensateur agit comme un court-circuit, la sortie perd l'info alors retard, mais inversé donc la phase est négative (typiquement -45°)
- A f_0 Le comportement capacitif et résistif s'équilibrent donc $\phi = 0$ (Ve et Vs en phase)

Partie 1 : Filtre

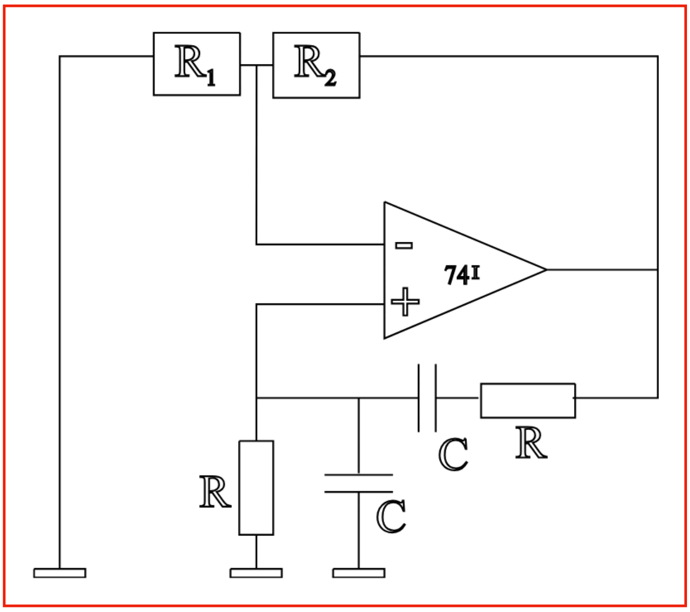


Protocole :

- ω_0 = 1/RC et on choisit **R=2kΩ** et **C=50nF** donc ω_0=10^4 **rad/s** et $f_0 = 1591$**Hz**
- Brancher le filtre : vérifier à brancher toutes les masses au GBF
- Brancher câble ordi vers oscillo (photo 4) et câble vers GBF (photo 5)
- Sur **"Interface"** choisir diagramme de Bode. Vérifier que GBF et oscilloscope (scope) sont branché (il y a leur nom et pas"simulation" (sinon appuyer sur Reload. Puis on appuie sur Connect. Choisir 1-2 décades avant notre f_0 et 1-2 décades après (donc **Start 100Hz** et **Stop 10KHz**) avec **Step 50** (et on test cela). Ça marche pas donc On change le GBF avec un plus ancien et ça marche.
- On voit bien qu'à $\omega = \omega_0$ Vs est en phase avec Ve ($\phi = 0$) et que $\beta_0 = 1/3$ ($logG = -0.48$dB).
- Vérifier expérimentalement $Q = \omega_0/\Delta\omega = 1/3$ (ou $Q = f_0/\Delta f$) avec $\Delta\omega$ défini par l'atténuation à -3dB. Ou bien par G_{max} linéaire (pas en dB log) donc $10^{-9.5/20}$ et on cherche Δf à $G_{max}/\sqrt{2}$.
- On peut aussi vérifier que Q est indépendante de R et C donc non ajustable.

Cette faible valeur de facteur de qualité constitue un inconvénient de ce filtre : il est peu sélectif (en comparaison du résonateur à quartz)

Partie 2 : Oscillateur



L'oscillation démarre quand $R_2/R_1 \simeq 2$ donc $|\mu\beta_0| = 1$ (seuil de l'oscillation). Ces oscillations sont quasi-sinusoïdales à la fréquence f_0

Le critère de Barkhausen :
Le gain de boucle = 1 et La phase totale = 0° (condition de résonance)
On utilise parfois une ampoule ou une diode dans R_1 ou R_2 pour stabiliser automatiquement le gain en fonction de la température ou du courant.

Protocole :

- Vérifier AO. Il faut que ça soit un **AO 741** pour que ça marche ici.
- On choisit R1 et R1 en boîtier à décade pour que l'on peut modifier finement et dont la valeur se situe dans la gamme **1-10kΩ**
- On branche toutes les masses au AO puis on les relie à la masse qu'avant (celle du filtre et reliée au GBF)

On avait oscillations avec R2 = 1.7kΩ et R1=1kΩ !! On vérifie R1 par un multimètre et on trouve que c'est 0.88kΩ donc ça va .. c'est la boîte à décade qui déconne. **Vérifier les R**

- On observe (à l'oscillo) à la sortie du AO (BNC-2 bananes une sortie AO et une masse) et on trouve oscillations. On trouve qu'on a oscillations si R2/R1 = 2 . La fréquence de cette oscillation est 1572 Hz. C'est compatible avec celle qu'on trouve par diagramme de Bode (le pic)

Si on augmente R2 (ou diminue R1) donc on augmente le gain alors l'oscillation croît mais n'est plus stable et perd sa forme sinusoïdale (ALI saturé) mais f_0 ne change pas.
Si on diminue le gain alors le signal se réamplifie moins à chaque tour de boucle donc l'oscillation décroît et disparaît totalement (→ amortie).

- On peut calculer Zscore par rapport à la valeur 2 théorique en prenant en compte incertitude multimètre sur la mesure R et 1Ohm de la boîte à décade

Partie 3 : Vérification du critère de Nyquist

La stabilité/instabilité du système bouclé est déterminée par le comportement en boucle ouverte.

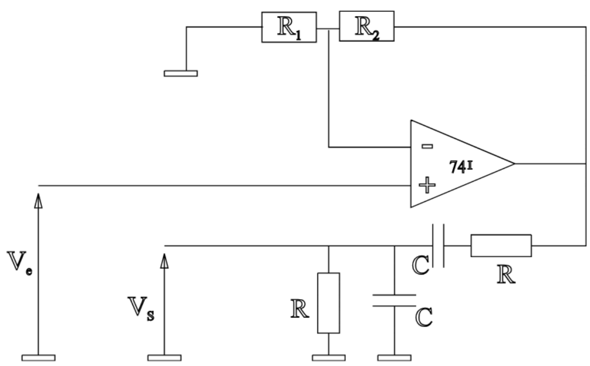


FIGURE 4 –

Étude rapide [1P] Ouvrir la boucle au niveau de l'entrée + (voir schéma), fournir à celle-ci un signal sinusoïdal V_e. Observer à l'oscilloscope V_e et V_s. Ajuster le rapport R_2/R_1 et la fréquence pour que V_e et V_s aient même amplitude et même phase, ce qui correspond à la relation (justifier) :

$$\frac{V_s}{V_e} = \beta_0\mu = +1, \text{ et } \omega = \omega_0.$$

Le critère de Nyquist permet de savoir si la boucle de rétroaction va devenir instable, donc osciller spontanément. On regarde le système en boucle ouverte (boucle coupée) pour prédire le comportement en boucle fermée.
On injecte un signal à l'entrée non inverseur (E+) du ALI et on regarde ce que ça donne en sortie. Le but est de trouver la fréquence f_0 tq Vs/Ve=1 (même amplitude, même phase).
Cela signifie que si tu refermais la boucle → le signal se réinjecterait à l'identique, donc oscillations entretenues.

Protocole :

- En entrée on applique Bode "Interfaces" + QtiPlot

Attention : Sur Qtiplot il faut changer les noms des colonnes car il fait n'importe quoi et inverse les colonnes de Bode .. (Voir photos).

Pas besoin de faire $H = 10^{G/20}$ pour transformer dB en Volt et trouver $Re(H) = |H| * cos(\phi)$ et Im(H) car interface donne gain en Volt directement. Alors $Re(H) = G * cos(\phi)$ et idem pour Im(H)

On doit avoir un cercle. Car x entre 0 et 1 (car Re est positif) et pour y, qq soit la phase, Im est entre -pi/2 et pi/2 donc on aura un cercle.

- On change R2 et on refait pour montrer qu'on a pas d'oscillations. Click droit sur la courbe + Ajouter + ajouter courbe et on choisit la table à ajouter. Double click sur les points pour changer les couleurs des courbes.
- Là on a vérifié le critère de Nyquist.

Partie 4 : Obtention des auto-oscillations

Si on est à R2/R1=2 donc la courbe gain dépasse très peu le 0 (voir Bode de la partie Nyquist) et c'est pour cela qu'on a du gain et c'est à 1 freq précise (ω_0).
Mais si on a R2/R1 > 2 la courbe (passe bande) dépasse beaucoup le zéro donc on a un intervalle de fréquence (et pas juste une fréquence précise) qui aura un gain !
Donc on a un signal déformé
En plus on aura une saturation car on dépasse les 15V du AO
(Là on voit pas un plateau saturé mais un plateau déformé au début et à la fin à cause de cet intervalle de fréquence)

- Supprimer le GBF et refermer la boucle
- On fait un single sur oscillo

(on augmente R2 doucement pour voir apparaître les oscillations) Mais c'est pas prorpre.
Attention : Au lieu de bouger R2 pour faire un single, on peut choisir le R2 qu'on veut et on décharge le C (on appuie sur le bouton) puis on lâche et là on a un single parfait.

- Sur "Interfaces" on choisit oscillo + single pour avoir photo.
- Sur Qtiplot on fait double click sur les axe-ticks pour changer xinf et xsup et on affiche juste le début de la création des oscillations (qu'on compte modéliser).
- Pour les incertitudes de V, on zoom (par right click puis Données puis Zoom+) à fond et on voit que l'affichage est quantifiée avec des pas de 0.25V donc on prend cela (ça fait à peu près 5%). On ajuste avec la formule mais il ne faut pas mettre $\sqrt{1-\alpha^2}\omega_0$ car il la trouve pas donc on remplace ce terme par "Coeff" et on fait nous même la conversion après.

On l'aide en fixant des paramètres du filtre. A chaque choix de paramètre on regarde l'ajustement en Live comment il varie. Puis on fixe les paramètres.
Puis on ajuste.
Après on enlève le "Fixer" et on fait un autre ajustement.
Attention : on lui donne τ=0.02 car on trace une droite sur la montée de l'expo et on voit que ça touche l'axe x en 0.02

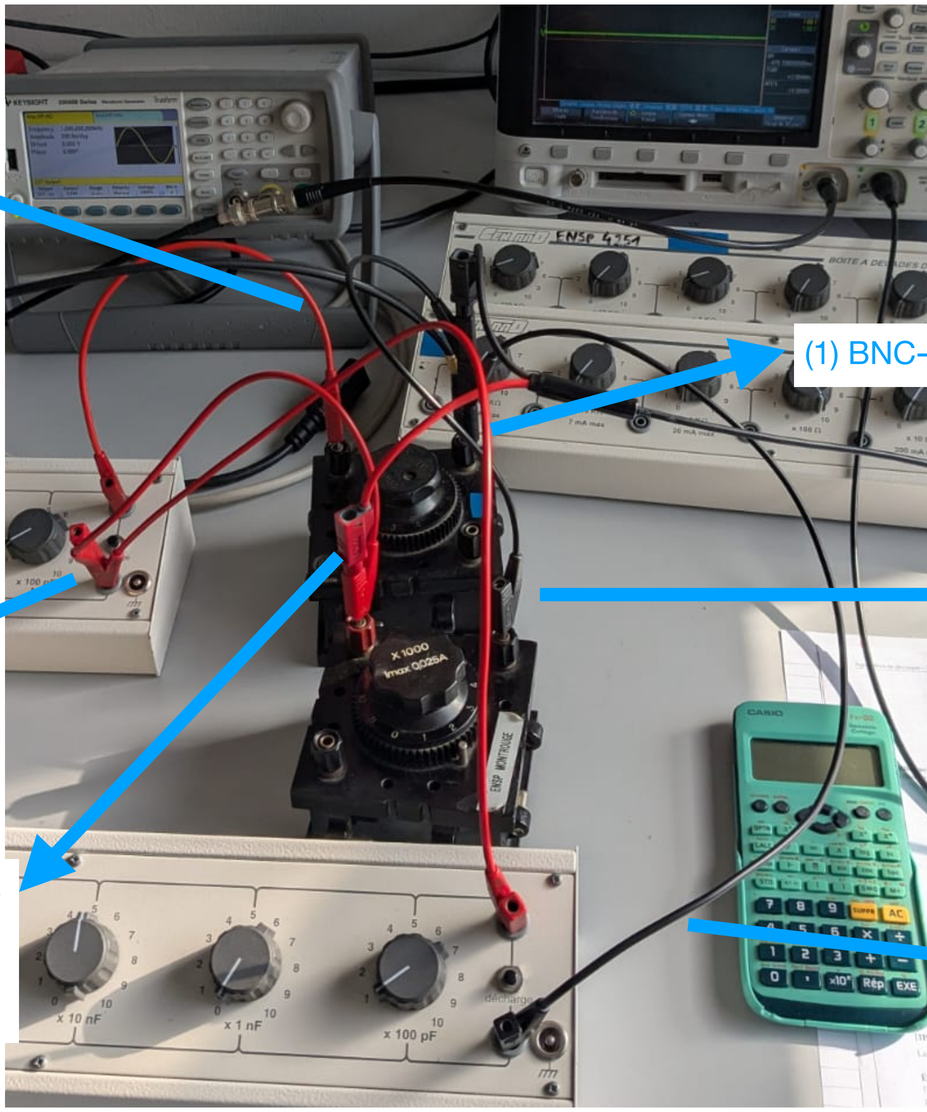
Si l'ajustement galère donc on diminue la fréquence pour diminuer le nombre de points
Pour cela on augmente C (pour diminuer ω_0)

oscillations sont obtenues pour $\beta_0\mu = +1$ et non pas -1 comme mentionné auparavant dans l'introduction. Refaire le calcul dans ce cas particulier pour s'en convaincre. Pour se ramener au schéma habituel d'un système bouclé non-oscillateur il faut considérer $e = V_e - V_s$ dans le schéma ouvert ci-dessus. En mode oscillateur $e = 0$)

Filtre passe-bande ordre 2

(2) R1 vers C1

(1) BNC-1 banane de GBF à R1



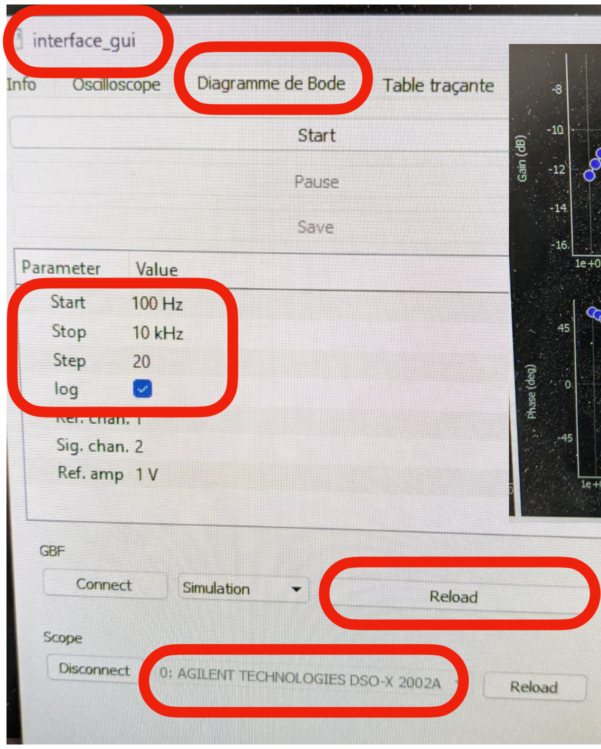
(3) C1 vers C2
et C1 vers R2

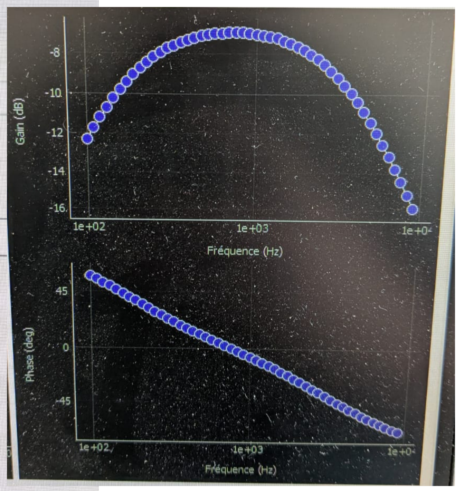
(4) R2 vers masse
GBF en R1

(6) BNC- 2 bananes
Rouge vers ce R2
Noir dans la masse
GBF en R2

(5) C2 vers masse
GBF en R1

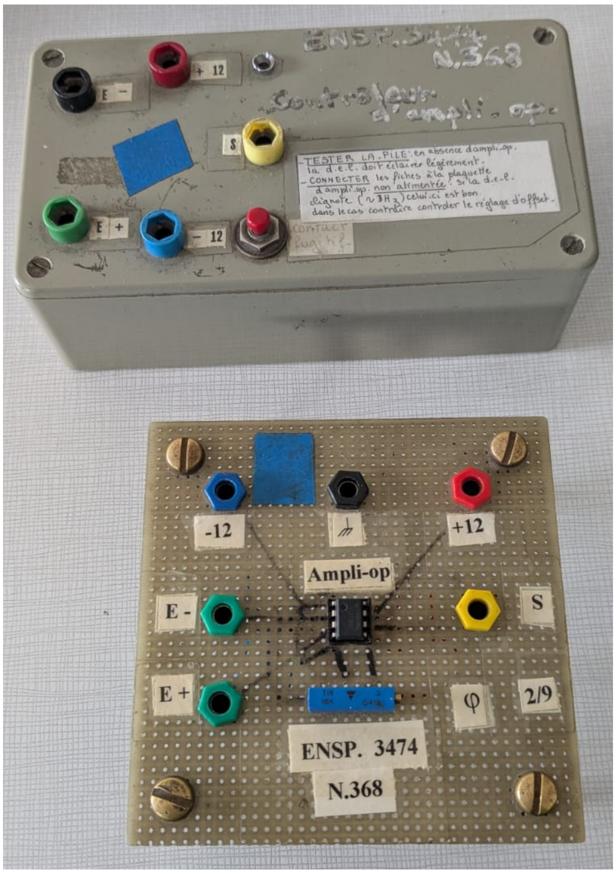
(8) Diagramme Bode



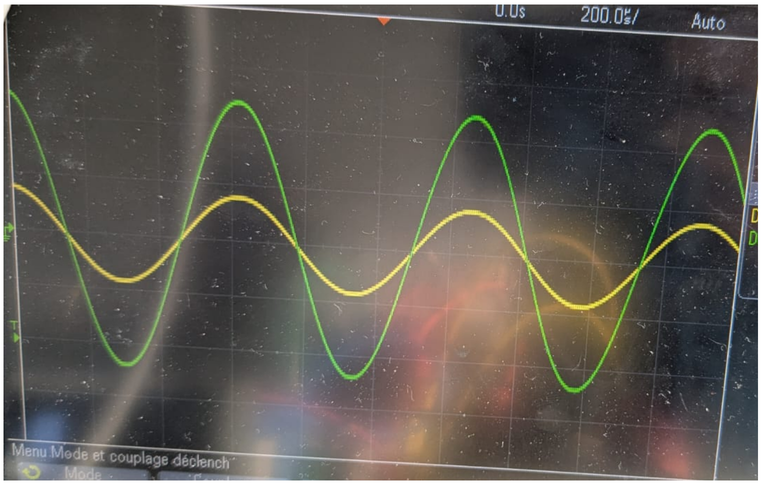


(7) Câble Ordi vers GBF
Câble Ordi vers Oscillo

(1) Tester le ALI

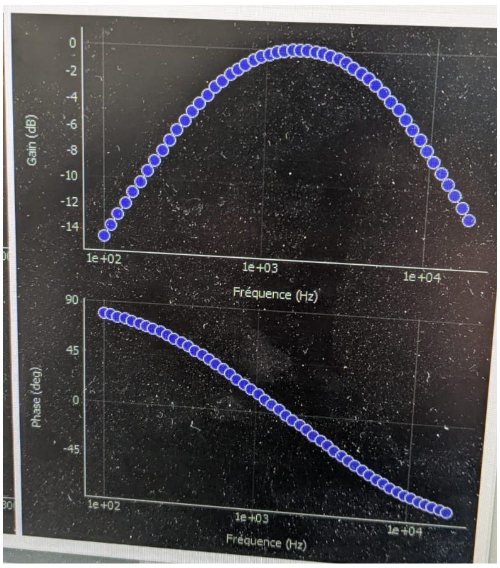


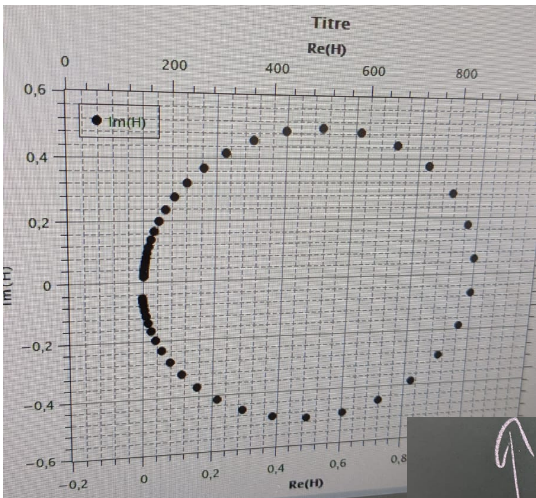
L'Oscillateur

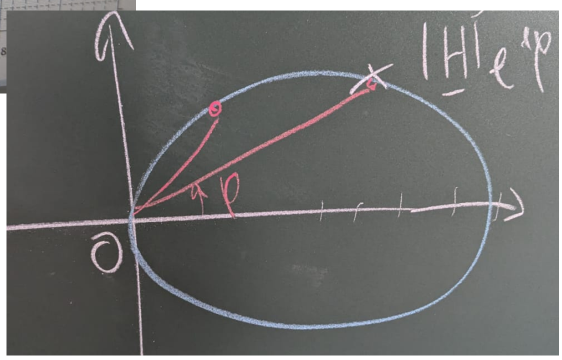


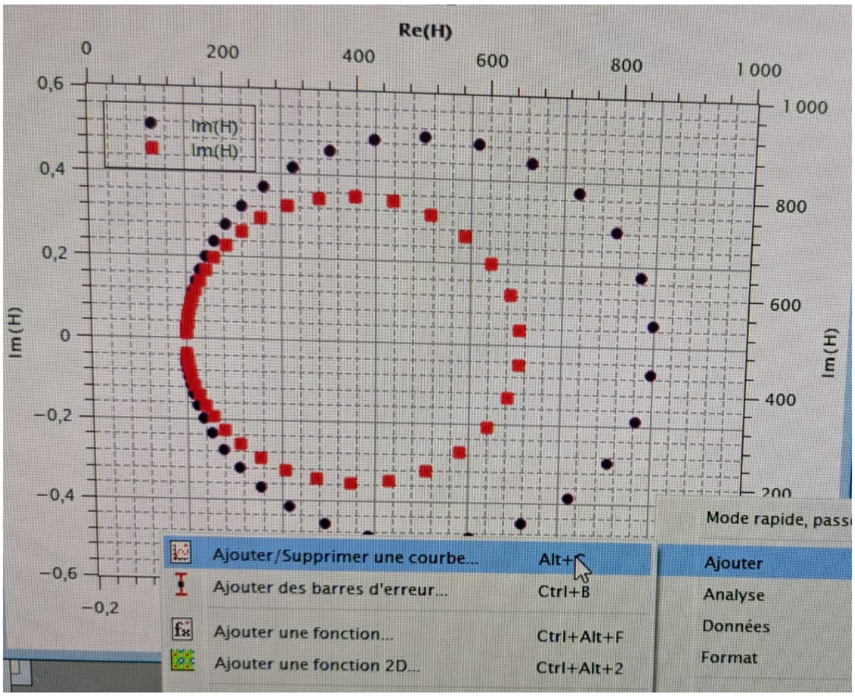
Critère Nyquist

	Freq	gain	phi	Re(H)[X]	Im(H)[Y]
1	10	0,01287	1,547	0,0003019	0,01287
2	12,02	0,01577	1,516	0,0008604	0,01575
3	14,45	0,01872	1,534	0,0006874	0,01871

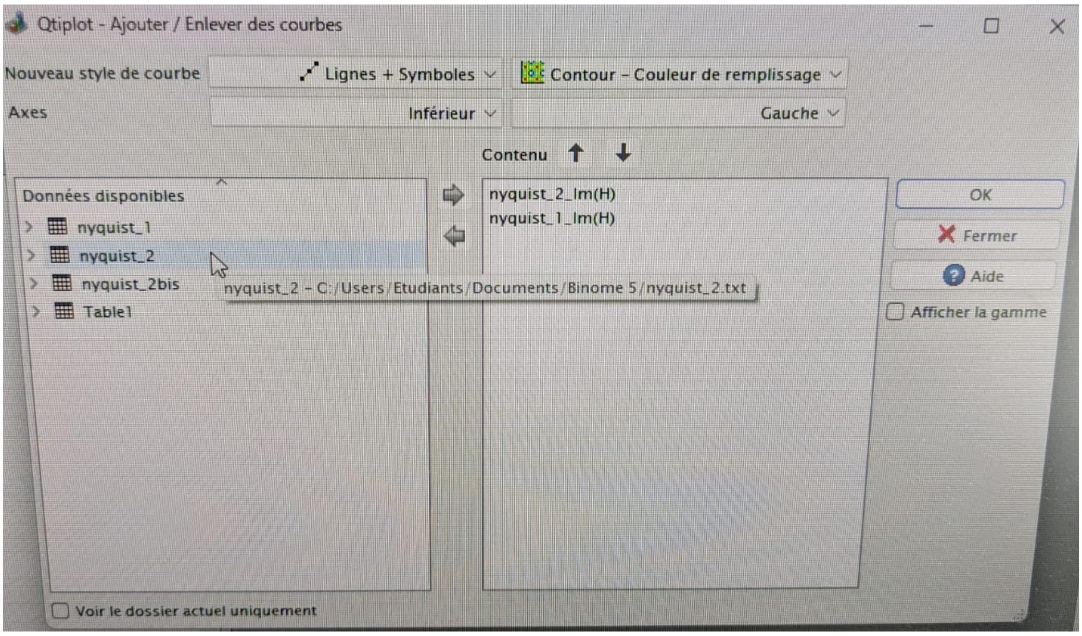




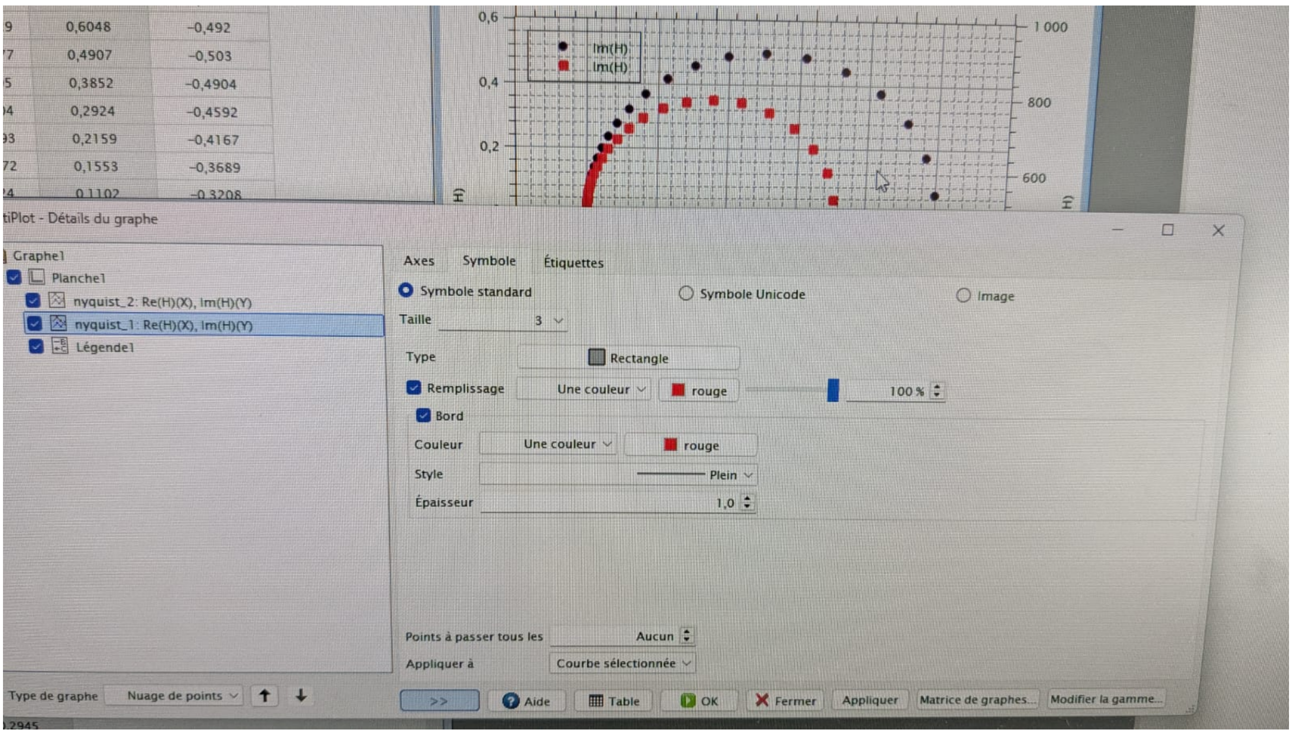




Click droit puis ajouter une 2e courbe

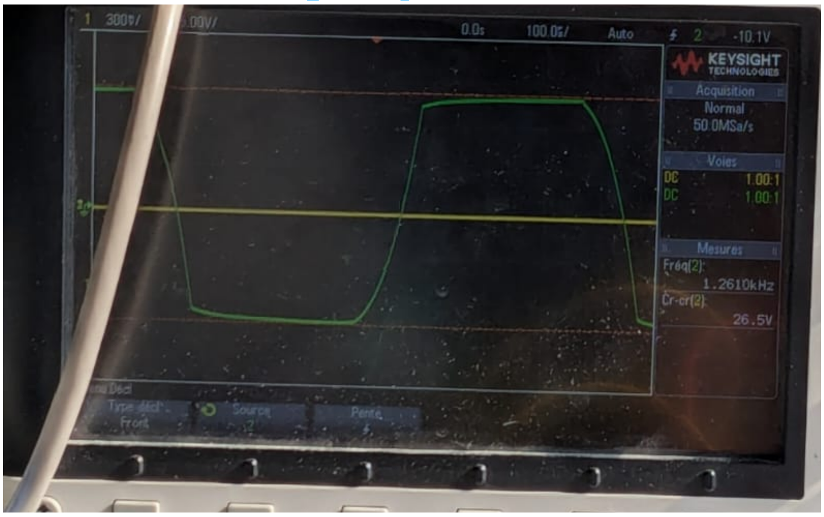


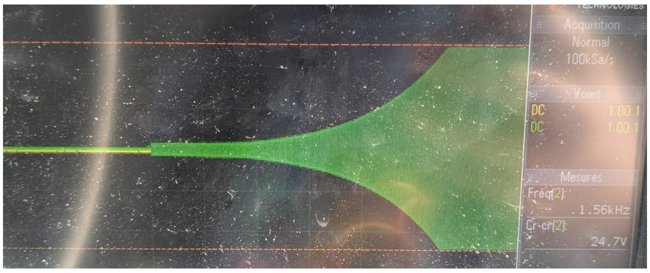
Double click sur les points pour choisir forme et couleur

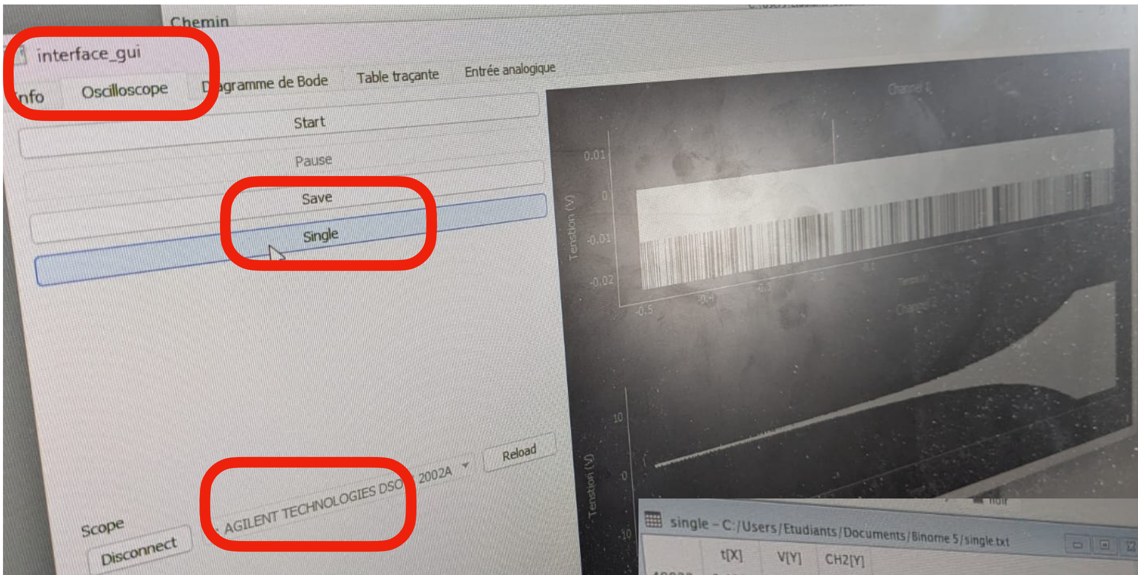


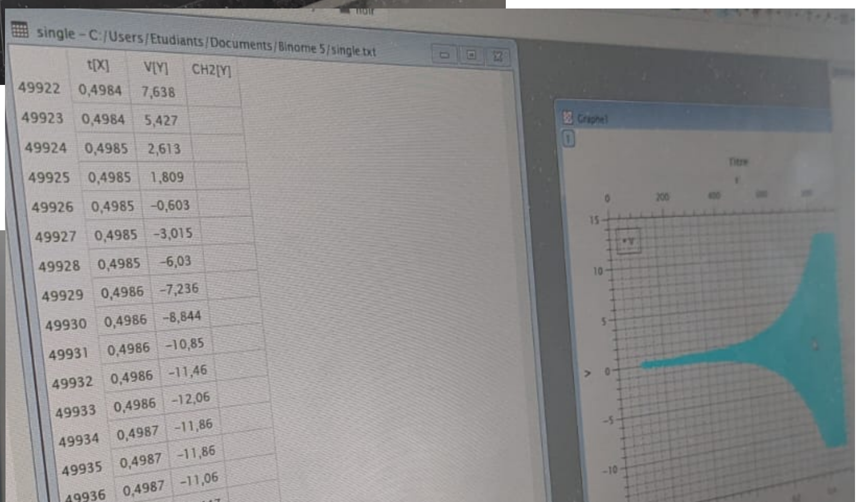
Auto-oscillations

Si $R_2 > R_1$

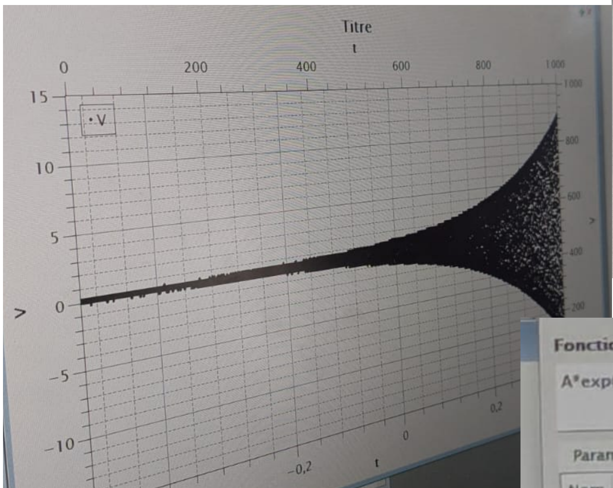


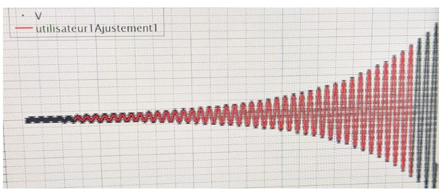


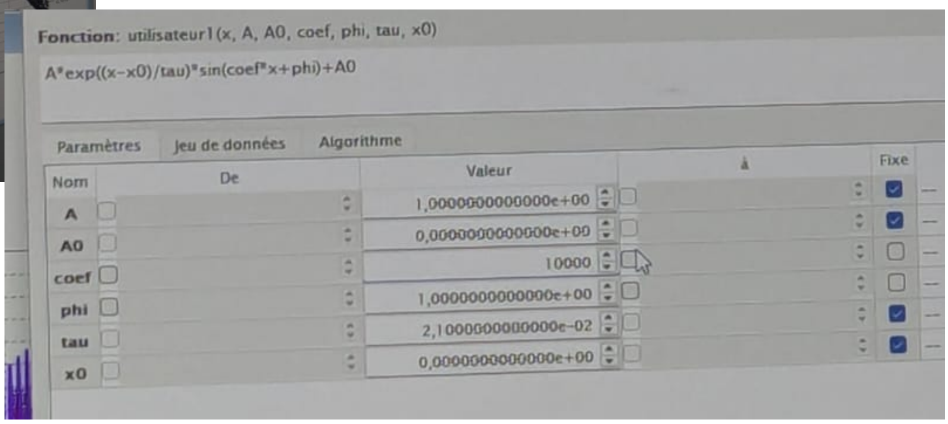




	t[X]	V[Y]	CH2[Y]
49922	0,4984	7,638	
49923	0,4984	5,427	
49924	0,4985	2,613	
49925	0,4985	1,809	
49926	0,4985	-0,603	
49927	0,4985	-3,015	
49928	0,4985	-6,03	
49929	0,4986	-7,236	
49930	0,4986	-8,844	
49931	0,4986	-10,85	
49932	0,4986	-11,46	
49933	0,4986	-12,06	
49934	0,4987	-11,86	
49935	0,4987	-11,86	
49936	0,4987	-11,06	







Fonction: utilisateur1(x, A, A0, coef, phi, tau, x0)

A*exp((x-x0)/tau)*sin(coef*x+phi)+A0

Paramètres | Jeu de données | Algorithme

Nom	De	Valeur	à	Fixe
A		1,0000000000000e+00		☑
A0		0,0000000000000e+00		☐
coef		10000		☐
phi		1,0000000000000e+00		☑
tau		2,1000000000000e-02		☑
x0		0,0000000000000e+00		☑

Plus d'explications pour Nyquist :

🔁 Le critère de Nyquist général

Dans un système **à contre-réaction négative**, la fonction de transfert en boucle fermée est :

$$H_{\text{bouclée}} = \frac{G}{1 + G \cdot \beta}$$

Et on cherche la **stabilité** : si le **dénominateur s'annule**, c'est l'instabilité. Donc le critère de Nyquist demande :

$$\boxed{\text{Le produit } G \cdot \beta \neq -1 \text{ à toute fréquence.}}$$

➤ **Donc on surveille si le lieu de Nyquist entoure** -1 (et combien de fois, pour des systèmes complexes).

La contre-réaction négative agit comme un **amortisseur** :

- Elle **corrige les écarts** (ex. en amplificateur : elle réduit les erreurs)
- Elle **dissipe les oscillations** si elles apparaissent
- Elle permet un **fonctionnement précis, contrôlé, stable**

Si à **une certaine fréquence**, on a :

$$|G(j\omega)\beta(j\omega)| \geq 1 \quad \text{et} \quad \arg(G\beta) = -180^\circ$$

alors la **contre-réaction devient positive** → **instabilité** possible.

C'est **ce que le critère de Nyquist vise à éviter** : il teste si le produit $G\beta$ **tourne autour de -1** dans le plan complexe.

Dans le Wien :

- Le montage est fait pour **avoir de la réaction positive contrôlée**.
- On souhaite **entretenir une oscillation** → c'est **au bord de l'instabilité**.

La fonction de transfert en boucle **ouverte** est :

$$A_{\text{BO}}(j\omega) = \mu \cdot \beta(j\omega)$$

Et la fonction en boucle **fermée** est :

$$H = \frac{\mu \cdot \beta}{1 - \mu \cdot \beta}$$

💡 Cette fois, le dénominateur s'annule si $\mu \cdot \beta = +1$

> 🔴 Donc, au lieu de surveiller si on entoure -1, on cherche si le **gain de boucle vaut +1, même module et phase nulle**.

🔚 En résumé

- 🌀 **Nyquist standard** : on cherche à **éviter de passer par** -1 → stabilité garantie.
- 🎵 **Oscillateur Wien** : on **cherche exprès à atteindre** $+1$ → pour **entretenir les oscillations** (marge de stabilité nulle).