

## **Tracé rapide de la courbe de résonance RLC série avec un ordinateur**

par Thierry GOUJON  
Lycée polyvalent  
76460 Saint-Valéry-en-Caux

---

### **INTRODUCTION**

Ne disposant pas d'un fréquencesmètre par groupe de T.P., on souhaiterait faire tracer aux élèves de terminale S des courbes de résonance en utilisant un ordinateur et en évitant les mesures répétitives avec l'oscilloscope.

Le but de cet article est de tracer rapidement des courbes de résonance en utilisant un ordinateur, l'interface ESAO3 et le logiciel ACTILAB.

Le balayage en fréquence se fait grâce à un générateur basse fréquence muni d'une entrée wobulation. Cette wobulation est commandée par la sortie analogique de l'interface. Le logiciel commande le balayage en fréquence, en imposant à l'entrée wobulation du GBF la variation de tension nécessaire (par l'intermédiaire de l'interface).

L'article se décompose en trois parties :

- partie préliminaire, faite par le professeur permettant d'étalonner l'ensemble interface-GBF. Cette manipulation permet au logiciel de connaître la fréquence du courant dans le dipôle RLC ;
- la séance de T.P. élèves. Ceux-ci fournissent au logiciel la relation trouvée précédemment (on leur donne). Les élèves n'auront qu'une mesure directe de fréquence à faire au cours du T.P. ;
- un complément possible lié à l'enseignement de la spécialité.

## 1. ÉTALONNAGE DE LA MESURE DE FRÉQUENCE

### 1.1. Sortie analogique de l'interface

L'interface (ESAO3) permet de fournir une tension croissante en escalier de 0 à 10 V (acquisition pilotée).

Ces sauts de tension peuvent être commandés pas à pas (pilotage mode commandé) ou de façon régulière dans le temps (pilotage mode automatique).

Cette sortie est destinée à commander un générateur. Connaissant la relation entre la tension de commande et la tension de sortie du générateur, l'ordinateur peut, par exemple, tracer la caractéristique d'un dipôle «point par point» automatiquement évitant ainsi les relevés longs et fastidieux.

Le constructeur de l'interface indique que cette sortie analogique étant de faible puissance on doit l'utiliser avec un générateur prévu à cet effet ou ajouter au montage un circuit à amplificateur opérationnel (suiveur).

En effet, en faisant un essai : sortie analogique de l'interface branchée sur entrée wobulation du GBF et en mesurant la tension délivrée par l'interface, on constate des sauts de 0,03 V alors que le logiciel indique des sauts de 0,04 V.

On a choisi de ne pas ajouter d'amplificateur opérationnel au montage pour ne pas alourdir celui-ci.

### 1.2. Entrée wobulation du générateur basse fréquence

Elle sera reliée à la sortie analogique de l'interface. L'entrée wobulation permet de commander une variation de fréquence à la sortie du GBF, d'après le constructeur la variation de fréquence est donnée par la relation :

$$\Delta f = (F/10) \times V$$

Avec :

- V : tension de commande en volt appliquée à l'entrée wobulation,
- et F : fréquence de la tension de sortie du GBF avant d'appliquer la tension V à l'entrée (V nulle).

*Exemple* : la fréquence étant réglée au départ à 20 kHz on applique une tension de + 1 V à l'entrée wobulation, la fréquence varie de :

$$\Delta f = (20/10) \times 1 = 2 \text{ kHz}$$

Elle passe de 20 kHz à 18 kHz (si on applique une tension négative, la fréquence augmente).

En faisant l'expérience précédente on constate bien une relation affine entre la fréquence de sortie et la tension d'entrée, mais la fréquence s'annule pour  $V = 4,25 \text{ V}$ . La variation de fréquence est plus grande que prévue.

### 1.3. Étalonnage du logiciel

L'interface par sa sortie analogique fournit une tension croissante par intervalles.

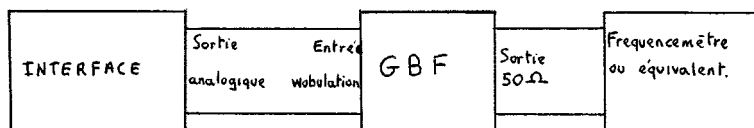
Le logiciel connaît le nombre  $N$  de marches d'escalier parcourues à un instant donné. Au cours des mesures, pour pouvoir graduer l'abscisse en Hz il demande une relation entre la fréquence et  $N$ .

En théorie, lorsque  $N$  varie de 1 à 256 la tension aux bornes de la sortie analogique varie de 0 à 10 V, ce qui correspondrait à des sauts de 0,04 V environ. En utilisant cette information et la formule :

$$\Delta f = (F/10) \times V$$

on peut calculer la relation entre fréquence et  $N$  demandée par le logiciel mais elle donnerait un résultat faux à cause des conditions expérimentales (pas de suiveur). Le meilleur moyen de déterminer une relation juste est l'expérience.

### 1.4. Montage



Au départ, le GBF est réglé sur 1000 Hz exactement. Il faut peut-être laisser le GBF chauffer quelques instants pour que la fréquence se stabilise (voir la notice du constructeur).

La sortie analogique de l'interface est reliée à l'entrée wobulation du GBF. La fréquence de sortie du GBF est mesurée :  $f$ .

On lance le logiciel ACTILAB, et on valide : acquisition, paramètre, acquisition pilotée, pilotage en mode commandé. On tape enfin  $X = N$ . Il est possible de faire deux cent cinquante-cinq mesures, en appuyant sur entrée dix fois entre chaque mesure, on se limite donc à vingt-cinq mesures. Sur le graphe, les points correspondant aux couples  $(N, f)$  (figure 1) sont bien alignés. L'équation de la droite est :

$$f = 1000 - 7,20 \times N$$

c'est la relation que l'on donnera aux élèves.

### Vérification

Dans l'acquisition pilotée, on remplace  $X = N$  par :

$$X = 1000 - 7,2 \times N \quad (\text{unité : Hz})$$

En refaisant la manipulation précédente, on constate que le logiciel indique des valeurs de fréquence correctes au cours du balayage par comparaison avec celles données par le fréquencesmètre. Le balayage en fréquence étant de faible amplitude la tension de sortie du GBF varie peu, ce qui se vérifie facilement avec un multimètre.

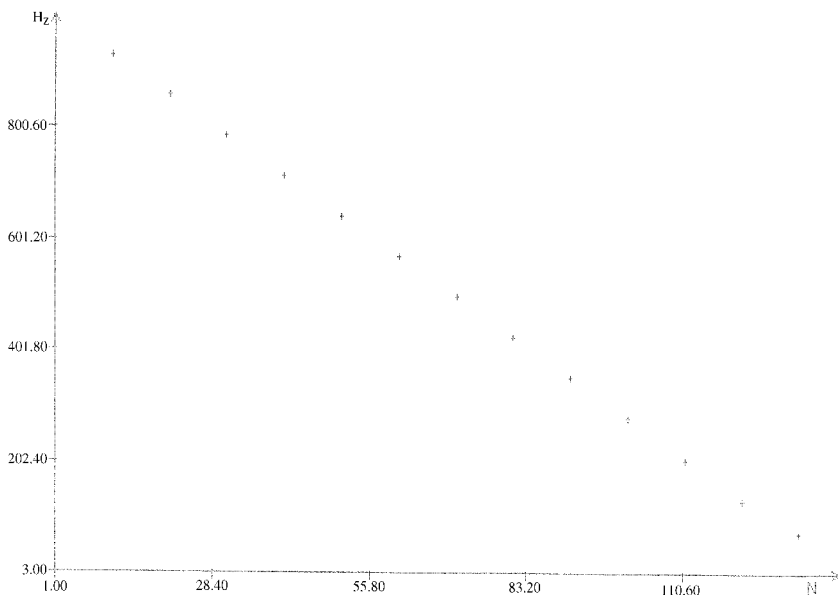
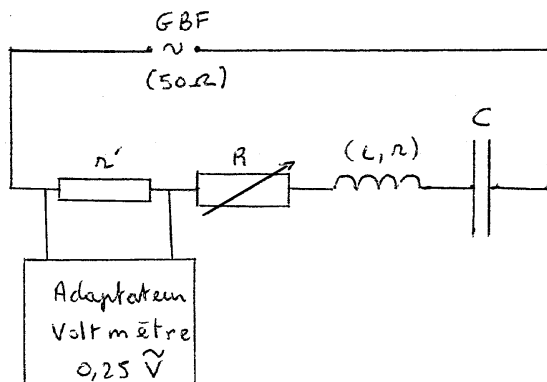


Figure 1

## 2. SÉANCE DE T.P. : COURBE DE RÉSONANCE

### 2.1. Montage



GBF sur 5 V efficace 1000 Hz exactement.

$r' = 27 \Omega$ ,  $R = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $L = 1 \text{ H}$  ( $r = 12,5 \Omega$ ),  $C = 500 \text{ nF}$ .

L'entrée wobulation du GBF reliée à la sortie analogique de l'interface. Il peut être intéressant d'utiliser une boîte de résistances pour  $R$ , une bobine à inductance variable et une boîte de condensateur.

Le conducteur ohmique  $r'$  sert à faire une mesure indirecte du courant celui-ci étant trop faible pour utiliser l'adaptateur ampèremètre. Ne pas hésiter à mettre les GBF en marche avant le T.P.

### 2.2. Acquisitions

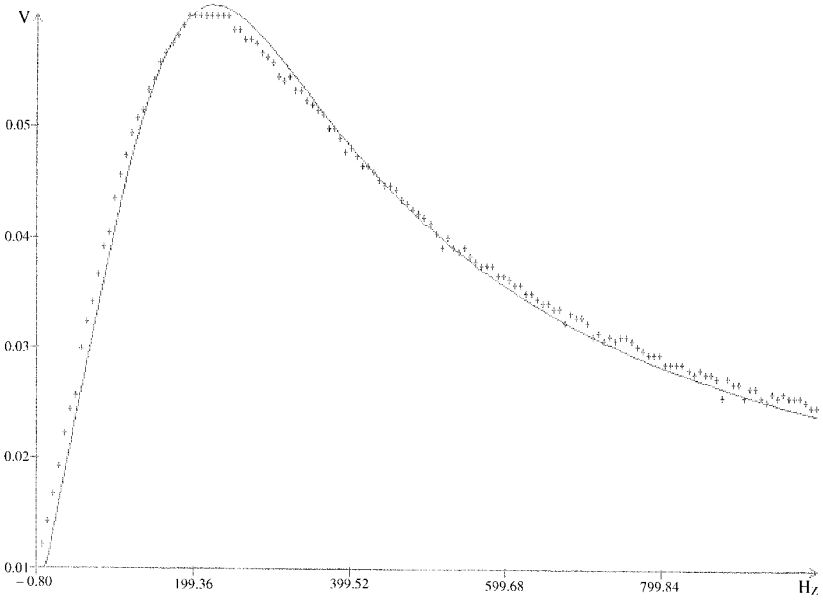
Dans ACTILAB : acquisition, paramètre\*, acquisition pilotée, unité Hz, pilotage mode automatique, relation :

$$X = 1000 - 7,2 \times N$$

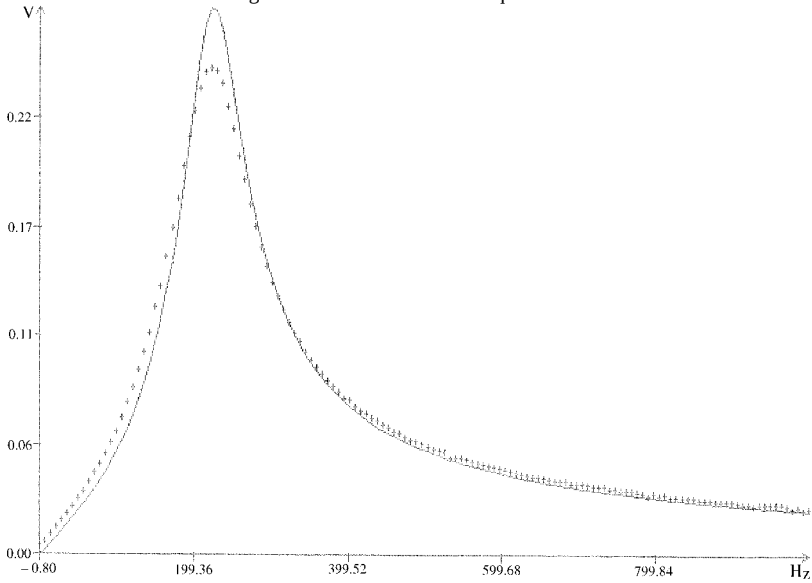
Se mettre sur acquisition, lancement. Appuyer sur Echap lorsque  $X = 0 \text{ Hz}$ . Pour refaire une acquisition : Lancement.

On obtient le graphe de la figure 2 les croix étant les points expérimentaux, les points reliés par des portions de droites la courbe théorique.

\* Ne pas oublier de valider la présence de l'adaptateur voltmètre



**Figure 2 :** Courbe de résonance avec une résistance  $R = 2 \text{ k}\Omega$ .  
Ligne continue : courbe théorique.



**Figure 3 :**  $R = 50 \Omega$ . Tracé automatique, sans ajuster l'amplitude.

L'exploitation de la courbe est ensuite classique : en utilisant le réticule (dans Instruments) détermination expérimentale de la fréquence de résonance, de la bande passante, du facteur qualité, de l'intensité à la résonance, puis vérifications théoriques et calcul de  $Z = R_T$  à la résonance.  $R_T$  étant la résistance totale du circuit  $R_T = R + r + r' + 50$  (50  $\Omega$  est la résistance interne du générateur).

Les élèves trouvent en général des résultats avec une erreur relative de l'ordre de 1 % par rapport aux valeurs théoriques.

On peut essayer une acquisition avec une résonance plus aiguë par exemple :

$$R = 50 \, \Omega \quad (\text{figure 3})$$

La mesure de la fréquence de résonance donne un résultat satisfaisant mais celle de la bande passante est approximative et celle de l'intensité maximale fausse. L'allure de la courbe est tout de même convenable et une résonance plus aiguë bien mise en évidence. Il est possible de faire la manipulation en mode commandé en réglant l'amplitude à l'approche de la résonance. On obtient alors un résultat aussi satisfaisant que la figure 2.

Les courbes de résonance se traçant très rapidement, il est possible de faire une étude qualitative de l'influence de L et C sur la fréquence de résonance et le facteur de qualité.

En plaçant la même feuille plusieurs fois dans l'imprimante on peut obtenir un réseau de courbes, en fonction de l'amortissement par exemple. Dans ce cas, il faudra peut-être revoir l'échelle des graphes.

Ces manipulations peuvent être faites par les élèves en une heure et demie.

### 3. COMPLÈTEMENTS POSSIBLES POUVANT ÊTRE UTILES EN SPÉCIALITÉ

#### 3.1. Déphasage

Les élèves doivent savoir qu'à la résonance l'intensité dans le dipôle RLC et la tension à ses bornes sont en phase.

On utilise le montage suivant comportant un multiplieur et un filtre R-C.

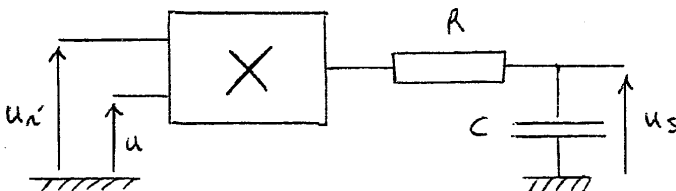


Figure 4 :  $R = 1 \mu\Omega$      $C = 1 \mu F$ .

$u_{r'}$  est proportionnelle au courant :  $u_{r'} = r' i$ , elle est prise aux bornes de la résistance  $r'$  du montage précédent.

$u$  est la tension aux bornes du GBF.

A la sortie du multiplieur :

$$\begin{aligned} u_{r'} \times u &= U_{r'} \cos \omega t \times U \cos (\omega t + \varphi) \\ &= 1/2 U_{r'} U [\cos (2\omega t + \varphi) + \cos \varphi] \end{aligned}$$

Après filtrage par le filtre passe bas, on élimine le terme  $\cos (2\omega t + \varphi)$ .  $u_s$  est donc proportionnelle à  $\cos \varphi$  :

$$u_s = 1/2 U_{r'} U \cos \varphi$$

On mesure  $u_s$  avec un second adaptateur voltmètre. Au cours de la manipulation les deux courbes  $U_{r'}$  et  $u_s$  se forment en même temps sur l'écran. On constate que  $u_s$  donc  $\cos \varphi$  passe par un maximum à la résonance ( $\cos \varphi = 1$ ), la tension et l'intensité sont en phase.

On constate aussi qu'en dehors de la résonance elles ne le sont pas puisque le  $\cos$  n'est pas maximal.

### Remarques :

- la fonction Arc cos ne permet pas d'accéder au signe de  $\varphi$  elle est donc inexploitable ;
- la courbe  $u_s = f(\text{fréquence})$  ressemble à la courbe de résonance.



### 3.2. Caractéristiques de transfert de filtres

Des filtres RC sont utilisés en spécialité, leur étude n'est pas au programme, mais le tracé rapide de leur caractéristique est significatif.

Ici  $R = 1\text{ k}\Omega$  et  $C = 1\text{ }\mu\text{F}$ .

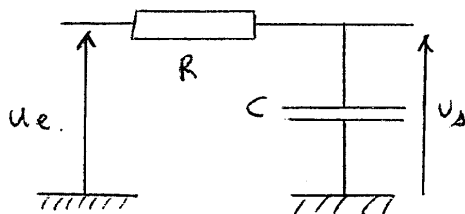


Figure 5 : Passe bas (voir figure 7).

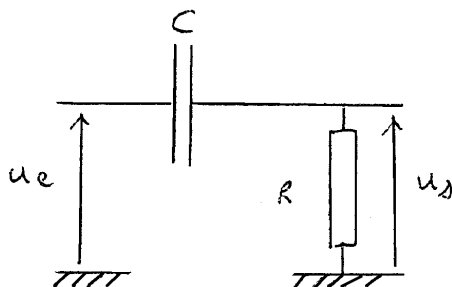


Figure 6 : Passe haut (voir figure 8).

On trace la tension efficace  $U_s$  en fonction de la fréquence.

La fréquence de départ est toujours 1000 Hz. La ligne continue représente la courbe théorique.

**Remarque :** Au cours du balayage en fréquence  $f = f_0 - \Delta f$ , l'erreur est proportionnelle à  $\Delta f$  or lorsque  $f$  est nulle  $\Delta f$  est maximale ce qui rend l'erreur relative sur la fréquence très importante à l'approche de 0 Hz

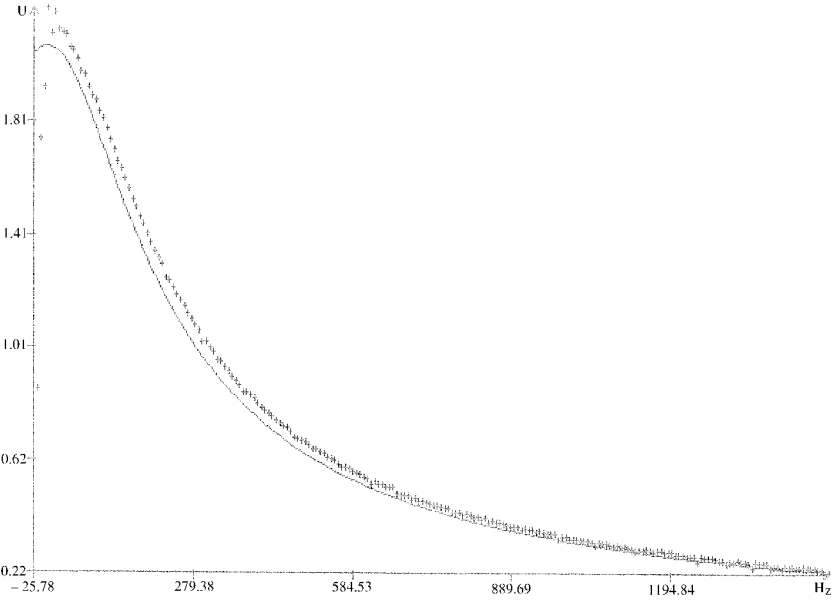


Figure 7

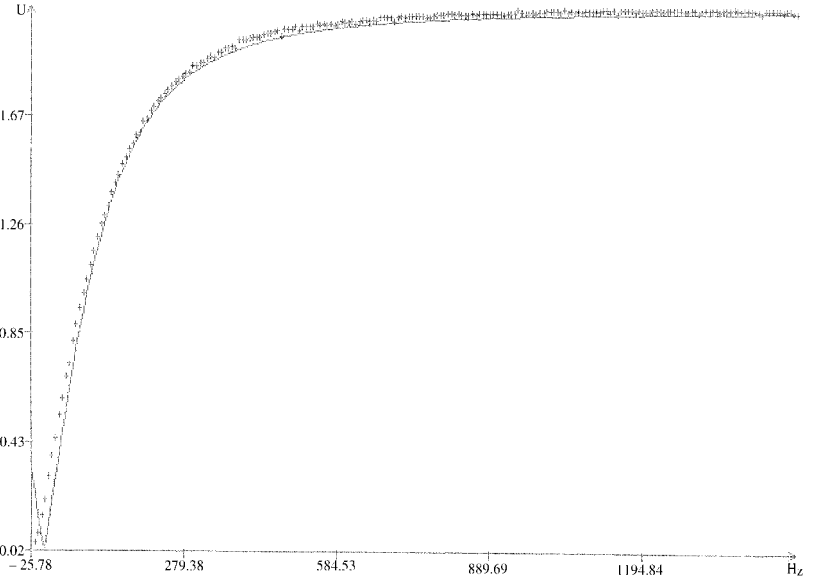


Figure 8

## CONCLUSION

Notre lycée ne disposant que d'un fréquencemètre, ce T.P. incontournable semblait devoir être long et ennuyeux.

Grâce à l'utilisation de l'informatique il devient plus agréable pour les élèves moyennant quelques explications.

La rapidité des mesures permet aussi de faire sur le champ des comparaisons qualitatives sur le rôle de différents paramètres intervenants dans le phénomène de résonance des circuits RLC série.

## BIBLIOGRAPHIE

- Phasemètre : B.U.P. n° 742, p. 409.
- Démodulation : B.U.P. n° 771, p. 319.
- Coefficient de qualité : B.U.P. n° 628, p. 163.
- Wobulation : B.U.P. n° 727, p. 1033.