
Outils informatiques

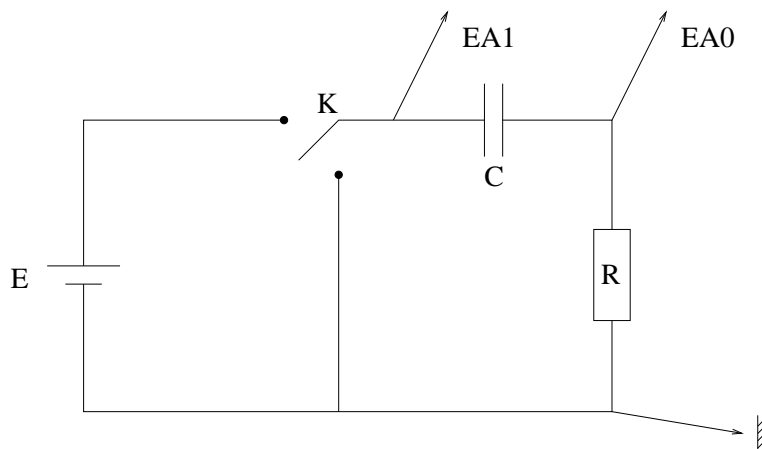
Le but de ce TP est de vous familiariser avec les logiciels mis à votre disposition au cours de l'année, qui vous faciliteront l'acquisition et l'analyse des données expérimentales. Le logiciel Synchronie 6 est un logiciel permettant d'acquérir, d'émettre, de traiter, d'exporter et d'importer des données. Il est reconnu d'intérêt pédagogique par le Ministère de l'Education Nationale, et largement utilisé dans les lycées, ainsi que dans les préparations à l'agrégation. Le logiciel Igor peut être également utilisé d'une part en tant que "grapheur" permettant la visualisation et le traitement des données, et surtout comme interface d'acquisition.

I) Synchronie 6

Le but de cette séance est de vous présenter sur un exemple concret (la charge d'un condensateur) les fonctionnalités de Synchronie 6 les plus fréquemment utilisées.

1) Circuit électrique – branchements

Réaliser le circuit suivant, permettant de charger et décharger un condensateur C à travers une résistance R .



Quelle est l'échelle de temps du phénomène ? Choisir les valeurs des composants de manière à ce que la charge prenne au total environ une seconde. Brancher la masse et les entrées analogiques EA0 et EA1 de la centrale d'acquisition SYSAM-SP5 comme indiqué sur le schéma.

Remarques :

- attention, les entrées analogiques ne sont pas dans l'ordre de leurs numéros sur la centrale !
- la résistance d'entrée du module d'acquisition vaut environ $1\text{ M}\Omega$. Pour qu'elle n'intervienne pas dans le phénomène observé, veiller à ce que la résistance du circuit lui soit largement inférieure. Attention à garder une constante de temps proche de 1 seconde (cf. Acquisition).
- afin de diminuer le bruit, il vaut mieux utiliser des câbles coaxiaux (ici banane-banane) pour brancher les entrées analogiques.
- les différentes bornes de masse de la centrale sont reliées entre elles. On peut donc minimiser le nombre de fils. Il faut toutefois bien connecter les gaines des câbles coaxiaux à la masse.

2) Démarrage

Démarrer l'ordinateur. Ouvrir la session Elèves. Si ce n'est pas déjà fait : alimenter la centrale d'acquisition SYSAM-SP5, et relier son câble USB à l'ordinateur. Ouvrir Synchronie 6, à l'aide du raccourci sur le bureau ou du menu *Démarrer/Tous les programmes*. Une fenêtre s'ouvre. En haut se trouvent une première ligne avec des menus déroulants et une deuxième ligne d'icônes. La fenêtre n° 1 est ouverte, elle possède des onglets en bas à gauche, permettant de basculer vers la feuille de calculs et vers le tableur. En bas à droite est indiqué le système utilisé : SYSAM-SP5 [1 E/S : 0.1 μ s] – EUROSMART doit être affiché. Si ce n'est pas le cas (affichage *Aucun système*), aller dans le menu déroulant *Matériel/Choisir système*, cliquer sur *Modifier*, choisir dans la liste SYSAM-SP5, et valider.

Remarque importante : à tout moment, vous pouvez utiliser l'aide en ligne de Synchronie (boutons *Aide ?* ou touche F1 du clavier). Le logiciel dispose également d'une aide contextuelle : quand on positionne la souris sur un bouton, une icône, une case, une information s'affiche.

3) Paramétrage

Cliquer sur *Paramètres* dans la première ligne. Une fenêtre s'ouvre, qui permet à l'aide de différents onglets de configurer les entrées, régler l'acquisition, modifier l'affichage... Sélectionner l'onglet *Entrées*. On peut configurer les 8 entrées numérotées de 0 à 7. Ici on agit sur les entrées 0 et 1 :

- rubrique *Configuration Matérielle* : sélectionner le mode *Automatique* et le calibre (-10/+10, -5/+5, -1/+1, ou -0.2/+0.2). Il faut choisir le calibre adapté : en effet, quelque soit le calibre choisi, il est découpé en $N = 2^{12} = 4096$ niveaux (codage sur 12 bits). Si le calibre couvre une gamme de tension ΔV , la précision est donc de $\Delta V/N$. D'autre part, si on a le choix, il vaut mieux travailler avec des tensions de plusieurs volts, qui permettent souvent de rendre les bruits résiduels moins visibles.
- rubrique *Affichage* : on peut choisir le nom et l'unité de la grandeur. Pour les entrées analogiques, l'unité est bien sûr le Volt, mais on peut avoir besoin des autres au cours des calculs. Cette rubrique permet aussi de choisir le style (trait, points...) et la couleur de l'affichage. Il faut aussi cocher les fenêtres dans lesquelles tracer la grandeur (ici 1).
- nous n'utiliserons pas la rubrique *Capteur*.

Répéter les étapes précédentes pour toutes les entrées actives, puis sélectionner l'onglet *Acquisition*. Le fonctionnement ressemble à celui d'un oscilloscope numérique. Choisir les réglages adaptés pour enregistrer la charge du circuit étudié :

- rubrique *Réglages* : indiquer le nombre de points à acquérir, entre 10 et 10000.
- rubrique *Courbes* : si on sélectionne *Remplacer*, chaque nouvelle acquisition écrase les précédentes ; avec *Ajouter*, les acquisitions successives sont sauvées sous des noms voisins.
- rubrique *Durée*. Indiquer l'*Echantillon*, c'est à dire la durée entre deux points d'acquisition (entre 100 ns et 10 minutes). Il faut préciser l'unité (ns, μ s, ms, s ou min). Indiquer la durée *Totale* de l'enregistrement (au moins 20 μ s). Attention : on a la relation suivante :

$$Totale = Points \times Echantillon$$

Les trois cases ne sont donc pas indépendantes : si on agit sur l'une des cases *Echantillon* et *Totale*, l'autre est modifiée automatiquement. Si on change les *Points*, il faut cliquer sur l'une des cases *Echantillon* ou *Totale* pour voir la modification.

- rubrique *Options* : elle est décrite dans l'aide, mais on ne s'en sert pas pour l'instant.
- rubrique *Déclenchement* : comme sur un oscilloscope, le déclenchement a lieu sur un front de tension. Il faut choisir la source, le niveau de déclenchement et le sens du front. Choisissez les paramètres pertinents pour enregistrer la charge du condensateur dans le circuit étudié.

4) Acquisition

Le système est prêt pour l'acquisition. Pour la lancer, vous pouvez utiliser le menu déroulant *Exécuter/Acquérir Signaux*, ou l'icône *Acquérir les signaux*, ou la touche F10 du clavier. Le système est alors en attente du déclenchement. Décharger le condensateur, puis le charger. L'acquisition doit avoir lieu, sinon appuyer sur la touche *Echap* et vérifier les réglages. Il peut être utile de contrôler le bon fonctionnement du circuit à l'aide d'un oscilloscope.

Remarque importante : la tension peut être irrégulière au début. Cela vient du contact fluctuant de l'interrupteur lors de son basculement : il vaut mieux le mettre juste au contact, sans chercher à l'enfoncer, ou utiliser les interrupteurs dits *sans rebond*. De plus, ce phénomène se produit avec un temps caractéristique court. On peut donc le minimiser en augmentant la durée entre deux points d'acquisition (*Echantillon*). Il faut toutefois garder suffisamment de points pour enregistrer la charge : c'est pour cela qu'on a choisi les composants pour qu'elle dure environ une seconde. Si on souhaite étudier des charges plus rapides, il faut procéder autrement. On peut remplacer l'interrupteur par un fil banane qu'on connecte rapidement ; avec un peu de doigté on y arrive... Une autre solution consiste à remplacer l'ensemble alimentation + interrupteur par un générateur de signaux créneaux, pour réaliser des charges et décharges successives.

5) Traitement des données

Synchronie 6 propose des fonctions dans les menus *Outils* et *Traitements*. Essayez-en quelques unes. Par exemple, déterminez la constante de temps du circuit par la méthode de la tangente.

Vous allez maintenant utiliser le tableur. Pour y accéder, utiliser l'onglet *Tableur* en bas à gauche, ou la touche F11 du clavier. Un tableau de données apparaît. La première colonne donne le temps, les suivantes les tensions acquises. On veut calculer la tension aux bornes du condensateur. Pour cela, ajouter une colonne, à l'aide du menu *Variables/Ajouter*, ou de l'icône +. Une fenêtre s'ouvre ; donner le nom et l'unité de la variable à créer et cliquer sur *Créer*. Une nouvelle colonne apparaît. Cliquer dans la première de ses cases, et taper dans la boîte de dialogue qui commence par F= l'expression de calcul Colonne2 – Colonne1 (en remplaçant Colonne*i* par le nom que vous avez choisi et qui figure en haut de la colonne correspondante). Sélectionner toute la colonne puis utiliser le menu *Traitements/Recopier l'expression* : la nouvelle colonne se remplit de valeurs.

Une autre méthode consiste à utiliser la *Feuille de calcul* (onglet *Calculs* en bas en gauche). On peut y saisir les relations entre différentes colonnes, par exemple ici Colonne3 = Colonne2 – Colonne1 (en remplaçant Colonne*i* par le nom que vous avez choisi). Il faut ensuite lancer les calculs : pour cela, aller dans le menu déroulant *Calculer/Exécuter*, ou utiliser la touche F2 du clavier. Les valeurs sont mises à jour dans le tableur. Si la colonne de résultat n'existe pas, elle est automatiquement créée (il faut alors utiliser *Variables/Ajouter* dans le tableur pour l'afficher).

Pour tracer la courbe correspondant à la tension aux bornes du condensateur, retourner dans Fenêtre n°1 (menu *Fichier/Quitter*, ou Icône *quitter*, ou onglet n°1 en bas à gauche). Cliquer sur *Paramètres* et sélectionner l'onglet *Courbes*. Dans le menu déroulant, sélectionner le nom de la tension aux bornes du condensateur. Cocher Fenêtre 1 pour la faire apparaître avec les autres courbes.

Remarque : on aurait pu acquérir directement la tension aux bornes du condensateur en utilisant le mode différentiel. Consulter l'aide si vous souhaitez en savoir plus. On aurait également pu intervertir la résistance et le condensateur.

6) Modélisation

On se propose d'ajuster la tension aux bornes du condensateur par le modèle attendu (constante moins une exponentielle décroissante). Pour accéder à la fenêtre de modélisation, utiliser le menu *Traitements/Modélisation*, ou l'icône *Modélisation*, ou la touche F4 du clavier. Choisir la variable à modéliser et donner un nom au modèle. Choisir une fonction dans le menu déroulant, ici *Exponentielle* ; on peut saisir sa propre fonction si nécessaire.

Remarque importante : ce logiciel prend en compte les incertitudes, ou plus exactement des incertitudes constantes sur chaque axe. Pour cela, il faut renseigner les cases Incertitudes. En Y, *s'il n'y a pas d'autre source d'erreur*, l'incertitude est de l'ordre de la précision du convertisseur analogique numérique $\Delta V/N$. On peut le vérifier en regardant la colonne correspondant à EA1 dans le tableur : sa tension devrait être constante, mais elle fluctue légèrement. L'écart type peut être obtenu dans le mode tableur, en sélectionnant une colonne de données puis le menu *Variables/Statistiques*. Pour les acquisitions en fonction du temps, l'ordonnée est la variable liée et l'abscisse la variable indépendante : l'incertitude en X est nulle. Mais si on choisit une autre abscisse que le temps, il faut bien sûr tenir compte de l'incertitude éventuelle.

Appuyer sur *Calculer*. Le programme propose un ensemble de paramètres (ici Y_p , Y_0 , X_0 et τ), et trace la courbe correspondante. Les paramètres actifs sont affichés dans un tableau et modifiés lors de l'optimisation, à partir des valeurs de la case *Estimation*. Il n'est plus possible avec Synchronie 6 de fixer un paramètre d'ajustement à une valeur fixe. Si besoin, il faudra modifier l'équation du modèle pour fixer un paramètre. Le résultat est donné dans la case *Valeur finale*. Essayer diverses combinaisons et relancer l'optimisation (bouton *Optimiser* en bas à gauche).

En plus des paramètres de l'ajustement, le programme donne deux paramètres. Le coefficient de corrélation r doit toujours être proche de 1, et E est l'écart quadratique. Dans Synchronie 6 :

$$E = \frac{1}{P-k} \sqrt{\sum_{i=1}^P (y_i - f(x_i))^2}$$

où P est le nombre de points, k le nombre de paramètres ajustables actifs, y_i les points expérimentaux et $f(x_i)$ les valeurs du modèle. **r et E ne tiennent pas compte des incertitudes et ne permettent donc pas de conclure quant à la qualité de l'ajustement.** Si on a indiqué la valeur des incertitudes σ sur Y, Synchronie 6 donne également des barres d'erreurs sur les paramètres, mais ne donne pas de critère quant à la qualité de l'ajustement ¹.

¹Dans une précédente version de Synchronie (version 2003), un critère d'optimisation Cm était introduit, mais n'est visiblement plus accessible (bogue de Synchronie 6 ?).

Remarques :

- Un critère communément employé pour estimer la qualité de l'ajustement est le test au moindre carré χ^2 . Pour plus de détails, se référer au poly **Quelques rappels sur les incertitudes**, ou pour un exposé détaillé dans *Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physique* de J.R. Taylor. Le moindre carré est défini selon

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^P \frac{(y_i - f(x_i))^2}{\sigma_i^2}$$

où σ_i est l'incertitude de mesure sur le point i . L'ajustement est correct si $\chi^2 \simeq P - k$, l'erreur sur χ^2 étant $\Delta\chi^2 = \sqrt{2(P - k)}$. Si on suppose que les incertitudes sont les mêmes sur l'ensemble des données, *i.e.* $\sigma_i = \sigma, \forall i$, on peut calculer le *moindre carré réduit* χ_{red} à partir de l'écart quadratique selon

$$\chi_{red}^2 = \frac{\chi^2}{P - k} = \frac{E}{\sigma^2}.$$

La dernière égalité n'est vraie que si l'erreur est identique pour chaque points. L'ajustement est correct si $0,5 \leq \chi_{red} \leq 1,5$.

- Synchronie 6 ne permet de prendre en compte que des incertitudes identiques sur tous les points. Si les incertitudes varient d'un point à l'autre, on peut par exemple utiliser le logiciel Kaleidagraph. C'est un tableur simple d'emploi. Pour faire un ajustement, il faut tracer les points d'un tableau (menu déroulant *Gallery/Linear/Scatter*), sélectionner la fenêtre du graphe (*Plot*) et utiliser le menu déroulant *Curve Fit*. Si l'on choisit un modèle prédéfini, le logiciel ne donne que les valeurs des paramètres de l'ajustement. Le résultat de l'ajustement est affiché dans le graphe. Si ce n'est pas le cas, cocher le menu déroulant *Plot/Display Equation*. Si on veut obtenir les incertitudes sur les paramètres et le χ^2 , il faut définir soi-même la fonction modèle dans le menu déroulant *Curve Fit/General/Fit 1/Define*. Par défaut, le résultat affiché sous forme de tableau dans le graphe donne les paramètres de l'ajustement, leurs barres d'erreurs et un χ^2 calculé avec tous les σ_i égaux à 1. Pour tenir compte des incertitudes, il faut cocher la case *Weight Data* dans *Curve Fit/General/Fit 1/Define*, et sélectionner la colonne où l'on aura saisi les incertitudes. Les barres d'erreurs ont alors une signification physique, et le χ^2 est calculé avec la formule ci-dessus.
- il est possible d'exporter les données du tableur de Synchronie 6 au format texte, ce qui permet de les importer dans d'autres logiciels.

7) Exploitation d'une séquence vidéo

Synchronie 6 permet également d'exploiter des séquences vidéo (format .avi), en pointant les coordonnées d'un objet mobile au cours du temps. Cette fonction est accessible par le menu *Edition/Image ou séquence vidéo*. On peut s'entraîner avec les vidéos pré-enregistrées fournies avec le logiciel, dans le répertoire qui s'ouvre par défaut. La procédure est assez intuitive. Consulter l'aide pour plus de renseignements.

On peut aussi utiliser une webcam et le logiciel Amcap pour filmer le mouvement d'un mobile (chute libre, tir parabolique...). On prendra garde à choisir des paramètres adéquats lors de l'acquisition (nombre d'images par secondes, temps d'exposition...). Il est aussi important de

décocher l'option *Capture Audio* dans Amcap, et de donner explicitement l'extension .avi au fichier, sinon Synchronie ne le reconnaît pas bien. Le temps d'exposition doit être suffisamment court pour éviter que l'objet en mouvement soit flou, mais suffisamment long pour avoir une luminosité appréciable. Le nombre d'images par seconde doit être suffisamment important pour décrire correctement la trajectoire, mais doit aussi être compatible avec la fréquence image maximale de la webcam. Consulter la notice des webcams si besoin. Une fois importée sous Synchronie, on peut alors calibrer la séquence (origine et échelle de longueur sur l'image), puis relever un point sur chaque image, ce qui remplit les cases du tableur. A partir de la modélisation de la trajectoire d'un projectile lors d'un tir parabolique on peut par exemple déduire l'accélération de la pesanteur g . Il faut utiliser la variable *Timage* (et non pas T) dans l'exploitation des vidéos.

II) Igor

Le but de ce TP est de vous présenter les possibilités du logiciel Igor sur l'exemple de l'oscillateur harmonique amorti, et quelques acquisitions automatisées (Diagramme de Bode, Tracé de caractéristiques). L'objet que vous manipulerez le plus souvent dans le logiciel est la wave (abréviation de waveform : signal), qui est un ensemble indexé de nombres réels ou complexes, de dimension 1, 2 ou plus. Dans l'immense majorité des cas on travaillera en dimension 1, c'est-à-dire avec des vecteurs. Igor effectue les opérations par défaut sur les waves, permet la visualisation d'une wave par rapport à son indexage ou par rapport à une autre wave. Il est évidemment possible de travailler point par point.

1) Manipulation de données

Au lancement d'Igor, on obtient une table vide nommée *Table0*, que l'on peut fermer pour l'instant, ainsi que la fenêtre de commande nommée *Untitled*. Si l'on fait *File* \triangleright *Save Experiment As...*, on peut sauvegarder l'expérience, en prenant garde à enregistrer dans le dossier *Mes Documents* et non dans le dossier réservé *Igor Pro Folder*.

a) Manipulation et visualisation des données à l'aide des menus

1. Sélectionner *Data* \triangleright *Make Waves...* et remplir la boîte de dialogue comme sur le panneau de la figure 1.

2. Sélectionner *Data* \triangleright *Change Wave Scaling* et remplir la boîte de dialogue comme sur le panneau de la figure 2, de façon à ce que l'échelle horizontale de **ytest** varie de 0 à 2 (prendre garde à bien sélectionner le mode *Start and End*).

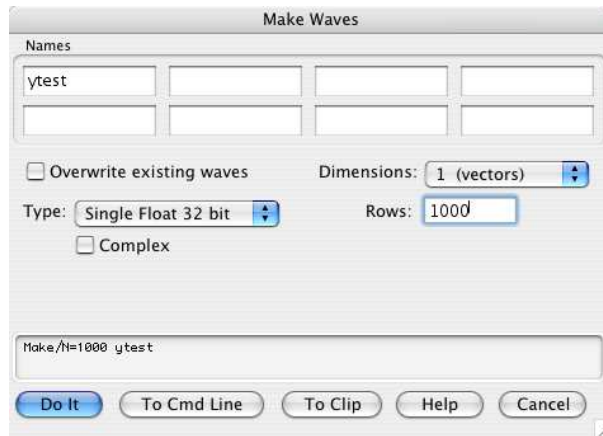


Fig. 1

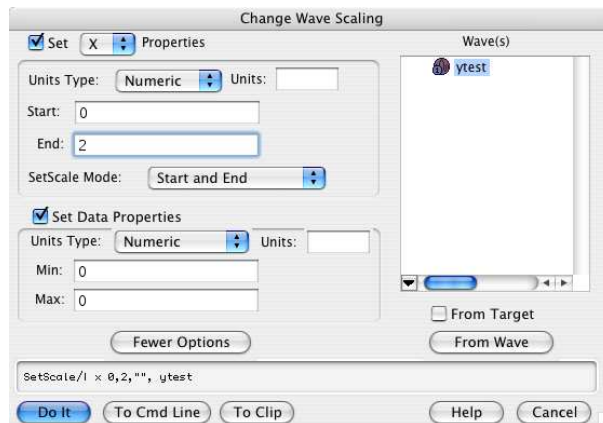


Fig. 2

3. Saisir dans la ligne de commande **ytest=exp(-2*x)*sin(30*x)** et valider.
4. Sélectionner *Windows* \triangleright *New Graph* et valider en prenant soin de choisir calculated dans la colonne *X Wave*, comme sur le panneau de la figure 3.

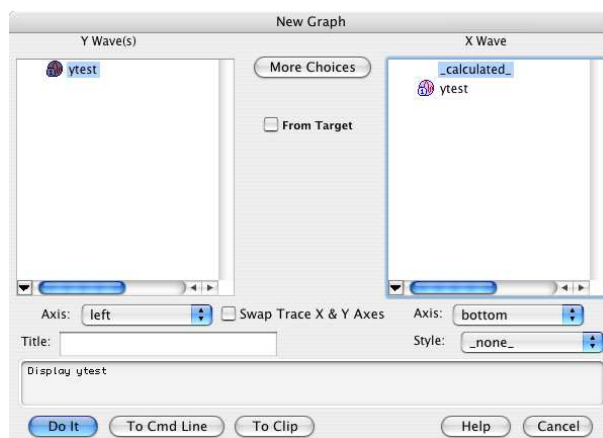


Fig. 3 : Panneau "New Graph"

5. Sélectionner *Data* \triangleright *Duplicate Waves*, s'assurer que le modèle est bien **ytest** et saisir le nom **xtest**, comme sur la figure 4, puis valider.

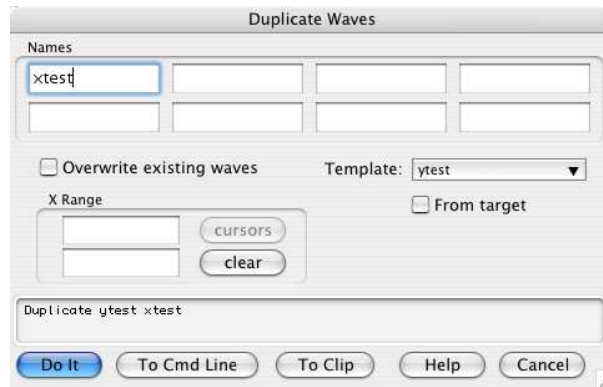


Fig. 4 : Panneau "Duplicate Waves"

6. L'ensemble des opérations effectuées jusqu'à présent en utilisant les menus apparaît en ligne de commande dans l'historique. On peut contrôler Igor par ces deux moyens : pointer dans l'historique la ligne **ytest=...** et valider. La formule apparaît dans la ligne de commande. L'éditer pour obtenir **xtest=exp(-2*x)*cos(30*x)** et valider. Noter que l'on peut utiliser la boîte de dialogue *Data* \triangleright *Compute New Waves...* pour effectuer en une fois l'ensemble des commandes (création de waves, spécification de l'échelle horizontale et saisie de la formule).

7. Sélectionner *Graph* \triangleright *Append Traces to Graph* et, dans la boîte de dialogue, sélectionner **xtest** pour *Y Wave* et **_calculated_** pour *X Wave* en conservant les axes par défaut.

8. Les courbes obtenues, représentées sur la figure 5, peuvent être vues comme la position et la vitesse d'un oscillateur amorti. Pour obtenir un portrait de phase (cf. figure 6), il suffit de tracer **ytest** en fonction de **xtest** dans *Windows* \triangleright *New Graph*.

9. Pour obtenir des axes plus appropriés, double-cliquer sur l'un des axes, pointer l'onglet *Axis Range*. On obtient alors la courbe représentée sur la figure 6.

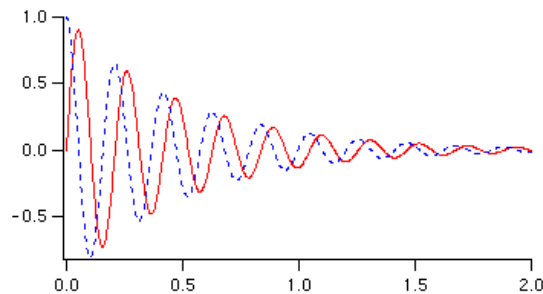


Fig. 5 : Courbe obtenue

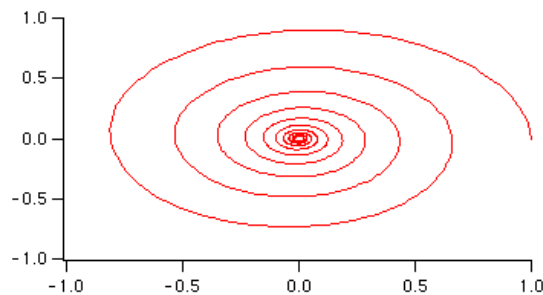


Fig. 6 : Portrait de phase

Enregistrer l'expérience dans *File* \triangleright *Save Experiment*. Fermer Igor.

b) Manipulations graphiques

Ajout d'une légende

Réouvrir l'expérience. Pour ajouter une légende, voici une démarche possible :

1. Le graphe *Graph0* (celui de gauche sur la figure) étant actif, ouvrir la boîte de dialogue *Graph* ▸ *Add Annotation*, puis *Legend*.

2. Dans la sous-fenêtre nommée *Annotation*, changer le second **ytest** en **Vitesse** et le second **xtest** en **Position**.

3. Sélectionner ensuite l'onglet *Position* et choisir *Right Top* dans le menu déroulant *Anchor*. Cela permet de spécifier la position de la légende de façon à ce qu'Igor la gère intelligemment lorsque la taille de la fenêtre graphique est modifiée.

Curseurs

Activer le graphique *Graph1* (celui de droite sur la figure) et ouvrir la boîte de dialogue *Graph* ▸ *Show Info* ou taper **Ctrl-I**. Le bas de la fenêtre graphique contient maintenant une barre de contrôle. Cliquer sur l'un des deux curseurs A ou B en bas à gauche et le faire glisser sur la courbe. Faire de même avec l'autre curseur.

Barres d'erreur

On peut définir différents types de barres d'erreur, en particulier des barres d'erreur éventuellement différentes pour chaque point, qui sont alors stockées dans une wave :

1. Dupliquer la wave **ytest** en **yerror**, puis saisir **yerror=0.2*sin(4*x)** dans la ligne de commande et valider.

2. Double-cliquer dans le graphique *Graph0* pour faire apparaître la boîte de dialogue *Modify Trace Appearance*, sélectionner **ytest** puis changer le style d'affichage pour remplacer le tracé de lignes par des "markers" de forme circulaire, bien visibles, et cocher la case **Error bars**, comme sur le panneau de la figure 7.

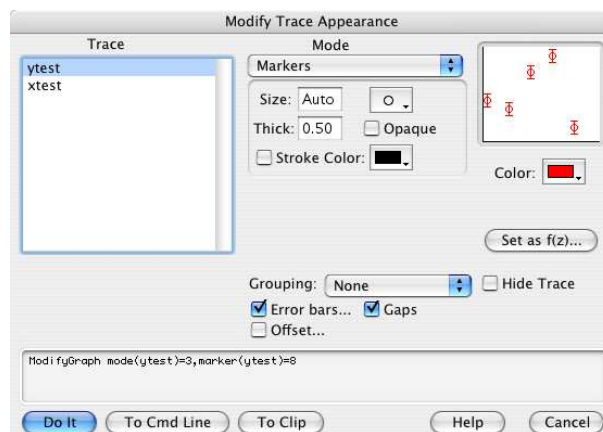


Fig. 7 : Choix du type de tracé

3. Dans la nouvelle boîte, représentée sur la figure 8, sélectionner l'option *+/- wave* et donner **yerror** à *Y+* et *Y-*, puis valider.

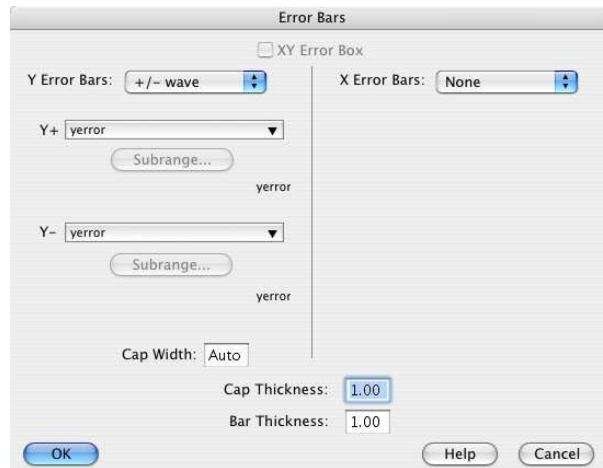


Fig. 8 : Ajout de barres d'erreur

Zoom et déplacement

Le graphique, ressemblant à celui de la figure 9, est maintenant un peu confus.

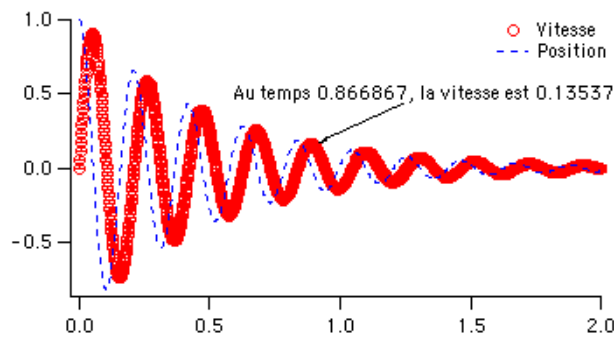


Fig. 9 : Affichage des barres d'erreur

1. Pour zoomer sur une portion de celui-ci, cliquer dans le graphique et déplacer la souris, pour dessiner un cadre. Cliquer dans ce cadre et sélectionner *Expand*, cf. figure 10.

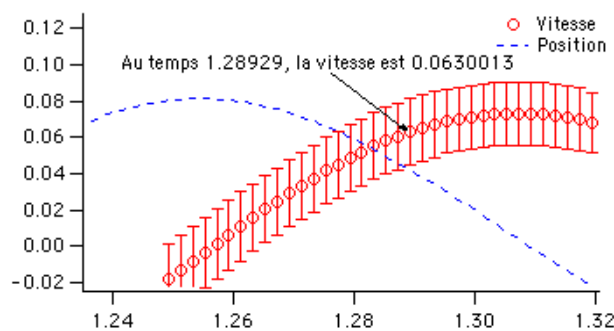


Fig. 10 : Zoom

2. Il est possible de déplacer la zone de zoom en pressant **Alt** et en cliquant-glissant. On peut revenir au plein écran en sélectionnant *Graph* \triangleright *Autoscale Axes* ou en tapant **Ctrl-A**.

c) Ajustement de courbes

Méthode de base

1. Activer la fenêtre *Graph0*. Pour rendre la figure plus lisible, retirer les barres d'erreur (*Modify Trace Appearance*), la courbe de position (*Graph ▸ Remove from Graph...*).

2. Sélectionner *Analysis ▸ Curve Fitting*. Dans la boîte de dialogue il existe plusieurs fonctions prédéfinies qui permettent des ajustements avec des valeurs initiales "automatiques" (onglet *Coefficients*, option *Auto Guess*).

3. Parmi ces fonctions, choisir **sin** et donner une valeur plausible (disons 100) au nombre de points par période. S'assurer que les champs **Y Data** et **X Data** contiennent bien **ytest** et **_calculated_**.

4. IGOR Pro a créé une wave appelée **fit_ytest** de 200 points seulement, mais dont l'abscisse couvre tout l'intervalle utile, et l'a ajoutée au graphique, comme montré sur la figure 11.

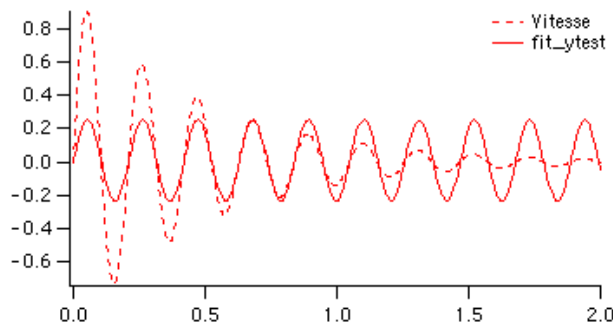


Fig. 11 : Ajustement

```
Fit converged properly
fit_ytest= W_coef[0]+W_coef[1]*sin(W_coef[2]*x+W_coef[3])
W_coef={0.008727,0.24486,29.956,-0.022089}
Y_chisq= 32.0624; Y_npnts= 1000; Y_numNaNs= 0; Y_numINFs= 0;
Y_startRow= 0; Y_endRow= 999; Y_startCol= 0; Y_endCol= 0;
W_sigma={0.00568,0.00805,0.0563,0.0652}
Coefficient values ± one standard deviation
y0 = 0.008727 ± 0.00568
A = 0.24486 ± 0.00805
f = 29.956 ± 0.0563
phi = -0.022089 ± 0.0652
```

Fig. 12 : Résultats d'un ajustement

5. Observer les résultats numériques dans la fenêtre de commande (faire **Ctrl-J** pour l'afficher si elle est masquée), cf. figure 12. Noter que l'ajustement a donné une valeur correcte de la fréquence, mais qu'il prétend avoir une précision de l'ordre de 3%. On peut reprendre l'ajustement sur une portion seulement de la courbe : placer les curseurs de part et d'autre de la région choisie, dans la boîte de dialogue *Curve Fitting*, sélectionner l'onglet *Data Options*, et cliquer sur le bouton *Cursors*.

Utilisation de fonctions définies par l'utilisateur

Pour améliorer l'ajustement, il faut définir une fonction décrivant l'oscillation amortie :

1. Sélectionner *Analysis ▸ Curve Fitting* et cliquer sur *New Fit Function*, de façon à faire apparaître la boîte de dialogue représentée sur le panneau de la figure 13.

2. Saisir la fonction $f(x)=y_0+A*\exp(-x/\tau)*\sin(f*x+\phi)$, déclarer les 5 paramètres de l'ajustement (**y0,A,tau,f,phi**) ainsi que la variable indépendante **x**, puis valider.

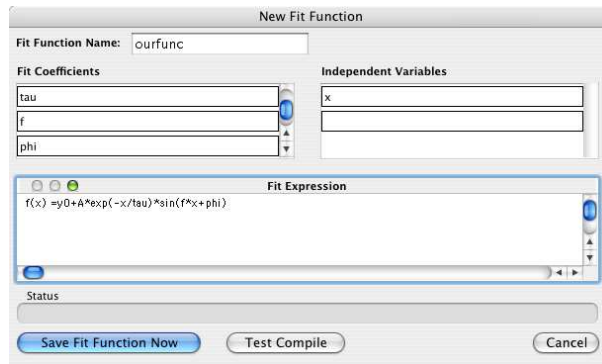


Fig. 13 : Saisie d'une fonction d'ajustement par l'utilisateur

3. Sélectionner l'onglet *Coefficients* et saisir des paramètres initiaux raisonnables, par exemple comme sur le panneau de la figure 14, puis lancer l'ajustement.

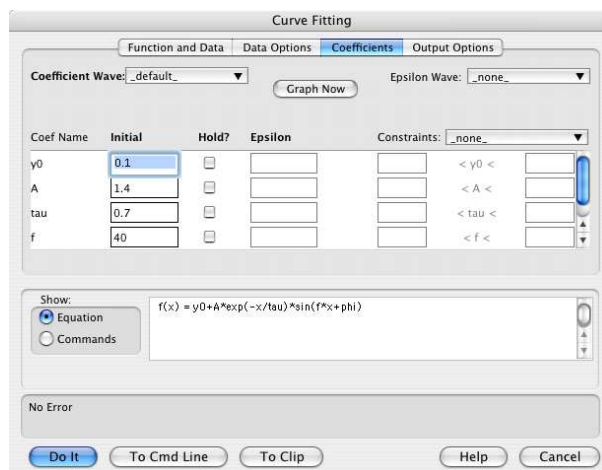
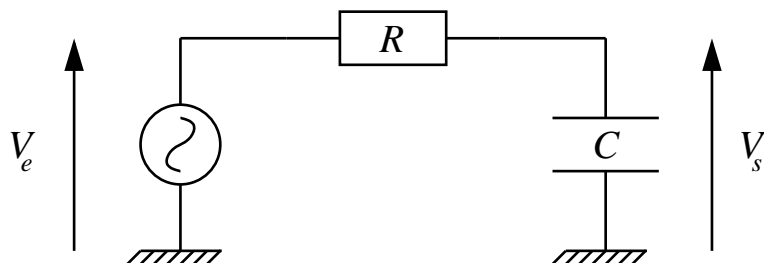


Fig. 14 : Paramètres initiaux de l'ajustement

2) Mise en pratique des programmes d'acquisition

a) Fonction de transfert d'un circuit RC

Réaliser le quadripôle de la figure suivante en réfléchissant au préalable au lien entre les valeurs choisies pour la résistance et la capacité d'une part, et la gamme de fréquence sur laquelle on se placera d'autre part. On veillera à utiliser le matériel adapté à l'acquisition sous IGOR, à savoir l'un des deux GBF Agilent 33220A ou HP33120A, et l'un des deux oscilloscopes Hewlett-Packard HP54600 ou Tektronix TDS1012, et on se reportera à la description de l'interface graphique et de l'utilisation du programme *Bode* dans la notice correspondante. Vérifier le branchement correct des connecteurs GPIB à l'arrière des appareils. On mettra l'entrée du quadripôle sur la voie 1, la sortie sur la voie 2, et on pourra utiliser la voie de synchronisation EXT de l'oscilloscope, reliée à la sortie SYNC du GBF.



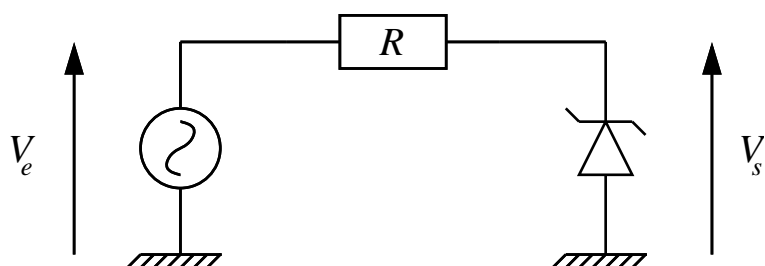
Visualiser sur l'oscilloscope l'évolution de l'amplitude et de la phase du signal de sortie, par rapport à celles du signal d'entrée, en fonction de la fréquence de celui-ci. Sélectionner *Acquisition* \triangleright *Programmes d'acquisition* \triangleright *Diagramme de Bode*, puis ouvrir la fenêtre de contrôle dans *Acquisition* \triangleright *Fenêtre Bode*. Initialiser la communication avec le générateur et l'oscilloscope (en cliquant sur Init (TDS) ou Init (HPS) selon l'oscilloscope utilisé), choisir la plage de fréquence sur laquelle sera effectuée l'acquisition, et prendre pour commencer un nombre de points de mesure assez restreint (une dizaine). Lancer l'acquisition. Pour sauvegarder, il faudra peut-être agrandir la fenêtre pour trouver le bouton *Sauve*. Le gain (en décibels), la phase (en degrés), la fréquence, et la fonction de transfert complexe sont copiées dans des waves, et le diagramme de Bode est sauvé dans un graphique nommé par défaut *G_run*.

Créer un nouveau graphique du gain en fonction de la fréquence, et y effectuer un ajustement par le gain théorique en choisissant correctement les paramètres libres, de façon à ne pas avoir de redondance. Recommencer pour la phase, et comparer les résultats. Les deux ajustements sont-ils contraints de la même façon ?

Dans la fenêtre *G_run*, utiliser le bouton *Polaire* pour visualiser la fonction de transfert dans le plan complexe, qu'il s'agit maintenant d'ajuster directement. Pour cela, ouvrir la boîte de dialogue *Fit Complexe* et entrer la forme et les paramètres de la fonction de transfert théorique. Notons que *II* désigne le nombre imaginaire *i*. Sélectionner chaque paramètre dans le menu déroulant *Par*, et spécifier une valeur initiale raisonnable pour l'ajustement dans le champ *Val*, puis valider. Comparer le résultat aux ajustements précédents. Quel est l'intérêt de cette méthode ?

b) Caractéristique de la diode Zener

Réaliser le circuit de la figure suivante, en choisissant soigneusement la valeur de *R* pour n'endommager ni le GBF ni la diode Zener. Quelles sont les tensions à visualiser pour obtenir la caractéristique courant-tension de la diode ? Peut-on le faire à l'aide d'un oscilloscope numérique (non différentiel) ?



Première méthode

Relire les courbes de l'oscilloscope à l'aide du programme *Oscilloscope* dans IGOR. On se reportera à la notice pour plus d'informations sur ce programme et son interface graphique. Quel est l'intérêt du mode *moyenne* dans IGOR pour cette expérience ? Tracer maintenant la caractéristique dans IGOR. Faire une régression linéaire sur les portions appropriées de la courbe pour obtenir la tension de coude et la tension Zener. Dans le cas général, cela ne marche pas, et l'on doit réordonner les données enregistrées. Pour cela, ouvrir la boîte de dialogue *Analysis* ▷ *Sort...* et, si besoin est, sélectionner *Sort* dans le menu déroulant *Operation*. Sélectionner ensuite la wave des abscisses dans *Key Wave* et les deux waves (abscisses **et** ordonnées) dans *Waves to Sort*, puis valider.

Seconde méthode

Il est beaucoup plus efficace de faire l'expérience en utilisant le programme *Enregistreur* dans IGOR. Activer la sortie DAC en choisissant une rampe de tension permettant d'explorer correctement la caractéristique de la diode Zener. Brancher les différents canaux du boîtier NIDAQ sur le circuit de façon à pouvoir exploiter le mode différentiel. Quel est l'intérêt de cette méthode ? Après avoir choisi les paramètres, lancer l'acquisition, puis reprendre sur les nouvelles données les ajustements effectués plus haut, pour en déduire la tension de coude et la tension Zener.

c) Importation de données

Il est possible de créer des waves en important des données issues d'autres logiciels. Par exemple, si l'on dispose d'un fichier de type ASCII dans lequel des données sont stockées en colonne, la boîte de dialogue *Data* ▷ *Load Waves* ▷ *Load Delimited Text...* permet de créer autant de waves que de colonnes, et les remplit avec les données du fichier. Il est également possible d'importer les noms souhaités pour ces waves en les incluant dans la première ligne du fichier. On peut ensuite appliquer aux waves ainsi créées les mêmes manipulations qu'aux waves construites directement dans IGOR. Notons qu'il est possible que certains logiciels exportent des données dans un fichier texte non directement importable dans IGOR. Effectuer un copier-coller du fichier dans un éditeur de texte peut permettre de résoudre ce problème.

d) Capture de données

Accessible via le menu *Graph* ▷ *Pique Points*, cette fonction permet de constituer des waves en sélectionnant des points particuliers sur un graphe (par exemple en localisant "à la main" les zéros ou les extrema d'une fonction). Elle fait apparaître une boîte de dialogue permettant de choisir la wave cible. Celle-ci est alors affichée dans une nouvelle fenêtre avec les contrôles appropriés. Le bouton *Create Waves* crée quatre waves, nommées **XnomA**, **YnomA**, **XnomB** et **YnomB**, où **nom** est le nom de la wave cible choisie, dans lesquelles les coordonnées des deux curseurs A et B sont mémorisées, chaque fois que l'on actionne le bouton *Pick!*. Les boutons *Edit* et *View* permettent de visualiser ces quatre waves, dans une table et dans un graphe respectivement, actualisés automatiquement à chaque ajout de point. On peut également supprimer un point, qu'on aura choisi par le biais des deux flèches, via le bouton *Del point*.

e) Intervalles

Cette fonction, accessible dans le menu *Graph* \triangleright *Intervalles*, permet de mesurer directement un intervalle horizontal ou vertical entre les deux curseurs. Il suffit de les déplacer comme habituellement, puis de cliquer sur l'un des deux boutons *Fl. Horizontale* ou *Fl. Verticale*. Ceci crée des waves nommées *Harr_m_n* et *Varr_m_n*, où *m* et *n* spécifient le numéro des points extrêmes de l'intervalle, et les affiche en superposition du graphique. Le bouton *Fin* fait disparaître les contrôles mais laisse les intervalles affichés.