

## Introduction au logiciel IGOR

## 1 Présentation générale

Le logiciel IGOR est un logiciel scientifique qui permet d'analyser et de représenter des données. Chaque fichier Igor est appelé "experiment" et porte l'extension `.pxp`.

- Créer une nouvelle expérience et la sauvegarder sous le nom `introduction.pxp`

## 1.1 Les "waves"

Les données numériques à analyser sont regroupées dans des "waves". Ce sont des matrices pouvant avoir de 1 à 4 dimensions. Il est possible de visualiser et de modifier le contenu d'une wave à l'aide d'une "table", mais contrairement à un logiciel classique tel que EXCELL, il n'est pas nécessaire de faire apparaître les waves dans un tableau pour qu'elles existent effectivement. On peut utiliser 3 méthodes pour créer une wave :

- Méthode 1 : en remplissant directement les colonnes de la table apparaissant à l'écran.

Créer les deux waves suivantes<sup>1</sup> :

<i>Resistance</i> ( $\Omega$ )	84.5	74.5	65	51.4	38.6	30.2	21.9	14	5.1	4.2	3.4	2.7	2.1
<i>Temperature</i> ( <i>K</i> )	309	312	315	320	328	334	342	355	375	400	404	412	421

- Méthode 2 : en utilisant le menu `Data > Make wave`.

Dans la fenêtre qui apparaît, donner le nom de la wave (*angle*), la dimension (1) et la taille (360).

Taper dans la fenêtre de commande :

```
angle=x
```

- Méthode 3 : en téléchargeant un fichier texte avec le menu `Data > Load Wave > Load General Text`.

Sélectionner le fichier `signal.dat` à télécharger sur le site du département, rubrique Préparation à l'agrégation > Cours en ligne > Initiation à Igor. Une fenêtre apparaît pour rentrer le nom que l'on souhaite donner à la wave (*signal*).

- Visualiser le contenu des waves *angle* et *signal* en les rajoutant dans la table, à l'aide du menu `Table > Append Columns to Table`.

Il est possible de faire diverses opérations sur les waves comme les renommer, les exporter dans un fichier texte, supprimer ou rajouter des points, etc. Pour cela, se laisser guider par le menu `Data`.

---

1. IGOR ne fait pas la différence entre les majuscules et les minuscules, mais il n'apprécie pas les accents.

## 1.2 Les graphiques

Les graphiques sont utilisés pour représenter les données contenues dans les waves.

- Représenter la *resistance* en fonction de la *temperature* avec le menu **Windows > New Graph**. Mettre des curseurs à la place de la ligne continue (en double-cliquant sur la courbe), ajouter les légendes des axes et une grille (en double-cliquant sur les axes ordonnées/abscisses).
- Ajouter des barres d'erreur de 10 % sur la valeur de la résistance (double-cliquer sur la courbe puis cocher la case **Error Bars**).
- Utiliser une échelle manuelle sur les axes afin d'afficher la courbe entre 300 et 425 selon  $x$  et entre 0 et 90 selon  $y$ .
- Placer un curseur sur un point du graph pour visualiser directement ses coordonnées. Pour cela, utiliser le menu **Graph > Show Info** ou utiliser le raccourci clavier (Ctrl+I).
- Représenter à nouveau la *resistance* en fonction de la *temperature*, avec cette fois une échelle logarithmique en ordonnées (en double-cliquant sur l'axe des ordonnées).
- Créer un diagramme polaire représentant le *signal* en fonction de l'*angle* avec le menu **Windows > New > Packages > Polar Graph**

On peut mettre des indications sur le graph avec le menu **Graph > Add Annotation** et ajouter la légende des courbes (menu **Annotation>Legend** de la fenêtre **Add Annotation**).

Il est possible d'inclure les graphiques dans un rapport ou une présentation. Pour des logiciels tels que WORD ou POWERPOINT, il suffit de faire un "copier-coller". On peut également enregistrer les graphiques sous des formats particuliers tel que le `.eps` (utile pour les rapports écrits en latex) avec le menu **File > Save Graphics** en prenant soin de cocher la case **Supress Preview**.

## 1.3 "X-scaling"

À chaque wave est associée une échelle (**X scaling**) permettant de définir quel est l'espacement entre deux données consécutives. Ainsi, à chaque point  $y$  de la wave est associé une abscisse  $x$ . Par défaut, l'abscisse  $x$  est égale au numéro du point  $y$ . Mais on peut modifier cette échelle par défaut avec le menu **Data > Change Wave Scaling**. On peut alors représenter la wave  $y$  en fonction de  $x$ , sans créer de wave supplémentaire pour l'abscisse (à condition bien sûr que les points soient régulièrement espacés).

- Télécharger le fichier `spectre.dat` qui donne le spectre d'un filtre interférentiel entre 350 nm et 1080 nm. Définir l'échelle associée à la wave *spectre* avec le menu **Data > Change Wave Scaling** (bloc supérieur) et représenter ce spectre en fonction de la longueur d'onde (en ordonnée *spectre*, en abscisse *calculated*) entre 350 et 750 nm.

## 1.4 La fenêtre de commande

Jusqu'à maintenant, on a utilisé des menus contextuels pour réaliser les différentes opérations. On peut également taper directement les commandes IGOR sur la ligne de commande. On peut en particulier réaliser des opérations sur les waves<sup>2</sup>, par exemple :

```
wave2=ln(wave1^2+wave0)
wave5=wave4[730-p]
wave6=exp(-x^2/5)
```

au lieu d'utiliser le menu **Analysis > Compose Expression**

Pour définir l'échelle associée à la wave *spectre*, on aurait écrit :

```
setscale x,350,1080,spectre
```

---

2. Il faut que les waves existent au préalable.

## 1.5 Les “page layouts”

Les “page layouts” permettent de visualiser et d’imprimer simultanément plusieurs courbes. On peut y rajouter également des annotations ou des figures supplémentaires. Ils sont créés avec le menu **Windows > New Layout** et il suffit de sélectionner les graphiques (ou tables) qui nous intéressent. Une modification apportée sur l’un de ces graphiques (ou tables) est automatiquement reportée sur le layout<sup>3</sup>

## 2 Analyse statistique d’une série de mesures

- Télécharger les fichiers *serie1.dat* et *serie.dat* qui contiennent des mesures de résistances. *serie1.dat* représente un extrait des premiers points de *serie.dat*.
- Tracer l’histogramme donnant la répartition des valeurs des résistances (*serie.dat*) grâce au module **Analysis > Histogram**. Dans la fenêtre qui apparaît, préciser le **Bin start** (case de départ), le **Bin Width** (largeur du pas) et le **Number of Bins** (nombre de pas). La taille et l’échelle de la wave (*nom-wave\_Hist*) sont alors automatiquement calculées. Représenter graphiquement (*nom-wave\_Hist*). On obtient un histogramme en sélectionnant le mode **Bars to next** à la place de **Line between points** pour l’affichage de la courbe.
- Procéder à l’analyse statistique avec le menu **Analysis > Wave Stats**. Les résultats de cette analyse s’affichent alors dans la fenêtre de commande. Pour comprendre la signification des grandeurs obtenues, utilisez l’aide **Help > Command Help > Wave stats**.
- A partir de *serie1.dat* qu’afficheriez-vous comme résultat d’expérience ? Et à partir de *serie.dat* ? Où et comment interviennent le théorème central limit et le coefficient de Student (commande **StudentT**, voir l’aide) ?

Voici un énoncé court du théorème central limit (ou théorème de la limite centrale) : quelle que soit la loi de distribution d’une variable aléatoire  $x_i$ , du moment que son écart type  $\sigma$  est fini, la loi de distribution de la moyenne des  $x_i$  ( $N$  points indépendants) tend vers une gaussienne centrée sur  $\langle x \rangle$  et de largeur  $\sigma/\sqrt{N}$ . Pour l’illustrer, calculer la valeur moyenne des points de *serie.dat* par groupe de 10 (par exemple des points 0 à 9, puis 10 à 19, etc...) grâce à l’option **Range** du menu **Wave Stats**. Il est aussi possible d’utiliser la ligne de commande en remontant dans l’historique. Afficher dans une nouvelle wave ces différentes moyennes. Que pensez-vous de leur distribution ?

La densité de probabilité  $f(x)$  qui a permis de générer les données *serie.dat* est constituée d’une porte de hauteur 0.5 entre  $x = 485$  et  $x = 495$  et d’une autre porte de hauteur 1 entre  $x = 505$  et  $x = 515$ . Donner un exemple de réalisation d’une telle densité de probabilité. Calculer (à la main) sa valeur moyenne, son moment d’ordre deux et son écart type. Commenter les résultats déduits des séries de points.

---

3. De même, une modification sur une wave est automatiquement reportée sur tous les graphiques où elle apparaît.

### 3 Ajustement de courbes

La courbe représentant la résistance d'une thermistance en fonction de la température peut être ajustée par une loi exponentielle de la forme :

$$R(T) = R_0 \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right)$$

#### 3.1 Ajustement avec une fonction prédéfinie

Nous allons tout d'abord réaliser l'ajustement de la fonction  $\ln(R)$  en fonction de  $1/T$ .

- Dupliquer les waves *resistance* et *temperature* (**Data > Duplicate**) et les nommer *ln\_resistance* et *inv\_temperature*. Puis afficher dans *ln\_resistance*  $\ln(R)$  et dans *inv\_temperature*  $1/T$ .
- Représenter graphiquement la wave *ln\_resistance* en fonction de *inv\_temperature*.
- Cliquer sur le graphique pour le rendre actif puis sur le menu **Analysis > Curve Fitting**. Dans la fenêtre qui apparaît, sélectionner la fonction (**Line**), Y data (*ln\_resistance*), X data (*inv\_temperature*) et cliquer sur **Do It**. L'ajustement se réalise et on obtient dans la fenêtre de commande, la valeur des paramètres de la fonction  $a + bx$ . En déduire la valeur de  $E_g$ .
- Utilisation de l'aide **Help > Help Topics** puis dans **Topics** cliquez sur **Curve fitting**.
- Dans le cas d'un ensemble de  $N$  couples de points  $(x_i, y_i)$  à ajuster par une droite  $y = a + bx$ , écrire le principe de la méthode du  $\chi_2$  et donner l'expression des coefficients  $a$  et  $b$  calculée par le logiciel.

#### 3.2 Ajustement avec une fonction définie par l'utilisateur

Nous allons maintenant ajuster directement la courbe donnant la *resistance* en fonction de la *temperature*. Il faut dans un premier temps définir la fonction  $A \times \exp(B/T)$ .

- Cliquer sur le menu **Analysis > Curve Fitting** puis sur le bouton **New Fit Function**. Remplir les différents champs dans la fenêtre qui s'ouvre alors (nom de la fonction **thermistance**, paramètres  $A$  et  $B$ , variable  $T$  et fonction  $f(T)$ ).
- Procéder de la même façon qu'avec une fonction prédéfinie, en sélectionnant maintenant la fonction **thermistance**. Il est maintenant nécessaire de donner une estimation des paramètres  $A$  et  $B$  dans l'onglet **Coefficients** qui sera utilisée pour amorcer l'algorithme. On peut rentrer par exemple  $A=1$  et  $B=4000$ . Si jamais le fit ne converge pas, il faut essayer à nouveau avec d'autres valeurs pour  $A$  et  $B$ . Remarquons que pour les fonctions prédéfinies, il n'est pas nécessaire de faire une telle estimation des paramètres à ajuster.
- Chercher un couple de paramètres initiaux  $(A, B)$  qui fait diverger l'algorithme d'ajustement.

#### Quelques remarques

1. On peut procéder à un ajustement d'une partie d'une courbe seulement, en rajoutant deux curseurs (qui définissent la partie à ajuster) et en cliquant sur le bouton **Cursors** dans l'intercalaire **Data Options**.
2. Lors de l'ajustement, on peut fixer la valeur de un ou plusieurs paramètres en cochant la case **Curve fitting > Coefficients > Hold?**
3. Il est possible de n'effectuer l'ajustement que sur certains des points en créant une wave de même dimension que la wave originelle et en plaçant des 1 pour les points à garder et des 0 pour ceux à supprimer. Il faut ensuite sélectionner cette wave dans le menu **Curve fitting > Data Options > Data Mask**.

4. Lors de l'ajustement il est aussi possible de prendre en compte une pondération des points en indiquant les valeurs des barres d'erreur pour chaque points dans une wave et en la sélectionnant dans le menu `Curve fitting > Data Options > Weighting`.

## 4 Acquisition de données depuis un oscilloscope

Il est possible de transférer directement sous Igor les points apparaissant sur la fenêtre d'un oscilloscope. Ce module d'acquisition fonctionne avec la plupart des oscilloscopes du département et est adapté à la version 6 d'Igor. Un document très complet est disponible sur le site du département, rubrique Département de physique > Plateforme expérimentale > Matériel > Interfaçage oscilloscopes Igor. Pour les "vieux" oscilloscopes, il s'agit d'un système GPIB/USB. Pour les oscilloscopes DSO, la connexion est établie par un câble USB.

Se procurer un oscilloscope DSO, un GBF et un câble USB adapté. Ces derniers sont rangés dans la boîte en bois sur la paillasse près de la fenêtre de la salle d'électronique. Connecter le câble du côté plat (standard) à l'ordinateur et du côté carré à la face arrière de l'oscilloscope (et non sur la face avant !). Afficher à l'oscilloscope un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 10 V crête à crête.

Pour faire apparaître la fenêtre de dialogue sous Igor, utiliser le menu `Acquisition > Connexion USB > Oscilloscope en USB`. Dans la fenêtre, il faut d'abord cliquer sur le bouton `Initialisation DSO` puis sur celui `Lire`. Les caractéristiques de l'échantillonnage sont indiquées en bas de la fenêtre. Les waves correspondant aux signaux apparaissent dans le répertoire `Scope` sous les noms `CH1` et `CH2`. Le bouton `Save` permet de les sauvegarder sous un nom choisi par l'utilisateur. Elles apparaissent alors dans le répertoire `Saved`.

## 5 Transformée de Fourier

A partir de la version 5.01 d'Igor, le logiciel est équipé du module "transformée de Fourier" dont la fenêtre de dialogue s'affiche via le menu `Analysis > Fourier Transform`. Il s'agit d'un algorithme de transformée de Fourier discrète qui fonctionne sur une wave (ou une partie de wave) possédant un nombre pair de points. Il est possible de choisir le type de résultat affiché (complexe, partie réelle, module ou module au carré) ainsi que le fenêtrage éventuel (Hanning,...).

Le logiciel effectue une transformée de Fourier discrète. C'est-à-dire que pour un signal  $f(t)$  discrétisé en  $N$  points espacés de  $\delta t$ , il calcule (à un facteur multiplicatif près)

$$F_m = \sum_1^N f_n e^{-2\pi i n \delta t m \delta \nu} = \sum_1^N f_n e^{-2\pi i \frac{nm}{N}}$$

avec pour notations  $f_n = f(n\delta t)$  et  $\delta t \delta \nu = 1/N$  où  $\delta \nu$  est l'intervalle en fréquence entre deux valeurs de  $F$ .

- Quelle est la différence entre une transformée de Fourier discrète et une transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform FFT) ?
- Effectuer la transformée de Fourier du signal affiché à l'oscilloscope. Si le matériel n'est pas disponible, tracer le signal sur Igor sur 10 périodes en utilisant 2500 points. Puis effectuer sa transformée de Fourier.
- Quel est le lien entre les abscisses du signal et de sa transformée de Fourier ? Choisir la base de temps de l'oscilloscope afin que le pic à 1 kHz apparaisse au milieu de la fenêtre (sans toucher à l'échelle des abscisses). Si le matériel n'est pas disponible, faire de même avec le signal tracé sur

Igor, ce qui correspond à jouer avec la fonction `wave scaling`.

- Montrer (à la main) que la fonction discrétisée  $F_m$  est périodique de période  $N$ .
- Créer une wave de 512 points appelée *fonction* telle que

$$fonction(x) = \cos(2\pi x) + \cos(2\pi 5x)$$

avec  $x$  compris entre 0 et 60 (`Wave Scaling`). Effectuer la transformée de Fourier de *fonction* et identifier les pics. Commentaires ?

- Refaire de même avec une wave appelée *fonction2* de 1024 points. Comparer les transformées de Fourier et afficher les signaux. Quel phénomène est mis en évidence ?
- Montrer que  $|F_m|^2 = |F_{N-m}|^2$  si  $f$  est à valeurs réelles. Vérifier que seuls les  $N/2$  premiers points de  $F_m$  sont affichés par le logiciel. Quel serait l'aspect de  $F_m$  complet ? Justifier alors le phénomène observé à l'alinéa précédent.

Nous allons maintenant évaluer l'influence d'effectuer une transformée de Fourier discrète sur une fenêtre temporelle de largeur  $T = N\delta t$ .

- Créer une wave de 400 points nommée *porte* qui vaut 1 entre  $-1/2$  et  $1/2$  et 0 ailleurs avec une abscisse  $x$  comprise entre  $-1$  et  $1$ . La tracer.
- Tracer la transformée de Fourier de *porte* et modifier les échelles des axes afin de faire apparaître les oscillations.
- Calculer (à la main) la transformée de Fourier de cette fonction porte. Pour rappel, voici une formulation de la transformée de Fourier d'une fonction  $f$  :

$$\hat{f}(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-2\pi i\nu t} dt$$

- Créer une wave nommée *porte-tf* pour comparer votre formule analytique au calcul du logiciel. Tracer cette wave sur le même graphique que *porte-FFT* et ajuster l'amplitude de *porte-tf* en utilisant l'expression '*porte-tf*'= $10^*$ '*porte-tf*' dans la fenêtre de commande le nombre de fois nécessaire<sup>4</sup>.
- Utiliser pour *porte-FFT* le mode de tracé `Lines and Markers`. Commentaires ?
- Considérons une fonction  $g(t)$  périodique de période  $T$ . Donner l'expression de ses coefficients de Fourier  $c_m[g]$ . Considérons maintenant une fonction  $f$  égale à  $g$  sur  $t \in [-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$  et nulle ailleurs. Montrer que

$$c_m[g] \propto \hat{f}\left(\frac{m}{T}\right)$$

Justifier que  $F_m$  tend vers  $\hat{f}\left(\frac{m}{T}\right)$  pour  $N \rightarrow \infty$ . Pour  $f$  représentant la wave *porte*, tracer à la main les fonctions  $f$  et  $g$  sur  $x \in [-3, 3]$ . A la lumière de ces constatations, expliquer les observations de l'alinéa précédent.

---

4. Noter la nécessité d'entourer le nom d'une wave de guillemets simples lorsque celui-ci possède des caractères particuliers tels que "-".