
Outils informatiques I

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.

I) Les outils informatiques à l'agrégation

Voici une petite liste par usage :

- Tracé de graphes et courbes expérimentales
 - **QtiPlot** : ce logiciel basé sur Python permet d'obtenir des rendus de graphes professionnels. Il permet en particulier de tracer les incertitudes verticales et horizontales, d'ajuster les courbes avec de nombreux modèles, tout en prenant en compte les incertitudes verticales.
 - **Regressi** : logiciel libre, s'il est très utilisé dans les lycées, son utilisation est déconseillée à l'agrégation (de même que celle d' **Excel** ou **LibreOffice Calc**) pour tracer des graphes. Ces logiciels ne sont pas conçus dans ce but.
- Acquisition de données
 - Au cours de l'année, on utilisera un programme appelé **Interface.exe** développé pour le centre de Montrouge afin de communiquer avec les appareils de mesure (oscilloscopes, multimètres, etc.)
 - **Latis Pro** : logiciel propriétaire édité par *EuroSmart* (ex-**Synchronie**). Populaire dans les lycées, il permet d'acquérir des données extérieures grâce à sa centrale d'acquisition SYSAM-SP5 (souvent appelée *galette*), ainsi que d'analyser des vidéos et de tracer des graphes. On limitera son utilisation à la communication avec la centrale d'acquisition lorsque nécessaire, et on reviendra à QtiPlot pour toute fonction graphique.
- Logiciels dédiés
 - **SpectraSuite** : logiciel propriétaire de *Ocean Optics*, il permet d'interfacer les spectromètres USB de cette marque.
 - **Atelier Scientifique** ou **Cinéris** : logiciels propriétaires édités par *Jeulin*, ils permettent de piloter la caméra rapide Jeulin, ainsi qu'étudier les vidéos avec un suivi dynamique.
 - etc.
- Simulations numériques

Le langage **Python** permet d'écrire des programmes simples simulant des phénomènes physiques. Plusieurs programmes ont été écrits par les enseignants dans cette optique, et sont disponibles sur toutes les machines de la prépa. Le logiciel que l'on utilisera cette année et permettant l'interprétation de ces programmes s'appelle **Spyder**.

II) QtiPlot

Dans cette partie, nous allons vous familiariser avec un logiciel très pratique et puissant de tracé de courbes expérimentales : QtiPlot, logiciel semi-libre (SciDaVis en est une version open-source, mais moins puissante).

1) Premiers pas

Ouvrir le logiciel QtiPlot. Une table apparaît. Commençons par un exemple simple.

1. Taper 1, 2, 3, etc. jusqu'à 9 dans la première colonne.

2. Sélectionner la colonne 2, puis dans la barre d'outils aller dans *Table, Fixer les valeurs de la colonne à*. Dans la nouvelle fenêtre, vous allez pouvoir définir une expression pour la colonne 2. Par exemple $0.1 * col("1")$. Cliquer sur *OK*. La colonne 2 est remplie. Attention à utiliser des points pour séparer les décimales, pas des virgules.

3. Ajouter la valeur "10" à la colonne 1. La colonne 2 est directement mise à jour, de même si une valeur de la colonne 1 est modifiée. Si vous modifiez en revanche une valeur dans la colonne 2, le calcul automatique est désactivé pour cette case. Vous pouvez le rétablir avec *Table, Recalculer*.

3. Sélectionner les deux colonnes, puis dans la barre d'outils choisir *Graphe, Symbole et Nuage* (une autre possibilité est un clic droit sur la sélection). Ce graphe ressemble fortement à une droite. Pour ajuster les points, sélectionner le graphe, et dans *Analyse*, sélectionner *Ajustement linéaire*. L'ajustement est très bon : un coefficient $R^2 = 1$ indique que la courbe passe exactement par tous les points. Ce coefficient mesure l'éloignement mathématique de la courbe d'ajustement et des points de mesure. Il ne contient aucune information sur des incertitudes physiques. Dans la légende et la fenêtre log sont données les valeurs des paramètres A et B ainsi que leurs incertitudes associées.

2) Raffinements

Nous avons réussi à tracer une courbe et l'ajuster par un modèle linéaire. Essayons d'aller un peu plus loin : réduire Table1 et Graphe1, puis avec un clic droit sur le fond gris, choisir *Nouvelle fenêtre, Nouvelle table* (ou Ctrl+T).

1. Ajouter une colonne supplémentaire. Pour cela plusieurs possibilités : via le menu *Table, Ajouter une colonne* ; ou clic-droit sur la table ; ou encore double-clic à droite de la cellule d'entête de la seconde colonne. Cette colonne servira aux incertitudes de mesure. Pour accéder aux propriétés de la colonne "3", double-cliquer sur la cellule d'entête, et dans *Type de Graphe* choisir *Erreur en Y*.

2. Avec un clic droit sur l'entête de la première colonne, choisir *Remplir la colonne avec et Nombres aléatoires normaux* (ce qui donne des nombres aléatoires distribués avec une gaussienne). Pour la colonne "2", choisir cette fois *Fixer les valeurs de la colonne*, et faites en sorte que les valeurs de cette colonne soient $e^x \times (1.5 + \alpha_i)$ avec les α_i des nombres aléatoires entre 0 et 1 (trouver la fonction random en cliquant sur le symbole Σ , et mettre comme argument de la fonction la case i de la colonne "1"). Enfin, remplir la colonne "3" avec des valeurs correspondant à 10% de la colonne "2".

3. Sélectionner les trois colonnes de la table en maintenant appuyée la touche Ctrl enfoncée, et tracer le graphe de "2" en fonction de "1". Les barres d'erreur devraient être présentes.

4. Pour modifier le style deux fenêtres importantes :

- en double-cliquant n'importe où sur le graphe ou la courbe vous arriverez sur *Détail du graphe* (gère ce qui a trait au tracé en lui-même : couleur des courbes, symboles, barres d'erreurs, etc.) ;
- en cliquant sur les axes vous modifierez les *Propriétés générales des graphes* (modifier la grille, l'échelle, pour passer en log/log, etc.).

5. Ça ressemble fort à une exponentielle... Lorsque la fenêtre du graphe est active, aller dans l'onglet *Analyse, Assistant d'ajustement*. Choisir la fonction croissance exponentielle (dans la catégorie *Interne*, et cocher *Ajuster par une fonction interne*. Appuyer sur la flèche vers la droite. Cocher la case *Aperçu* pour voir le tracé de l'ajustement avec les valeurs par défaut. Dans *Poids*, choisir *Instrumental*, et cliquer sur *Ajuster*. Si l'ajustement a convergé, cliquer sur la flèche de droite. Sinon modifier les paramètres initiaux. Dans *Sortie personnalisée*, ne modifiez rien, et fermer la fenêtre. QtiPlot prend en compte les incertitudes lors de l'ajustement. Vous pouvez le vérifier en créant un second graphe, avec les mêmes valeurs sans barres d'erreur, et comparer les ajustements.

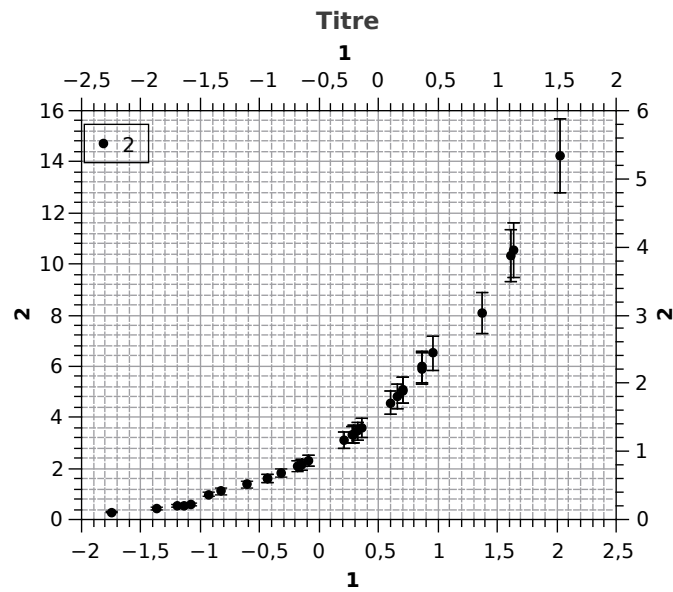


FIG. 1 – Graphe avec incertitudes

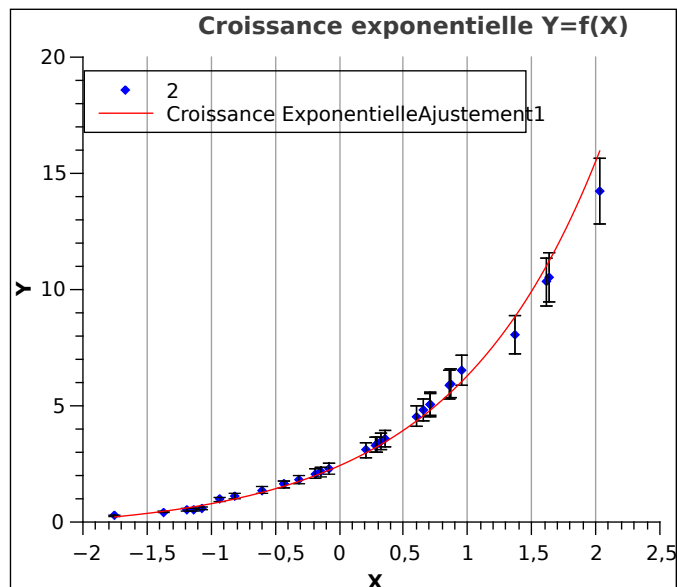


FIG. 2 – Graphe avec ajustement

3) Quelques remarques sur les incertitudes expérimentales

Lors d'un ajustement par un modèle, QtiPlot fournit en plus des paramètres de l'ajustement plusieurs coefficients permettant de tester sa validité.

Le coefficient de corrélation r mesure l'éloignement entre les points de mesure et les points de même abscisse sur la courbe ; il donne uniquement une information statistique sur les données.

Lorsque des incertitudes sont spécifiées, QtiPlot calcule également le moindre carré χ^2 pour N points défini par

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

où σ_i est l'incertitude de mesure sur le point i . C'est ce coefficient qui est physiquement pertinent :

- Pour valider le modèle, il faut que l'ajustement soit raisonnablement proche des points (entre 0 et 2 fois la barre d'erreur typiquement). Dans ce cas, chaque terme de la somme est proche de 1, et donc $\chi^2 \approx N$. Plus précisément, si k est le nombre de paramètres ajustables dans le modèle, un bon ajustement est obtenu si

$$\chi_{\text{red}}^2 = \frac{\chi^2}{N-k} \approx 1$$

$N - k$ est le nombre de degrés de liberté du problème, et on note aussi $\chi_{\text{red}}^2 = \chi^2 / \text{doF}$ (doF = *degree of freedom*). C'est ce coefficient qui est donné par QtiPlot.

- Si χ^2 / doF est grand devant 1, soit les incertitudes ont été sous-estimées, soit le modèle proposé est invalide.
- S'il est petit devant 1, elles ont probablement été sur-estimées.

Qu'en est-il de votre ajustement ?

Pour information, la figure 3 présente un extrait du manuel de QtiPlot sur la prise en compte des incertitudes. À l'agrégation, on n'utilise que le poids *Instrumental*.

1. *No weight*: all weighting coefficients are set to 1 ($w_i = 1$).
2. *Instrumental*: the values of the associated error bars are used as weighting coefficients $w_i = 1/er_i^2$, where er_i are the error bar sizes stored in error bar columns. You must add Y-error bars to the analyzed curve before performing the fit.
3. *Statistical*: the weighting coefficients are calculated as $w_i = 1/y_i$, where y_i are the y values in the fitted data set.
4. *Arbitrary Dataset*: allows setting the weighting coefficients using an arbitrary data set $w_i = 1/c_i^2$, where c_i are the values in the arbitrary data set. The column used for the weighting must have a number of rows equal to the number of points in the fitted curve.
5. *Direct Weighting*: allows setting the weighting coefficients using an arbitrary data set $w_i = c_i$, where c_i are the values in the arbitrary data set. The column used for the weighting must have a number of rows equal to the number of points in the fitted curve.

FIG. 3 – Extrait du manuel de QtiPlot traitant des incertitudes

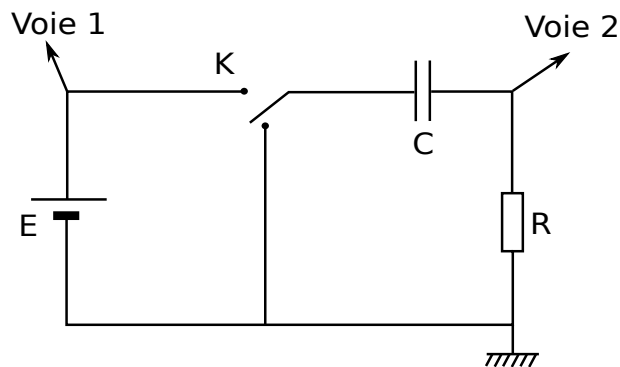
III) Acquisition de données via des appareils de mesure

Le but de cette partie est de vous présenter sur un exemple concret (la charge d'un condensateur) les fonctionnalités du programme d'interface. Le programme s'appelle *Interface.exe*. Le lancer, et

vérifier que le multimètre, le GBF et l'oscilloscope sont connectés à l'ordinateur (souvent en USB). Après son ouverture, le programme affiche une page d'accueil, et plusieurs onglets permettant différentes opérations : tracer un diagramme de Bode, récupérer le signal sur un oscilloscope, ou suivre temporellement un ou plusieurs signaux de multimètres (*Table traçante*).

1) Utilisation du suivi temporel – décharge d'un condensateur

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 un voltmètre aux bornes du condensateur. Observer le phénomène de décharge grossièrement au multimètre. On choisira une résolution faible pour le multimètre (4 digits) pour accélérer la prise de points.

1. Démarrer Interface.exe. Le multimètre indique "Remote", signe qu'il sera piloté par l'ordinateur. Pour reprendre le contrôle du multimètre, appuyer sur *Local* (sur la touche *Shift*). L'ordinateur reprendra le contrôle du multimètre tout seul lorsque nécessaire.

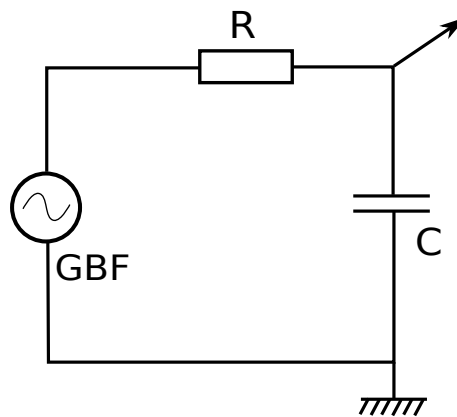
2. Le système est prêt pour l'acquisition. Choisir une plage d'acquisition de 30s, appuyer sur *Start* et changer l'interrupteur de position. Lorsque l'acquisition est terminée, il est possible d'enregistrer les données *via Save*.

3. Ouvrez QtiPlot et glisser-déposer le fichier de données. Une fenêtre d'importation apparaît, choisir *ESPACE* comme séparateur, et décocher *Utiliser la première ligne comme...* Valider. Tracer la première voie (le temps) en fonction de la seconde (la tension).

4. Afin de modéliser correctement ce système, supprimer les points avant le basculement de l'interrupteur dans le tableau de valeurs (il est aussi possible de préciser à QtiPlot de ne choisir qu'une plage de valeurs dans la modélisation). Le modèle correspondant est une exponentielle décroissante. Aller dans *Analyse*, puis *Ajustement décroissance exponentielle* au premier ordre. Donner des valeurs initiales pour les paramètres d'ajustement et cliquer sur *Calculer*.

2) Acquisition d'un diagramme de Bode d'un filtre d'ordre 1

La partie précédente a étudié le comportement indiciel d'un circuit RC (lorsqu'on lui envoie un échelon de tension), et on s'intéresse ici à sa réponse fréquentielle (ce que renvoie le système en régime stationnaire avec une sinusoïde en entrée. Modifier le circuit précédent pour obtenir celui sur la figure suivante. Changer les paramètres des composants pour avoir un temps caractéristique de 10^{-3} s.



Afficher à l'oscilloscope le signal envoyé par le GBF ainsi que la tension aux bornes du condensateur lorsque le signal envoyé a une fréquence de 1kHz et une amplitude de 1V. Attention, pour que le GBF délivre un signal, il faut que le bouton *Output* soit enclenché.

Sur la fenêtre du programme d'interfaçage, choisir l'onglet *Diagramme de Bode*. Choisir une fréquence de départ à 50Hz, vérifier que le signal de référence correspond bien à la voie de l'oscilloscope sur laquelle est branchée le GBF. Choisir 30 pas. Connecter le GBF et l'oscilloscope, vérifier que le bouton *Output* du GBF est bien enclenché, et lancer l'acquisition. Le programme affiche en temps réel le gain en dB et le déphasage entre les deux signaux. À quoi s'attendait-on dans le cas de ce filtre ?

IV) Étude d'un suivi dynamique par ordinateur

Afin de réaliser le suivi automatique d'une expérience de mécanique, on propose d'utiliser ici une caméra rapide Nova. La prise de vidéo se fera avec l'outil Caméra de Windows 10 ou avec le logiciel d'édition VirtualDub, et on pourra ensuite analyser la vidéo et les données à l'aide du logiciel Tracker. Pour l'exemple, on choisit de suivre le mouvement d'une balle de ping-pong au fur et à mesure de ses rebonds.

1) Description de la caméra

La caméra possède plusieurs vitesses d'acquisition (60, 120 ou 260 images par seconde), selon la rapidité de l'expérience que l'on souhaite enregistrer. Cependant, la résolution diminue lorsque la vitesse augmente (1920*1080, 1280*720 ou 640*320).

La caméra est munie d'un objectif de focale variable, entre 2,8 et 12 mm. Celle-ci a trois bagues de réglage : les deux extrêmes permettent de régler cette distance focale et la mise au point. En pratique, ne desserrer qu'une des deux vis pour la mise au point, et laisser l'autre fixe. La bague centrale permet de régler l'ouverture de l'objectif, et donc la quantité de lumière reçue.

2) Mise en place

Brancher la caméra rapide puis lancer le logiciel **Caméra** de Windows 10. On prépare ensuite l'expérience en visualisant à la caméra un écran noir situé à quelques mètres et à la même hauteur. Régler l'horizontalité de l'image grâce aux pieds du support. Proche de l'endroit où la balle sera

lancée, fixer un étalon de longueur (par exemple une règle en bois de 1m verticale) et mettre l'image au point sur ce plan.

3) Réalisation de la vidéo

Démarrer l'acquisition vidéo et lancer la balle de ping-pong pour que son mouvement soit dans le plan parallèle à l'écran et passant par l'étalon de longueur. Il faut pour un traitement correct au minimum 3 rebonds. Vérifier sur la vidéo que la balle ne disparaît pas du cadre, sinon ça compliquera le traitement vidéo.

Pour une utilisation avancée de la caméra et profiter des hautes vitesses d'acquisition, utiliser le logiciel **VirtualDub** avec ces quelques étapes pour l'enregistrement de la vidéo :

- Ouvrir le logiciel, et dans *File*, cliquer sur *Capture AVI*
- **Détection** : Dans la nouvelle fenêtre, aller sur l'onglet *Device* et vérifier que *HD USB Camera* est bien sélectionnée.
- **Réglage de la vitesse** : dans l'onglet *Video*, cliquer sur *Capture Pin*. On peut alors changer la résolution, qui adapte automatiquement la fréquence d'acquisition. En profiter pour mettre la qualité au maximum.
- **Timing** : dans l'onglet *Capture*, aller dans *Timing*. Vérifier que toutes les cases sont décochées. Cela permet d'assurer la précision du traitement a posteriori.
- **Acquisition** : Choisir un nom dans *File* et *Set capture file*. Puis lancer l'acquisition dans *Capture* ou avec F5, pour l'arrêter, appuyer sur Esc.

4) Traitement vidéo

Tracker est un logiciel open source puissant, permettant de faire du suivi automatique de forme, et d'ensuite analyser les résultats.

- Ouvrir Tracker, puis ouvrir la vidéo en question. Tracker avertit l'utilisateur si les images n'ont pas des durées identiques sur l'enregistrement (ce qui n'arrive pas avec VirtualDub, mais est fréquent sinon).
- Délimiter la partie utile : placer sur le curseur sur le début souhaité, puis avec un clic droit *définir l'image de départ*. De même pour la fin.
- **Échelle** : cliquer sur l'icône *Ruban* et créer un bâton de calibration. Définir le début et la fin en maintenant la touche Shift, et en cliquant sur les endroits choisis. Modifier la valeur de cette échelle.
- **Objet** : Créer une nouvelle trajectoire avec l'icône, et choisissez *Masse ponctuelle*. Se placer sur la première image de la séquence, cliquer sur *Masse A*, puis *Repérage automatique*. En maintenant Ctrl et Shift, cliquer sur l'objet à suivre. Puis cliquer sur *Chercher*. Le logiciel va rechercher cette forme sur toutes les images. Il peut bloquer sur certaines (souvent aux rebonds), dans ce cas déplacer à la main le gabarit sur l'objet, et cliquer sur *Chercher ceci*, et ainsi de suite.

5) Exploitation des résultats

Tracker permet d'afficher, de récupérer et de modéliser les données. Vous pouvez soit rester sur Tracker pour cette étape, soit exporter les données vers QtiPlot. Le texte ci-dessous décrit les étapes pour le traitement dans Tracker.

- **Affichage d'un graphe** : dans la fenêtre en haut à droite, cliquer sur l'ordonnée pour modifier la quantité à tracer. Tracker calcule automatiquement (entre autres) vitesse, accélération et énergie cinétique. Il est aussi possible de définir une nouvelle grandeur (énergie mécanique, potentielle, etc.) avec *Définir*. Une fois la quantité souhaitée affichée, double-cliquer sur le graphe : une fenêtre *Outil de données* apparaît.
- **Modélisation** : directement sur le graphe, sélectionner les points d'intérêt. Cliquer sur *Analyser*, puis *Courbe de tendance*, et cocher *Courbe de tendance automatique*.

On peut alors vérifier que l'énergie est très majoritairement dissipée lors des rebonds, et évaluer le coefficient de restitution (rapport entre l'énergie de l'objet après et avant le choc) en vérifiant qu'il est identique lors de chaque rebond.