
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.

I) Les outils informatiques à l'agrégation

Voici une petite liste par usage :

- Tracé de graphes et courbes expérimentales
 - **QtiPlot** : ce logiciel libre 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.
 - **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 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 $3*col("I")$. Cliquer sur *OK*. La colonne 2 est remplie.

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 du nom de la seconde colonne. Pour accéder aux propriétés d'une colonne double-cliquer sur le nom. Obtenir la situation de la figure 1, avec *IncertY* donnée comme 10% de la colonne *Tension*. Noter [yEr] qui précise que cette colonne a vocation à contenir des barres d'erreur.

	Temps[X]	Tension[Y]	IncertY[yEr]
1	0	0,743	0,0743
2	0,777	1,53	0,153
3	1,555	5,119	0,5119
4	2,333	12,317	1,2317
5	3,111	31,37	3,137
6	3,8888	49,01	4,901
7	4,6666	78,94	7,894
8	5,444	289,63	28,963
9			

FIG. 1 – Tableau de valeurs à recopier sur QtiPlot

2. Tracer "Tension" en fonction de "Temps". Accéder aux propriétés du graphe en double-cliquant sur un des points du graphe. Modifier le Style, la taille, la couleur, la largeur pour obtenir un résultat similaire à la figure 2.

3. Double-cliquer sur les axes pour ouvrir les propriétés générales du graphe. La courbe ressemble à une exponentielle, passer donc en semi-log. Dans l'onglet *Axe*, modifier les noms des axes gauche et inférieur.

4. Ajouter les barres d'erreur verticales en cliquant sur *Graphe* dans la barre d'outils, *Ajouter des barres d'erreur*. Choisissez la colonne *IncertY*. Tant que vous y êtes, rajoutez des incertitudes horizontales de 15% dues à la précision de la mesure du temps. Vous devriez obtenir quelque chose similaire à la figure 3.

5. Il semblerait que cela soit une droite (en semi-log), donc potentiellement un modèle exponentiel. Lorsque le graphe est sélectionné, aller dans *Analyse, Assistant d'ajustement*. Choisir la fonction

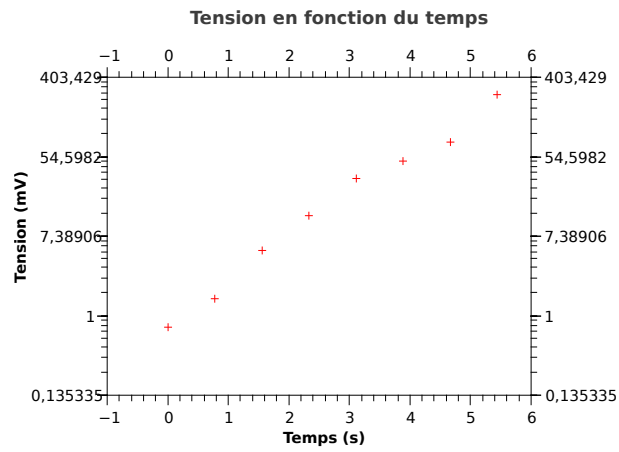


FIG. 2 – Graphe sans incertitudes

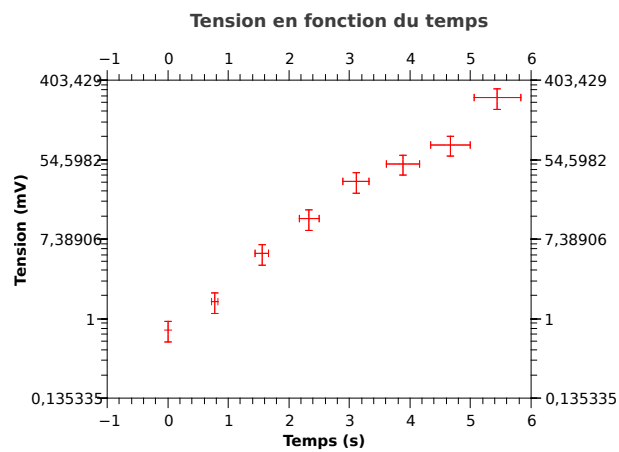


FIG. 3 – Graphe avec incertitudes

croissance exponentielle, et recopier la formule proposée dans le cadre en dessous. Appuyer sur la flèche. Cliquer sur *Aperçu* pour voir le tracé de l'ajustement avec les valeurs par défaut. Dans *Poids*, choisir *Poids directe* et indiquer la colonne servant d'incertitudes. Fixer y_0 à 0. Choisir 1000 itérations, 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.

6. Lorsque des incertitudes sont spécifiées (comme cela devra être le cas dans toutes vos courbes expérimentales), le paramètre permettant de confirmer la validité du modèle est le χ^2 réduit, appelé χ^2/doF dans QtiPlot. S'il est grand devant 1, les incertitudes ont été sous-estimées ; s'il est petit devant 1, elles ont été sur-estimées. Ce paramètre est proche de 1 pour les bons ajustements. Le résultat final est montré sur la figure 4. Attention, l'échelle semilog peut être trompeuse quant à l'accord de l'ajustement avec les données. Le modèle exponentiel est-il vérifié ?

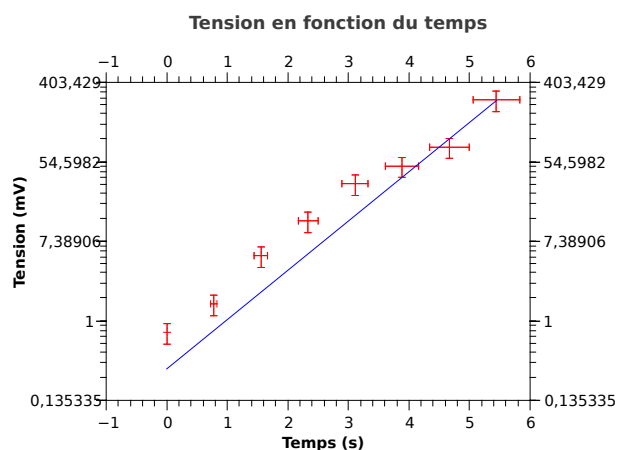


FIG. 4 – Graphe avec ajustement

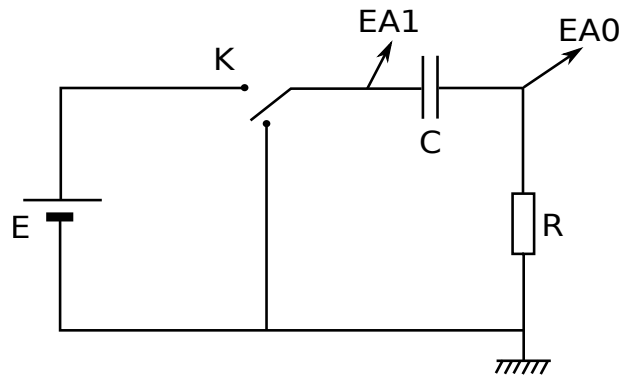
III) Acquisition de données via des appareils de mesure

Le but de cette partie est de vous présenter sur un exemple concret (la charge d'un condensateur) les fonctionnalités du programme d'interfaçage. Le programme s'appelle actuellement *Interfacage v7*. 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.

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.

Remarques :

- 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.

2) Démarrage

Démarrer l'ordinateur. Ouvrir la session Etudiant, et démarrer *Interfacage v7*. 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*).

3) Acquisition

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*.

4) Traitement des données et modélisation

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).

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*.

En plus des paramètres de l'ajustement, le programme donne plusieurs coefficients permettant de tester la validité de l'ajustement. Le coefficient de corrélation r doit toujours être proche de 1 et le χ^2/dof . Le premier mesure l'éloignement entre les points de mesure et les points de même abscisse sur la courbe (c'est donc une information statistique), le second pondère ce calcul avec les éventuelles incertitudes données au programme. Si des incertitudes ont été incluses dans l'ajustement, c'est ce coefficient qui est physiquement intéressant.

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 à *Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physique* de J.R. Taylor. Le moindre carré est défini selon

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

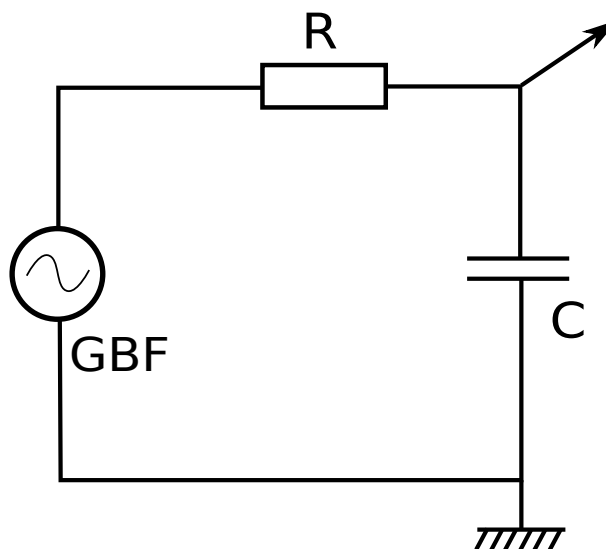
où σ_i est l'incertitude de mesure sur le point i . L'ajustement est correct si $\chi^2 \simeq P - k$, l'erreur sur χ^2 étant $\Delta\chi^2 = \sqrt{2(P - k)}$. Si on suppose que les incertitudes sont les mêmes sur l'ensemble des données, *i.e.* $\sigma_i = \sigma, \forall i$, on peut calculer le *moindre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

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

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

5) 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 d'une expérience de mécanique *via* un traitement vidéo sans avoir à cliquer sur l'objet pour l'identifier à chaque image (comme c'était le cas avec Synchronie 6 ou Igor Pro), on propose d'utiliser ici une caméra rapide Jeulin avec le logiciel dédié Cinéris (ou Atelier Scientifique). On pourra ensuite analyser les données fournies par ce logiciel à l'aide de QtiPlot ou Igor Pro. En l'occurrence, on propose ici de suivre le mouvement d'une balle de ping-pong au fur et à mesure de ses rebonds.

1) Mise en place

Brancher la caméra rapide ExAO Jeulin puis lancer le logiciel Cinéris : sur la partie droite de l'écran devrait s'afficher en direct l'entrée vidéo. 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. Aller dans l'onglet *vidéo rapide* qui correspond au type d'acquisition qui nous intéresse : on peut si on le souhaite changer le nom et le répertoire du fichier vidéo ainsi que sa durée. Choisissez 25 images par seconde pour le nombre d'images. L'écran doit maintenant ressembler à la figure 21.

2) Réalisation de la vidéo

Démarrer l'acquisition vidéo en cliquant sur l'image de webcam ronde en bas à droite de l'onglet *vidéo rapide*. Lancer la balle de ping-pong pour que son mouvement soit dans le plan parallèle au mur et passant par l'étalon de longueur. Il faut pour un traitement correct au minimum 3 rebonds. Aller dans *traitement automatique*, en dessous de *acquisition* : on peut déjà vérifier que la vidéo est correcte. Si ce n'est pas le cas, la recommencer.

3) Traitement vidéo

On veut arriver au bout de cette section à un résultat semblable à celui de la figure 22.

Pour cela, suivre les instructions des onglets dans l'ordre. Commencer par *Étalonnage* : on choisit ici l'origine et surtout la direction des axes et l'étalon de longueur. Puis dans *Cadre de travail*, définir la zone dans laquelle l'ordinateur va chercher l'objet : la prendre la plus petite possible pour minimiser les risques d'erreur lors du traitement automatique d'image. Dans *paramétrage*, on indique quel objet on veut suivre au cours du temps. Pour cela, avancer dans la vidéo jusqu'à une image où la balle est bien définie et nette, puis cliquer dessus et régler le seuil de contraste. Enfin, lancer le traitement automatique grâce au bouton vert.

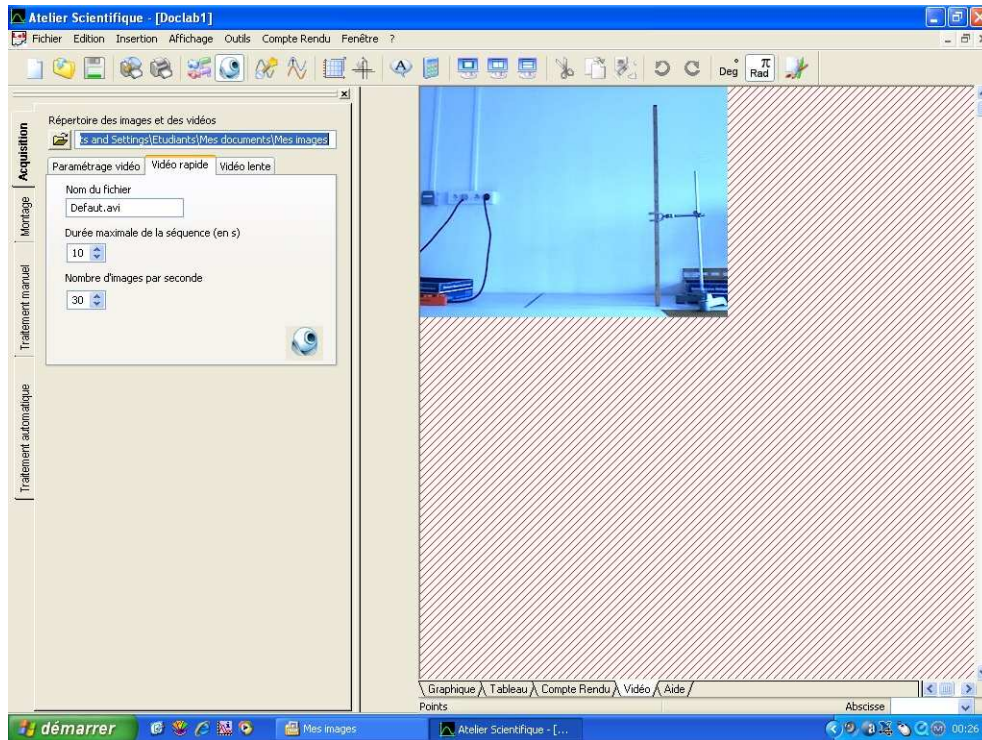


FIG. 5 – Mise en place de l'acquisition avec la caméra rapide

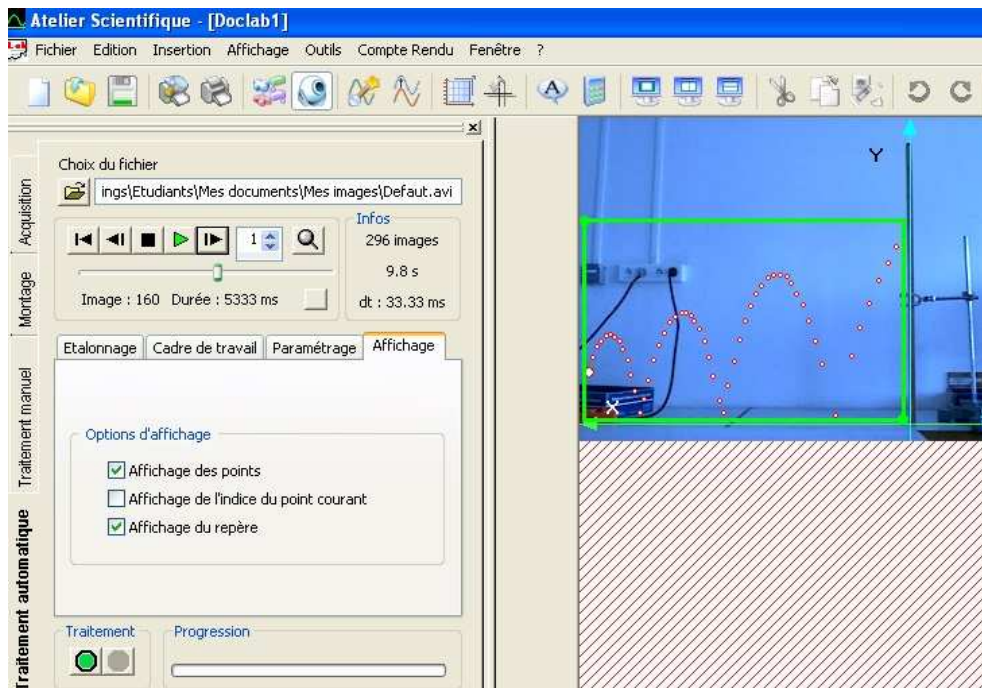


FIG. 6 – Détection automatique du mobile

Si tout se passe bien, on doit arriver à un résultat similaire à celui de la figure 22. Dans le cas contraire, il faut régler le seuil de contraste : l'augmenter si certains points manquent et ne sont pas attribués, le diminuer dans le cas où l'objet est situé à un mauvais endroit.

4) Exploitation des résultats

Aller dans la partie *Tableau*, située en bas à droite de l'écran. On va pour la suite du traitement copier les données dans QtiPlot ou Igor Pro (comme vous préférez). Sélectionner pour cela une colonne et utiliser les raccourcis *Ctrl+C* et *Ctrl+V* pour les transférer sur une feuille de calcul. Pour le passage sous Igor, il peut être nécessaire de changer le format des données (notamment le signe décimal, point ou virgule, ce qui peut se faire facilement via le bloc-notes). Vérifier que les données sont correctes en affichant les graphes de $X(t)$ et $Z(t)$. On s'intéresse ici à l'énergie mécanique de la balle : calculer pour cela la vitesse suivant les deux directions par dérivation numérique (via *Analysis* puis *Differentiate* pour Igor), et créer une nouvelle variable à laquelle on assigne la valeur de l'énergie mécanique (divisée par la masse de la balle) : $E/m = v^2/2 + gz$. On observe des paliers entre les rebonds (cf. figure 23)

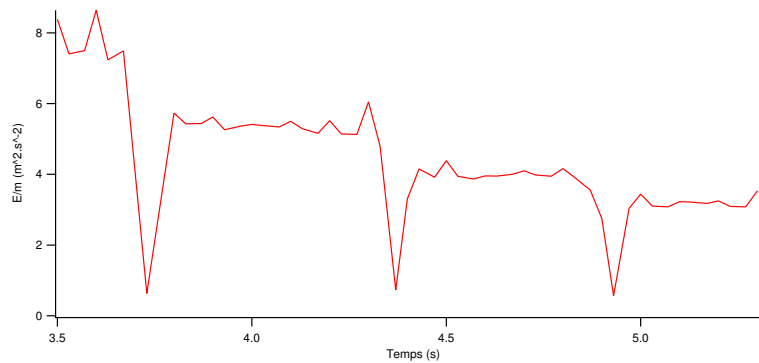


FIG. 7 – Energie mécanique par unité de masse en fonction du temps

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.