

Préparation à l'agrégation de Sciences-Physiques ENS Physique

Outils informatiques I

I) Synchronie 6

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

1) Circuit RC

a) Branchements

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

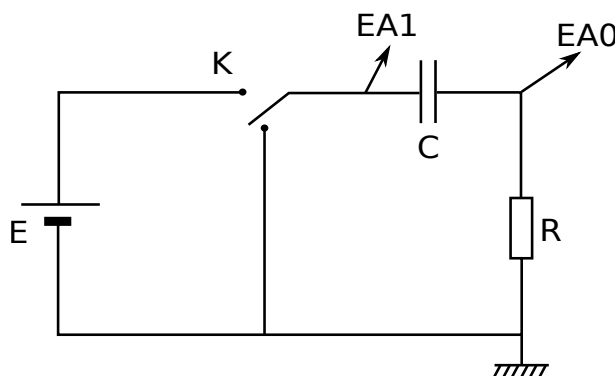


FIG. 1 – Circuit RC et branchement des canaux d'acquisition

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 à la disposition des entrées analogiques sur la centrale : EA0 et EA1 ne sont pas l'une à côté de l'autre!
- 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.
- 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.

b) Démarrage

Démarrer l'ordinateur. Ouvrir la session Etudiant. 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 calcul 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.

c) 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, quel que 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 *Points* : 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 sauveées 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.

d) 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 l'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.

e) 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, différence entre les deux signaux EA1 et EA0. 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 Colonnei 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 $\text{Colonne3} = \text{Colonne2} - \text{Colonne1}$ (en remplaçant Colonnei par le nom que vous avez choisi). Il faut ensuite lancer les calculs : pour cela, aller dans le menu déroulant *Exécuter/Calculer*, 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.

f) 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.

Cliquer 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).

Rappelons que pour tout ajustement, la convergence de l'optimisation nécessite de choisir des valeurs initiales raisonnables pour les paramètres du modèle !

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 moyen. Dans Synchronie 6 :

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

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.

Remarques :

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

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 ?).

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

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 l'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}^2 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 χ_{red}^2 est proche de 1.

- 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.

2) 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. 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 tableau. 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 T_{image} (et non pas T) dans l'exploitation des vidéos.

II) Étude d'un suivi dynamique par ordinateur

Il est possible d'utiliser un programme pour 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. 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 2 :

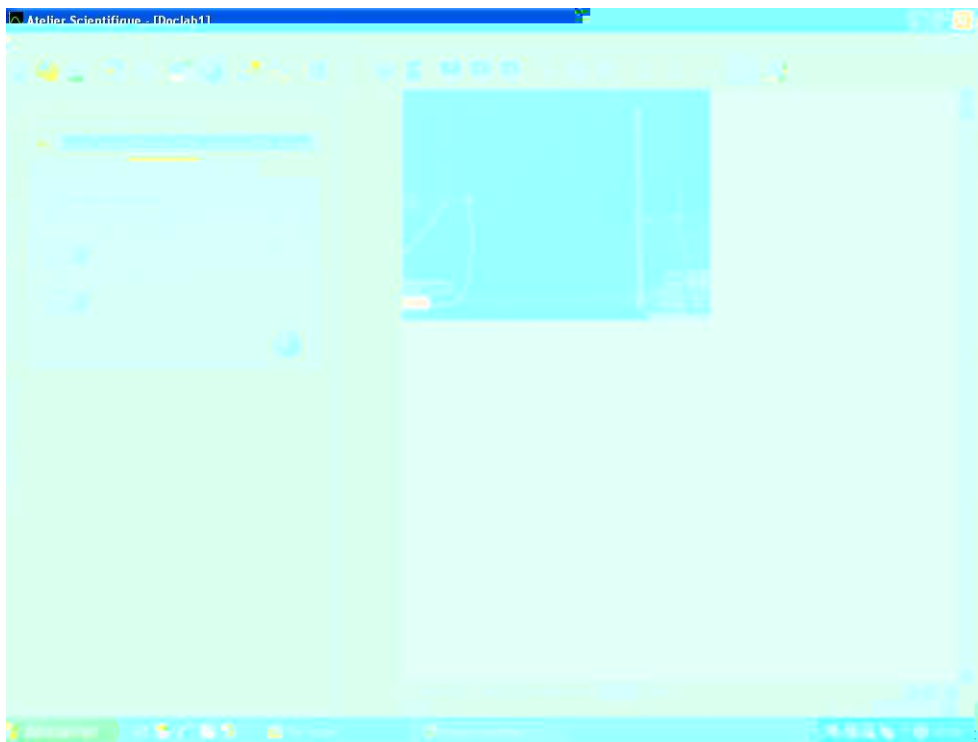


FIG. 2 – Mise en place de l'acquisition avec la caméra rapide

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 3.

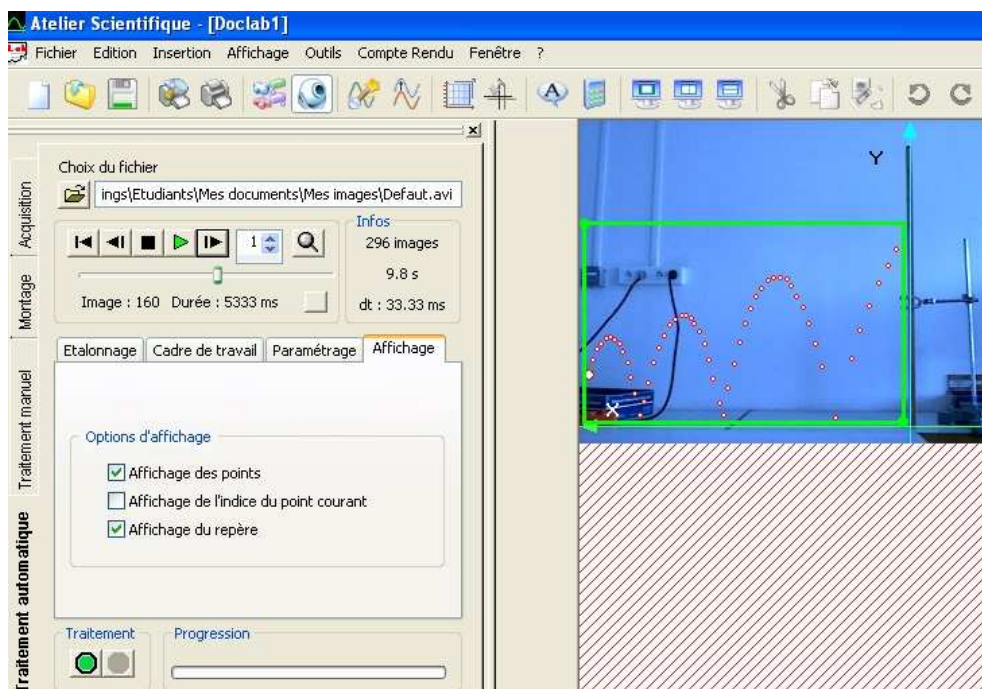


FIG. 3 – Détection automatique du mobile

Pour cela, suivre les instructions des onglets dans l'ordre. Commencer par *Etalonnage* : 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.

Si tout se passe bien, on doit arriver à un résultat similaire à celui de la figure 3. 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 Igor : sélectionner pour cela une colonne et utiliser les raccourcis *Ctrl+c* et *Ctrl+v* pour les transférer sur une feuille de calcul 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 qu'elles 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*, et créer enfin une nouvelle wave 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)

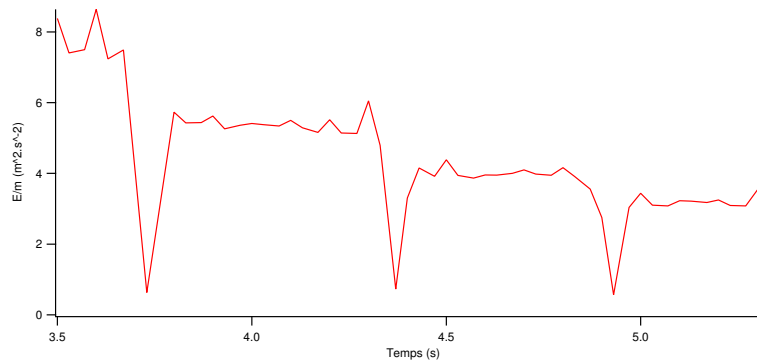


FIG. 4 – Energie mécanique par unité de masse en fonction du temps

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.