

Introduction

Willh Newton c'était un fdp

1 Principe fondamental de la dynamique

1.1 Système pseudo-isolé : choc élastique

But

Vérifier la conservation de la quantité de mouvement pour un système pseudo-isolé. On pourra aussi s'intéresser à la conservation de l'énergie.

Commençons par le cas conceptuellement le plus simple : un système n'étant soumis à aucune force (isolé) ou dont la somme des forces est nulle (pseudo-isolé). La propriété la plus intéressante d'un tel système est la conservation de sa quantité de mouvement.

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{0} \implies \mathbf{p} = \text{cste}$$

Pour pas juste balancer un objet sans le soumettre à aucune force extérieur, faisons un peu plus compliqué et prenons deux mobiles A et B que l'on va se faire entrechoquer. Le choc ne représente pas de force extérieur au système {A+B} donc celui-ci reste bien pseudo-isolé.

La quantité de mouvement du système est prise au centre d'inertie :

$$\mathbf{OG} = \frac{m_A \mathbf{r}_A + m_B \mathbf{r}_B}{m_A + m_B} \implies \frac{d\mathbf{OG}}{dt} = \frac{\mathbf{p}}{m_{tot}}$$

Donc le mouvement du barycentre devrait rester rectiligne uniforme tant qu'il n'y a pas de force extérieure. Pour cela, on utilise des mobiles autoporteurs qui ne subissent pas les frottements de la table et qui indiquent périodiquement leur position en marquant d'un point la feuille au dessus de laquelle ils évoluent. Les coordonnées du barycentre devrait être de la forme

$$\begin{cases} x_G = a_x t + b_x \\ y_G = a_y t + b_y \end{cases}$$

Expérience : Choc élastique et conservation de la quantité de mouvement

🚩 Duffait

⌚ 10 min

Prépa Peser les mobiles (avec leur incertitude), on peut alourdir l'un des deux avec une bague supplémentaire. Fixer les bagues ressort sur chacun des mobiles. Bien régler l'horizontalité avec un niveau. Prendre une feuille vierge. S'entraîner à lancer les mobiles, au pire se garder une feuille bien faite de côté si on n'arrive pas le refaire en live...

Live Faire en sorte que le choc ait lieu au centre de la feuille et que **les mobiles ne reviennent pas sur leurs pas** : l'un doit aller toujours de gauche à droite et l'autre toujours de droite à gauche ! Exploiter sur imageJ ou LatisPro (cf. petit récap à la fin) et accéder à la trajectoire de barycentre, ainsi qu'aux énergies cinétiques mises en jeu.

Vérifier deux choses :

- La trajectoire du barycentre est bien rectiligne uniforme. Pour veler, on peut tracer y en fonction de x , mais surtout $x(t)$ et $y(t)$ et vérifier que ce sont bien deux droites par régression affine. Les coefficients nous importent peu.
- L'énergie est bien conservée, tracer en fonction du temps les énergies cinétiques des deux mobiles et totale.

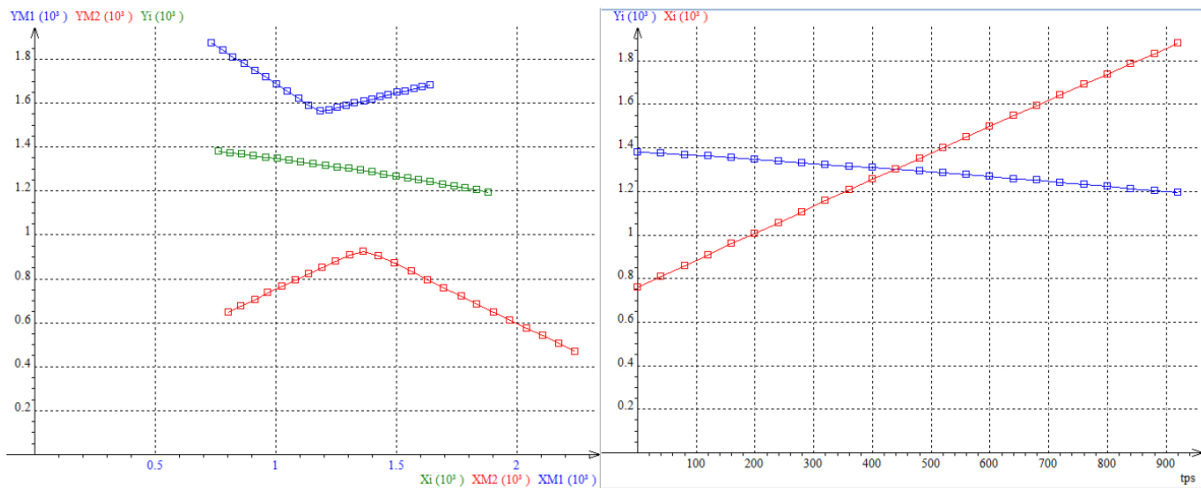


FIGURE 1.1 – Extrait de la leçon 2015.
Gauche : Trajectoire dans le plan XY. Droite : coordonnées du barycentre en fonction du temps.

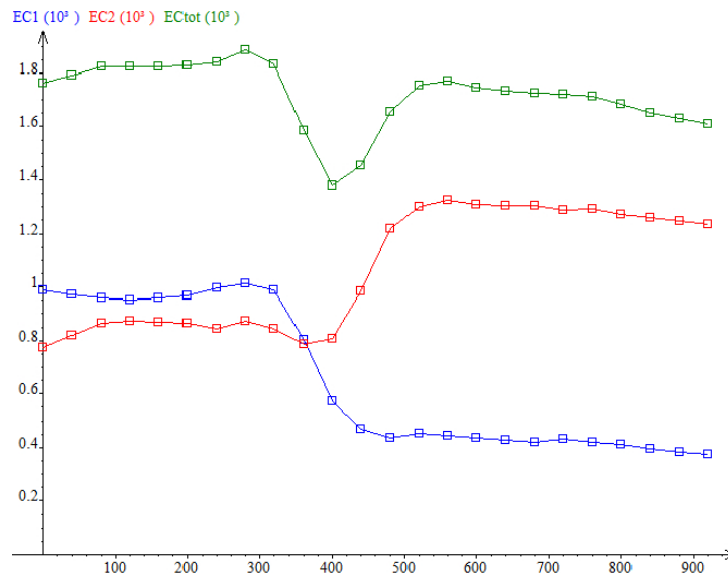


FIGURE 1.2 – Extrait de 2015 : énergies cinétiques en fonction du temps

On remarque que les mobiles échangent leur énergie, mais que l'énergie totale reste globalement la même (en dehors de la zone de choc). Dans cette zone, on observe une diminution locale de l'énergie... Ceci est dû au fait qu'on n'a pas pris en compte l'énergie potentielle des ressorts. Dans cette zone, les ressorts prennent de l'énergie, qu'ils restituent ensuite à la fin du choc.

Il y a alors deux sources de perte d'énergie :

Les frottements Entre le début et la fin, l'énergie totale a chuté et on peut évaluer la perte relative d'énergie :

$$\frac{E_{ini} - E_{fin}}{E_{ini}}$$

Et vérifier qu'elle est suffisamment faible pour considérer le système comme pseudo-isolé.

Le choc De même, on peut évaluer la perte relative d'énergie simplement due au choc et vérifier qu'il est bien élastique.

Incertitudes

Le logiciel utilise des méthodes barycentriques pour déterminer la position d'un point, du coup l'incertitude sur la détermination des points provient surtout de la parallaxe. On peut l'estimer et la rentrer dans les positions des points afin de faire apparaître les incertitudes de la modélisation affine de la trajectoire du barycentre.

1.2 Système soumis à une force constante : chute libre d'un corps

But

Retrouver l'évolution attendue d'un corps en chute libre et remonter à la valeur de g si la loi est bien vérifiée.

Plutôt que de lâchement lacher une pauvre bille et de compter le temps qu'elle met à parcourir une distance connue, on utilise une règle à la surface de laquelle on trouve des bandes noires de largeur 3mm, séparées d'une distance de 3mm. Ainsi lorsque le signal lumineux est coupé par une bande noire, le capteur délivre un signal non nul. Sinon le signal est nul.

Expérience : Chute d'une règle

✍ Duffait

⌚ 10 min

Prépa Peser la règle. Alimenter la bobine créant le champ magnétique nécessaire pour maintenir la règle. Les capteurs s'alimentent en 5V via la carte d'acquisition.

Live Lâcher la règle et faire tout le traitement nécessaire sur LatisPro. On pourra s'intéresser à deux choses :

- Vérifier que le mouvement est uniformément accéléré, par exemple en traçant $\dot{z}(t) = -gt$ et ainsi remonter à la valeur de g par régression linéaire
- Vérifier la conservation de l'énergie mécanique

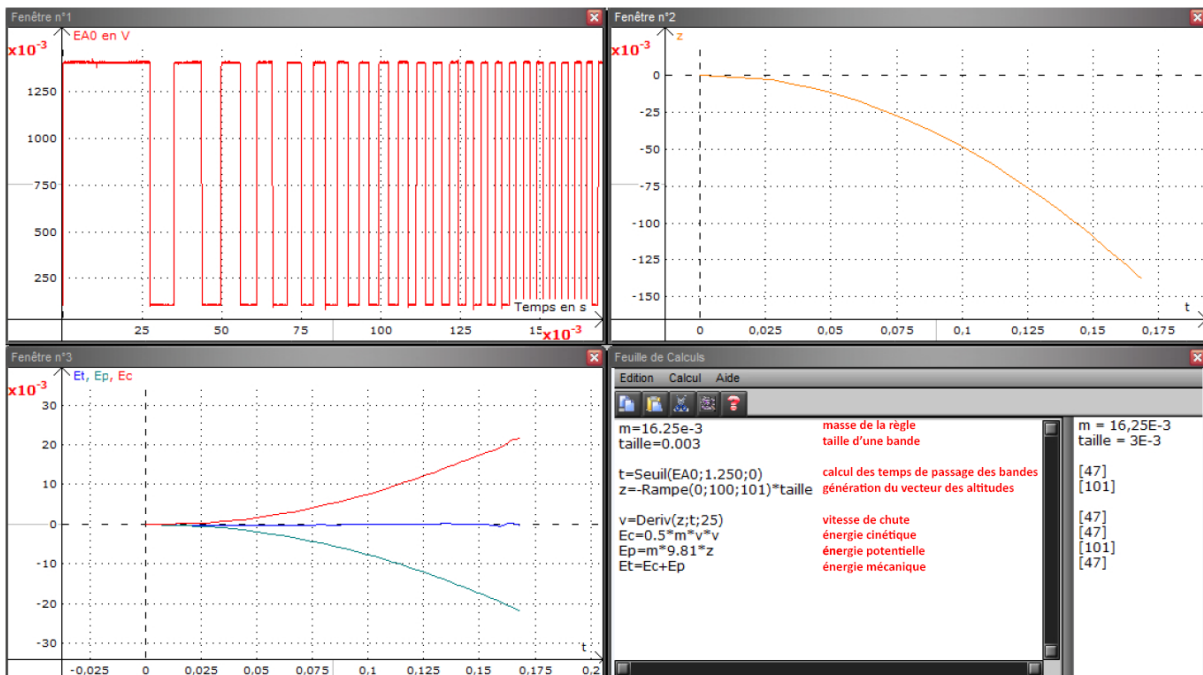


FIGURE 1.3 – Encore 2015 <3...

L'idée c'est que le système est équivalent à la chute d'un corps ponctuel, sur la trajectoire duquel on a disposé des capteurs régulièrement espacés de 3mm. On remarque bien que le temps entre deux capteurs consécutifs diminue au fur et à mesure.

La fonction `seuil` de LatisPro nous permet d'extraire les valeurs des temps où le signal passe de 0 à non nul. On peut alors faire tout le traitement qu'on veut : mesure de g et vérification de la conservation de l'énergie mécanique.

Incertitudes

Pour avoir une idée des incertitudes sur le temps de chute par exemple, on peut répéter plusieurs fois l'expérience et voir comment varient ces temps. Cela ne nous donnera pas une incertitude sur l'évaluation du temps (qui est négligeable je pense) mais plutôt sur la méthode avec laquelle est reproduite l'expérience... Genre les conditions initiales sont pas forcément toujours les mêmes et ça peut foutre la merde.

2 Théorème du moment cinétique

↪ *Duffait*

Perez, p.422

↪ *Jolidon, p. 478*

Nous avons vu dans les premières expériences l'utilisation du PFD et l'étude expérimentale qu'on pouvait mener dessus. Mais la mécanique newtonienne ne se limite pas qu'au seul PFD, il y a aussi le Théorème du Moment Cinétique TMC très utile lorsque l'on s'intéresse aux systèmes en rotation. Dès lors, quoi de mieux pour étudier le TMC qu'une saloperie de pendule pesant ? ☹

2.1 Pendule pesant

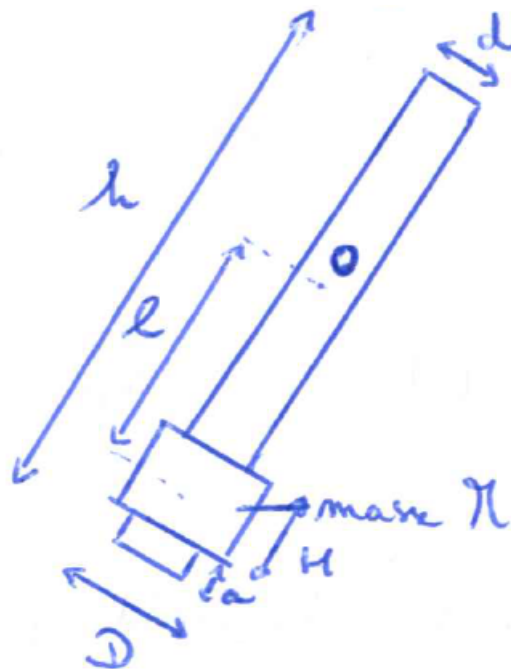


FIGURE 2.1 – Caption

Sur ce schéma qu'on fait bien et propre au tableau (si y a vraiment des oraux.), on introduit les notations qui vont nous permettre d'appliquer le TMC sur ce système.

Dans un tel montage il paraît évident e toujours préciser les conditions d'applications des théorèmes, on précise ici la galiléanité du référentiel, le système étudié et les cefors.

$$J \frac{d\theta}{dt} \vec{u}_z = \vec{M}_{\vec{P}}$$

$$J \frac{d\theta}{dt} \vec{u}_z = -MgL \sin \theta \vec{u}_z$$

Le moment d'inertie du pendule pesant est donné par le théorème de Huygens :

$$J = J_0 + ML^2$$

avec J_0 le moment d'inertie propre du pendule dont la valeur sur la notice est $J_0^{tab} = 2.844 \text{ kg.m}^2$.

Le TMC peut s'écrire sous une forme qui fait apparaître la pulsation propre du système ω_0 :

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin \theta = 0$$

Pour les petits angles ($\theta_i < 10/15^\circ$, on a alors

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = 0 \quad , \omega_0^2 = \frac{MgL}{J_0 + ML^2}$$

But

Vérifier la prédiction du TMC en vérifiant la loi donnant ω_0^2 et en profiter pour retrouver J_0 .

Expérience : Vérification de la loi $\omega_0^2(L^2)$

☞ Duffait p.264, Jolidon p.479

☹ ?

- En préparation, commencer par étalonner le potentiomètre et garder la courbe pour la question du jury.
- En préparation, pour plusieurs valeurs de L , mesurer la valeur de f_0 à l'oscillo (avec les curseurs évidemment) où au fréquencemètre si possible et tracer $\frac{MgL}{\omega_0^2(L^2)}$
- Faire un point devant le jury et l'ajouter à la courbe de préparation. On constate avec plaisir que le point fait en live correspond parfaitement.
- Modéliser la courbe par une fonction affine $\frac{MgL}{\omega_0^2(L^2)} = aL^2 + b$, on est supposés retrouver $a = M$ et $b = J_0$

Vous pensez que vous avez autre chose à faire en agreg que du scrapbooking avec vos chronogrammes ? Alors ce tuto est fait pour vous !

Ce tutoriel explique comment extraire automatiquement les coordonnées des points d'un chronogramme obtenu avec la manip des mobiles autoporteurs, pour travailler sur *Régressi*. Matériel : APN, trépied (avec niveaux si dispo), patafix, *ImageJ*, *Excel* ou *Libre Office Calc*, *Régressi*.

1. **Générez votre chronogramme papier.** Vérifier l'horizontalité de la table au niveau à bulle si besoin. Pour la suite du tuto, il est absolument nécessaire que le(s) mobile(s) ne revienne(nt) pas sur ses (leur) pas lors de l'enregistrement du chronogramme : de gauche à droite de la feuille ou de droite à gauche mais pas de retour en arrière ! De plus, pendant l'enregistrement, le ou les mobiles doivent être en mouvement libre : vous les lâchez avant d'allumer le dispositif de marquage (avec un peu d'habileté, pas besoin d'une personne extérieure), et vous arrêtez l'enregistrement avant tout choc avec les parois de la table.
2. **Prenez votre chronogramme en photo.** Accrochez-le au mur (on conseille de s'appuyer sur une ligne bien horizontale présente dans la pièce, comme le bas d'un tableau blanc, ou repères au crayon sur le mur avec un niveau à bulle,...). Montez votre appareil photo sur son trépied et minimisez l'effet de parallaxe en plaçant l'appareil photo le plus centré possible par rapport à la feuille de papier. L'éclairage doit être aussi homogène que possible (utilisez le flash). La photo doit contenir légèrement plus que la feuille elle-même (pour l'étalonnage pixel/cm).
3. **Transférez sur le PC.**
4. **Traitement *ImageJ*.**
 - (a) Ouvrir *ImageJ* et faites glisser le fichier *.jpg* de la photo dans sa fenêtre.
 - (b) Convertissez l'image en niveaux de gris 8 bit : **Image** → **Type** → **8 Bit**
 - (c) Via un des outils de sélection de la barre d'outils, sélectionnez sur l'image les points de la trajectoire d'un seul mobile. Faites une sélection assez proche de la trajectoire pour éviter toute détection parasite : l'outil de sélection polygonal est particulièrement pratique pour ça.
 - (d) Il faut maintenant faire ressortir au max les points du chronogramme : **Image** → **Adjust** → **Threshold** → Mode Noir et Blanc. Ajustez les curseurs pour réduire les défauts d'éclairage, jusqu'à ce que vos points soient bien visibles et dans un environnement propre. Cliquez ensuite sur **Apply**.
 - (e) Détection des points : **Process** → **Find Edge**. Les points détectés deviennent légèrement rouge.
 - (f) Liste de coordonnées : **Analyse** → **Analyse Particle** → cochez **Clear Results** → **ok**. Une fenêtre s'ouvre avec les coordonnées en pixel des points. Vous pouvez vérifier qu'il y en a le bon nombre, mais si la sélection était propre avant la détection il n'y a aucun souci.
5. **Traitement *Excel* / *LibreOfficeCalc*.** La liste de coordonnées fournie par *ImageJ* n'est pas ordonnée. Pour travailler avec *Régressi*, il va falloir les trier. Nous faisons ça avec un tableur. Ouvrez une feuille de calcul, et dans **Outils** → **Options** → **Paramètres linguistiques** Sélectionnez **Anglais (Royaume-Uni)** et cochez l'option pour les séparateurs juste en dessous^a. Copiez/collez les colonnes de coordonnées dans une feuille de calcul. Lors de l'importation, laissez le format en **Unicode**. Une fois importées, sélectionnez les deux colonnes de coordonnées, cherchez la fonction Trier, et triez **par rapport à la composante X**.
6. **Traitement *Régressi*.** Le copier-coller ne fonctionne pas dans le tableau de *Régressi*. Mais faites quand même un **Clic droit Copier** des colonnes du tableau de la feuille de calcul, ouvrez *Régressi* → **Nouveau** → **Presse-papier**. Vous avez maintenant vos coordonnées dans le tableau de *Régressi* ! Utilisez la première colonne (1,2,3,...) pour vous faire une colonne "temps" connaissant l'intervalle de temps entre deux points (d'ailleurs, comme le traitement est maintenant automatique, poussez la période au minimum sur le dispositif de traçage pour avoir un max de points).
7. **Conversion pixel / cm.** Vos coordonnées sont toujours en pixels. Cela vous posera un problème lorsque que vous voudrez mesurer des grandeurs physiques comme la raideur d'un ressort à partir de vos données... Pour cela, retournez dans *ImageJ*, prenez l'outil de sélection **Ligne** et pointez la largeur ou la hauteur de la feuille sur la photo. Allez ensuite dans **Image** → **Set Scale** et vous aurez le nombre de pixel correspondant. Connaissant les dimensions de la feuille, vous avez votre facteur de conversion à intégrer dans *Régressi*^b.
8. **Pour les expériences à plusieurs mobiles.** Recommencer le traitement sur *ImageJ* autant de fois que nécessaire, en copiant collant au fur et à mesure les coordonnées dans le tableur. Triez les indépendamment en fonction de leur coordonnées X. Ainsi, une même ligne dans le tableur recense les coordonnées de tous les mobiles au même instant. Vérifiez que vous avez le même nombre de points à chaque fois, couper en bas si besoin, puis importer en dernier l'ensemble dans *Régressi* comme précédemment.

a. Sinon *ImageJ* et *LibreOfficeCalc* n'ont pas la même définition de la virgule ce qui est gênant. Faut juste y penser.

b. Il vaut mieux le faire à posteriori comme ceci, car *ImageJ* a du mal avec ce type de conversion