

TP 11 : caractérisation de forces de frottement fluide et solide

Avant de venir en TP on préparera la partie 1.1 et la partie 2.1

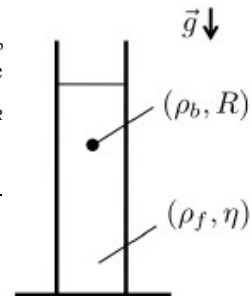
1. Chute d'une bille dans la glycérine.

1.1. Schéma et résultats théorique.

On considère une bille de rayon R constituée d'un matériau de masse volumique ρ_b plongée dans un fluide de masse volumique ρ_f qui exerce sur la bille une force de frottement fluide linéaire qu'on suppose exprimée par la relation de Stokes $\vec{f} = -K \vec{v}_{M/R}$ avec $K = 6\pi\eta R$

- ❖ montrer que la bille atteint une vitesse limite exprimée par $v_{\text{lim}} = \frac{2(\rho_b - \rho_f)gR^2}{9\eta}$

après avoir parcourue une distance $d_{\text{trans}} = \frac{1}{g \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_b}\right)} v_{\text{lim}}^2$



1.2. Etude expérimentale.

On utilisera deux types de billes présentées sur la paillasse : une petite bille en acier aimantable ce qui permet de la « repêcher » après chaque essai et qui permettra de faire des tests sur l'expérience à mener. ; une petite bille en verre, non repêchable et qu'on pourra utiliser après avoir mis en point le protocole.

- ❖ Détermination des caractéristiques de la bille :
 - A l'aide du matériel mis à disposition, mesurer le rayon R et la masse m de la bille.
 - En déduire une estimation de R et de la masse volumique ρ_b .
- ❖ Détermination des caractéristiques de la glycérine :
 - Lire les données disponibles sur le flacon de glycérine et en déduire la masse volumique de ce fluide.
- ❖ Avec le matériel à disposition (éprouvette, chronomètre, etc...), proposer un protocole expérimental détaillé pour faire la mesure de la vitesse limite de chute de la bille dans la glycérine.
 - Mettre en œuvre ce protocole et en déduire une estimation de la vitesse limite v_{lim} et la valeur de la distance parcourue pendant le régime transitoire d_{trans} .

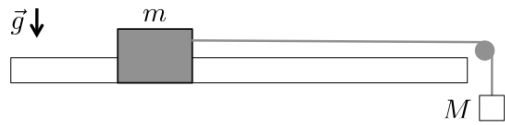
1.3. Analyse des résultats et estimation de la viscosité de la glycérine.

- ❖ Obtenir une estimation de la viscosité de la glycérine.
- ❖ Mettre en œuvre cette évaluation pour les deux billes et calculer le Z_{score} .
- ❖ Comparer la viscosité estimée à la valeur tabulée pour de la glycérine à 20°C $\eta_{\text{ref}} = 1,5 \text{ Pa.s}$. Commenter.

2. Déplacement d'un chariot le long d'un rail.

2.1. Schéma du système et étude théorique sans frottement.

On dispose d'un chariot de masse m en translation rectiligne le long d'un rail horizontal. Le chariot est relié à une masselotte de masse M par un fil supposé de masse négligeable et inextensible engagé dans une poulie supposée idéale.



Un dispositif de soufflerie permet de réduire les frottements solide entre le rail et le chariot.

On suppose que les frottements sont complètement négligeables dans le système :

- ❖ Montrer que le mouvement du chariot est une translation rectiligne uniformément accélérée avec une accélération de norme $a = \frac{M}{M+m}g$

2.2. Etude expérimentale avec la soufflerie en marche.

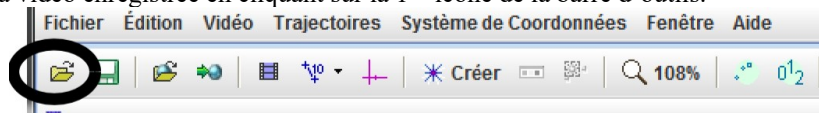
a. Réalisation du film.

- ❖ Ouvrir le logiciel **AMCAP** dans le dossier (Physique-Chimie) qui se trouve sur le bureau de l'ordinateur.
 - Si aucune image n'apparaît à l'écran, aller dans le menu **option** et cocher la case **preview**, on visualise alors à l'écran le champ de la caméra.
- ❖ Placer la caméra face au rail et vérifier :
 - La distance caméra-rail : elle doit être optimisée pour que le champ inclus une portion la plus longue possible du rail. Il est également important de repérer des points de long du rail en vue de construire un étalon de distance dans l'analyse du film.
 - L'horizontalité de l'axe de la caméra pour obtenir une image droite.
 - La mise au point de la caméra sur le système d'étude qui peut être réalisée à l'aide de la bague de réglage située sur la caméra.
- ❖ Régler les paramètres d'acquisition :
 - Dans le menu **Option**, choisir l'onglet **Video capture pin**. Choisir la taille de l'image **1920x1080**.
 - Dans le menu **Capture**, choisir **Set Time Limit** et entrer la durée du film à réaliser pour enregistrer le mouvement du chariot, on pensera également à cocher la case, **use set time limit**.
- ❖ Réalisation de l'enregistrement.
 - Dans le menu **File**, choisir **Set capture directory** et choisir le dossier **Vidéos** pour enregistrer vos vidéos.
 - Lancer la soufflerie et tester quelques valeurs de masse M de la masselotte pour identifier une valeur raisonnable à employer pour réaliser le film.
 - Préparer le montage pour réaliser le film dans les conditions choisies.
 - Préparer le déclenchement de l'enregistrement avec le bouton **Start capture** qui se trouve dans le menu capture. Une fenêtre apparaît, l'acquisition sera lancée en appuyant sur ok.
 - Aller ensuite dans le dossier Vidéo avec l'explorateur de fichiers Windows pour renommer votre film par **sanssfrottementVOTRENOM**.

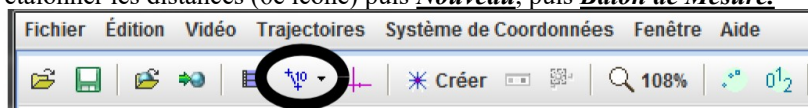
b. Analyse du film.

La numérisation de l'enregistrement vidéo se fait à l'aide du logiciel **TRACKER** qui se trouve aussi dans le dossier (Physique-Chimie) sur le bureau de l'ordinateur.

- ❖ Charger la vidéo enregistrée en cliquant sur la 1^{ère} icône de la barre d'outils.

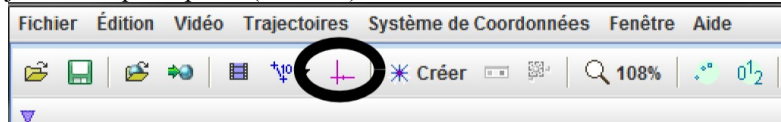


- étalonner les distances (6^e icône) puis **Nouveau**, puis **Bâton de Mesure**.



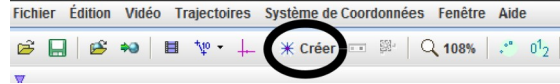
Le bâton de mesure bleu est apparu sur la vidéo. Placer les extrémités sur deux points repérés sur le banc et régler la valeur numérique de la longueur de ce bâton de mesure (**en m**). Attention le séparateur décimal doit être la **virgule**.

- Ajouter le repère spatial (7^e icône)



- Placer à l'aide de la souris l'origine O du repère. Placer l'axe des x dans la direction et le sens de la translation. Cet axe est distingué des autres par un petit tiret.

- ❖ Créer un objet à étudier (8^e icône), puis sélectionner **Masse ponctuelle**.



Appuyer sur Ctrl et Maj (maintenir les 2 appuyées) et, avec la souris, cliquer sur la pastille blanche.

Dans la fenêtre qui vient d'apparaître, cliquer sur **Chercher**. Le logiciel lance alors l'analyse de la vidéo et de la capture de données. Si la pastille a été correctement sélectionnée et que la capture s'est bien déroulée, fermer la fenêtre.

- ❖ Sur le cadran en bas à droite, cliquer sur **Tableau de Données** et sélectionner les variables x et v_x . Fermer cette fenêtre de variables.

c. Exploitation des données obtenues.

L'exploitation des données se fera sur le logiciel **LATISPRO** (dans le dossier Physique-Chimie) du bureau..

- ❖ Dans le logiciel **TRACKER**, aller dans l'onglet **Fichier**, puis **Exporter** et sélectionner **Fichier de données**. Dans **Cellules**, sélectionner **Toutes les cellules**. Dans **Délimiteur**, sélectionner **Onglet**, cliquer alors sur **Enregistrer sous** et créer un fichier **donneesVOTRENOM.txt** dans le dossier **Vidéos**.
- ❖ Dans l'explorateur de fichier windows, chercher le fichier que vous venez de créer et l'ouvrir avec le bloc-notes.
 - Eliminer intégralement la première ligne contenant le titre du tableau de données.
 - Renommer les variables par t, x et v_x (attention à les séparer par une simple tabulation)
 - Ajouter une ligne avec les unités s, m et m/s (attention à les séparer par une simple tabulation).
- ❖ Ouvrir le logiciel **LATISPRO** et récupérer les données en sélectionnant l'onglet **Fichier**, puis **importation**, et sélectionner votre fichier de données. Créer alors les courbes x(t) et $v_x(t)$ dans la fenêtre qui apparaît. On peut afficher les courbes en cliquant-glissant depuis l'onglet **Courbes** de la colonne de gauche vers une fenêtre graphique ouverte.
- ❖ A partir des courbes obtenues, déterminer l'accélération du chariot et vérifier la bonne concordance avec la valeur attendue.

2.3. Etude des frottements fluides.

- ❖ Reprendre le protocole d'étude « sans frottement » et l'adapter pour mesurer le coefficient de frottement dynamique entre le rail et le chariot.

2.4. Etude des frottements solides en situation statique.

- ❖ Proposer un protocole pour mesurer le coefficient de frottement statique entre le rail et le chariot.
 - Obtenir une estimation du coefficient de frottement statique.

2.5. Etude des frottements solides en situation de glissement.

Reprendre le protocole d'étude « sans frottement » et l'adapter pour mesurer le coefficient de frottement dynamique entre le rail et le chariot.

Matériel pour (2x4) tables :

- Table 1 : rail de translation avec poulie et fil, chariot, boîte de masselottes, et soufflerie.
- Table 2 : WebCam sur potence
- Ordinateur avec Logiciel AMCAP
- Logiciel Latis-Pro et TRACKER

Matériel pour 4 tables :

- Eprouvette haute et transparente.
- Flacon de glycérine.
- Lots de billes en verre, acier etc...
- Balances et pied à coulisse.
- Chronomètres.

Prévoir également une « grande voile ».

Capacités :

- Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
- Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
- Mesures de longueur : à partir d'une photo ou d'une vidéo. Evaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
- Visualiser et décomposer un mouvement.

Etude du mouvement d'un pendule par analyse vidéo

1. Réalisation d'une capture vidéo du mouvement d'un pendule pesant.

1.1. Schéma et étude théorique du mouvement d'un pendule pesant.

On considère un pendule pesant constitué d'une tige équilibrée de moment d'inertie $J_{tige} = \frac{1}{12} m_{tige} l_{tige}^2$ et d'un cylindre considéré quasi-ponctuel en G situé à une distance a de l'axe de rotation de moment d'inertie $J_{cyl} = m_{cyl} a^2$ en liaison pivot supposée parfaite par rapport à l'axe de rotation Δ .

On note θ l'angle fait par la tige avec la verticale vers le bas.

Les actions mécaniques sur le pendule sont :

- L'action de contact au niveau de la liaison pivot supposée parfaite.
- L'action de la gravité terrestre sur la tige qui est nulle car elle est centrée
- L'action de gravité sur le cylindre vue comme un vecteur force $m_{cyl} \vec{g}$ appliquée au centre d'inertie G du cylindre.

On écrit le théorème scalaire du moment cinétique par rapport à l'axe de rotation Δ pour le pendule pesant :

$$(J_{tige} + J_{cyl}) \frac{d\Omega_{S/R}}{dt} = M_{\Delta, \vec{p}} + M_{\Delta, pivot}$$

La liaison pivot est parfaite et le moment du poids donne : $M_{\Delta, \vec{p}} = a \vec{e}_r \wedge m_{cyl} \vec{g} (\cos \theta \vec{e}_r - \sin \theta \vec{e}_\theta) \cdot \vec{e}_\Delta$

D'où $M_{\Delta, \vec{p}} = -m_{cyl} a g \sin \theta$

On obtient alors l'équation du mouvement : $J_{tot} \ddot{\theta} + m_{cyl} g a \sin \theta = 0$

On introduit alors la pulsation $\omega_S = \sqrt{\frac{mga}{J_{tot}}}$ pour écrire finalement : $\boxed{\ddot{\theta} + \omega_S^2 \sin \theta = 0}$

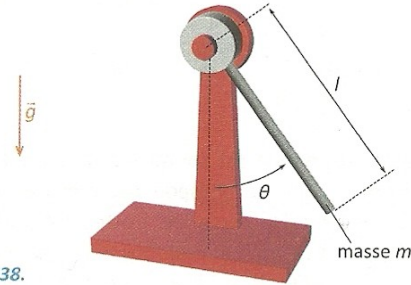


Fig 38.

1.2. Réalisation expérimentale du pendule.

❖ Détermination des caractéristiques du pendule :

Le pendule réalisé n'est pas un pendule simple car la tige utilisée présente une masse non négligeable.

- Mesurer la masse de la tige ainsi que l'incertitude associée, et mesurer la longueur de la tige ainsi qu'une incertitude associée. Déterminer son moment d'inertie par rapport à un axe de rotation passant par son centre en exploitant la formule : $J_{tige} = \frac{1}{12} m_{tige} l_{tige}^2$ ainsi que son incertitude associée.
- Mesurer la masse du cylindre blanc ainsi que l'incertitude associée, mesurer a la distance entre l'axe de rotation et la position du centre d'inertie du cylindre ainsi que l'incertitude associée. Déterminer alors le moment d'inertie du cylindre par la formule $J_{cyl} = m_{cyl} a^2$ et l'incertitude associée.
- Comparer les deux moments d'inertie et conclure. Evaluer alors le moment d'inertie total de la tige ainsi que l'incertitude associée.

❖ Réaliser le montage du pendule :

- On fixe d'abord la barre de masse m et de longueur l pour qu'elle soit équilibrée, c'est-à-dire que son centre est sur l'axe de rotation.
- Fixer alors le cylindre blanc à la distance a choisie précédemment.

1.3. Réaliser un enregistrement vidéo.

❖ Ouvrir le logiciel AMCAP (dans Physique-Chimie) qui se trouve sur le bureau de l'ordinateur.

- Si aucune image n'apparaît à l'écran, aller dans le menu option et cocher la case preview, on visualise alors à l'écran le champ de la caméra.

❖ Placer la caméra face au pendule et vérifier :

- L'horizontalité de l'écran sombre placé derrière le pendule : l'étalon de distance (la réglette blanche et noire sur le côté de l'écran) doit être la plus verticale possible.
- La distance pendule caméra : elle doit être optimisée pour que le champ inclus le pendule en entier, le centre de rotation et l'étalon de distance, mais sans avoir un espace excessif autour de ces éléments.

- L'horizontalité de l'axe la caméra pour obtenir une image droite.
- La mise au point de la caméra sur le système d'étude qui peut être réalisée à l'aide de la bague de réglage située sur la caméra.
- ❖ Régler les paramètres d'acquisition :
 - Dans le menu **Option**, choisir l'onglet **Video capture pin**. Choisir la taille de l'image **1920x1080**.
 - Dans le menu **Capture**, choisir **Set Time Limit** et entrer la durée du film à réaliser pour enregistrer 3 périodes d'oscillations, on pensera également à cocher la case, **use set time limit**.
- ❖ Réalisation de l'enregistrement.
 - Dans le menu **File**, choisir **Set capture directory** et choisir le dossier **Vidéos** pour enregistrer vos vidéos.
 - Eloigner (légèrement pour les premiers essais) le pendule de sa position d'équilibre, et déclencher l'enregistrement par le bouton **Start capture** qui se trouve dans le menu capture puis taper ok rapidement dans la fenêtre qui s'affiche.
 - Aller ensuite dans le dossier Vidéo avec l'explorateur de fichiers Windows pour renommer votre film par **penduleVOTRENOM**.

Appeler le professeur pour valider l'enregistrement et passer à l'étape suivante.

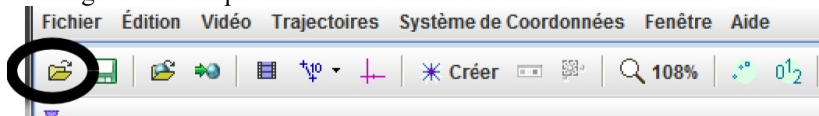
2. Numérisation de l'enregistrement

La numérisation de l'enregistrement vidéo se fait à l'aide du logiciel **TRACKER**.

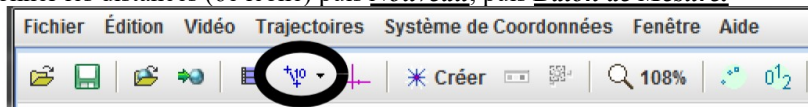
- ❖ Lancer le logiciel **TRACKER**.

2.1. Récupération de données.

- ❖ Charger la vidéo enregistrée en cliquant sur la 1^{ère} icône de la barre d'outils.

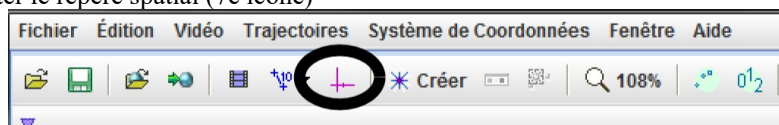


- étalonner les distances (6^è icône) puis **Nouveau**, puis **Bâton de Mesure**.



Le bâton de mesure bleu est apparu sur la vidéo. Le placer à l'aide de la souris sur l'étalon blanc et noir en déplaçant les deux croix aux extrémités. En cliquant sur la valeur numérique du bâton de mesure, indiquer sa vraie longueur (**en m**). Attention le séparateur décimal doit être la **virgule** (et non le point).

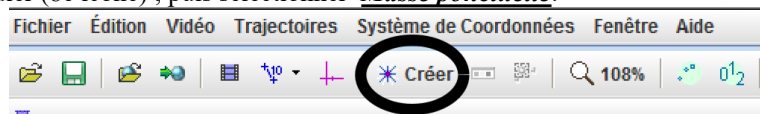
- Ajouter le repère spatial (7^è icône)



Placer à l'aide de la souris l'origine O du repère sur le centre de rotation du pendule. Faire tourner le repère de manière à placer l'axe des x vertical descendant. Cet axe est distingué des autres par un petit tiret.

- ❖ Dans l'onglet **Système de coordonnées**, choisir **Unités des angles, Radian**.

- ❖ Créer un objet à étudier (8^è icône), puis sélectionner **Masse ponctuelle**.

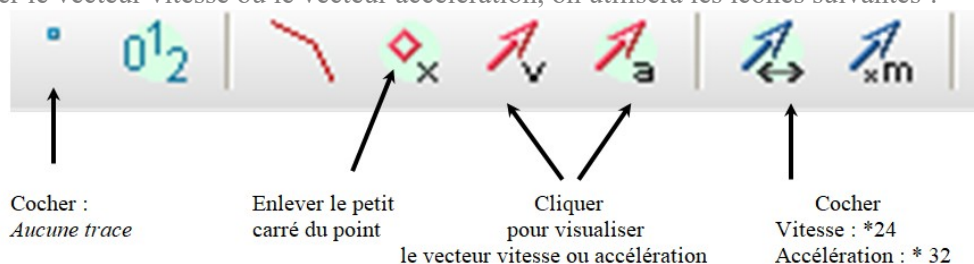


Appuyer sur Ctrl et Maj (maintenir les 2 appuyées) et, avec la souris, cliquer sur le centre de la masse. Dans la fenêtre qui vient d'apparaître, cliquer sur **Chercher**. Le logiciel lance alors l'analyse de la vidéo et de la capture de données. Si La masse a été correctement sélectionnée et que la capture s'est bien déroulée, fermer la fenêtre.

- ❖ Sur le cadran en bas à droite, cliquer sur **Tableau de Données** et sélectionner les variables θ et ω . Fermer cette fenêtre de variables.

2.2. Cinématique du mouvement. (A essayer si on est en avance sur le déroulé du TP)

Pour visualiser le vecteur vitesse ou le vecteur accélération, on utilisera les icônes suivantes :



- ❖ Relancer alors la visualisation de la vidéo et répondre alors aux questions suivantes :
 - Quelle est l'orientation du vecteur vitesse observée sur l'enregistrement ? Commenter
 - Quelle est l'orientation du vecteur accélération ? En quel point est-il orthoradial ? en Quel point est-il radial ? Commenter.

3. Exploitation des données extraites.

L'exploitation des données se fera sur le logiciel LATISPRO.

- ❖ Dans le logiciel TRACKER, aller dans l'onglet Fichier, puis Exporter et sélectionner Fichier de données. Dans Cellules, sélectionner Toutes les cellules, Dans Délimiteur, sélectionner Onglet, cliquer alors sur Enregistrer sous et créer un fichier donneesVOTRENOM.txt dans le dossier Vidéos.
- ❖ Dans l'explorateur de fichier windows, chercher le fichier que vous venez de créer.
 - Eliminer la première ligne contenant le titre du tableau de données.
 - Renommer les variables par t, theta et omega (attention à les séparer par une simple tabulation)
 - Ajouter une ligne avec les unités s, rad, rad/s (attention à les séparer par une simple tabulation).
- ❖ Ouvrir le logiciel LATISPRO et récupérer les données en sélectionnant l'onglet Fichier, puis importation, et sélectionner votre fichier de données. à nommer les trois variables correspondantes, temps, theta, omega en double cliquant dessus dans l'onglet Courbes de la colonne de gauche.

3.1. Etude du mouvement de petites oscillations autour de l'équilibre.

- ❖ Visualiser sur une fenêtre graphique les courbes temporelles donnant theta en fonction du temps et omega en fonction du temps.
 - Utiliser l'outil mesures automatiques pour déterminer la période, l'amplitude, et la valeur moyenne de theta et omega.
 - ✓ Comparer la période expérimentale avec la valeur théorique attendue.
 - ✓ Quelle est la valeur moyenne théorique de theta ? Quelle est la nature de l'erreur qui est commise dans les mesures de cet angle ?
 - ✓ Pour la suite, si besoin est, on rectifiera cette erreur en introduisant un nouvel angle de moyenne nulle theta2 à l'aide de la feuille de calcul. On utilisera alors theta2 plutôt que theta dans les calculs qui seront effectués par la suite.
 - Rappeler la nature du mouvement dans le cas d'oscillation aux petits angles et effectuer une modélisation de theta(2) et de omega à l'aide des outils du logiciel LATISPRO. Commenter le résultat obtenu.
- ❖ Visualiser le portrait de phase sur une nouvelle fenêtre graphique.
 - Effectuer le tracé de ce portrait de phase avec theta(2) et omega, puis avec les modélisations associées. Commenter alors les tracés obtenus.
- ❖ Tracé des énergies réduites.
 - Dans la feuille de calcul :
 - ✓ définir l'énergie cinétique réduite $e_c = \frac{E_c}{E_{c,max}} = \left(\frac{\omega}{\omega_{max}} \right)^2$
 - ✓ définir l'énergie potentielle réduite $e_p = \frac{E_p}{E_{p,max}} = \left(\frac{1 - \cos(\theta(2))}{1 - \cos(\theta(2)_{max})} \right)$
 - ✓ Définir l'énergie mécanique réduite $e_m = e_c + e_p$
 - Procéder de même avec les grandeurs modélisées pour définir $e_{c,mod}$, $e_{p,mod}$ et $e_{m,mod}$
 - Tracer alors sur un même graphique e_c , e_p et e_m en fonction du temps ainsi que $e_{c,mod}$, $e_{p,mod}$ et $e_{m,mod}$.

- Commenter les courbes obtenues, en particulier les écarts entre l'étude théorique, la modélisation et la courbe expérimentale.

3.2. Etude du mouvement à forte amplitude.

- ❖ Reprendre toutes les étapes précédentes en modifiant l'angle initial du pendule pour une valeur très grande (aux environs de 120 degrés).
 - Commenter en particulier la valeur de la période des oscillations. Est-elle identique au cas des petites oscillations ? Expliquer pourquoi on parle de non isochronisme des oscillations.

3.3. Etude du mouvement d'oscillations amorties.

- ❖ On réalise un pendule amorti en plaçant en haut de la tige un carton qui créera un frottement de type fluide.
- ❖ Reprendre toutes les étapes précédentes en modifiant les paramètres d'acquisition comme suit :
 - Dans le menu Option, Video capture pin on choisira flux rate 30Hz et dans le menu Capture, on choisira Frame rate 30/s.
 - On effectuera un enregistrement sur 20 secondes et on nommera le fichier PenduleamortiVOTRENOM.
- ❖ Exploiter les courbes obtenues pour déterminer :
 - La pseudo-période expérimentale T et en la comparant à la période propre T_0 .
 - La valeur du facteur de qualité en exploitant la relation :
$$Q = \frac{k\pi}{\ln\left(\frac{\theta(t)}{\theta(t+kT)}\right)}$$
, k un entier positif.

Matériel pour 6 tables :

- Pendule (tige+ masse), potence, écran noir
- Balances permettant de peser la tige et la masse. Mètre ruban.

Matériel pour 12 tables :

- WebCam posée sur l'écran de l'ordinateur
- Ordinateur avec Logiciel AMCAP
- Logiciel Latis-Pro et TRACKER

Capacités :

- Réaliser et exploiter quantitativement un enregistrement vidéo d'un mouvement : évolution temporelle des vecteurs vitesse et accélération.
- Réaliser l'acquisition expérimentale du portrait de phase d'un pendule pesant. Mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.
- Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.