

TP 6B – Mécanique du solide

Problématiques :

- Expérimentalement, comment mesurer un coefficient de frottement statique et vérifier les lois de Coulomb ?
- Comment déterminer le moment d'inertie et l'évolution de l'énergie mécanique d'un pendule pesant via l'acquisition de $\theta(t)$?

Compétences expérimentales au programme :

Mécanique	Effectuer une mesure d'un coefficient de frottement.
Mesurer une masse.	Utiliser une balance de précision.
Quantifier une action.	Utiliser un dynamomètre.
Pendule pesant.	Réaliser l'étude énergétique d'un pendule pesant et mettre en évidence une diminution de l'énergie mécanique.
Mesurer un moment d'inertie.	Repérer la position d'un centre de masse et mesurer un moment d'inertie à partir d'une période.

Objectifs :

- 1.1 Mettre en œuvre un protocole pour mesurer un coefficient de frottement statique.
- 1.2. Confronter les résultats expérimentaux aux lois de Coulomb i.e. étudier l'influence de différents paramètres sur les frottements : poids d'un objet, aire de la surface de contact, nature du matériau.
2. Caractériser un pendule pesant et acquérir l'évolution de l'angle θ en fonction du temps pour :
 - comparer les valeurs théoriques et expérimentales du moment d'inertie du pendule par rapport à son axe de rotation ;
 - mettre en évidence l'écart au modèle de l'oscillateur harmonique dans le cas d'oscillations d'amplitude élevée ;
 - obtenir l'évolution de l'énergie mécanique du pendule pesant en fonction du temps.

A faire pour la séance de TP :

Lire entièrement le sujet et répondre aux questions ✍.

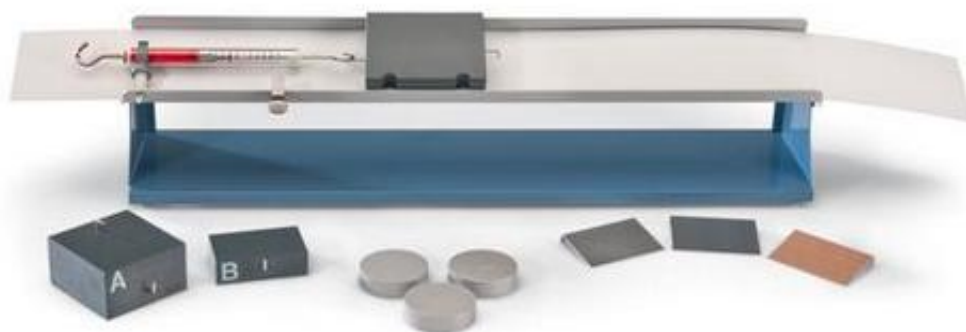
Organisation de la séance :

	Gpes i et j	Gpes k et l
14h-15h / 16h-17h	1 ^e partie. Tribomètre	2 ^e partie. Pendule pesant
15h-16h / 17h-18h	2 ^e partie. Pendule pesant	1 ^e partie. Tribomètre

1^e partie. Tribomètre

1) Description du dispositif

Pour étudier les lois du frottement solide de manière quantitative, on peut utiliser un tribomètre à languette mobile passant **à vitesse constante** sous un corps de frottement relié à un dynamomètre.



Avec ce tribomètre à languette mobile, il est possible :

- avec le corps de frottement A : d'ajouter des surcharges afin d'augmenter le poids de l'ensemble et donc la réaction $R_N = \|\vec{R}_N\|$
- avec le corps de frottement A : de voir l'influence de l'aire de la surface de contact
- avec le corps de frottement B : de faire varier le coefficient de frottement par l'intermédiaire de plateformes de maintien ayant des revêtements différents (acier lisse, revêtement plastifié, revêtement « collant »)
- avec le corps de frottement C (muni de roulements) : d'incliner le parcours de frottement d'un angle α sur l'axe longitudinal afin de diminuer la réaction $R_N = mg \cos(\alpha)$ (expérience n°3)

2) Considérations théoriques

✎ ➡ 0. Compléter l'encadré ci-dessous :

Lois de Coulomb du frottement solide

Cas statique : non-glissement = adhérence

- i) Il y a adhérence tant que $\|\vec{R}_t\| \leq \|\vec{R}_t\|_{max} =$ avec μ_S le coefficient de frottement statique.
 ii) μ_S dépend seulement de la nature des matériaux en contact.

Cas dynamique : frottements de glissement

- i) $\vec{R}_t$ de même direction que et de sens opposé à .
 ii) $\|\vec{R}_t\| = \|\vec{R}_t\|_{seuil} =$ avec μ_d le coefficient de frottement dynamique.

♦ On note (S) le corps de frottement (solide déposé sur la languette). On note (L) la languette et $\mathcal{R}_T$ le référentiel terrestre supposé galiléen.

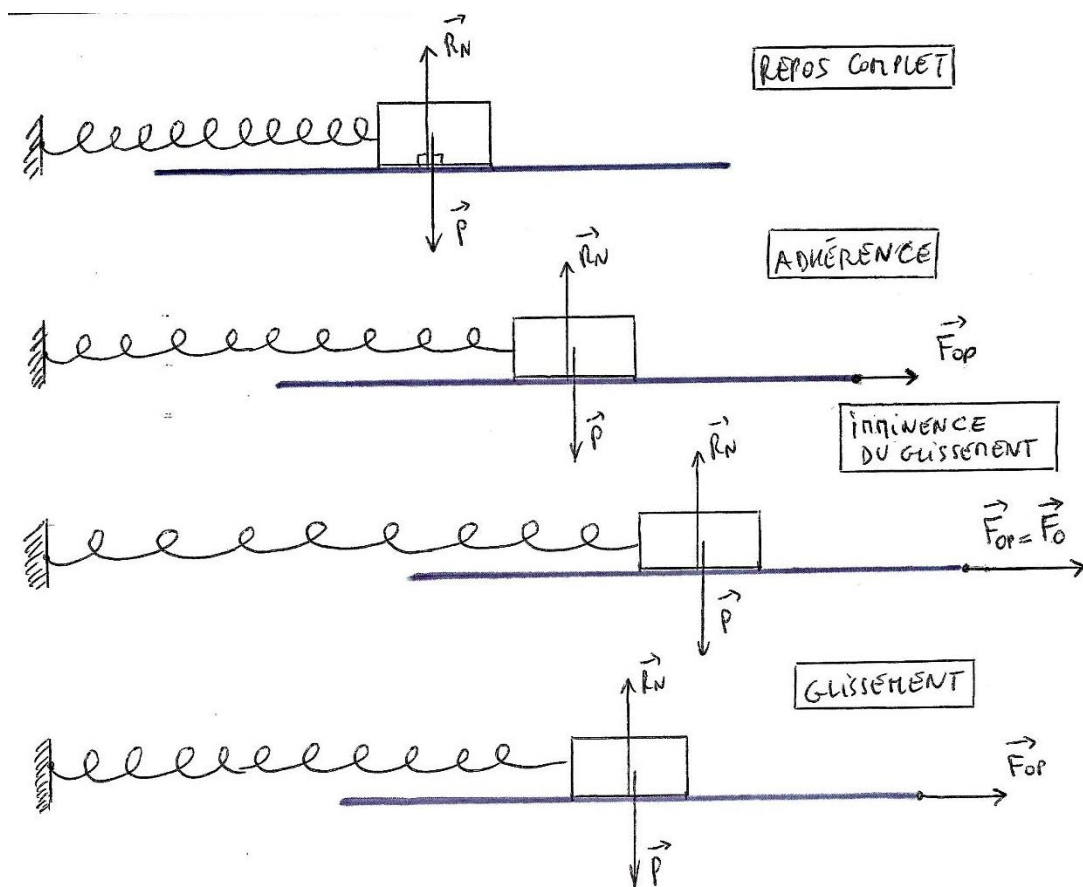
Lors des manipulations, on exerce une force $\vec{F}_{op}$ permettant de translater (L) à vitesse constante.

✎ ➡ 1. Dans les 4 situations représentées ci-dessous, justifier que $\vec{a}(S)_{/\mathcal{R}_T} = \vec{0}$.

✎ ➡ 2. Compléter les schémas ci-dessous en faisant apparaître tout ou partie des forces suivantes :

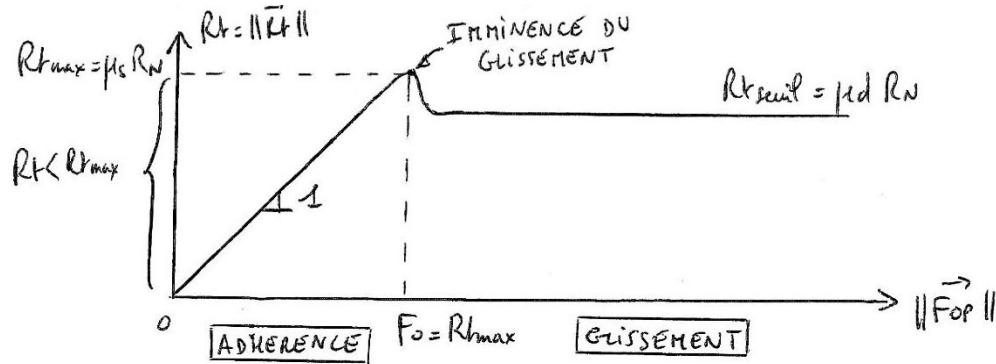
- la force de rappel $\vec{F}_{él}$ exercée par le dynamomètre
- les réactions $\vec{R}_t$, $\vec{R}_{t_{max}}$, $\vec{R}_{t_{seuil}}$

On s'assurera que les forces ainsi tracées vérifient le principe fondamental de la dynamique.



✎ ➡ 3. En déduire comment il est possible de déterminer le coefficient de frottement statique μ_s expérimentalement.

On peut synthétiser les situations des schémas précédents avec le graphique suivant :



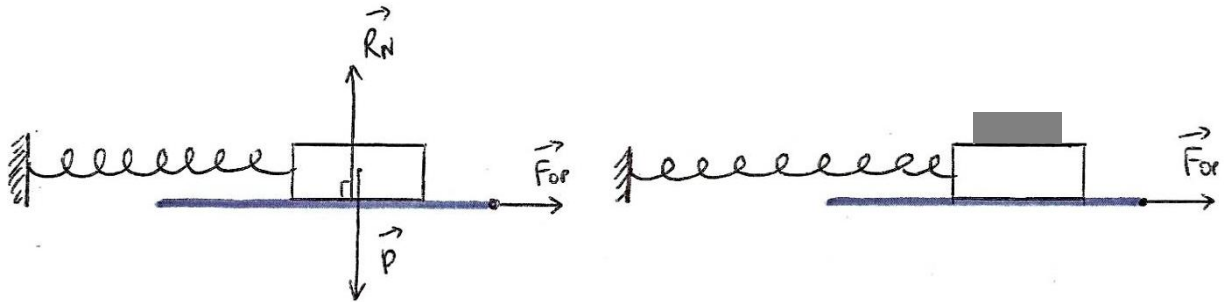
♦ Dans les manipulations 1 et 3, on veut mettre en évidence l'influence de la réaction R_N .

✎ ➡ 4. Manipulation 1 (surcharges) : Les schémas ci-dessous représentent la situation à l'imminence du glissement : à gauche pour le corps de frottement et à droite pour le corps de frottement auquel on a rajouté une surcharge.

Compléter ces schémas en faisant apparaître tout ou partie des forces suivantes :

- le poids $\vec{P}$
- la force de rappel $\vec{F}_{\text{él}}$ exercée par le dynamomètre
- les réactions $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_{t\text{max}}$

On comparera les normes des forces des deux schémas.



✎ ➡ 5. Manipulation 3 (inclinaison) : Le parcours de frottement du tribomètre à languette mobile peut être incliné d'un angle α par rapport à l'axe longitudinal. Le schéma ci-dessous indique l'angle α entre la normale $\vec{n}$ au parcours de frottement et le poids du corps de frottement.

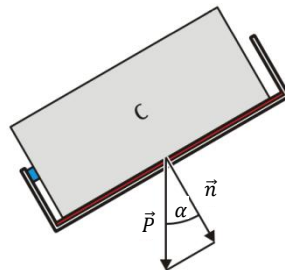


Fig. 3 : Mesures avec corps C sur une trajectoire de frottement inclinée

✎ ➡ 6. Montrer que la norme de la réaction normale R_N s'exprime par : $R_N = mg \cos(\alpha)$

✎ ➡ 7. Pour les manipulations 1 et 3, justifier quelle doit être en théorie l'allure de la courbe $\|\vec{R}_{t\text{max}}\| = f(R_N)$. Comment peut-on déterminer le coefficient de frottement statique μ_s à partir de cette courbe ?

- ♦ Dans la manipulation 1, on veut mettre en évidence l'influence de la surface de contact.

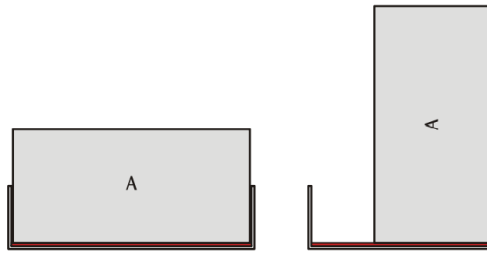


Fig. 1 : Étude du frottement par adhérence et de glissement avec le corps A pour deux tailles de la surface d'appui.

✎ 8. Schématiser la situation à l'imminence du glissement pour les deux configurations en faisant apparaître les forces suivantes :

- le poids $\vec{P}$
- la force de rappel $\vec{F}_{el}$ exercée par le dynamomètre
- les réactions $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_{tmax}$

On comparera les normes des forces des deux schémas.

✎ 9. Justifier quelle doit être en théorie l'influence de la surface de contact sur $\|\vec{R}_{tmax}\|$.

-
- ♦ Avant de commencer les manipulations, on nettoiera soigneusement les éléments utilisés (blocs, plateformes, languette...).
 - ♦ Vos résultats expérimentaux seront rassemblés dans un fichier Excel « TP6B_Tribomètre » disponible sur cahier de prépa.

3) Manipulation n°1 : Mesure d'un coefficient d'adhérence μ_s - Influence de la réaction R_N – Influence de l'aire de la surface de contact

Sous Excel, compléter le tableau de l'onglet « manip 1 » :

- ✎ Après avoir mesuré la masse m_A du bloc A, le placer sur le tribomètre (grande aire de contact), tirer lentement sur la languette mobile telle qu'elle ait une vitesse constante et repérer à l'aide du dynamomètre la force de rappel correspondant à la situation de l'imminence du glissement.
- ✎ Répéter l'expérience 10 fois et relever à chaque fois la force lue sur le dynamomètre.
- ✎ Faire une série de mesures après avoir ajouté 1 surcharge sur le bloc A.
- ✎ Enlever la surcharge et faire une série de mesure avec le bloc A en contact avec la languette mobile par sa petite aire de contact.

➡ 10. **Conclure :** Déterminer le coefficient de frottement statique entre le bloc A et la languette. Les résultats de cette première expérience sont-ils en accord avec les lois de Coulomb du frottement solide (cf qt° 7 et 9) ?

4) Manipulation n°2: Influence de la nature du matériau

Sous Excel, compléter le tableau de l'onglet « manip 2 » :

✎ Après avoir mesuré la masse m_B du bloc B, le placer sur le tribomètre, tirer lentement sur la languette mobilette qu'elle ait une vitesse constante et repérer à l'aide du dynamomètre la force de rappel correspondant à la situation de l'imminence du glissement.

✎ Répéter l'expérience 10 fois et relever à chaque fois la force lue sur le dynamomètre.

✎ Refaire une série de mesure la plateforme de maintien lisse pour commencer.

✎ Refaire une série de mesures en utilisant la plateforme de maintien recouverte d'un revêtement plastifié

➡ 11. **Conclure :** Déterminer les coefficients de frottement statique entre le bloc B disposé ou pas sur une plateforme et la languette. Commenter.

5) Manipulation n°3 : Influence de la réaction R_N en jouant sur l'inclinaison du parcours de frottement

Le parcours de frottement du tribomètre à languette mobile peut être incliné d'un angle α par rapport à l'axe longitudinal. Il faut pour cela utiliser les vis de serrages situées aux extrémités du banc. L'angle α peut être réglé « assez précisément » à 0° , 10° , 20° , 30° ,

On prendra alors pour cette expérience le corps de frottement C qui est muni de 2 roulettes lui permettant de rouler sans glisser le long du bord inférieur, tout en étant entraîné par frottement par la languette mobile.

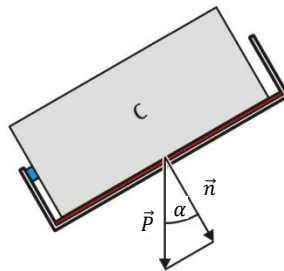


Fig. 3 : Mesures avec corps C sur une trajectoire de frottement inclinée

Sous Excel, compléter le tableau de l'onglet « manip 3 » :

✎ On commence par prendre $\alpha = 0^\circ$: après avoir mesuré la masse m_C du bloc C, le placer sur le tribomètre, tirer lentement sur la languette mobilette qu'elle ait une vitesse constante et repérer à l'aide du dynamomètre la force de rappel correspondant à la situation de l'imminence du glissement.

✎ Répéter l'expérience 5 fois et relever à chaque fois la force lue sur le dynamomètre.

✎ Prendre ensuite $\alpha = 20^\circ$ et recommencer l'expérience, puis $\alpha = 40^\circ$, 60° .

➡ 12. **Conclure :** Déterminer le coefficient de frottement statique entre le bloc C et la languette. Les résultats de cette expérience sont-ils en accord avec les lois de Coulomb du frottement solide (cf qt° 7) ? Comment prendre en compte l'incertitude sur l'angle d'inclinaison ?

6) Manipulation n°4 : Cas dynamique

✎ Vérifier expérimentalement que $\mu_s > \mu_d$.

2^e partie. Pendule pesant

1) Description du système

On étudie le pendule pesant « Pendulor » dont la photo est donnée ci-contre. Les différentes caractéristiques du pendule pesant sont les suivantes :

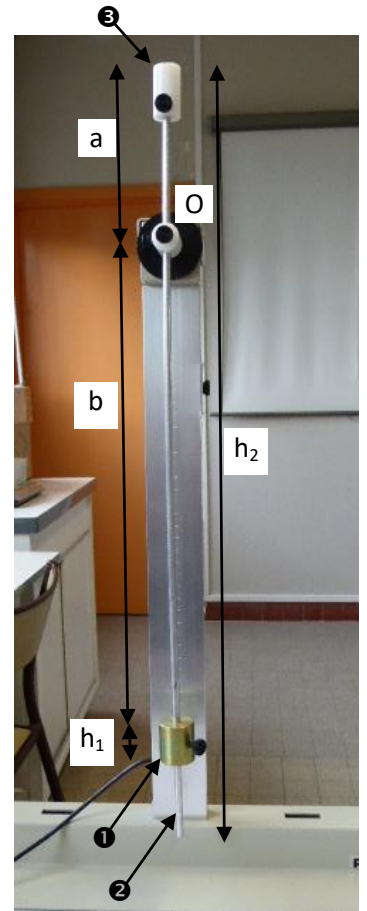
	Masse	Hauteur	Rayon
❶ est un cylindre métallique	$m_1 = 142 \text{ g}$	$h_1 = 3,0 \text{ cm}$	$R_1 = 1,4 \text{ cm}$
❷ est une tige métallique	$m_2 = 56,5 \text{ g}$	$h_2 = 59,0 \text{ cm}$	$R_2 = 0,3 \text{ cm}$
❸ est un cylindre en plastique	$m_3 = 16,8 \text{ g}$	$h_3 = 3,5 \text{ cm}$	$R_3 = 1,0 \text{ cm}$

L'axe (Oz) est un axe perpendiculaire à la figure : il s'agit de l'axe de rotation du pendule.

✋ Mesurer les distances a et b du pendule pesant que vous étudiez :

- a représente la distance entre le haut de la tige et l'axe (Oz) ;
- b représente la distance entre le haut du cylindre ❶ et l'axe (Oz).

➡ 13. Noter les valeurs de a et b.



2) Etude théorique

a) Moment d'inertie

♦ Equation du mouvement

✎ ➡ 14. Etablir l'équation du mouvement vérifiée par $\theta(t)$, dans le cas où les frottements sont négligés et où la liaison pivot est supposée parfaite. Vous préciserez les notations introduites.

✎ ➡ 15. Linéariser l'équation dans le cas des petits angles.

✎ ➡ 16. Exprimer le moment d'inertie du pendule pesant par rapport à (Oz) en fonction de g, m, d et de la période propre du pendule pesant.

L'un des buts du TP est de déterminer la valeur expérimentale du moment d'inertie $J_{(Oz)}$. Pour cela, nous utiliserons l'expression obtenue à la qt° 16 et au § 3.b, nous réalisons une 1^e acquisition telle que l'évolution de $\theta(t)$ est harmonique (= sinusoïdale) afin de mesurer la période propre du mouvement. Cependant, pour en déduire la valeur expérimentale du moment d'inertie $J_{(Oz)}$, il faut aussi connaître la distance $d = OG$.

♦ Centre d'inertie

Ici, le système est constitué de trois solides dont on connaît les centres d'inertie. On peut alors déterminer la position du centre d'inertie du système à partir du résultat suivant :

Pour un système constitué d'un ensemble de solides S_i de masse m_i et de centre d'inertie G_i , le centre d'inertie G du système est tel que : $m\overrightarrow{OG} = \sum_i m_i \overrightarrow{OG_i}$

✎ ➡ 17. Donner alors l'expression de $d = OG$ en fonction de m, m_1 , m_2 , m_3 , h_1 , h_2 , h_3 , a et b.

♦ Valeur théorique du moment d'inertie

On cherche à exprimer le moment d'inertie $J_{(Oz)}$ en fonction des masses et des distances caractéristiques du pendule pesant.

Pour déterminer l'expression théorique du moment d'inertie $J_{(Oz)}$, on donne les résultats suivants :

- Le moment d'inertie d'un cylindre de masse m_c , de rayon R et de hauteur h par rapport à un axe perpendiculaire à son axe de révolution et passant par son centre d'inertie s'écrit :

$$J_{cylindre} = \frac{m_c R^2}{4} + \frac{m_c h^2}{12}$$

- Loi d'Huygens : Le moment d'inertie $J_{\Delta'}$ d'un solide S par rapport à un axe $\Delta' = (Ox)$ parallèle à l'axe $\Delta = (Gx)$ est relié au moment J_{Δ} de S par rapport à l'axe $\Delta = (Gx)$ passant par le centre d'inertie G par :

$$J_{\Delta'} = J_{\Delta} + m_s L^2$$

avec m_s la masse du solide S et L la distance entre les deux axes Δ' et Δ .

- Pour un système S constitué de plusieurs solides S_i , on admet que l'on peut sommer les moments d'inertie par rapport à un même axe Δ des solides S_i pour avoir le moment d'inertie du système S par rapport à Δ .

 18. Déterminer l'expression du moment d'inertie $J_{(Oz)}$ du pendule pesant en fonction de m , m_1 , m_2 , m_3 , h_1 , h_2 , h_3 , R_1 , R_2 , R_3 , a et b .

b) Aspects énergétiques

 19. Donner les expressions de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle en fonction de θ , $\dot{\theta}$, $J_{(Oz)}$, m , g et d . On prendra la référence d'énergie potentielle à la position verticale : $\theta = 0 \text{ rad}$.

3) Manipulations

a) Réglages préliminaires → Appel professeur

 Si cela n'est pas déjà fait : connecter « Pendulor » à la carte d'acquisition : brancher le fil vert à l'entrée EA0 ; le fil noir à l'alimentation - 12 V et le fil rouge à l'alimentation + 12V.

 Ouvrir Latis Pro ; Dans « Edition », choisir « capteurs utilisateurs » puis « Pendulor » et valider ; Dans l'encart « entrées analogiques » : clic droit sur EA0 et choisir « Pendulor ».

 Vérifier que lorsque le pendule est en position d'équilibre, cela correspond bien à une valeur d'angle mesurée égale à zéro. Dans le cas contraire, desserrer la vis située sur l'axe du pendule, tourner le disque noir jusqu'à obtenir la valeur zéro pour le pendule vertical puis resserrer délicatement la vis.

Une fois vos réglages validés, réaliser les manipulations ci-après.

b) Etude n°1 : Mesure de la période propre – Détermination du moment d'inertie

 20. Proposer des paramètres d'acquisition et des conditions expérimentales permettant de mesurer la période propre du pendule.

 Après validation, acquérir le signal, enregistrer le fichier et imprimer la courbe $\theta = f(t)$.

21. Calculer la distance $d = OG$ et le moment d'inertie $J_{(Oz)}$ à partir des expressions obtenues aux questions 17 et 18.

22. Déterminer la période propre du pendule à partir de l'étude n°1.

23. En déduire la valeur expérimentale du moment d'inertie $J_{(Oz) \text{ exp}}$. Analyser ce résultat.

c) Etude n°2 : Ecart au modèle harmonique

- ✎ ➡ 24. Choisir des paramètres d'acquisition et des conditions expérimentales permettant de mettre en évidence l'écart au modèle harmonique.
- ➡ 25. Mesurer la période des oscillations pour différentes amplitudes. Mettre en évidence la perte de l'isochronisme des oscillations due aux effets non linéaires.
- ✎ ➡ Après validation, enregistrer le fichier et imprimer la courbe $T = f(\text{amplitude})$.

d) Etude n°3 : Effet des frottements

♦ Acquisition

- ✎ Fixer une plaque jaune dans la fente de ③ (cylindre en plastique) pour augmenter les frottements subis par le pendule. La masse de la plaque sera négligée devant la masse des autres éléments.
- ✎ ➡ 26. Choisir des paramètres d'acquisition permettant d'observer la décroissance de l'amplitude des oscillations. Prendre des conditions initiales telles que l'approximation des petits angles est vérifiée.
- ✎ ➡ Après validation, acquérir le signal et enregistrer le fichier.

♦ Modélisation

- ➡ 27. Commenter la courbe obtenue lors de l'étude n°3 et proposer une modélisation.
- ✎ Sous Latis Pro, modéliser la courbe $\theta = f(t)$ par une fonction appropriée.
- ➡ 28. Relever la valeur des différents paramètres.
- ✎ Dans « Traitements », choisir « calculs spécifiques » puis « dérivée » et glisser la courbe « **Modèle** en fonction du temps ».

♦ Evolution de l'énergie mécanique

- ✎ Dans « Traitements », choisir « feuille de calcul », écrire les expressions des grandeurs énergétiques « E_c », « E_p » et « E_m » déterminées à la qt° 19.
- ✎ Tracer sur le même graphique l'évolution temporelle des trois énergies.
- ➡ 29. Commenter les courbes obtenues.
- ✎ ➡ Après validation, enregistrer le fichier et imprimer la courbe $\theta = f(t)$ et les courbes des énergies en fonction de t .

Rotation TP6 :

	27-nov	04-déc	11-déc			27-nov	04-déc	11-déc
Térence - Charles	A	B	C		Elodie - Margot	A	B	C
Bastien - Lubin	A	B	C		Adelin - Nathan C.	A	B	C
Salahaddin - Baptiste	A	B	C		Amine - Camille	A	B	C
Alexis - Ethan	A	B	C		Charlélie - Nathan L.	B	C	A
Mathilde - Laura	B	C	A		Maël - Robin	B	C	A
Mathis - Adrien	B	C	A		Natoye - Antoine	B	C	A
Jules - Quentin	B	C	A		Gaspard - Timothée	C	A	B
Zinedine - Laila	C	A	B		Armand - Tristan	C	A	B
Pauline - Nolann	C	A	B		David - Eliott	C	A	B
Noah - Robin	C	A	B					