

DYNAMIC, logiciel intégré pour l'étude des mouvements

Résumé :

Le logiciel DYNAMIC peut être utilisé à la fois pour **la simulation de mouvements** et pour **l'étude d'enregistrements vidéo de mouvements**.

Outre l'avantage de n'avoir à utiliser qu'un seul et même logiciel pour les simulations et les études vidéo, il présente l'intérêt de pouvoir réaliser une simulation après avoir déterminé les paramètres du mouvement filmé, puis traité dans DYNAMIC et éventuellement dans un tableur.

Ainsi, la modélisation de la situation expérimentale précédemment étudiée permet de mieux s'appropriier l'évolution de grandeurs caractéristiques telles que la vitesse, l'accélération, les énergies.

Deux exemples relatifs au programme de terminale S vont permettre d'illustrer cette fonction « intégrée » du logiciel DYNAMIC : l'étude du mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur et l'étude énergétique d'un pendule simple au cours de ses oscillations.

Ces deux exemples ne sont bien évidemment pas rédigés pour être des fiches directement utilisables en classe : en effet, des copies d'écran se superposent à des consignes et des questions à destination des élèves, ainsi qu'à des remarques pour le professeur.

I. Etude du mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur

1. But de la séance :

Visualiser la trajectoire d'un projectile dans le champ de pesanteur terrestre. Comparer les résultats des mesures réalisées à partir d'un enregistrement vidéo du mouvement avec les paramètres déterminés par étude théorique.

2. Dispositif expérimental :

On filme le mouvement d'une boule à l'aide d'un caméscope. On numérise l'enregistrement vidéo réalisé à l'aide d'une carte d'acquisition vidéo. On dispose alors d'un fichier vidéo numérique au format avi. On exploite cet enregistrement avec le logiciel Dynamic, qui permet de repérer les positions successives de la boule au cours du temps. La fréquence des images étant de 25 Hz, la durée qui s'écoule entre 2 images successives est donc de 40 ms.

3. Acquisition des positions de la boule :

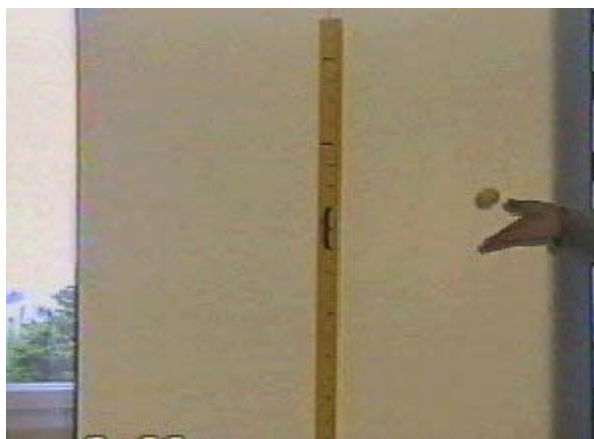
Lancer le logiciel « Dynamic » puis à l'aide du menu « vidéo » ouvrir le fichier correspondant au mouvement d'un projectile (par exemple, le fichier « para2.avi »).

Définir l'**échelle** de l'enregistrement, à l'aide du menu « Initialiser>Echelle » : pour cela, sélectionner avec la souris la première marque de la règle graduée et étirer jusqu'à la deuxième marque ; entrer ensuite la distance qui les sépare (0,20 m).

Choisir comme **orientation** « y vers le haut », à l'aide du menu Initialiser / Orientation.

Faire **avancer le film** de quelques images pour que la boule ne soit plus au contact de la main qui la lance.

Sélectionner alors **la position correspondante** de la boule A_0 en cliquant par exemple sur son centre : elle définit l'origine du repère Oxy . La date correspondant à cette position A_0 constitue l'origine du repère des dates ($t_0 = 0$).



Le film avance alors automatiquement d'une position : sélectionner de la même façon la **position suivante** A_1 de la boule.

Recommencer jusqu'à la fin de l'enregistrement.

Quelle est l'allure de la courbe $y = f(t)$?

4. Visualisation de la trajectoire et détermination des paramètres du mouvement :

Grâce à l'option « **Retour** » de la fenêtre « Traitement Vidéo », retourner dans le module principal de Dynamic et y afficher la trajectoire de la boule. Pour cela, utiliser l'icône « **Origine** » et placer la première position, dans la partie droite et inférieure de l'écran pour que la trajectoire puisse entièrement s'afficher.

Quelle est la nature de la trajectoire ?

A l'aide de l'icône « Axes », afficher le système d'axes (Ox, Oy) .



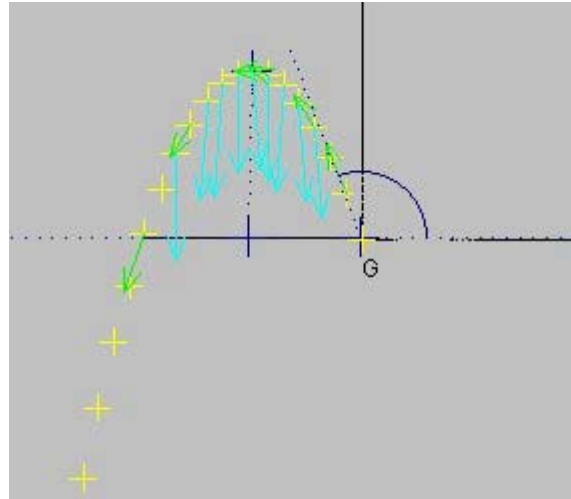
A l'aide de l'outil « Vitesse » et de l'outil « Rapporteur », déterminer :

- la vitesse v_1 correspondant à la position A_1 (la vitesse v_0 correspondant à A_0 est inaccessible par le logiciel).
- L'angle initial α entre l'axe Ox et le vecteur \vec{V}_0
- La composante selon l'axe Ox du vecteur vitesse en plusieurs positions.
Que remarque-t-on ?
- La composante selon l'axe Oy du vecteur vitesse au sommet de la trajectoire.

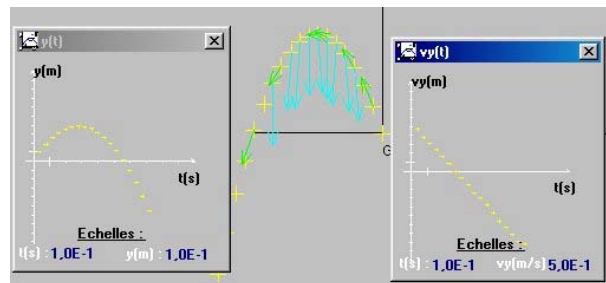
A l'aide de l'outil « Accélération », déterminer :

- La valeur de l'accélération du mouvement en plusieurs positions.
Que remarque-t-on ?

A l'aide de l'outil « Règle », déterminer :
La flèche du mouvement, c'est à dire la hauteur maximale atteinte par le projectile, ou encore l'ordonnée y au sommet de la trajectoire.



A l'aide du menu fenêtres, visualiser :
• L'évolution de x et de v_x au cours du temps
L'évolution de y et de v_y au cours du temps



5. Etude théorique :

On considère le mouvement d'un projectile lancé avec une vitesse initiale \vec{V}_0 faisant l'angle α avec l'horizontale.

Etablir les équations horaires du mouvement dans le repère (Ox,Oy), l'axe Ox étant horizontal, l'axe Oy vertical vers le haut. En déduire l'équation de la trajectoire.

Montrer que l'altitude maximale atteinte par le projectile par rapport au point de lancement (« flèche ») vaut $h = (v_0^2 \sin^2 \alpha) / 2g$. Pour cela, écrire que $v_y = 0$ au point M sommet de la trajectoire. En déduire la date t_M correspondante, puis son ordonnée y_M .

6. Traitement et exploitation des mesures :

Le traitement des mesures va être effectué avec le tableur Regressi.

Pour cela, dans la fenêtre « **Traitement vidéo** », choisir le menu « **Exporter (au format Regressi pour Windows)** ».

Lancer le tableur Regressi à l'aide du menu « **Tableur** » : les résultats des mesures doivent alors s'afficher à l'écran sous forme de courbes dans la fenêtre « **Graphe** ».

- Visualisation des courbes $x = f(t)$ et $y = g(t)$:

A l'aide de l'icône « **Options** », choisir une taille de points plus importante pour qu'ils soient bien visibles à l'écran.

Quelle est l'allure de la courbe $x = f(t)$?

Expliquer pourquoi un modèle du type $x = a*t + b$ convient pour modéliser ces points expérimentaux.

Déterminer à l'aide de l'outil « **Modéliser** » du logiciel les paramètres a et b .

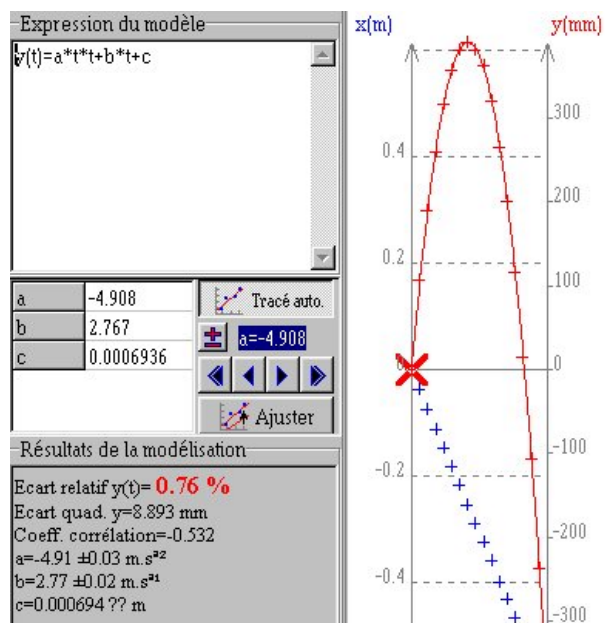
En comparant avec l'étude théorique, justifier la valeur de b ; que représente a ?

Quelle est l'allure de la courbe $y = g(t)$?

Expliquer pourquoi un modèle du type $y = a'*t^2 + b'*t + c'$ convient pour modéliser ces points expérimentaux.

Déterminer à l'aide de l'outil « Modéliser » du logiciel les paramètres a' , b' et c' .

En comparant avec l'étude théorique, justifier la valeur de c' ; que représente a' ? b' ?



Déduire du coefficient a' la valeur de l'intensité de la pesanteur g . Comparer avec sa valeur théorique. Comparer également avec la valeur de l'accélération déterminée précédemment sur la trajectoire.

Déterminer à l'aide de a et de b' les **valeurs de v_0 et de α** . Comparer avec les valeurs mesurées sur la trajectoire (vitesse de la position A_1 et angle initial).

Calculer la **flèche $h = y_M$** . Comparer à la valeur déterminée par lecture sur la trajectoire.

- Visualisation des courbes $v_x = f'(t)$ et $v_y = g'(t)$:

A l'aide des résultats précédents, prévoir littéralement et numériquement les expressions de $v_x = f'(t)$ et $v_y = g'(t)$, ainsi que l'allure des courbes correspondantes. Vérifier avec l'option « Coordonnées » pour choisir les grandeurs à visualiser puis l'option « Modéliser ».

7. Simulation du mouvement du projectile dans Dynamic (*facultatif*) :

Nous allons pouvoir simuler le mouvement du projectile, grâce à ses paramètres connus ou qui ont pu être déterminés précédemment : $m = 0,1 \text{ kg}$; $v_0 = \dots$; $\alpha = \dots$;

Réinitialiser et effacer l'écran par « Fichier/Nouveau », paramètres inchangés, puis, par « Initialiser/Paramètres » définir la masse de l'objet, l'intervalle de temps (40 ms) et le nombre de points (20).

Choisir comme **échelle** du mouvement 1 cm pour 0,10 m.

Placer la position initiale du projectile au centre de l'écran puis tracer les axes.

Tracer le vecteur \vec{v}_0 à l'aide de l'icône « vitesse initiale ». Ajuster éventuellement ses coordonnées avec le menu « Initialiser / vitesse / modifier », en entrant les coordonnées du vecteur vitesse : $v_{0x} = v_0 \cos(\alpha)$; $v_{0y} = v_0 \sin(\alpha)$.

Choisir le mode de tracé « grandes croix » à l'aide du menu « Trajectoire/Options », puis lancer le **tracé** avec l'icône trajectoire.

Avec les outils « vitesse » et « accélération », représenter **les vecteurs vitesse et accélération** en quelques points de la trajectoire.

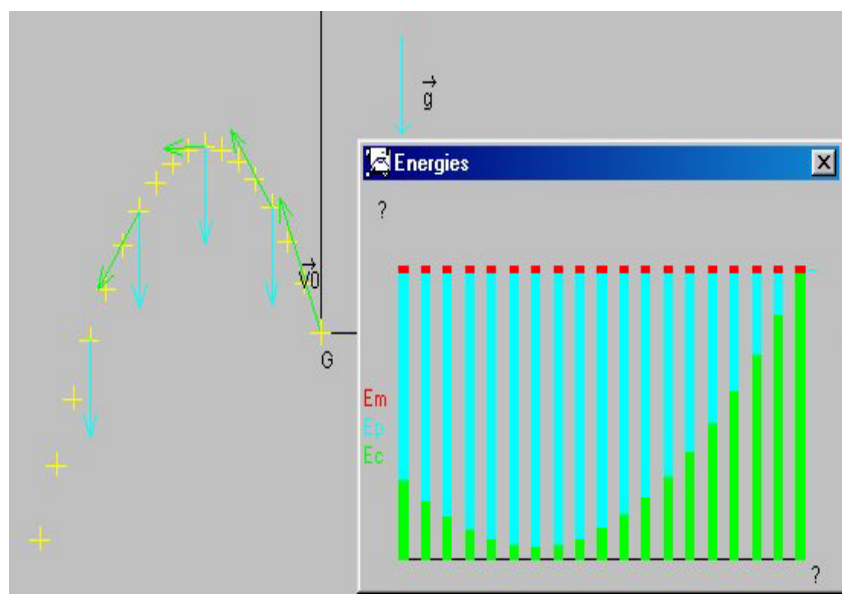
Etude énergétique (en fin d'étude de la partie D - Evolution temporelle des systèmes mécaniques) du programme) :

A l'aide du menu « Outils / Energie point par point », déterminer l'énergie potentielle de la position la plus basse du projectile. Choisir ensuite l'option « Outils/modification de l'énergie potentielle initiale », et noter l'opposé de la valeur précédemment déterminée, de manière à ce qu'au point le plus bas de la trajectoire l'énergie potentielle soit nulle.

Effacer le tracé précédent par « Outils/Effacer outils ».

Avec le menu « Outils /Energies/fenêtres», représenter l'évolution des énergies au cours du temps.

En quel point de la trajectoire l'énergie cinétique est-elle minimale ? maximale ? Justifier l'affirmation suivante : « Les deux formes d'énergie se transforment l'une dans l'autre au cours du mouvement ».



II. Energie mécanique d'un pendule simple

1. But de la séance :

Visualiser l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un pendule simple.

2. Dispositif expérimental :

On filme les oscillations d'un pendule simple à l'aide d'un caméscope. On numérise l'enregistrement vidéo réalisé à l'aide d'une carte d'acquisition vidéo. On dispose alors d'un fichier vidéo numérique au format avi. On exploite cet enregistrement avec le logiciel Dynamic, qui permet de repérer les positions successives de la boule au cours du temps. La fréquence des images étant de 25 Hz, la durée qui s'écoule entre 2 images successives est donc de 40 ms.

3. Acquisition des positions de la boule :

Lancer le logiciel « Dynamic » puis à l'aide du menu « vidéo » ouvrir le fichier correspondant aux oscillations du pendule (par exemple, le fichier « pv4.avi »¹).

Définir l'**échelle** de l'enregistrement, à l'aide du menu « Initialiser>Echelle » : pour cela, sélectionner avec la souris la première marque de la règle graduée et étirer jusqu'à la deuxième marque ; entrer ensuite la distance qui les sépare (0,20 m).

Choisir comme **orientation** « y vers le haut », à l'aide du menu Initialiser / Orientation.

Faire **avancer le film** de quelques images jusqu'à ce que l'objet suspendu soit en position basse (fil pratiquement à la verticale).

Sélectionner alors **la position correspondante** A_0 de l'objet suspendu en cliquant par exemple sur son centre : elle définit l'origine du repère Oxy. La date correspondant à cette position A_0 constitue l'origine du repère des dates ($t_0 = 0$).



Le film avance alors automatiquement d'une position : sélectionner de la même façon la **position suivante** A_1 de la boule.

Recommencer jusqu'à ce que le pendule ait fait une oscillation complète.

¹ Téléchargeable sur le site de l'Académie de Nantes <http://www.ac-nantes.fr/peda/disc/scphy/index1.htm>

4. Traitement et exploitation des mesures :

Le traitement des mesures va être effectué avec le tableur Regressi.

Pour cela, dans la fenêtre « **Traitement vidéo** », choisir le menu « **Exporter (au format Regressi pour Windows)** ».

Lancer le tableur Regressi à l'aide du menu « **Tableur** » : les résultats des mesures doivent alors s'afficher à l'écran sous forme de courbes dans la fenêtre « **Graphe** ».

- Visualisation de la courbe $\theta = f(t)$:

A partir de la courbe $x = f(t)$, déterminer à l'aide du réticule la durée qui sépare les deux positions extrêmes du pendule (pour lesquelles x est minimum ou maximum). En déduire la **période T** puis la **longueur du fil l**.

A l'aide de l'icône « Y_+ », créer les « paramètres expérimentaux suivants » :

- ✓ Nom : l unité : m commentaire : longueur valeur :
- ✓ Nom : g unité : m/s^2 commentaire : intensité de la pesanteur valeur : 9,81
- ✓ Nom : m unité : kg commentaire : masse valeur : 0,1

A l'aide de l'icône « Y_+ », créer la nouvelle grandeur θ , représentant l'angle entre la verticale et le fil. Puisque $\sin(\theta) = x/l$, avec l longueur du fil, on peut utiliser la relation suivante :

$$\theta = \text{asin}(x/l).$$

Choisir « grandeur calculée », puis définir son nom (teta), son unité (rad), un commentaire éventuel (angle) et son expression : $\theta = \text{asin}(x/l)$

Quelle est l'allure de la courbe $\theta = f(t)$?

- Visualisation des énergies :

Pour représenter les énergies, il faut commencer par créer les grandeurs v_x , v_y et v :

- ✓ grandeur dérivée : $v_x = dx/dt$
- ✓ grandeur dérivée : $v_y = dy/dt$
- ✓ grandeur calculée : $v = \text{sqrt}(v_x^2 + v_y^2)$.

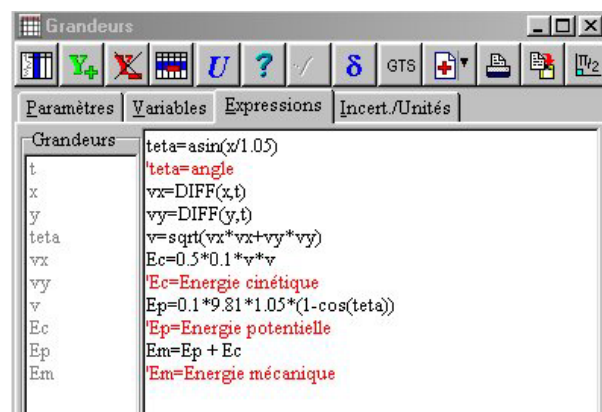
Créer ensuite la grandeur E_c , énergie cinétique de l'objet, définie par rapport à sa masse m et sa vitesse v .

Créer également la grandeur E_p , énergie potentielle de l'objet en interaction avec la Terre, définie par $E_p = mgh$, h étant la hauteur de son centre d'inertie par rapport à l'axe des x .

On peut montrer que : $h = l(1 - \cos(\theta))$.

Définir enfin l'énergie mécanique :

$$E_m = E_p + E_c.$$

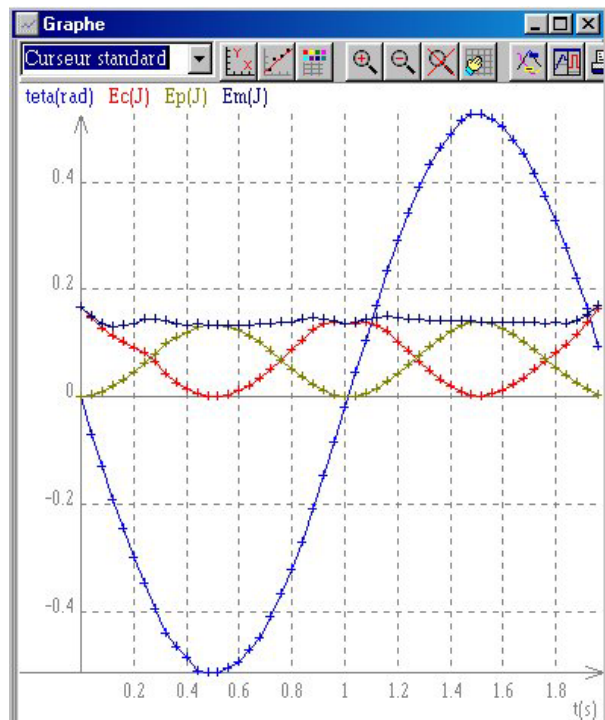


Visualiser enfin θ , E_c , E_p et E_m ; pour cela, choisir ces 4 grandeurs à représenter (grâce à l'option coordonnées).

Quelle est l'allure des courbes E_c et E_p en fonction du temps ?

Que vaut leur période ?

Comment évolue l'énergie mécanique au cours du temps ?



5. Visualisation des énergies dans Dynamic :

Grâce à l'option « **Retour** » de la fenêtre « Traitement Vidéo », retourner dans le module principal de Dynamic et y afficher la trajectoire de l'objet. Pour cela, utiliser l'icône « **Origine** » et placer la première position, dans la partie centrale de l'écran pour que la trajectoire puisse entièrement s'afficher.

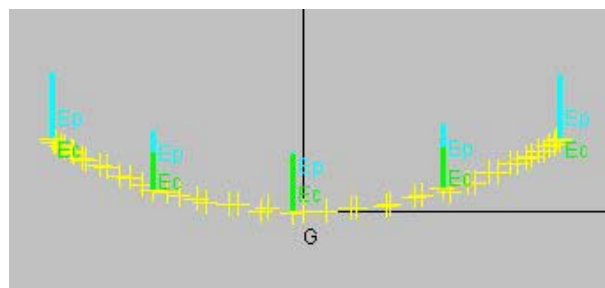
A l'aide de l'icône « **Axes** », afficher le système d'axes (Ox, Oy).

A l'aide du menu « Outils / Energie point par point », déterminer l'énergie potentielle de la position la plus basse de l'objet. Si cette énergie n'est pas nulle, choisir l'option « Outils/modification de l'énergie potentielle initiale », et noter l'opposé de la valeur précédemment déterminée, de manière à ce qu'au point le plus bas de la trajectoire l'énergie potentielle soit bien nulle.

Effacer le tracé précédent par « Outils/Effacer outils ».

En 5 positions bien choisies de la trajectoire, représenter les énergies cinétique et potentielle (avec le menu « Outils/Energie point par point »).

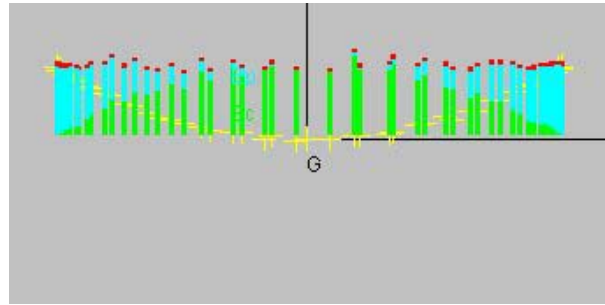
Comment évoluent les énergies cinétique et potentielle au cours des oscillations ?



Effacer à nouveau les tracés précédents par « Outils/Effacer outils ».

Avec le menu « Outils/Energies/courbes à partir de la trajectoire ou courbes sur l'axe des X », représenter l'évolution des énergies au cours du temps.

Que représentent les points rouges ?



6. Simulation des oscillations du pendule dans Dynamic :

Nous allons pouvoir simuler les oscillation du pendule, grâce à ses paramètres connus ou qui ont pu être déterminés : $m = 0,1 \text{ kg}$; $l = \dots$

L'amplitude des oscillations (ou valeur maximale de θ) peut être déterminée grâce à l'outil « Rapporteur ». Pour cela, commencer par effacer les tracés précédents par « Outils/Effacer outils ». Puis, déterminer l'angle entre l'axe des X et la droite qui joint l'origine O de la position la plus haute de l'objet (pour cela, positionner d'abord le rapporteur sur l'origine O et étirer jusqu'à la position souhaitée).

Montrer que cet angle représente aussi l'angle entre la verticale et le fil lorsque le pendule est en position haute.

Réinitialiser et effacer l'écran par « Fichier/Nouveau », paramètres inchangés, puis, par « Initialiser/Paramètres » définir la masse de l'objet.

Choisir alors le menu « Forces/Pendule simple », et définir ses caractéristiques : longueur du fil et angle initial (déterminés précédemment).

Choisir le mode de tracé « croix rapprochées » à l'aide du menu « Trajectoire/Options », puis lancer le tracé avec l'icône trajectoire.

Mettre fin au tracé (avec le bouton en bas de l'écran « Fin » lorsque le pendule a effectué deux ou trois oscillations.

Avec le menu « Outils/Energies/courbes à partir de la trajectoire », représenter l'évolution des énergies au cours du temps.

Que vaut l'énergie cinétique aux points les plus haut de la trajectoire ? Que vaut l'énergie potentielle au point le plus bas ?

Justifier l'affirmation suivante : « Les deux formes d'énergie se transforment l'une dans l'autre au cours des oscillations ».

