SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

La plupart des lycées à Madagascar rencontre des problèmes de manque ou d'insuffisance de matériels de laboratoire nécessaires pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques .Les cours sont devenus trop théoriques à cause de cette situation alors que, selon les indications officielles, l'enseignement de cette discipline devrait s'appuyer sur une approche expérimentale. Dans cette optique, les TP cours et les travaux pratiques sont fortement recommandés pour que les élèves puissent apprendre à observer et analyser un phénomène physique, à faire des mesures et des traitements de données, à interpréter les résultats obtenus et à tirer des conclusions.

L'approche expérimentale est donc préconisée pour atteindre les objectifs de l'enseignement/apprentissage des sciences physiques à savoir le développement du sens d'observation de l'élève, de son esprit d'analyse et de son esprit critique. Une question fondamentale se pose alors : que/comment faire pour atteindre ces objectifs sachant que l'on manque de matériels d'expérimentation ou que leur nombre est insuffisant ?

De nos jours les TICs sont mis au service de l'enseignement/apprentissage des sciences physiques. On trouve sur le marché des logiciels de simulation, de modélisation de phénomènes physiques. L'utilisation de tels logiciels aide à pallier ce problème de manque ou d'insuffisance de matériels de laboratoire dans un pays comme Madagascar. L'écriture de logiciels pour réaliser des travaux pratiques virtuels constitue une alternative.

C'est ainsi que, dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, mémoire intitulé « **Ressource numérique pour l'étude des oscillations mécaniques : cas d'un pendule simple** », nous nous proposons d'élaborer un logiciel didactique concernant les oscillations mécaniques qui figurent dans le programme des terminales scientifiques. Il est axé essentiellement sur les oscillations d'un pendule simple non amorti et d'un pendule simple amorti. L'aspect énergétique est aussi traité. Il s'agit d'une ressource numérique permettant d'effectuer des travaux pratiques virtuels.

Notre travail comporte deux parties :

- La première partie présente un repère théorique sur les mouvements oscillatoires. Elle considère surtout le cas du pendule simple.
- La deuxième partie propose des modules d'apprentissage fondés sur des TP virtuels et met à profit les points essentiels développés dans le repère théorique. L'accent est mis sur l'étude :
    - De la période d'un pendule simple non amorti
    - De l'énergie d'un pendule simple non amorti
    - De la période d'un pendule simple amorti
    - Des oscillations et mouvements d'un pendule simple amorti.

<u>PREMIERE PARTIE</u> : REPERE THEORIQUE

I. <u>Notion fondamentale</u>

I-1 : <u>Oscillations :</u>

On appelle **oscillations** (**vibrations**) ou **mouvement oscillatoire** les mouvements qui se répètent plus ou moins périodiquement dans temps.

D'après leur nature physique les oscillations sont très variées.

On distingue les oscillations mécaniques (balancements des pendules, vibration des cordes …), les oscillations éclectiques (circuit LC, circuit RLC…), les oscillations libres, les oscillations forcées, les oscillations non amorties, les oscillations amorties.

Les oscillations mécaniques sont des mouvements de va et vient, en général autour d'une position d'équilibre stable. (YAVORSKI. B, 1986)

a. <u>Oscillations mécaniques libres</u>

- On appelle oscillations libres les oscillations qui surgissent dans un système non soumis aux forces extérieures variables comme conséquence d'un écart initial de ce système de son état d'équilibre stable. (YAVORSKI. B, 1986)

- Les oscillations sont libres si, une fois écarté de sa position d'équilibre, le système (un pendule simple par exemple) est abandonné à lui-même (GROSSETÊTE.C, 1995)

b. <u>Oscillations non amorties</u>

Dans ce cas les forces de frottement sont négligeables et les amplitudes de l'oscillation restent constantes. La figure 1 décrit l'élongation angulaire θ(t) d'un pendule simple non amorti en fonction du temps t. (GROSSETÊTE. C, 1995)

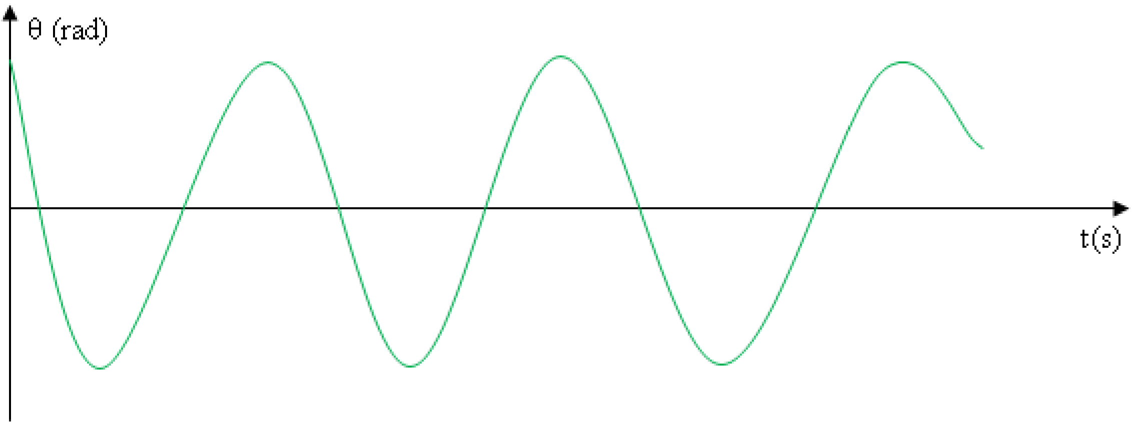


Figure 1 : Elongation angulaire θ(t) d'un pendule simple non amorti

θ(t) est une sinusoïde. L'élongation maximale ou amplitude reste la même au cours des mouvements du pendule.

c. Oscillations amorties

Lorsque le pendule simple est soumis à des forces de frottement, son mouvement est alors amorti. L'amplitude des oscillations n'est pas constante mais diminue progressivement au cours du temps.
Cette diminution de l'amplitude existe déjà dans l'air mais devient très grand si le pendule oscille dans de l'huile très visqueuse. (GROSSETÊTE. C, 1995)

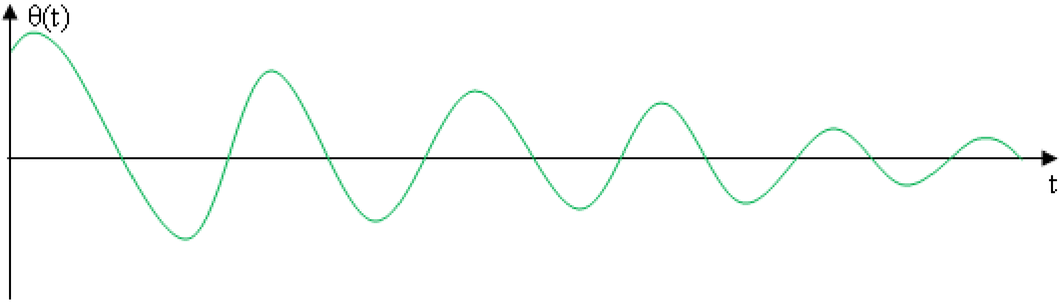


Figure 2 : Elongation angulaire θ(t) d'un pendule simple amorti.

θ(t) n'est plus une sinusoïdale.

d. Oscillations forcées :

Lorsque le système n'est pas abandonné à lui-même mais ses oscillations sont entretenues, alors on parle d'oscillations forcées. (GROSSETÊTE.C, 1995)

I-2 : Pendule simple.

Un pendule simple est un point matériel de masse m suspendu à un point par un fil inextensible de masse négligeable et oscillant dans un plan vertical sous l'action de la pesanteur.

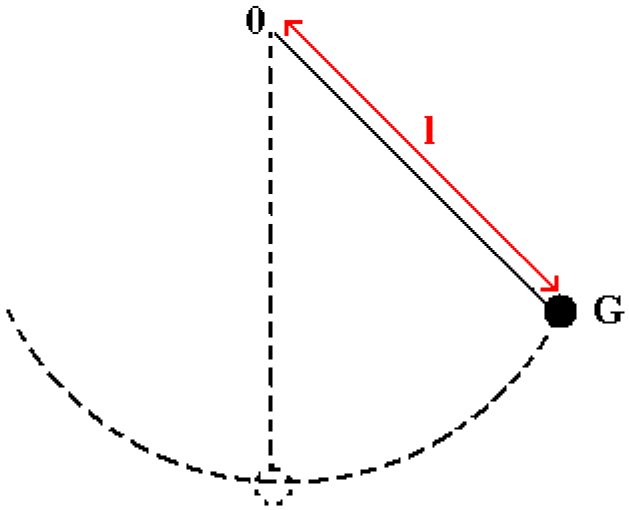


Figure 3 : Pendule simple

Le point matériel G, de masse m, se déplace alors sur un arc de cercle de rayon OG. L'effet du poids $\vec{P}$ tendant constamment à ramener le pendule vers sa position d'équilibre, celui-ci oscille dès qu'il est écarté de la verticale puis laissé à la seule action de la pesanteur. (CESSAC. J, 1967)

a) Position d'équilibre

Etudions l'objet ponctuel du pendule simple dans le référentiel terrestre.

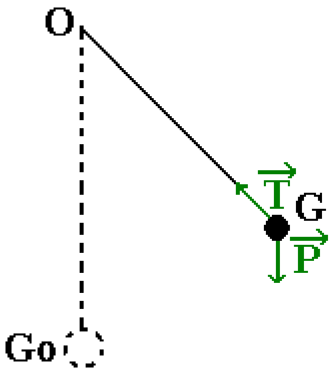


Figure 4 : Bilan des forces dans un pendule simple

La masse suspendue au fil constitue notre système.
Si on néglige les forces de frottement, les forces appliquées au système sont :

- Le poids $\vec{P}$ qui est l'action gravitationnelle de la terre sur la bille.
- La tension du fil $\vec{T}$ qui décrit l'action du fil sur la bille.

Lorsque le point G est situé sur la verticale des point O au point Go, la droite d'action de $\vec{P}$ coupe également l'axe O, et n'a donc pas d'effet sur le mouvement de rotation du pendule. (DURANDEAU. J, 1995)
Ainsi :

- Si le pendule est immobile dans cette position, il y reste
- Si on l'éloigne un peu de cette position, alors le poids $\vec{P}$ du pendule tend à l'y ramener. Cette position est appelée : **« position d'équilibre »** du pendule.

D'après le principe d'inertie, à l'équilibre, les deux forces qui s'exercent sur l'objet (son poids $\vec{P}$ et la tension du fil $\vec{T}$) sont opposées. Cette condition est réalisée lorsque le fil tendu est vertical. A la position d'équilibre, la tension du fil est donc verticale, comme le poids.
Si le pendule est écarté d'un angle θ de cette position d'équilibre, le poids a tendance faire revenir le pendule dans sa position initiale après quelques oscillations. Cette position est donc appelée **« position d'équilibre stable »**. (DURANDEAU. J, 1995)

b) Grandeurs physiques

– Abscisse angulaire ou élongation angulaire

On appelle **« élongation angulaire »** du pendule à chaque instant la valeur θ de l'angle d'écart entre la position actuelle et la position d'équilibre, c'est-à-dire l'angle formé par le pendule à la date t et le pendule à l'équilibre.
C'est une grandeur algébrique. Elle peut être négative ou positive, selon le sens positif choisi (en général celui du cercle trigonométrique). (GROSSETÊTE. C, 1995)

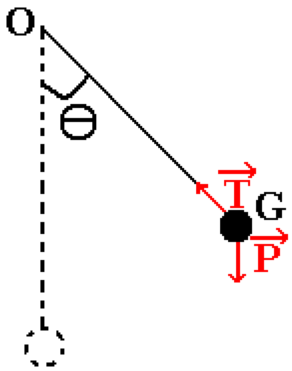


Figure 5 : Abscisse angulaire θ ou élongation angulaire.

– <u>Amplitude des oscillations</u>

C’est la valeur absolue de l’abscisse angulaire maximale. C’est une grandeur positive.

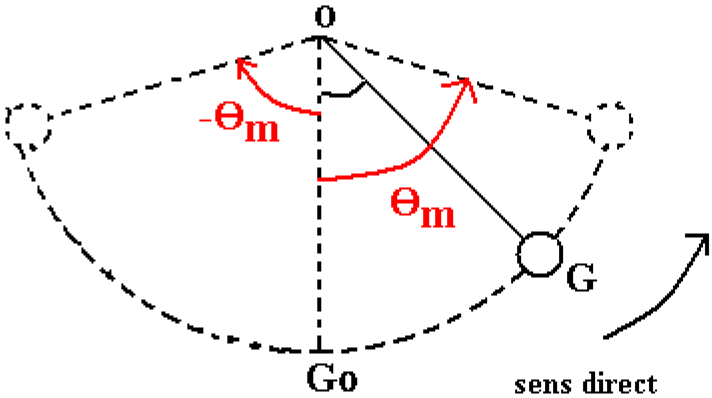


Figure 6 : Amplitude θ_m des oscillations

L’amplitude angulaire est constante si l’oscillation n’est pas amortie et décroit au cours du temps s’il est amorti. (GROSSETÊTE. C, 1995)

– <u>Période des oscillations</u>

La période représente la durée d’une oscillation complète. On la mesure en seconde (s) : Elle est constante dans le cas des oscillations non amorties et est aussi appelée période propre. Si l’oscillation est amortie, on parle de « pseudo-période ». La pseudo-période augmente avec l’amortissement.

Pour un oscillateur faiblement amorti, la pseudo-période est peu différente de la période propre ;

Si l’amortissement est intense, le système revient à sa position d’équilibre sans osciller. (CESSAC. J, 1967)

– <u>Fréquence f</u>

Le nombre de périodes en une seconde est appelé **« fréquence »**. Elle est mesurée en Hertz (Hz)

$$\boxed{f = \frac{1}{t} = \frac{w}{2\pi}} \quad (1)$$

II. Oscillation non amortie d'un pendule simple

Un mouvement oscillation non amorti est un mouvement de va et vient autour d'une position d'équilibre, qui se répète à lui-même à des intervalles de temps successifs égaux et dont l'amplitude est constante. (LANDAN. L, 1982)

II-1. Etude de la période

Considérons un pendule simple de longueur l et de masse m. le pendule est écarté d'un angle θ de sa position d'équilibre et abandonné sans vitesse initiale. L'élongation maximale est notée par θ_0 (CESSAC. J, 1967)

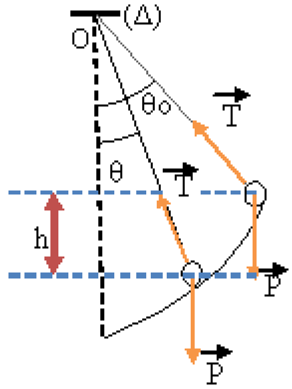


Figure 7 : Position du pendule à différentes dates

Appliquons la relation fondamentale de la dynamique en rotation :

$$\sum \mathcal{M}(F_{app}) = J\,\ddot{\theta} \quad (2)$$

$\sum \mathcal{M}(F_{app})$ est la somme des moments des forces appliquées par rapport à (Δ) passant par 0.

J est le moment d'inertie de la bille par rapport à Δ et $\ddot{\theta}$ l'accélération angulaire.

On obtient :

$$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = J\,\ddot{\theta} \quad (3)$$

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta}$ et $\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta}$ sont respectivement le moment de la tension $\vec{T}$ et le moment du poids $\vec{P}$ par rapport à Δ

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = \mathbf{0}$ puisque la droite d'action de $\vec{T}$ coupe l'axe

$$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -\,Pl\sin\theta = -\,mgl\sin\theta$$

L'équation (3) donne alors

$$J\,\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0 \quad (4)$$

Or pour un pendule simple $J = ml^2$ et on a :

$$ml^2\,\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0 \quad (5)$$ ce qui donne

$$\ddot{\theta} + \frac{l}{g}\sin\theta = 0 \quad (6)$$

Pour des oscillations de faible amplitude, on peut prendre $\sin\theta \approx \theta$ et on obtient l'équation différentielle

$$\ddot{\theta} + \frac{l}{g}\,\theta = 0 \quad (7)$$

la solution de cette équation est :

$$\theta = \theta_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

avec $\omega_0 = \sqrt{\frac{l}{g}}$

ω_0 est appelée pulsation angulaire. Elle est reliée à la fréquence f des oscillations :

$$\omega_0 = 2\pi f \quad (8)$$

On en déduit l'expression de la période pour des oscillations de faible amplitude

$$\boxed{T_o = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}} \quad (9)$$

Cette période est indépendante de l'amplitude θ_m.

L'amplitude θ_m et la phase initiale φ sont déterminées par les conditions initiales:

$\theta\,(t=0)$ et $\dot{\theta}\,(t=0)$.

Pour des **grandes amplitudes**, la période T se met sous la forme :

$$T = T_0\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\theta_m}{2} + \frac{9}{64}\sin^4\frac{\theta_m}{2} + \ldots\ldots\right) \quad (10)$$

Ce qui donne pour des **amplitudes trop fortes** :

$$T = T_0\left(1 + \frac{\theta_m^2}{16}\right) \quad (11)$$

<u>Remarque :</u>

Pour des oscillations de faible amplitude :

- La période d'un pendule simple est indépendante de l'amplitude (isochronisme) et de la masse de la substance.
- La période est proportionnelle à la racine carrée de la longueur l. (DURANDEAU. J, 1995)

II-2. Etude énergétique

Considérons un pendule simple de longueur l est de masse m, mobile autour d'un axe (Δ) horizontal. Repérons par un axe z vertical ascendant le centre d'inertie G du système. On prend comme origine de potentiel (cote de référence) la position de ce centre d'inertie lorsque ce système est en équilibre. On le lâche sans vitesse initiale à l'instant t_0= 0. A l'instant t_1 son altitude est z_1. (YAVORSKI. B, 1986)

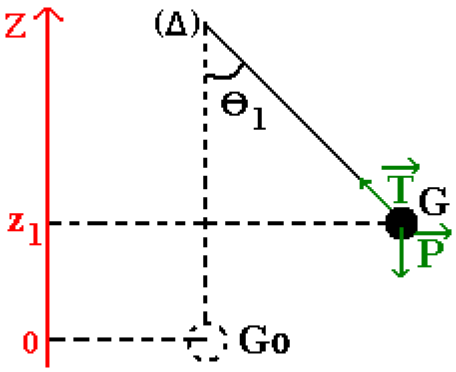


Figure 8 : Variation de l'altitude du centre d'inertie du système dans un plan vertical

L'énergie mécanique totale de ce système à tout instant est :

$$E(t)= Ep(t) + Ec(t) \quad (12)$$

Où Ep(t) représente l'énergie potentielle à l'instant t et
Ec(t) l'énergie cinétique.

Le bilan énergétique à la position z_1 s'écrit :

$$E_1(t_1)= Ep(z= z_1) + Ec(z= z_1) \quad (13)$$

$Ec(z=z_1)$ est l'énergie cinétique à la position z= z_1

On déduit de l'équation (13) que l'énergie mécanique est constante est égale à :

$$\boxed{E(t) = \frac{1}{2} J \omega^2 A^2} \quad (14)$$

La démonstration est donnée dans l'annexe 1

$$E(t) = \frac{1}{2} J \omega^2 A^2 \equiv \text{Constante}$$

L'énergie mécanique totale E= Ep + Ec est conservée, mais Ep et Ec varient. Si Ec augmente, Ep diminue et vice versa. C'est la transformation mutuelle de l'énergie cinétique en énergie potentielle.

Les courbes qui traduisent ce phénomène sont données ci-dessous.

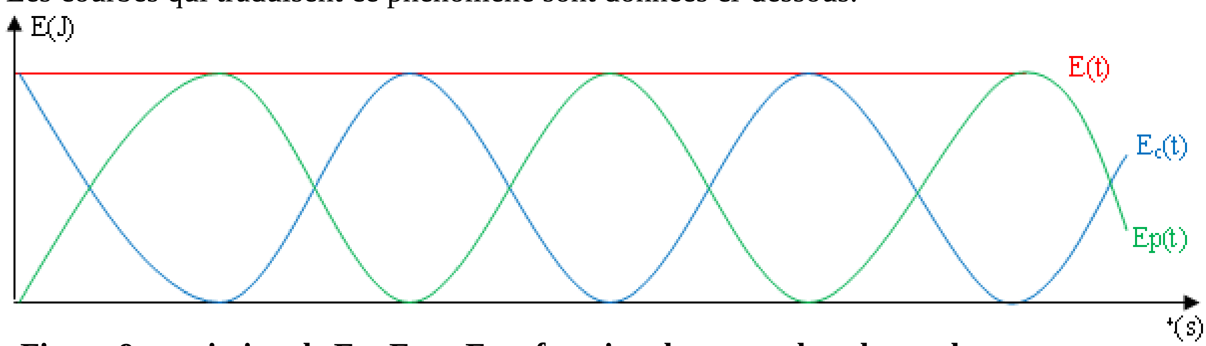


Figure 9 : variation de Ep, Ec et E en fonction du temps dans le cas du mouvement oscillatoire non amorti d'un pendule simple.

III. Oscillation amorti d'un pendule simple

Un mouvement oscillatoire amorti est un mouvement de va et vient autour d'une position d'équilibre, mais l'amplitude du mouvement décroit progressivement au cours du temps (DURANDEAU.P ,1995)

a) Etude de la période

Considérons un pendule simple de longueur l et de masse m.

Immergeons-le dans un liquide. Soit $\vec{f}$ le frottement fluide ou la force exercée par le liquide. Cette force est proportionnelle à la vitesse $\vec{V}$ (LANDAU.L ,1982)

$\vec{f} = -n.\vec{V}$

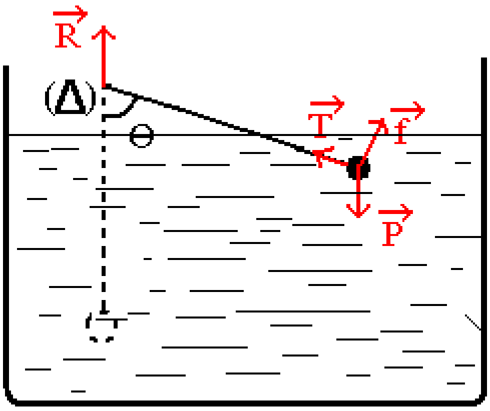


Figure 10 : Pendule simple amorti : bilan des forces

Appliquons au mouvement d'un pendule simple la relation fondamentale de la dynamique en rotation. On obtient $\mathcal{M}\vec{P}_{/\Delta} + \mathcal{M}\vec{T}_{/\Delta} + \mathcal{M}\vec{f}_{/\Delta} + \mathcal{M}\vec{R}_{/\Delta} = J\ddot{\theta}$ (15)

avec :

- $\mathcal{M}\vec{P}_{/\Delta} = -P.\,d_1$
- $\mathcal{M}\vec{T}_{/\Delta} = 0$ puisque la droite d'action coupe l'axe Δ.
- $\mathcal{M}\vec{f}_{/\Delta} = f.d_2$
- $\mathcal{M}\vec{R}_{/\Delta} = 0$ puisque la droite d'action coupe l'axe Δ.

D'où :

$$- P.d_1 + f.d_2 = J\ddot{\theta} \quad (16)$$

En remplaçant J= ml2, cette équation devient

$$- P.d_1 + f.d_2 = ml^2\ddot{\theta} \quad (17)$$

Ici

- $f = -n.v$ avec $v = l.\dot{\theta}$

* $d_1 = l \sin\theta$
* $d_2 = l$

d'où $- mgl \sin\theta + (-ml^2 \dot{\theta}) = ml^2 \ddot{\theta}$ (18)

on en déduit l'équation différentielle :

$$\ddot{\Theta} + \frac{n}{m}\dot{\Theta} + \frac{g}{l} + \sin\Theta = 0 \quad (19)$$

Cas où θ est faible donc sinθ ≈ θ

$$\ddot{\Theta} + \frac{n}{m}\dot{\Theta} + \frac{g}{l}\Theta = 0 \quad (20)$$

Posons $\lambda = n/2m$ et $\omega_0 = g/l$

D'où l'équation : $\boxed{\ddot{\theta} + 2\lambda\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0}$ (21)

ω_0 est la pulsation propre et λ est appelé « coefficient d'amortissement ». ω_0 et λ sont deux constantes positives caractéristiques des systèmes et s'expriment en rad/s. la solution de cette équation est obtenue en considérant l'équation caractéristique $r_2 + 2\lambda r + \omega_0^2 = 0$ (22)

La solution générale est :

$\theta(t) = c_1 e^{(r_1 t)} + c_2 e^{(r_2 t)}$ (23)

où r_1 et r_2 sont les solutions de l'équation du second degré en r.

$$r_1 = -\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} = -\lambda + \omega_0\sqrt{\frac{\lambda^2 - \omega_0^2}{\omega_0^2}}$$

$$r_2 = -\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} = -\lambda - \omega_0\sqrt{\frac{\lambda^2 - \omega_0^2}{\omega_0^2}}$$

Suivant les valeurs du rapport λ/ω_0, on distingue trios types de mouvement:

- **<u>oscillateur faiblement amorti</u> (ω_0/λ > 1) : pseudo période**

on aura :

$$r = -\lambda \pm j\,\omega_0\sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}} \quad (24)$$

avec $j^2 = 1$

On pose $$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}} \quad (25)$$

ω est appelée « **pseudo-pulsation** » et $T = 2\pi/\omega$ (26) représente la pseudo-période.

T peut s'écrire

$$\boxed{T = 2\pi T_0 \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 - \lambda^2 T_0^2}}} \quad (27)$$

La démonstration est donnée dans l'annexe 2

La solution générale de l'équation différentielle pour l'oscillateur faiblement amortie est

$$\theta(t) = C_1 e^{(-\lambda - j\omega)t} + C_2 e^{(-\lambda + j\omega)t} \quad (28)$$

$$\theta(t) = [C_1 e^{(-j\omega t)} + C_2 e^{(j\omega t)}]\, e^{(-\lambda t)} \quad (29)$$

Les constantes C1 et C2 sont fixées par les conditions initiales :

$C_1 + C_2 = \theta_0$ et $-\lambda(C_1 + C_2) + j\omega(C_1 - C_2) = \dot{\theta}_0$

On calcule ainsi $C_1 + C_2 = \theta_0$ et $j(C_1 - C_2) = (\dot{\theta}_0 + \lambda\theta_0)/\omega$

Posons $\theta_0 = A \cos\varphi$ et $(\dot{\theta}_0 + \lambda\theta_0)/\omega = A \sin\varphi$

Avec $A>0$, $\varphi \in [0, 2\pi]$, ce qui permet de mettre la solution sous la forme :

$$\boxed{\theta(t) = Ae^{(-\lambda t)} \cos(\omega t + \varphi)} \quad (30)$$

Représentation graphique de $\theta(t)$

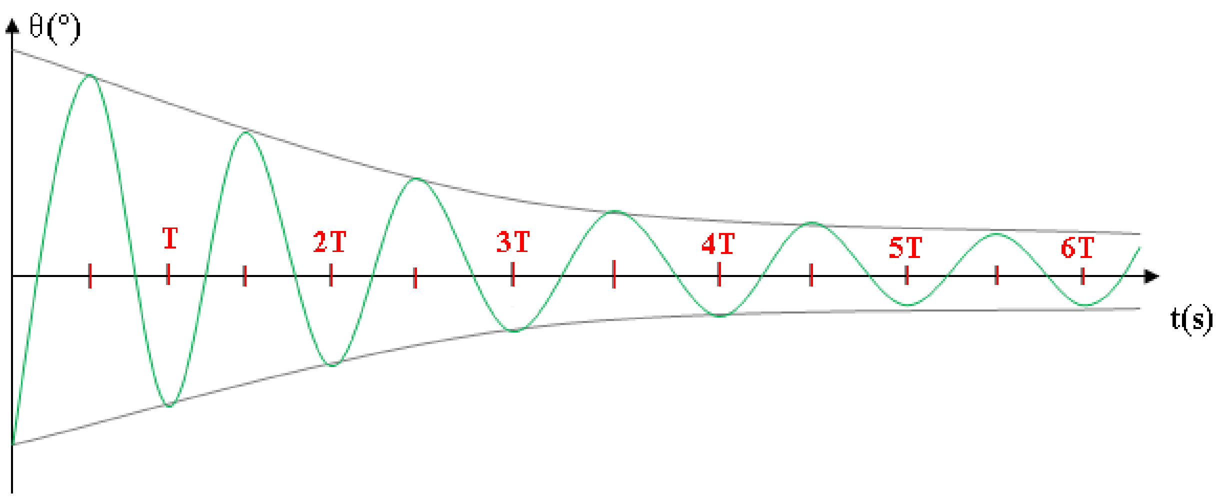


Figure 11 : Courbe du mouvement d'un oscillateur faiblement amorti : mouvement pseudo-périodique

- **<u>oscillateur très amorti</u> (ω_0/ λ< 1) : <u>Amortissement sur critique</u>**

Dans ce cas la solution de l'équation caractéristique est $r = -\lambda + \beta$ avec

$$\beta = \omega_0\sqrt{\frac{\lambda^2 - \omega_0^2}{\omega_0^2}}$$

La solution générale est :

$\theta(t) = e^{(-\lambda t)}\,[C_1\, e^{(\beta t)} + C_2\, e^{(-\beta t)}]$ ainsi :

$\boxed{\theta(t) = e^{(-\lambda t)}\, sh(\beta t)}$ (31)

<u>Représentation graphique de $\theta(t)$</u>

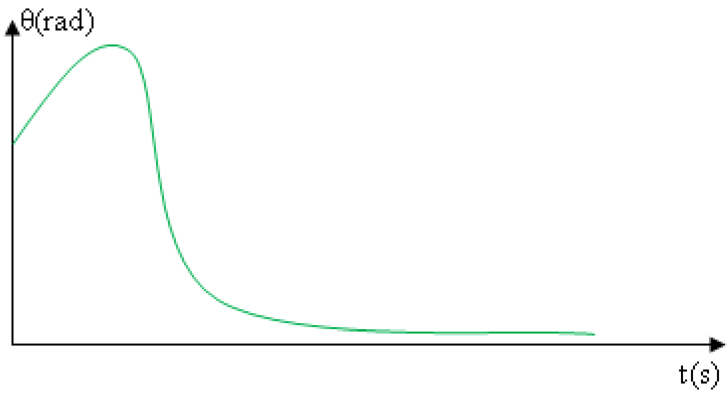


Figure 12 : Courbe du mouvement d'un oscillateur amortie : mouvement apériodique

C'est un mouvement apériodique. Pour un amortissement très fort, le pendule retourne lentement à sa position d'équilibre sans effectuer d'oscillations.

- **<u>Amortissement critique</u> (ω_0/λ = 1)**

L'équation caractéristique admet une racine double $r= -\lambda$. Par conséquent $C_1e^{(-\lambda t)}$ est une première solution de l'équation différentielle, or $C_2e^{(-\lambda t)}$ est aussi une solution, en effet, en introduisant cette solution dans l'équation canonique

$$\ddot{\theta}\ (t) = e(-\lambda t)\ (C_1 + C_2\, t) \quad (32)$$

Représentation graphique de $\theta(t)$:

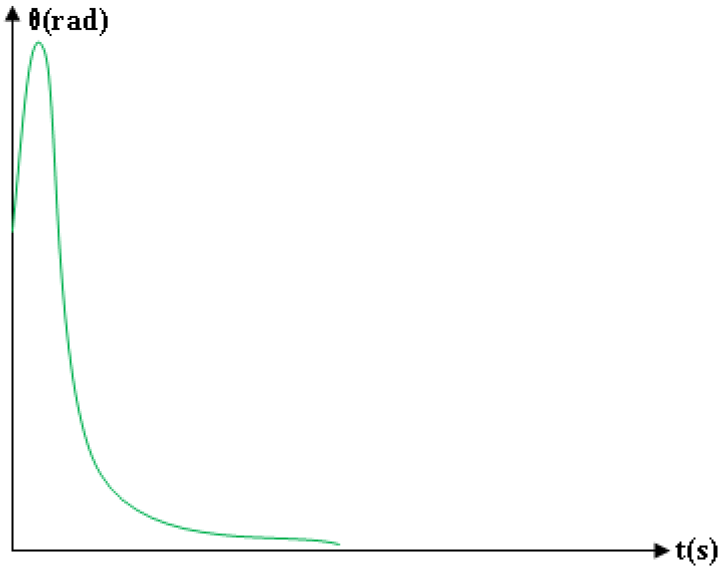


Figure 13 : Courbe du mouvement d'un amortissement critique

Lorsque l'amortissement s'accroît, le pendule effectue de moins en moins d'oscillations avant de s'arrêter. A la limite, on aura l'amortissement critique. Par l'amortissement critique, le système revient très rapidement vers sa position d'équilibre sans osciller.

2ème cas : θ grand (θ> 10°) donc $\sin\theta \neq \theta$

On aura $\ddot{\theta} + 2\lambda\dot{\theta} + \omega_0^2 \sin\theta = 0$

L'équation différentielle n'est pas linéaire à cause de $\sin\theta$ et le mouvement ne peut plus être considéré comme sinusoïdal.

b) Etude énergétique

En présence des forces extérieures, l'énergie mécanique totale de ce pendule n'est pas conservée, elle diminue au cours du temps t.

$E(t) = E_c(t) + E_p(t)$

$E(t) = \frac{1}{2} J\dot{\theta}^2 + mgl\,(\theta^2)/2$ or $mgl = J\omega^2$

Avec $\theta(t) = Ae^{(-\lambda t)} \cos(\omega t + \varphi)$

$$\dot{\theta}(t) = [-A\lambda e^{(-\lambda t)} \cos(\omega t + \varphi)] + [Ae^{(-\lambda t)}(-\omega \sin(\omega t + \varphi)]$$

En remplaçant la valeur de $\theta(t)$ et $\dot{\theta}(t)$ dans l'équation (33) on obtient :

$$\boxed{E(t) = \frac{1}{2} J\omega_0^2 A^2 e^{(-2\lambda t)}}$$

L'énergie n'est plus constante.

La démonstration est donnée dans l'annexe 3.

La figure 14 donne les variations de l'énergie mécanique Em, de l'énergie potentielle Ep et de l'énergie cinétique Ec

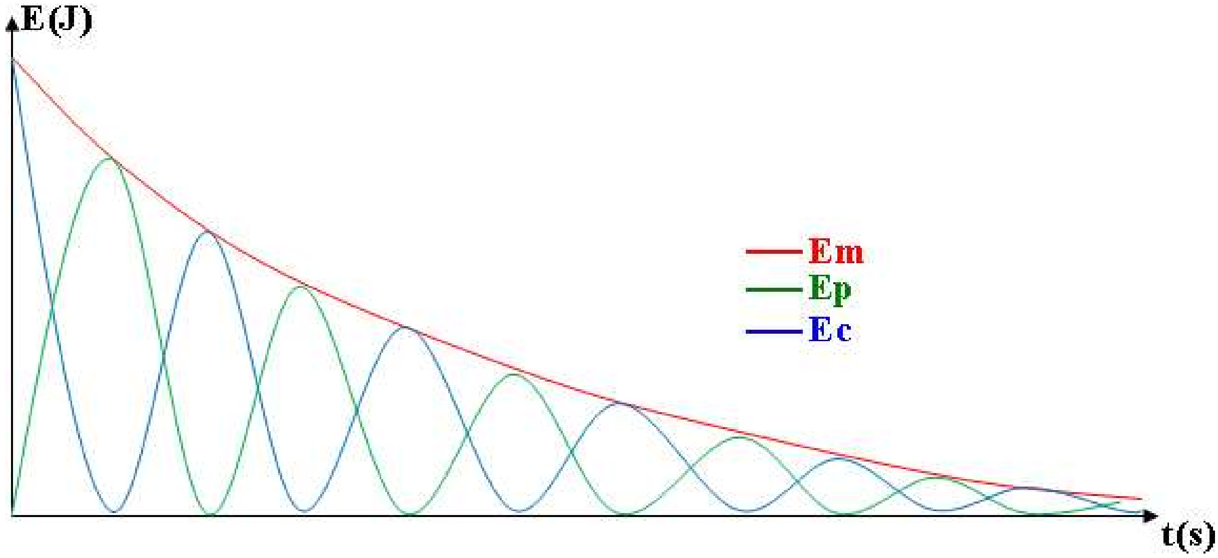


Figure 14 : Variation de Ec, Ep et E en fonction du temps d'un mouvement oscillatoire amorti.

– Les amplitudes de Ec(t) et Ep(t) décroissent au cours du temps t. la courbe E(t) est la somme de Ec(t) et de Ep(t). lorsque Ec est nulle, Ep est maximale et vice-versa.

– Ep nulle avec Ec maximale correspond au passage du pendule à sa position d'équilibre (on prend comme origine de potentielle la positon du centre d'inertie du système au positon d'équilibre), la vitesse est maximale à cette positon.

– L'énergie mécanique totale diminue au cours du temps. Il y a donc une perte d'énergie. Cette dissipation d'énergie indique que **le mouvement est amorti**.

<u>DEUXIEME PARTIE</u> : MODULES D'APPRENTISSAGE

Nous présentons dans ce qui suit le didacticiel que nous avons élaboré dans le cadre de présent mémoire.

Il comporte deux parties. La première partie introduit l'enseignant et l'apprenant(e) aux différents modules d'apprentissage. La deuxième partie concerne les activités que l'apprenant doit effectuer pour construire son savoir et ses connaissances.

I-<u>Introduction aux modules</u>

Cette partie décrit le contenu du didacticiel, les objectifs à atteindre, les pré-requis à maitriser pour pouvoir suivre efficacement les modules proposés. Des conseils s'adressent à l'apprenant et des suggestions d'utilisation sont données à l'enseignant.

Le plan des modules est aussi affiché pour une vue globale des activités à mener.

La figure 15 décrit cette phase d'introduction aux modules.

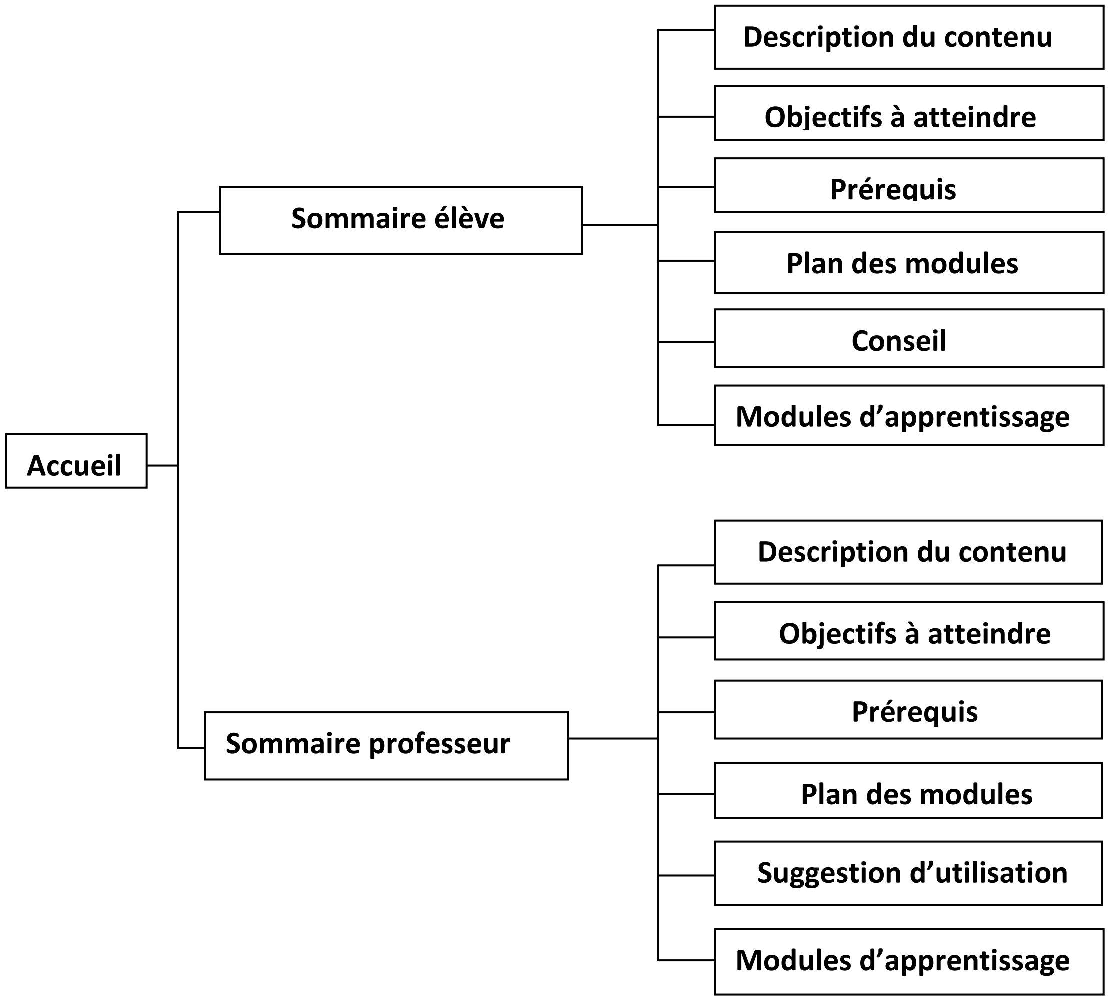


Figure 15 : contenu des sommaires

II- PARCOURS D'APPRENTISSAGE

Le diagramme de la figure 16 illustre le parcours d'apprentissage que nous proposons à l'apprenant(e).

Quatre modules sont programmés dont deux concernent l'oscillation non amortie et les deux autres étudient l'oscillation amorti.

- Le module 1 se concentre sur l'identification des paramètres qui influent sur la période d'un pendule simple non amorti.
- Le module 2 est consacré à l'étude énergétique d'un pendule simple non amorti.
- Le module 3 est l'analyse de l'influence de coefficient d'amortissement sur la période d'un pendule simple amorti.
- Le module 4 traite l'évolution, au cours du temps, de l'élongation angulaire d'un pendule simple amorti.

Des évaluations sont aussi données. Elles peuvent servir d'évaluation formative et d'évaluation sommative.

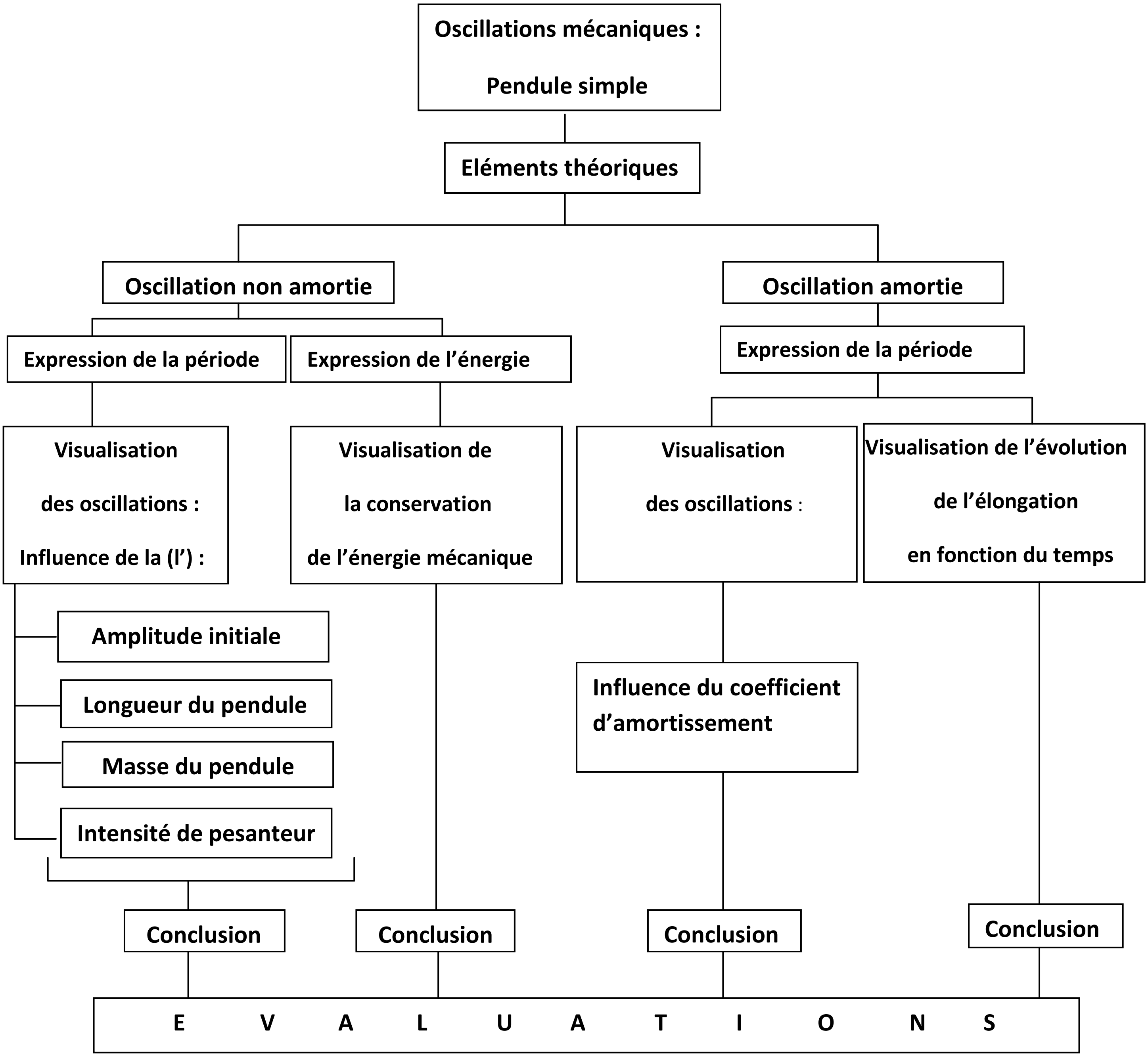


Figure 16 : Organigramme général des modules d'apprentissage.

III- Déroulement de chaque module

Chaque module suit les étapes résumées dans la figure 17

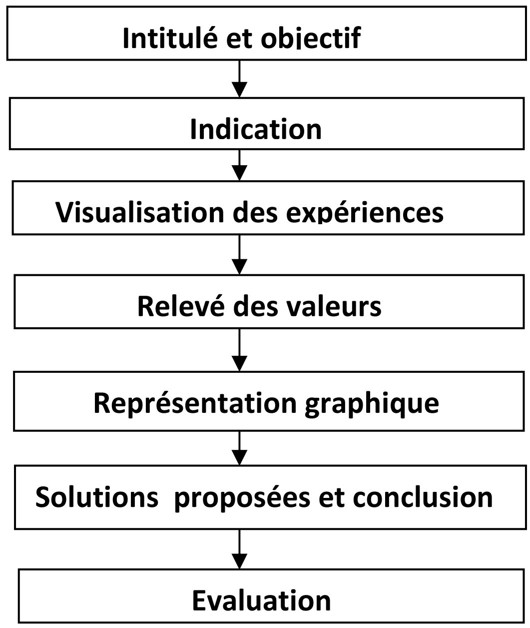
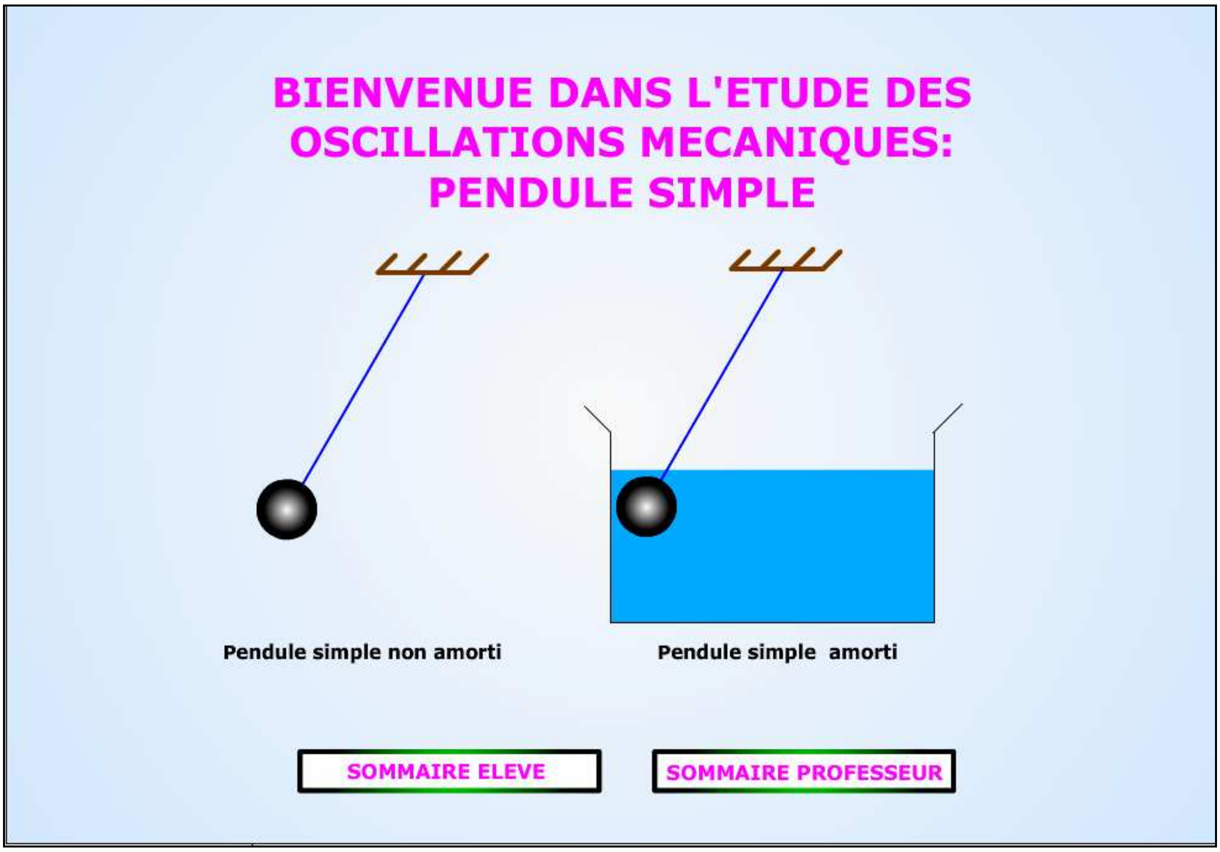


Figure 17 : déroulement de chaque module

L’apprenant lit dans un premier temps les objectifs à atteindre, puis consulte les consignes et les exécute. Il visualise les animations sur le phénomène à étudier. Il relève les valeurs expérimentales dans un tableau. Il trace les courbes correspondantes, les analyse et propose des conclusions. Il confronte ensuite ses résultats avec les solutions données par le logiciel.

IV- Agencement des fenêtres relatives aux modules d'apprentissage

Au démarrage du logiciel une fenêtre d'accueil s'ouvre qui introduit les thèmes à étudier. Cette fenêtre contient deux boutons de commande : « Sommaire élève » pour l'apprenant et «Sommaire professeur » pour l'enseignant.

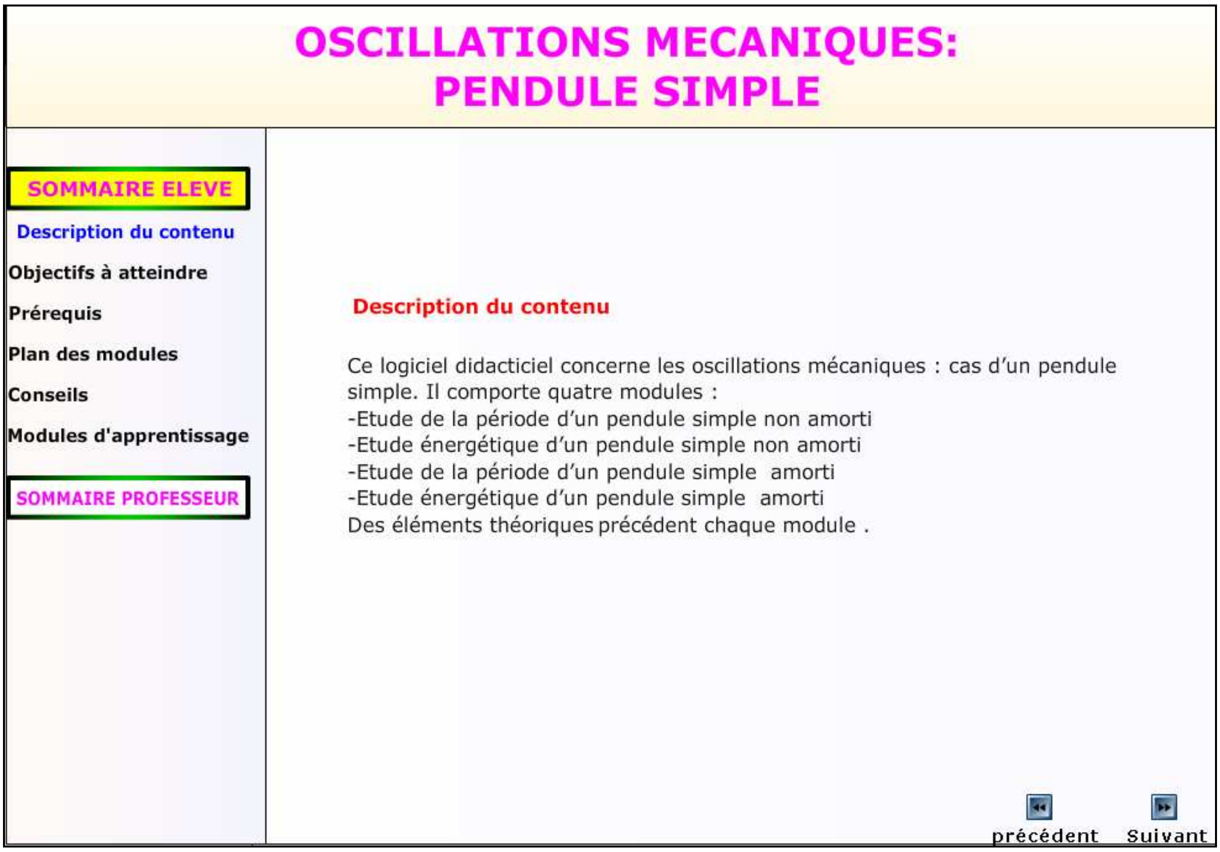


IV-1 « Sommaire élève » et « Sommaire professeur»

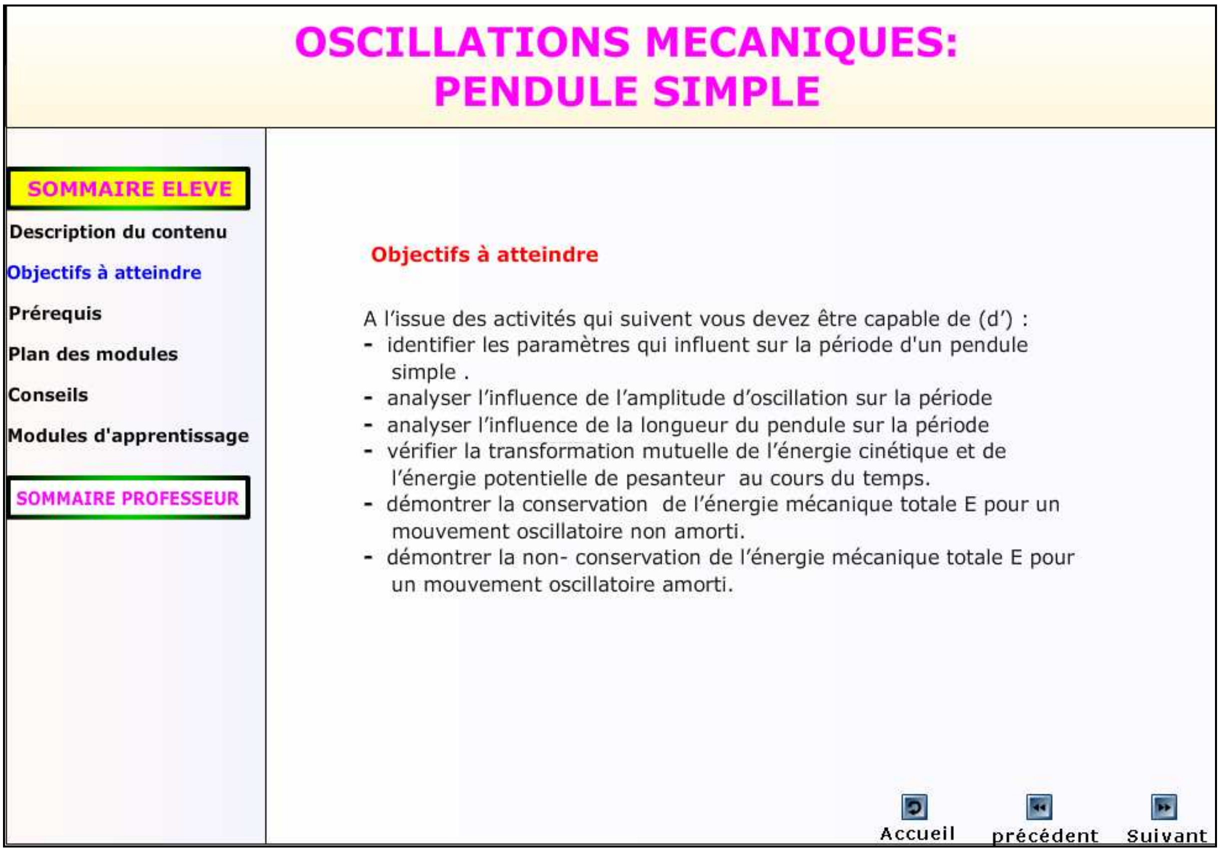
Ces sommaires contiennent chacun six éléments : la description du contenu du logiciel, les objectifs à atteindre, les prérequis, le plan des modules, des conseils pour l'apprenant et des suggestions d'utilisation pour l'enseignant.

1-Sommaire élève

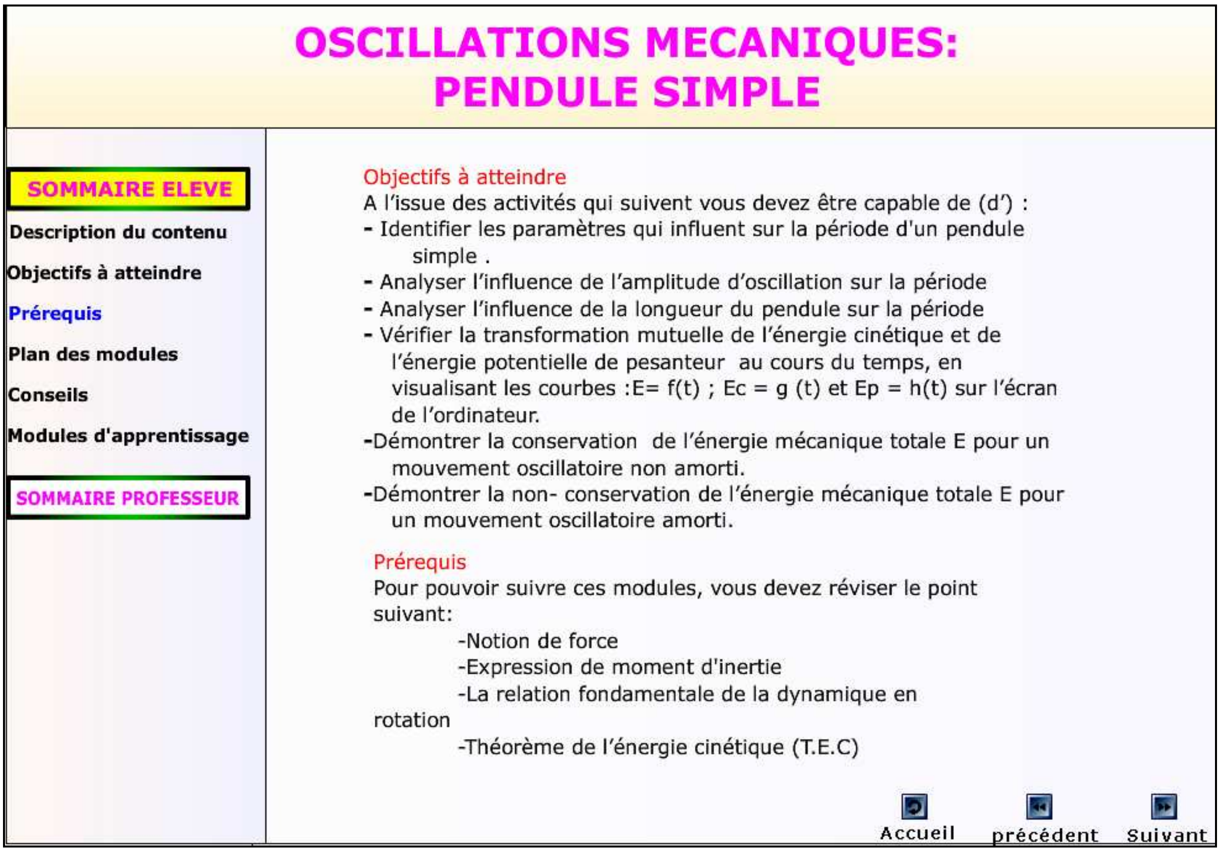
- ***Description du contenu***



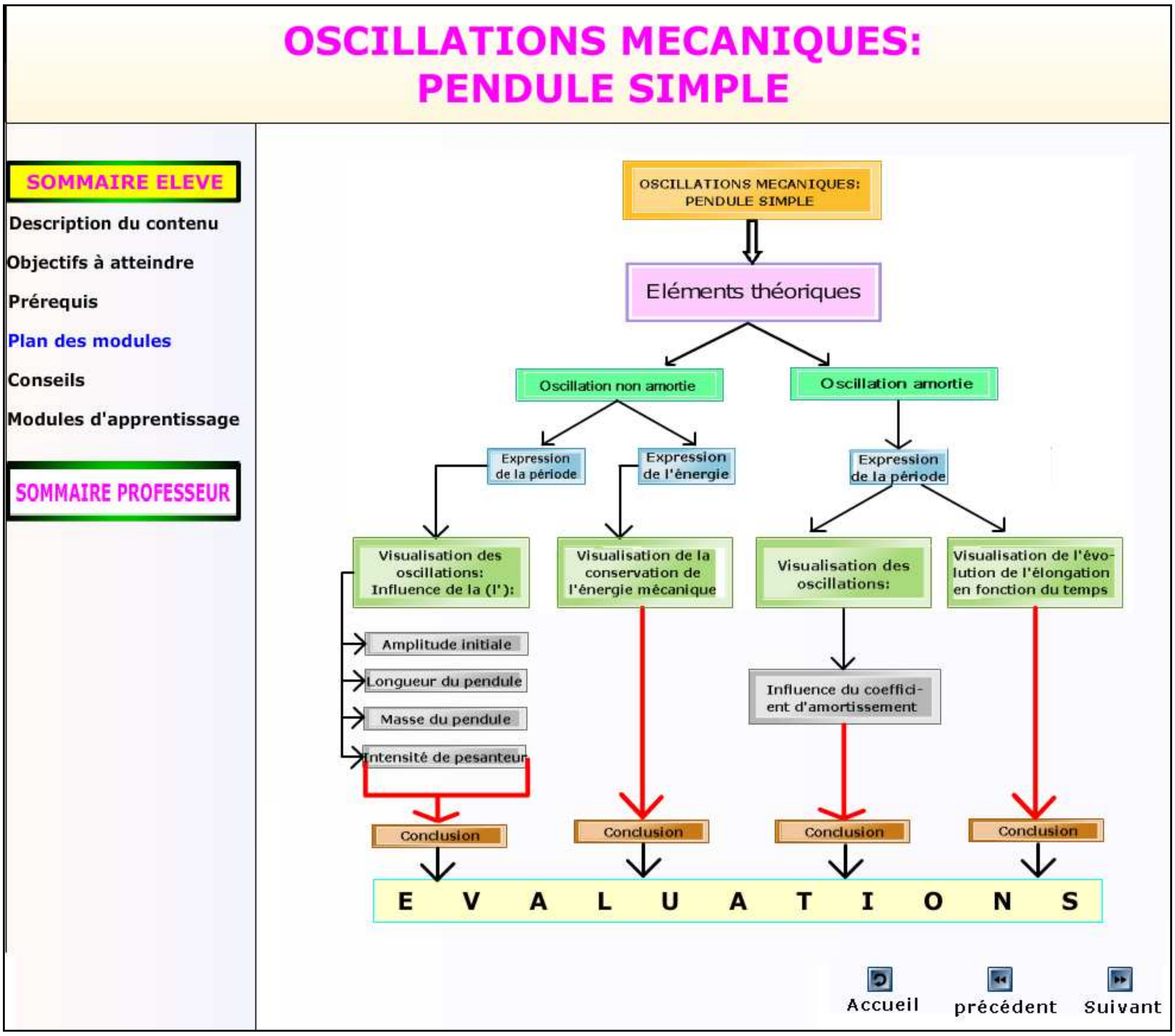
- ***Objectifs à atteindre***



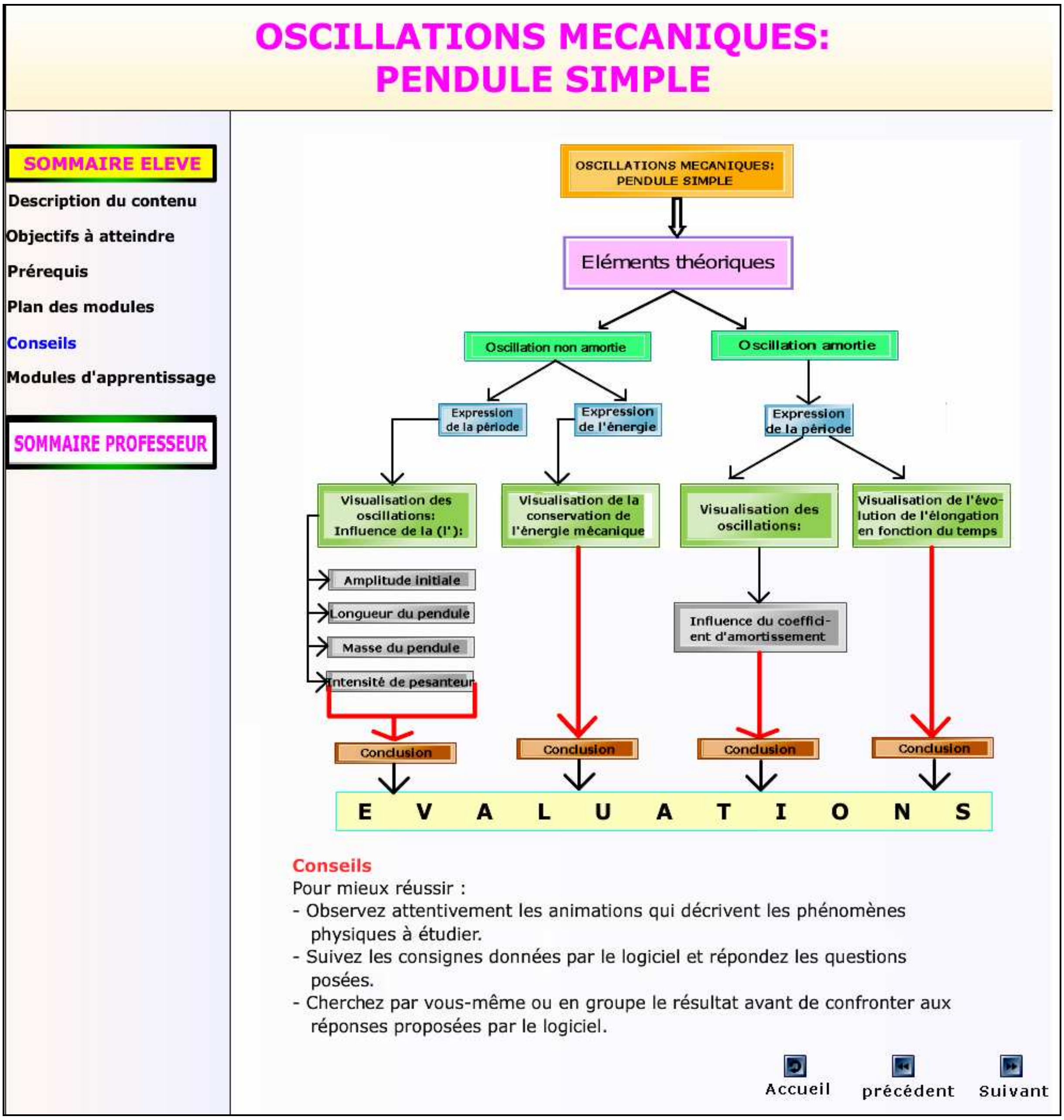
- ***Prérequis***



- ***Plan des modules***

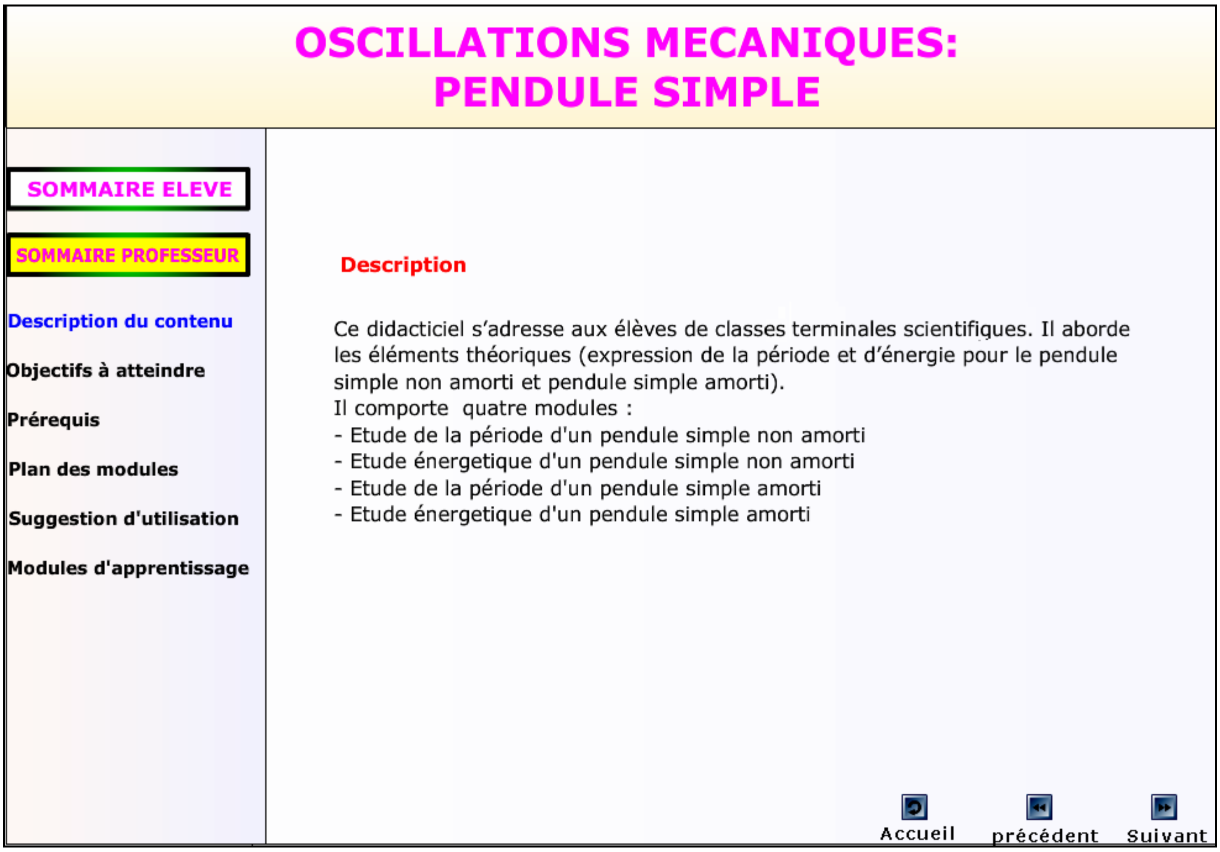


- ***Conseils***

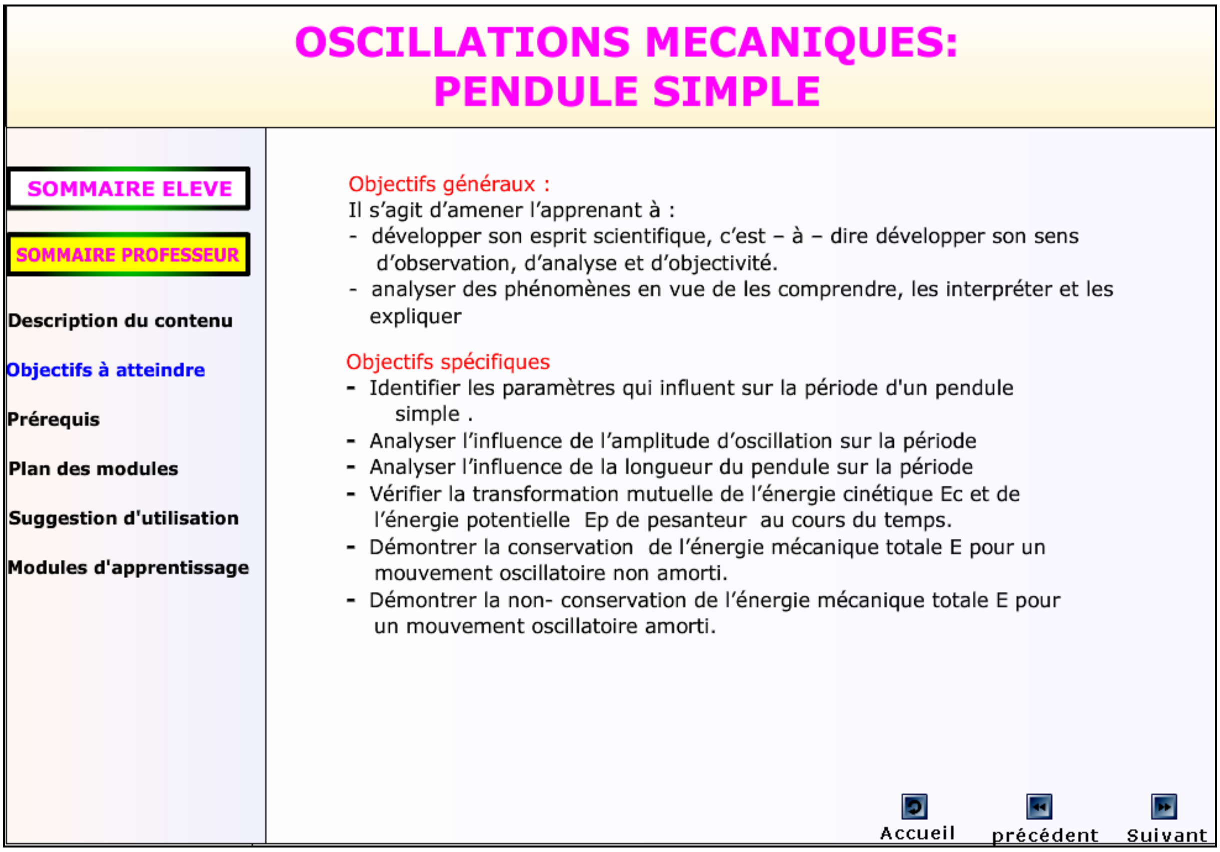

OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
SOMMAIRE ELEVE
Description du contenu
Objectifs à atteindre
Prérequis
Plan des modules
Conseils
Modules d'apprentissage
SOMMAIRE PROFESSEUR
OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE
Eléments théoriques
Oscillation non amortie
Oscillation amortie
Expression de la période
Expression de l'énergie
Expression de la période
Visualisation des oscillations: Influence de la (l'):
Visualisation de la conservation de l'énergie mécanique
Visualisation des oscillations:
Visualisation de l'évo-lution de l'élongation en fonction du temps
Amplitude initiale
Longueur du pendule
Masse du pendule
Intensité de pesanteur
Influence du coeffici-ent d'amortissement
Conclusion
Conclusion
Conclusion
Conclusion
E V A L U A T I O N S
Conseils
Pour mieux réussir :
- Observez attentivement les animations qui décrivent les phénomènes physiques à étudier.
- Suivez les consignes données par le logiciel et répondez les questions posées.
- Cherchez par vous-même ou en groupe le résultat avant de confronter aux réponses proposées par le logiciel.
Accueil
précédent
Suivant

2- Sommaire professeur

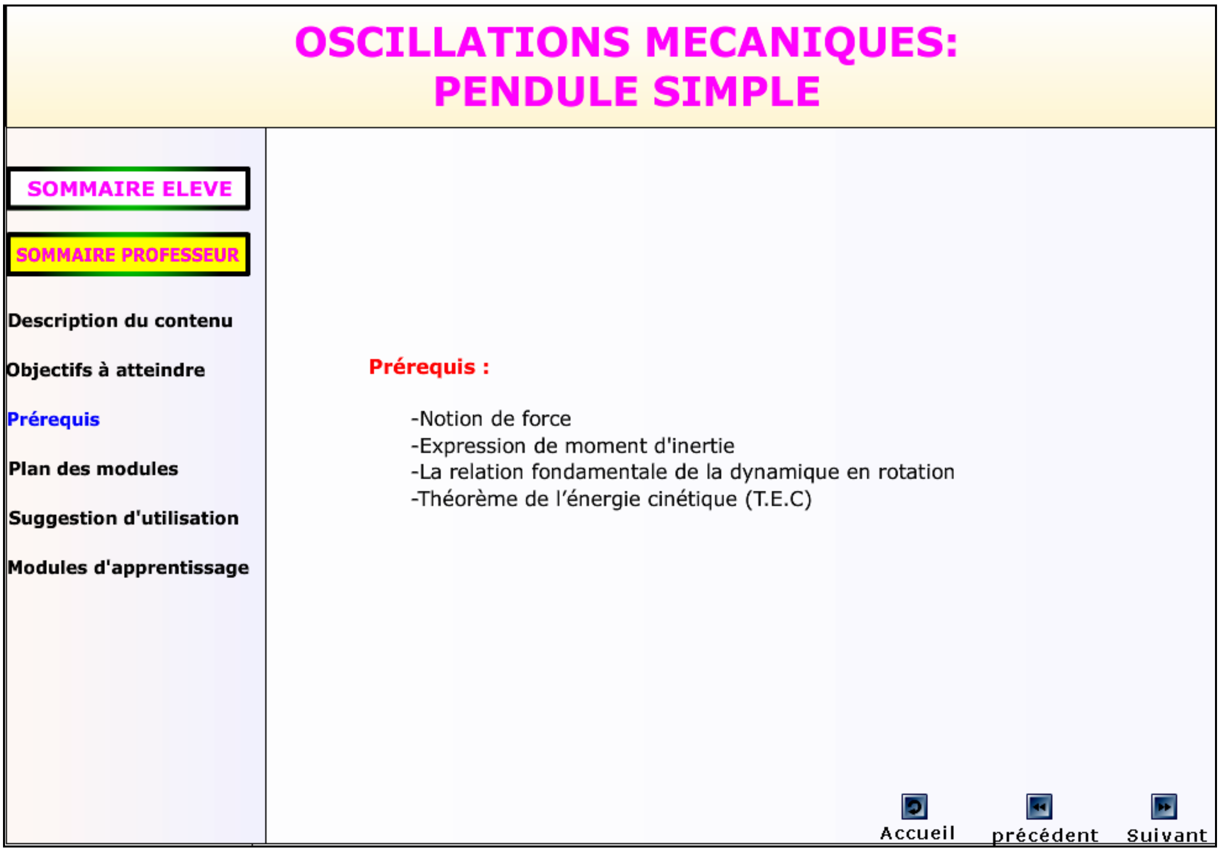
- ***Description du contenu***



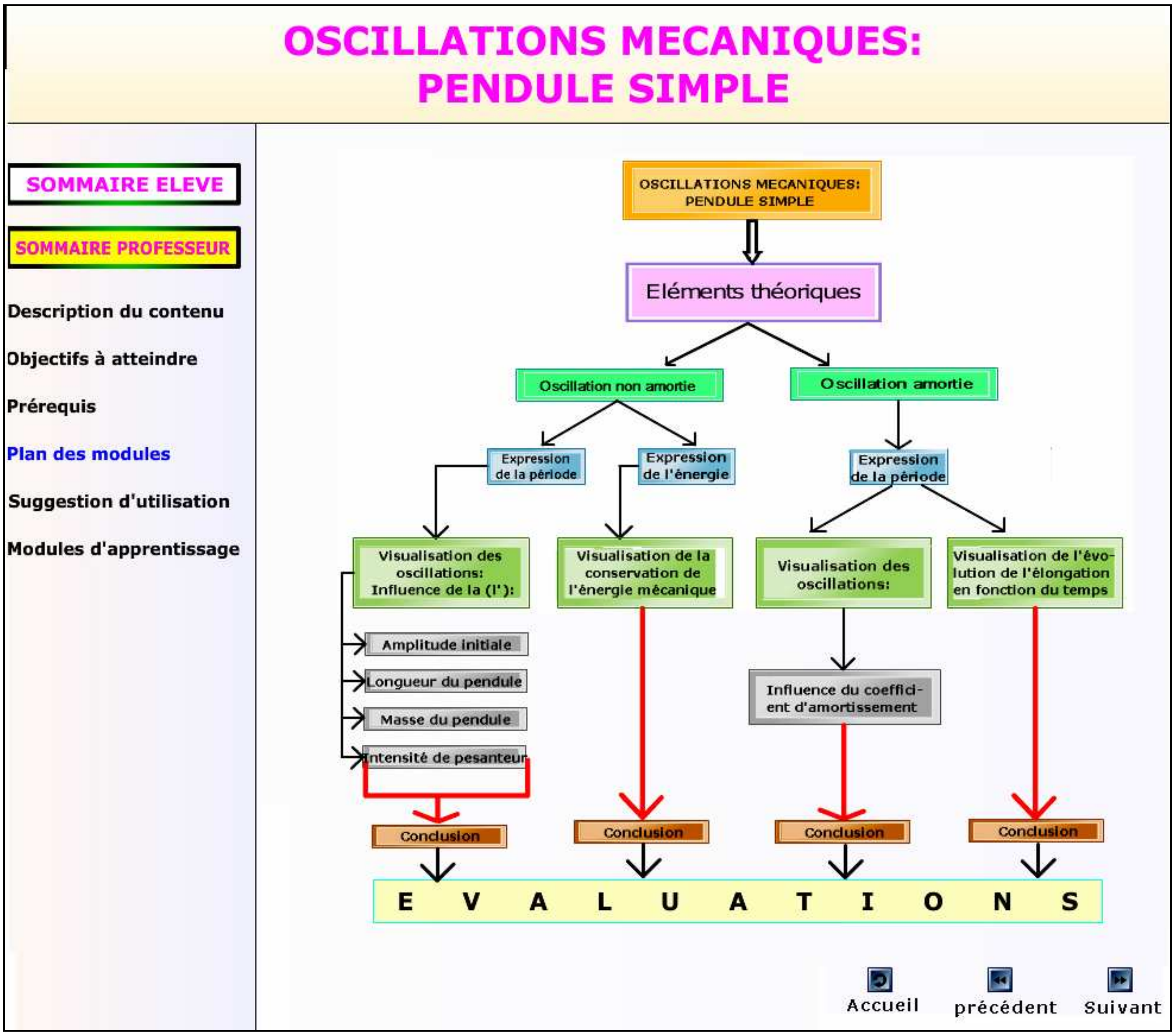
- *Objectifs à atteindre*



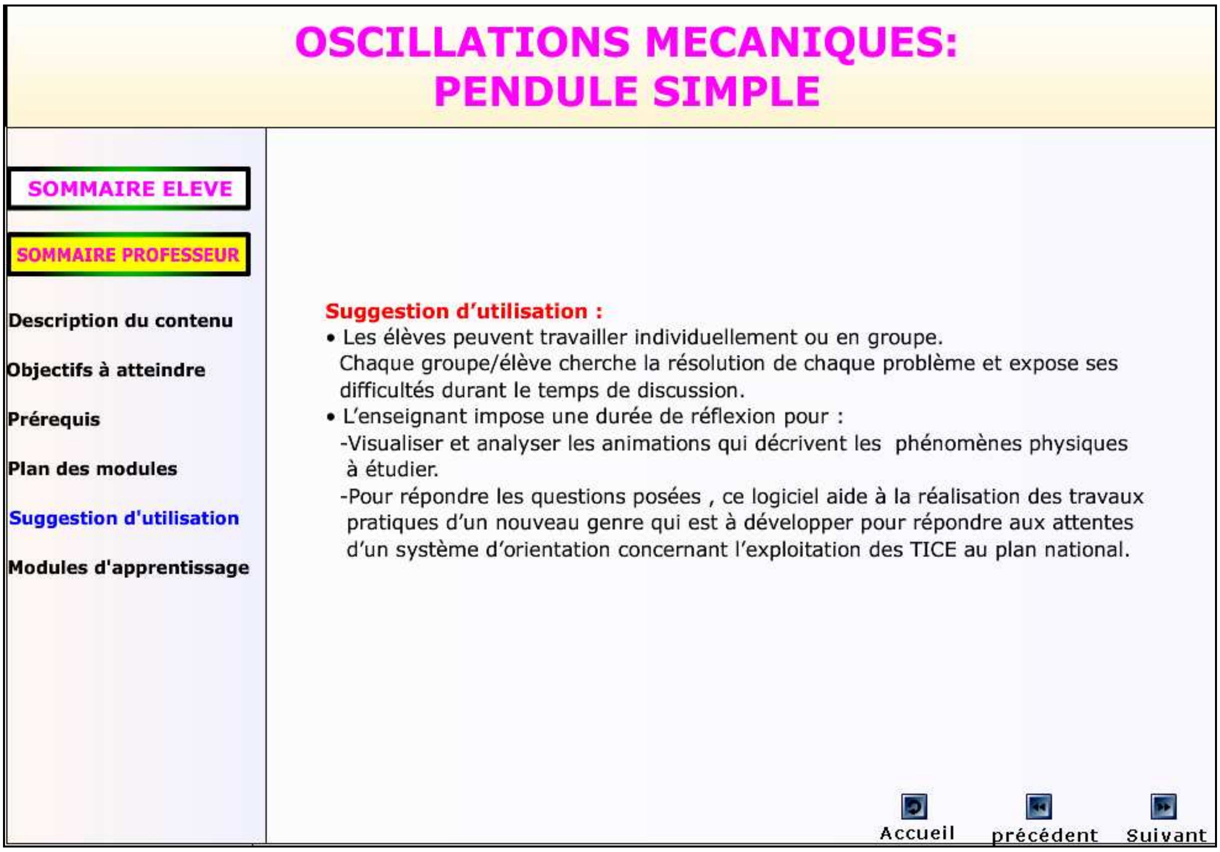
- *Prérequis*



- ***Plan des modules***



- ***Suggestion d'utilisation***



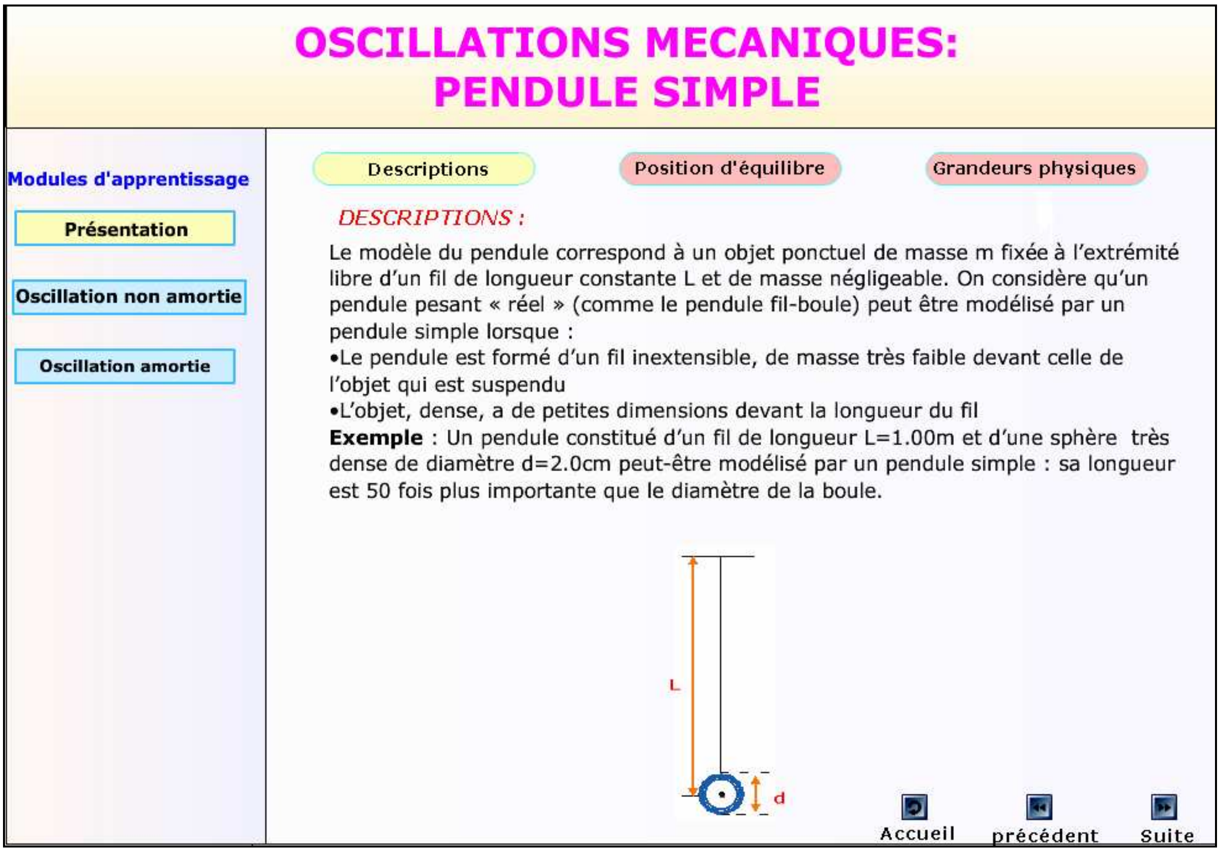
IV-2 Modules d'apprentissage

La fenêtre « modules d'apprentissage » peut être obtenue en cliquant sur le bouton « modules d'apprentissage » dans le « sommaire élève » et « sommaire professeur ». D'abord le logiciel donne alors les cours relatives à ces modules puis le module d'apprentissage proprement dit.

A- Présentations

Cette présentation possède trois éléments de cours, si vous voulez étudier l'un de ces éléments, vous pouvez cliquer sur l'un des trois boutons : descriptions, position d'équilibre, grandeurs physiques.

- ***Descriptions***



OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

- **Présentation**
- **Oscillation non amortie**
- **Oscillation amortie**

Descriptions | Position d'équilibre | Grandeurs physiques

Il existe deux types d'oscillations d'un pendule simple :

•Oscillation non amortie :

Dans ce cas, les forces de frottement sont négligeables, l'amplitude des oscillations reste constante. (*Figure 1*)

•Oscillation amortie :

Lorsque le pendule simple est soumis à des forces de frottement , son mouvement est alors amorti. L'amplitude des oscillations n'est pas constante, elle diminue au cours du temps.

Cette diminution de l'amplitude existe déjà dans l'air mais devient très grande si le pendule oscille dans de l'huile très visqueuse. (*Figure 2*)

REPRESENTATION

Pour représenter graphiquement le mouvement du pendule, on représente généralement l'élongation angulaire en fonction du temps θ(t).

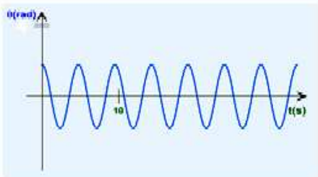


Figure 1

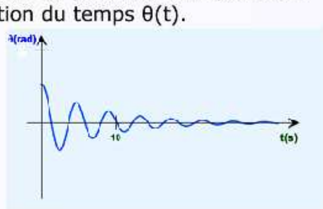
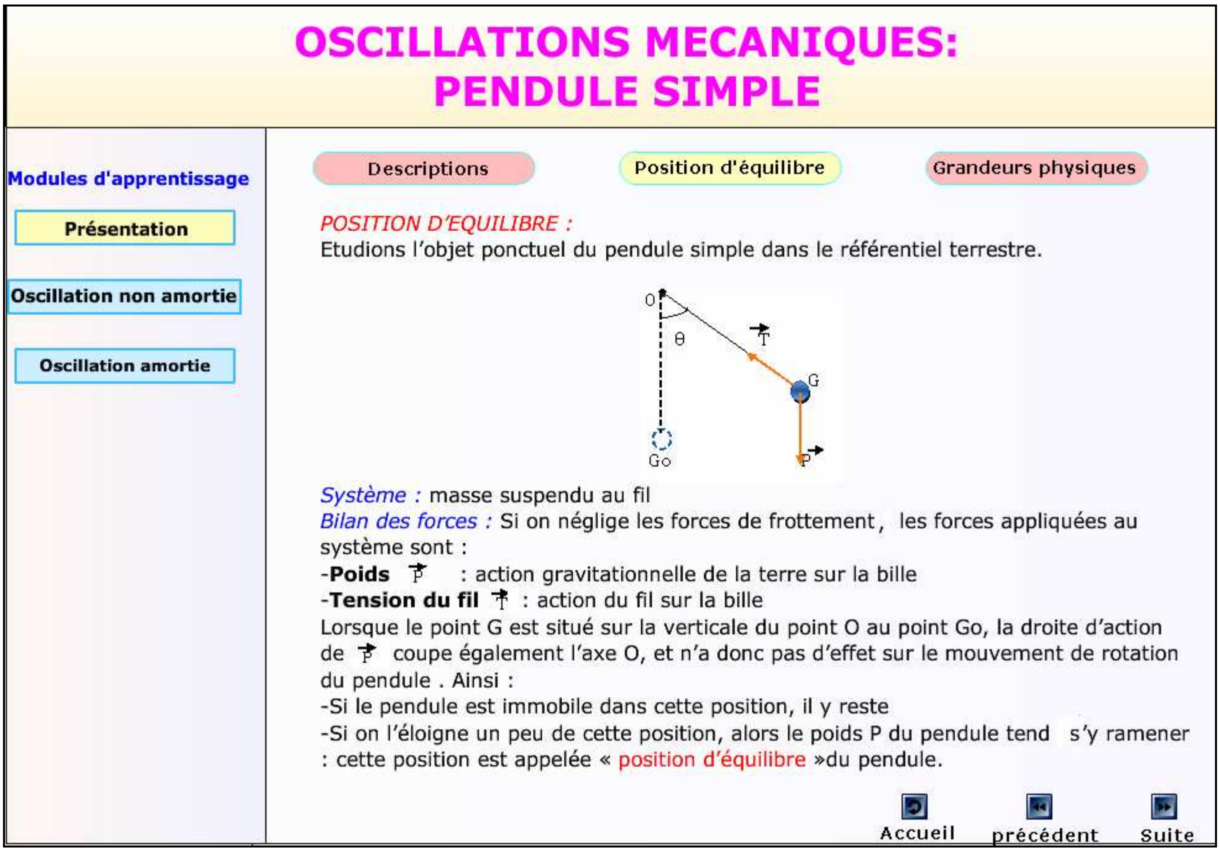
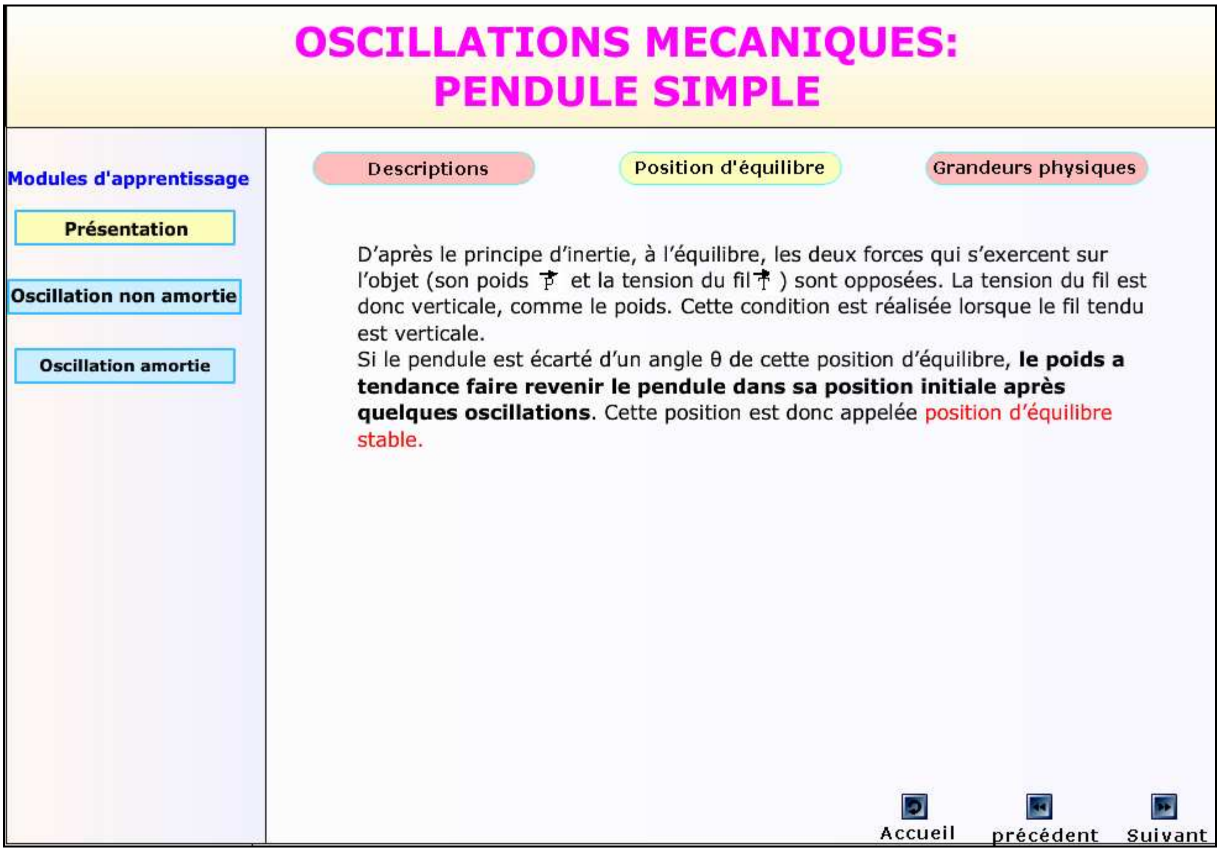


Figure 2

Accueil | précédent | Suivant

- ***Position d’équilibre***





- ***Grandeurs physiques***

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Oscillation amortie

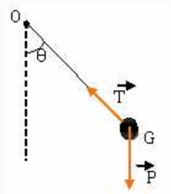
Descriptions | Position d'équilibre | Grandeurs physiques

GRANDEURS PHYSIQUES CARACTERISANT LE MOUVEMENT DU PENDULE SIMPLE

a)- ***Ecart à l'équilibre et abscisse angulaire***

Au cours du mouvement d'un système oscillant, celui –ci oscille autour de sa position d'équilibre stable. Ainsi on peut caractériser cette oscillation par une grandeur qui dépend du temps et qui décrit de combien le système s'écarte de sa position d'équilibre stable. Pour un pendule simple, la grandeur qui dépend du temps est qui est la plus judicieuse à suivre, est l'angle d'oscillation θ : cette grandeur est appelée *abscisse angulaire*.

On appelle **abscisse angulaire**,l'angle formé par le pendule à la date t et le pendule à l'équilibre. C'est une grandeur algébrique .Elle peut être négative ou positive, selon le sens positif choisi (théoriquement celui du cercle trigonométrique).



θ abscisse angulaire

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

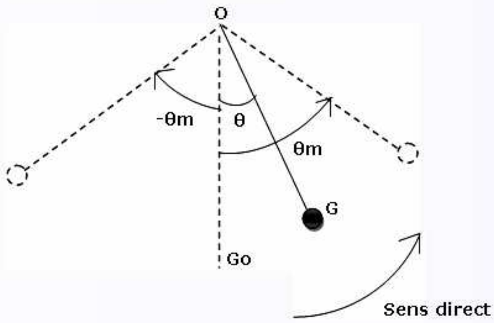
Oscillation non amortie

Oscillation amortie

Descriptions | Position d'équilibre | Grandeurs physiques

b)-***Amplitude des oscillations***

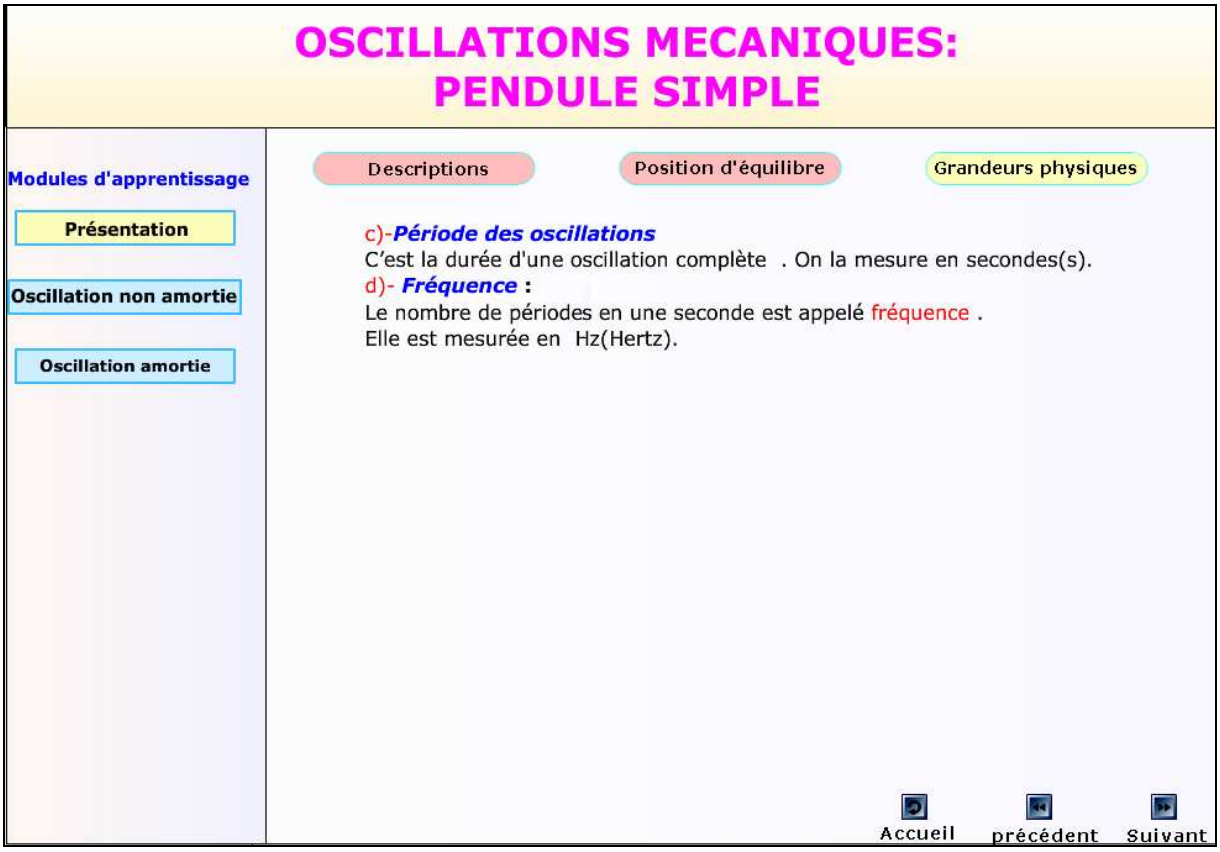
C'est la valeur absolue de l'abscisse angulaire maximale. C'est une grandeur positive.



Remarque : Influence de l'amortissement

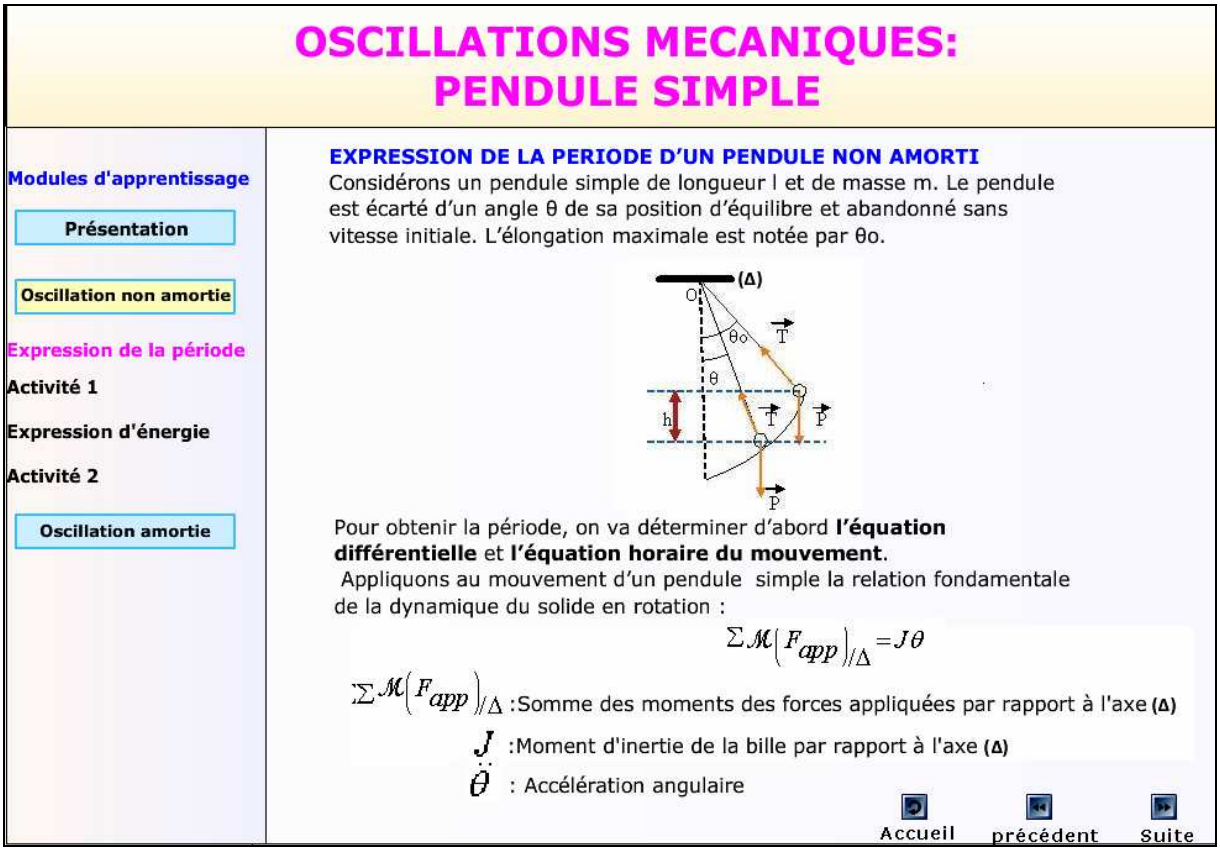
Lorsque les frottements ne sont pas négligeables, les forces de frottement s'exerçant sur le pendule provoquent une diminution de l'abscisse angulaire : *le mouvement est amorti*.

Accueil précédent Suite



B- Oscillation non amortie

B-1 : Expression de la période



OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Expression de la période

Activité 1

Expression d'énergie

Activité 2

Oscillation amortie

$$\sum \mathcal{M}(F_{app})_{/\Delta} = J\ddot{\theta}$$

$$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = J\ddot{\theta} \quad (1)$$

avec

$\mathcal{M}_{\vec{T}/\Delta} = 0$ Puisque la droite d'action coupe l'axe

$$\mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = -Pl\sin\theta = -mg\sin\theta$$

$$d'ou\ (1)\ devient : -mgl\sin\theta = J\ddot{\theta}$$

$J\ddot{\theta} + mgl\sin\theta = 0$ or pour un pendule simple $J = ml^2$

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

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{ml^2}\sin\theta = 0$$

Pour des oscillations de faible amplitude ; on peut prendre $\sin\theta = \theta$ et on a :

$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0$: Equation différentielle

Remarque : On peut obtenir cette équation différentielle :
- En utilisant le théorème d'énergie cinétique
- En utilisant la conservation de l'énergie mécanique:

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Expression de la période

Activité 1

Expression d'énergie

Activité 2

Oscillation amortie

Soit $w_o^2 = \frac{g}{l}$ d'où l'équation devient $\ddot{\theta} + w_o^2\theta = 0$

La solution de cette équation est : $\theta = \theta_m\cos(wt + \phi)$

w_o :la pulsation angulaire.Elle est reliée à la fréquence des oscillations

Wo=2πf f: fréquence des oscillations

$f = \frac{Wo}{2\pi}$ or $To = \frac{1}{f}$

On en déduit l'expression de la période : $T_0 = \frac{2\pi}{w_0}$ d'où $\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$

Analyse dimensionnelle :

$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, l(en m) représente la longueur du fil et g(en m/s) l'intensité du champ de pesanteur. Vérifions que la période propre To des oscillations s'exprime en seconde(s) :

2π est sans unité

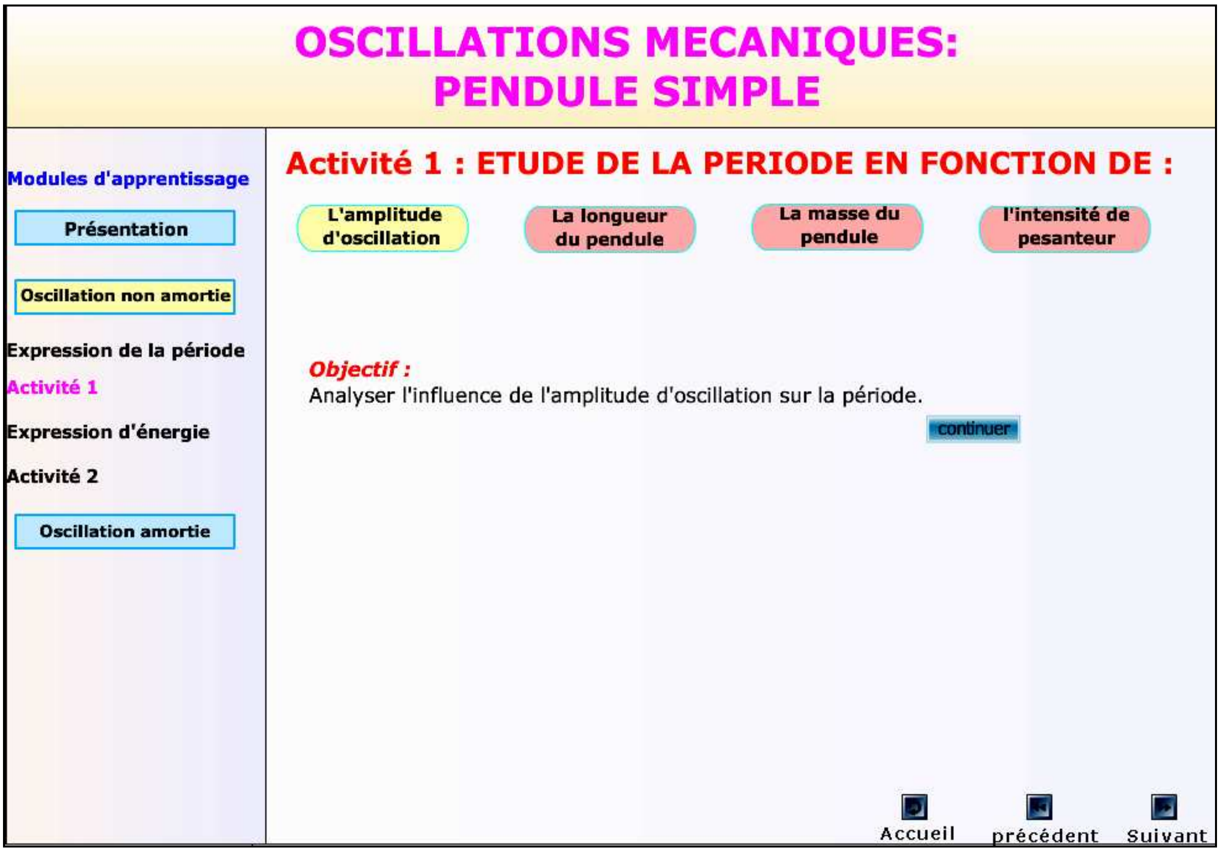
$$\left(\frac{l}{g}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{m}{ms^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{s^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} = (s^2)^{\frac{1}{2}} = s$$

Accueil précédent Suivant

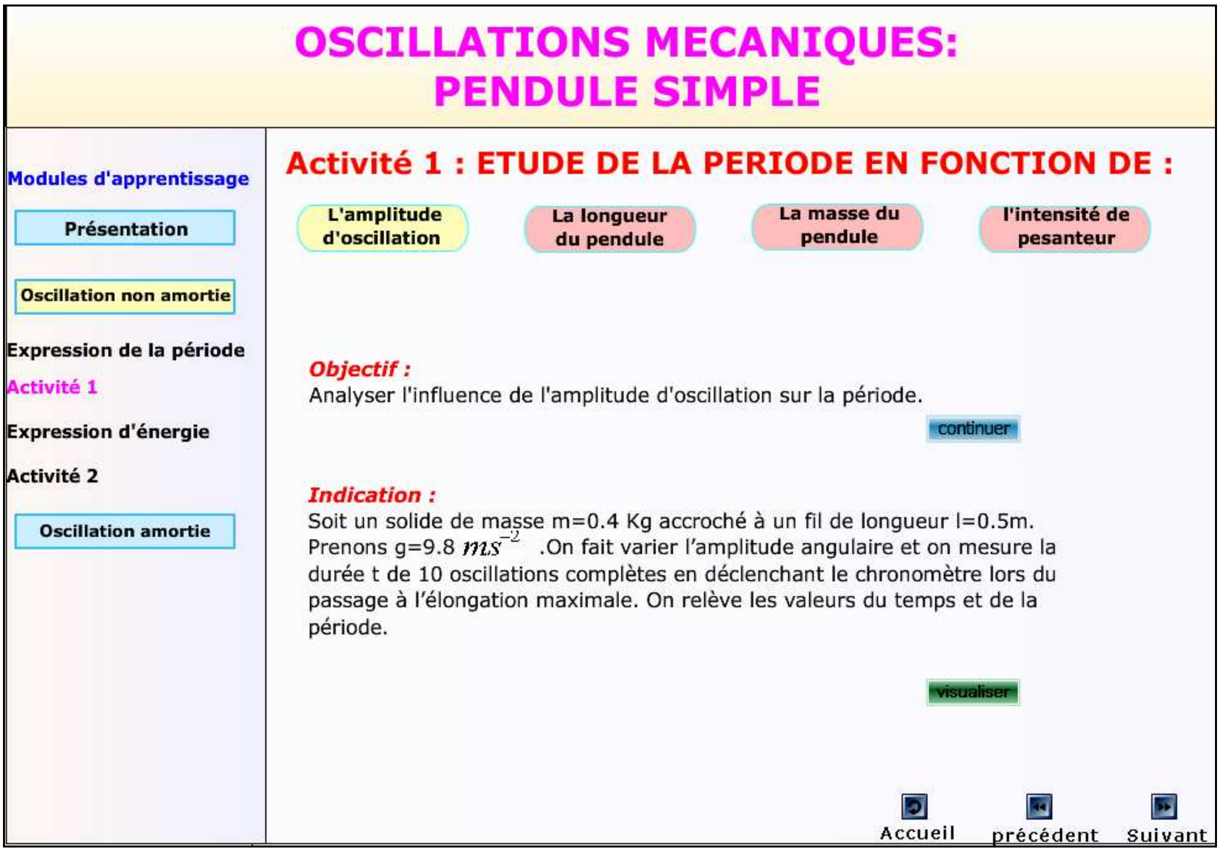
Module 1 : Etude de la période

a) Etude de la période en fonction de l'amplitude d'oscillation

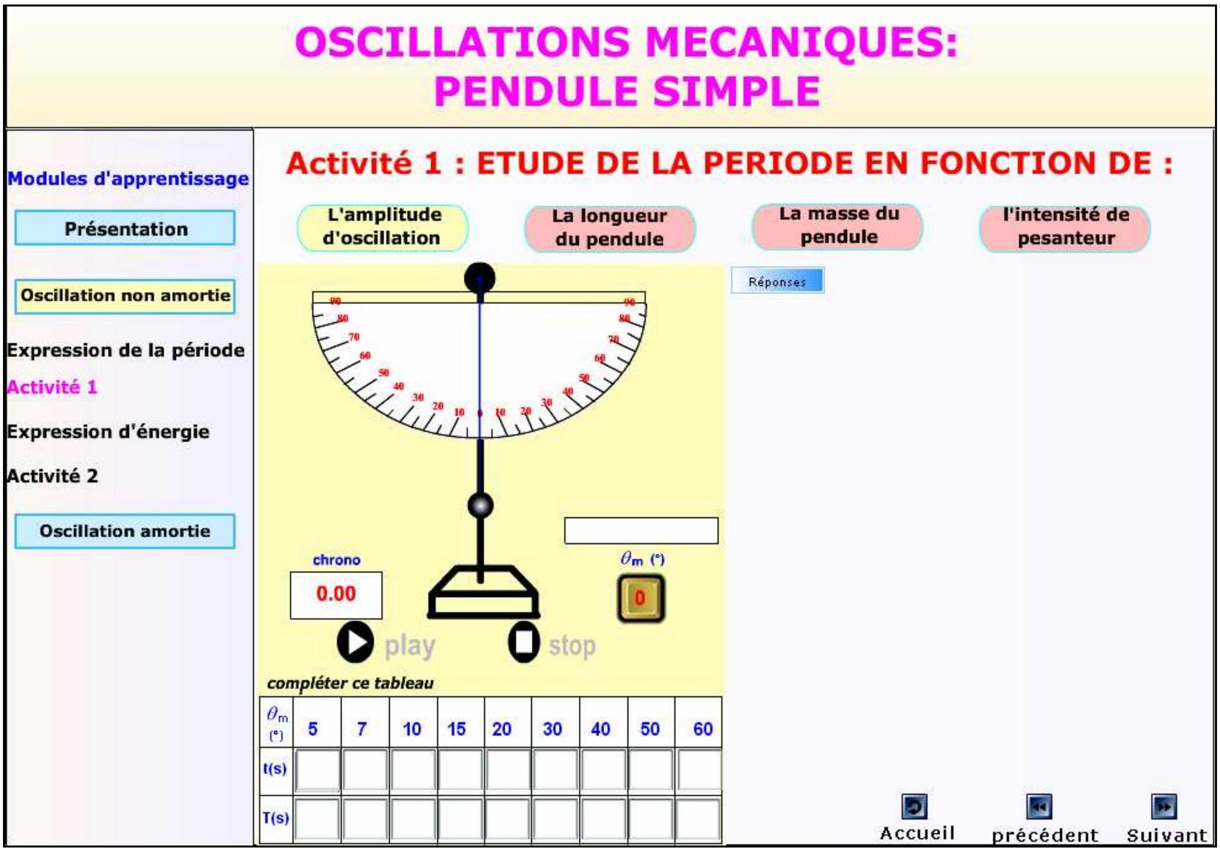
- ***Objectif***



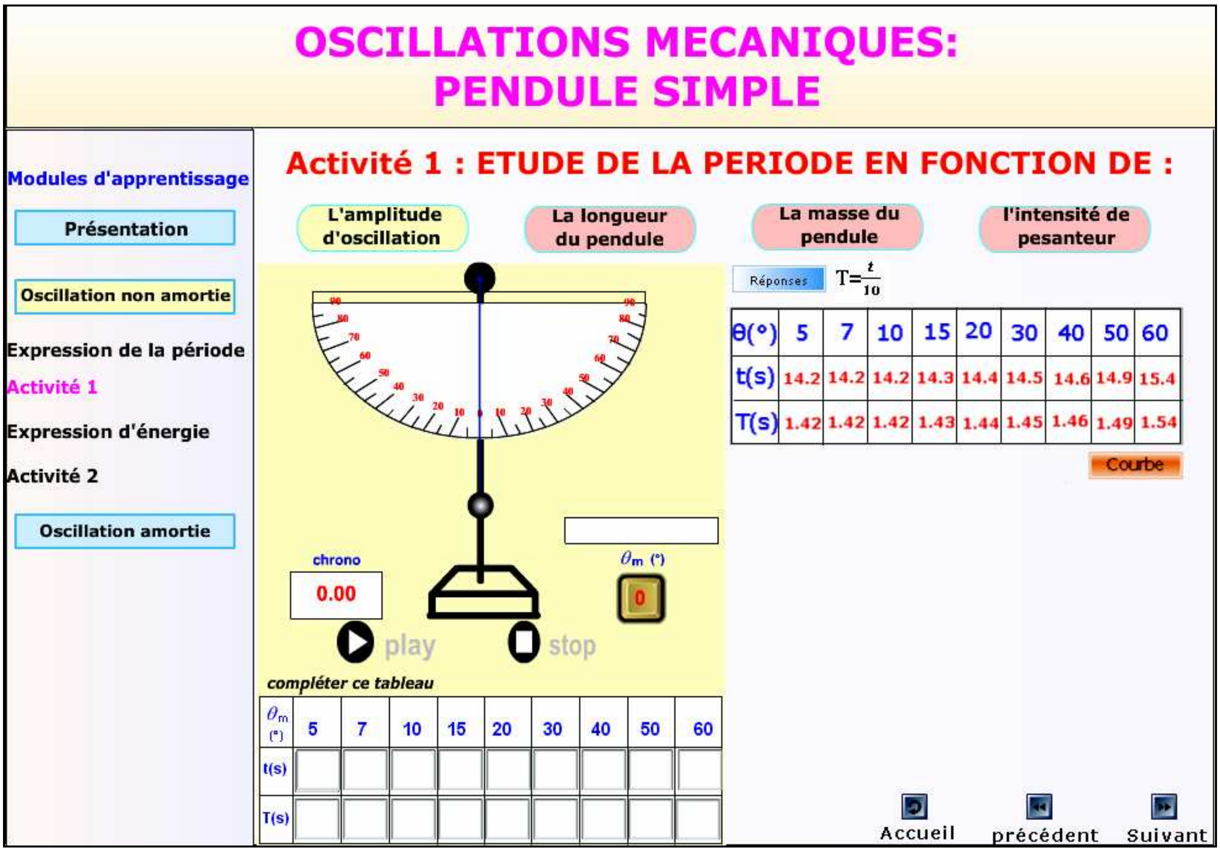
- ***Indication***



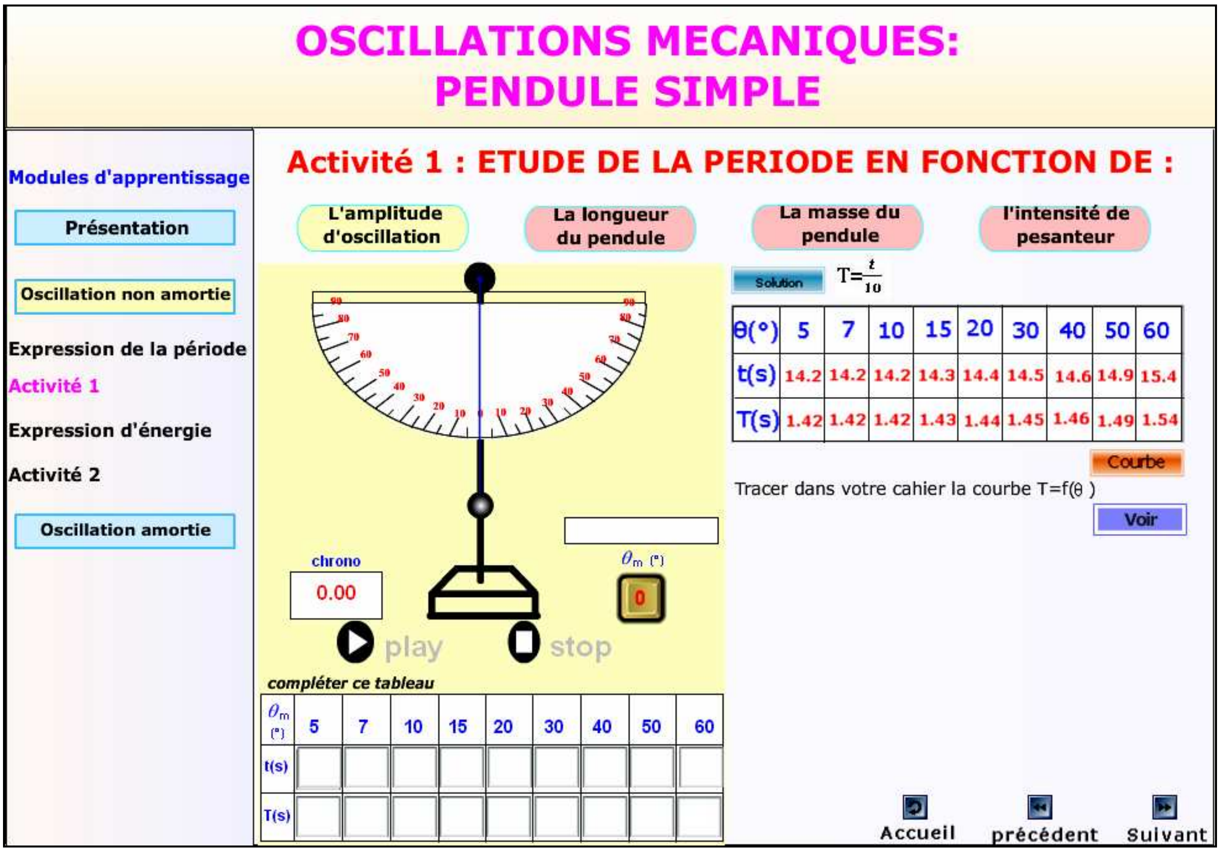
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***

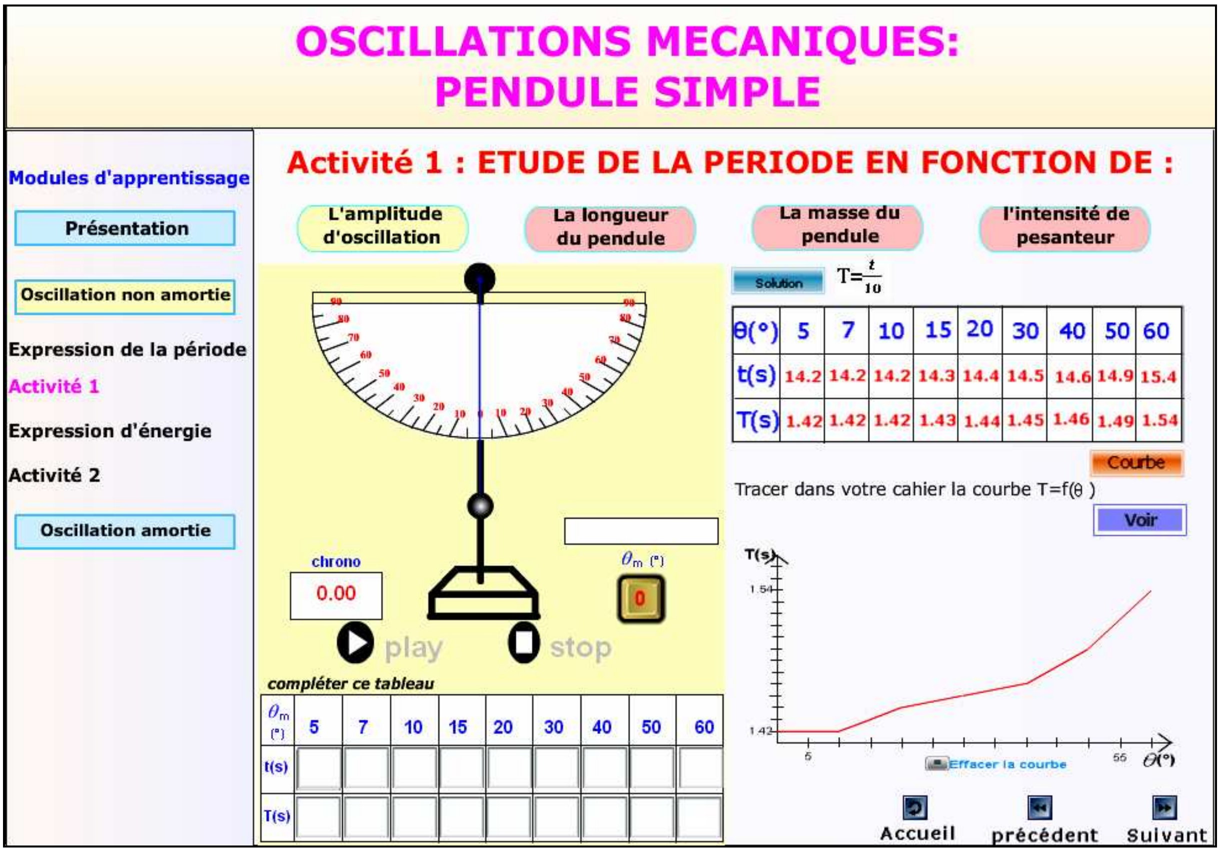


- ***Valeurs proposée par le logiciel***

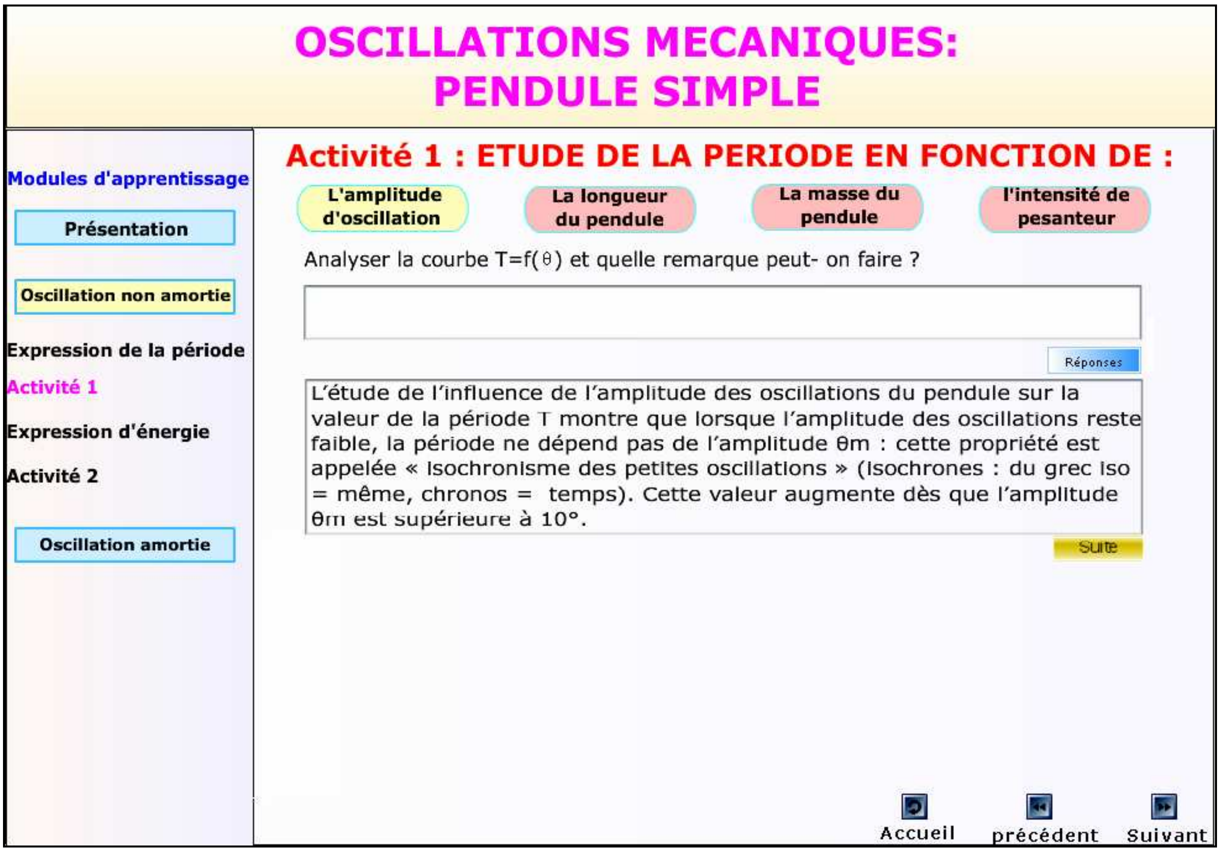


- ***Représentation graphique***





- ***Analyse de la représentation graphique***

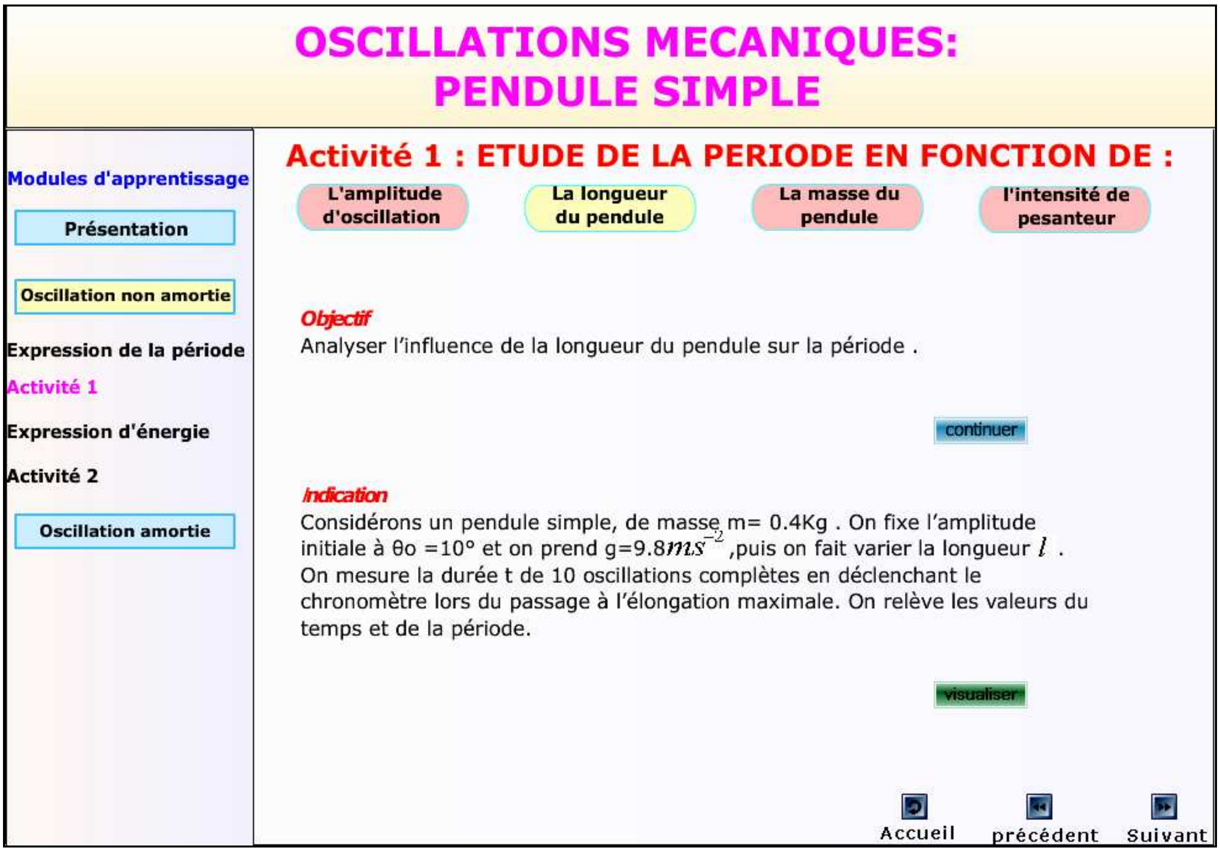


b) Etude de la période en fonction de la longueur du pendule

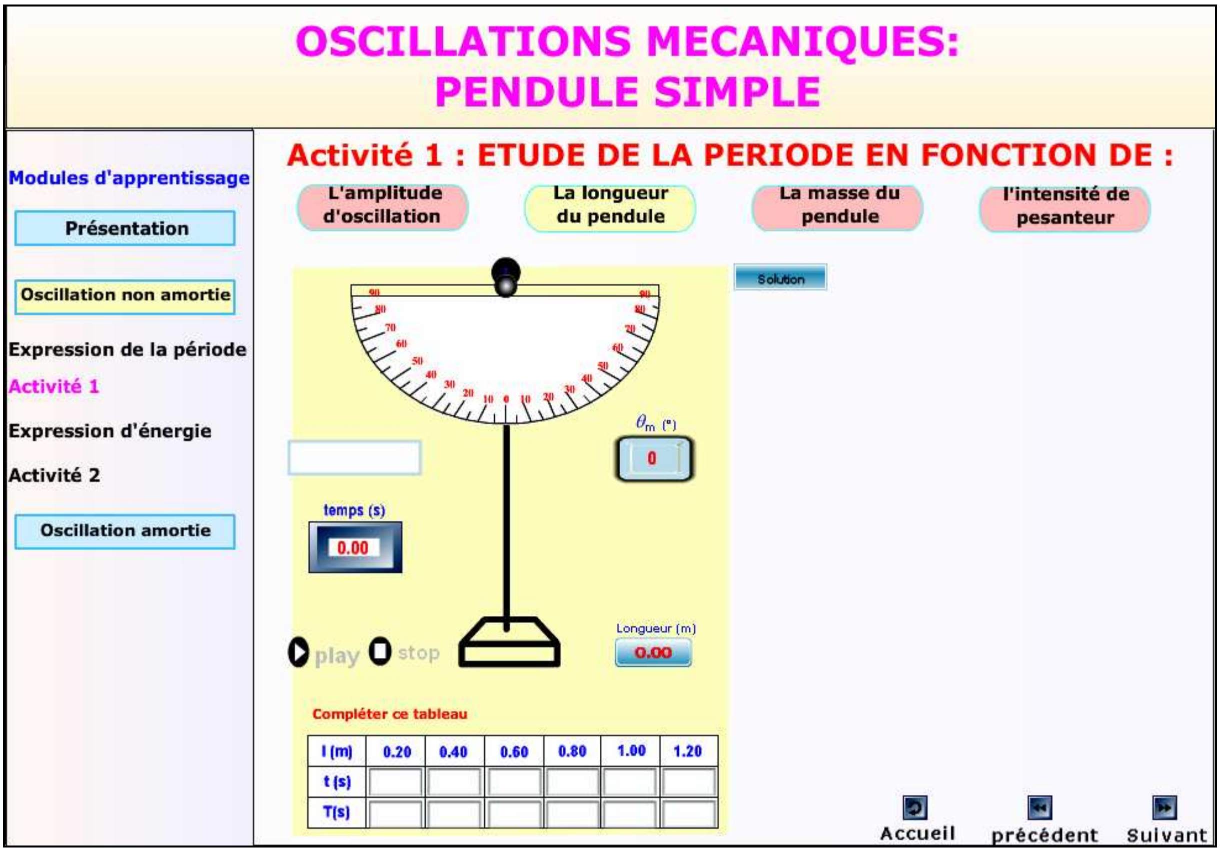
- ***Objectif***


OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
Activité 1 : ETUDE DE LA PERIODE EN FONCTION DE :
L'amplitude d'oscillation
La longueur du pendule
La masse du pendule
l'intensité de pesanteur
Modules d'apprentissage
Présentation
Oscillation non amortie
Expression de la période
Activité 1
Expression d'énergie
Activité 2
Oscillation amortie
Objectif
Analyser l'influence de la longueur du pendule sur la période .
continuer
Accueil
précédent
Suivant

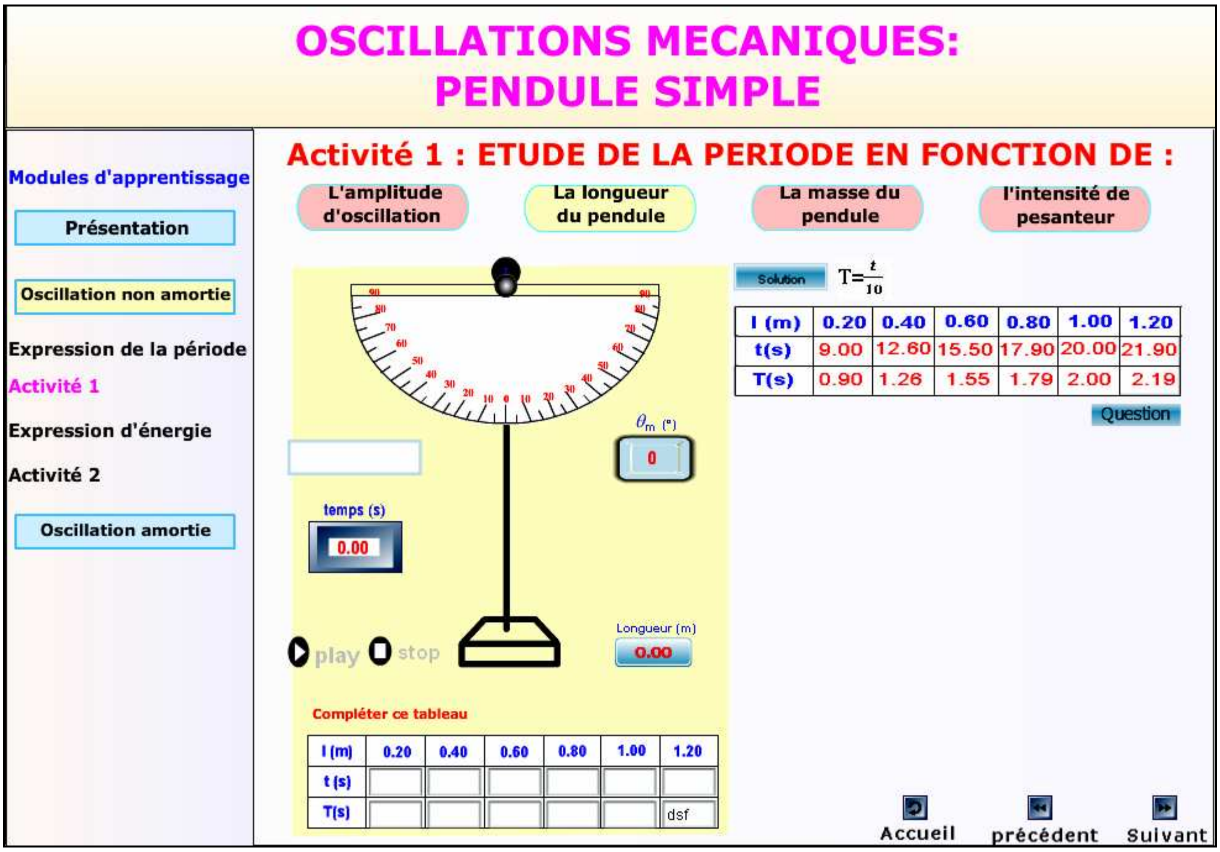
- ***Indication***



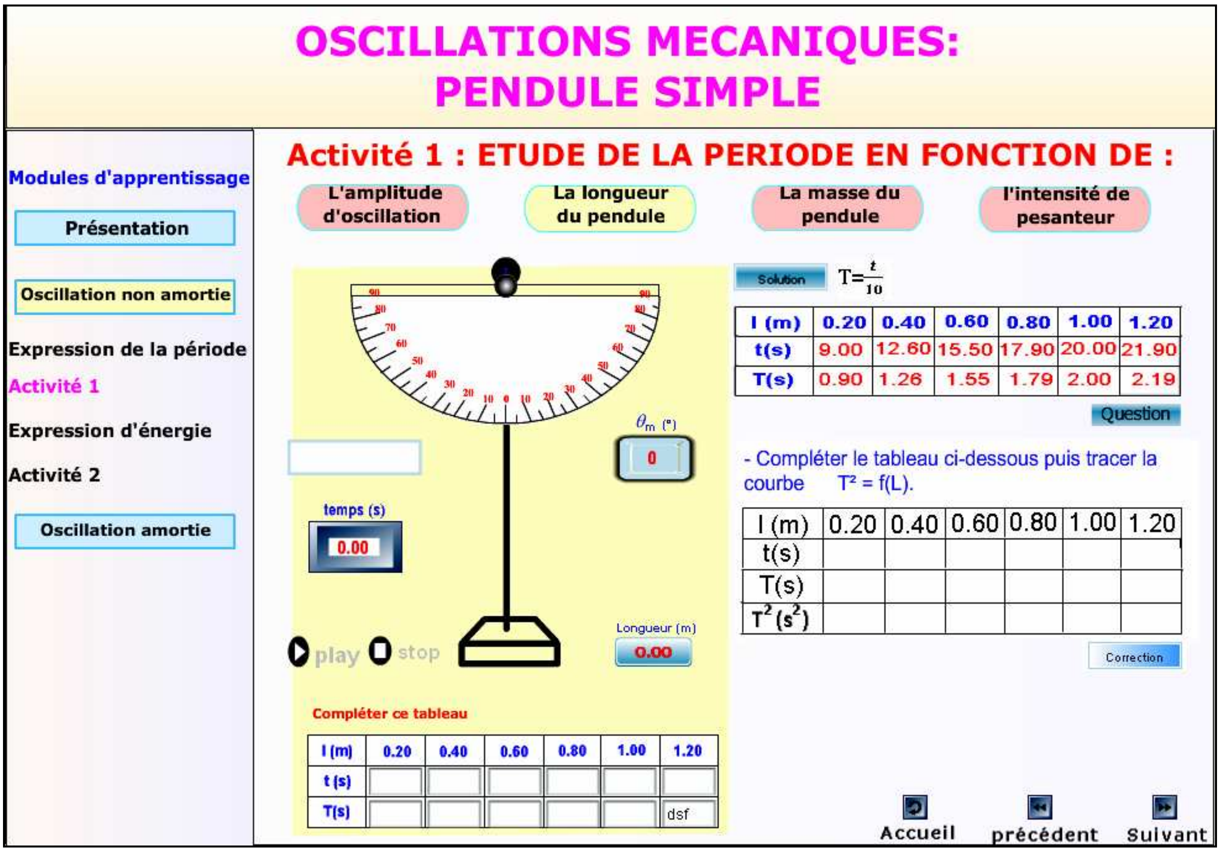
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***



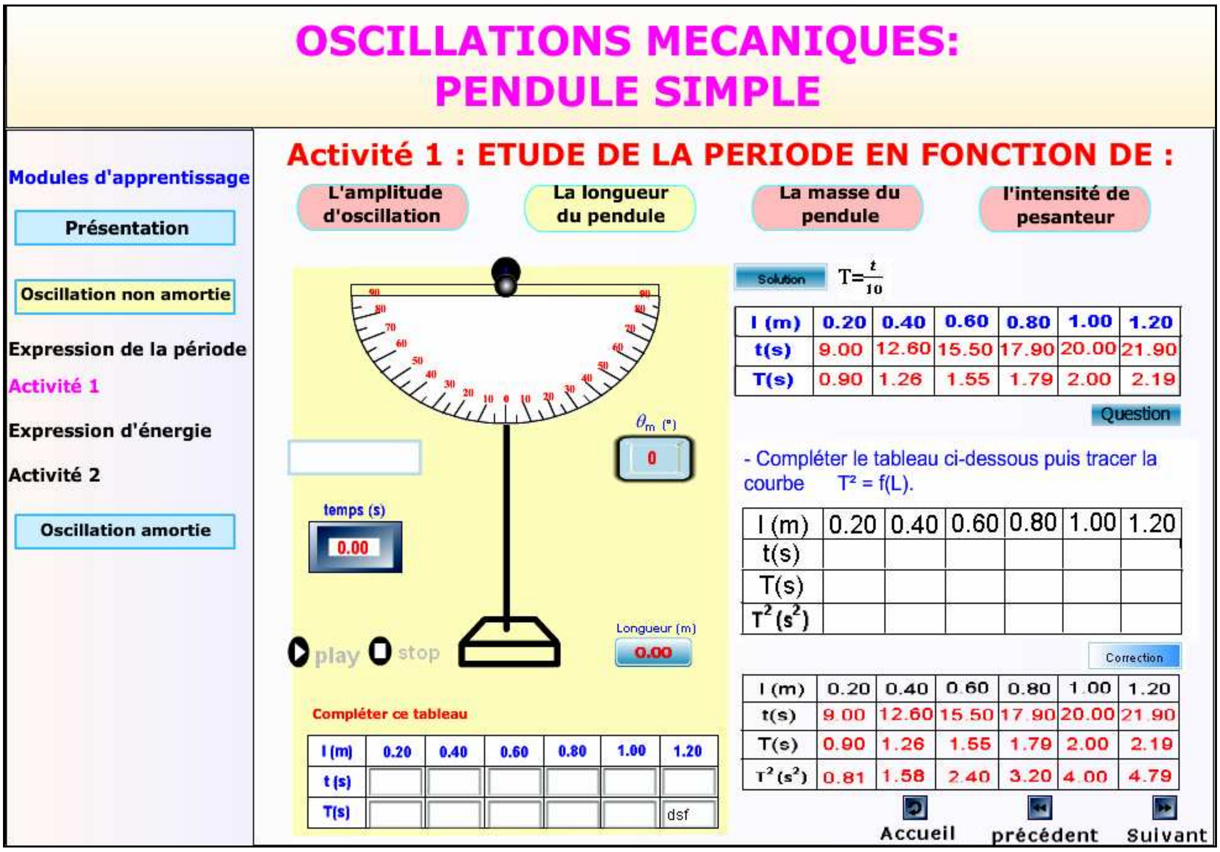
- ***Valeurs proposée par le logiciel***



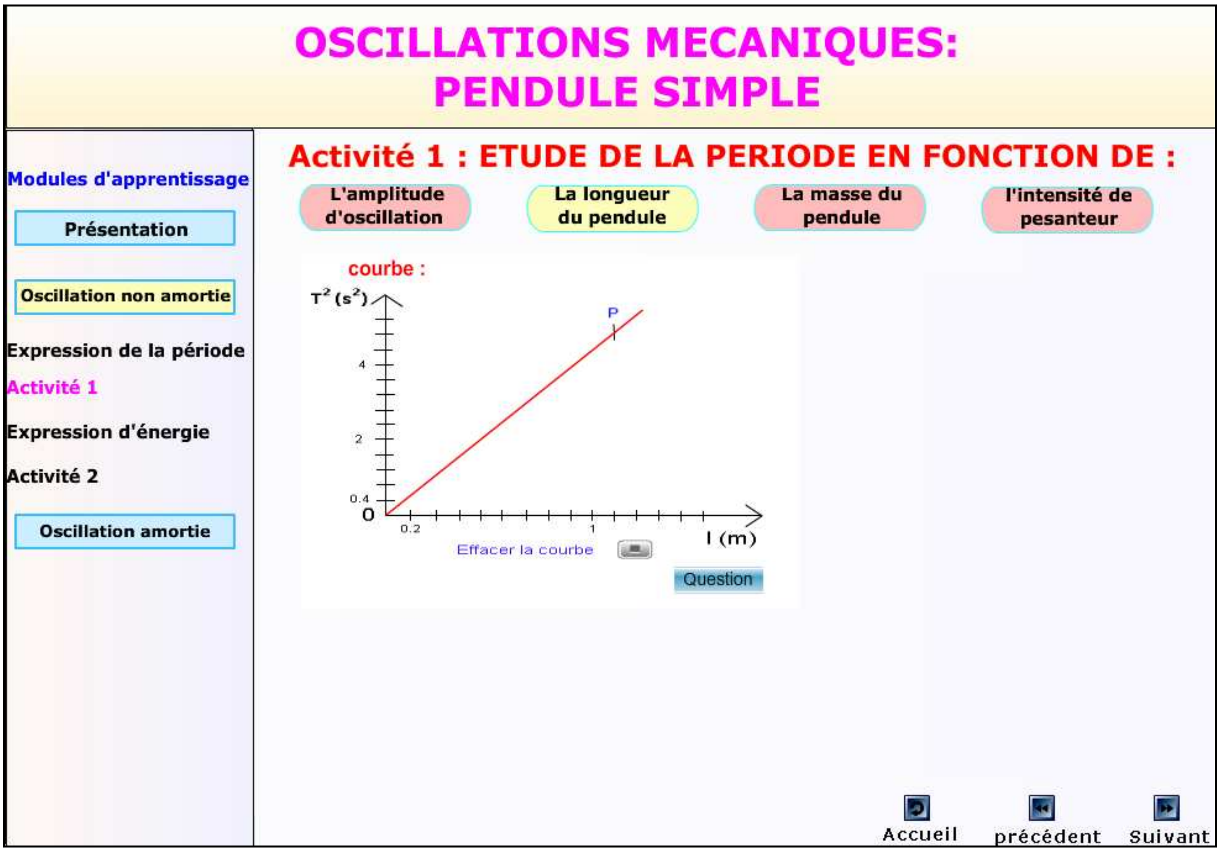
- ***Question***



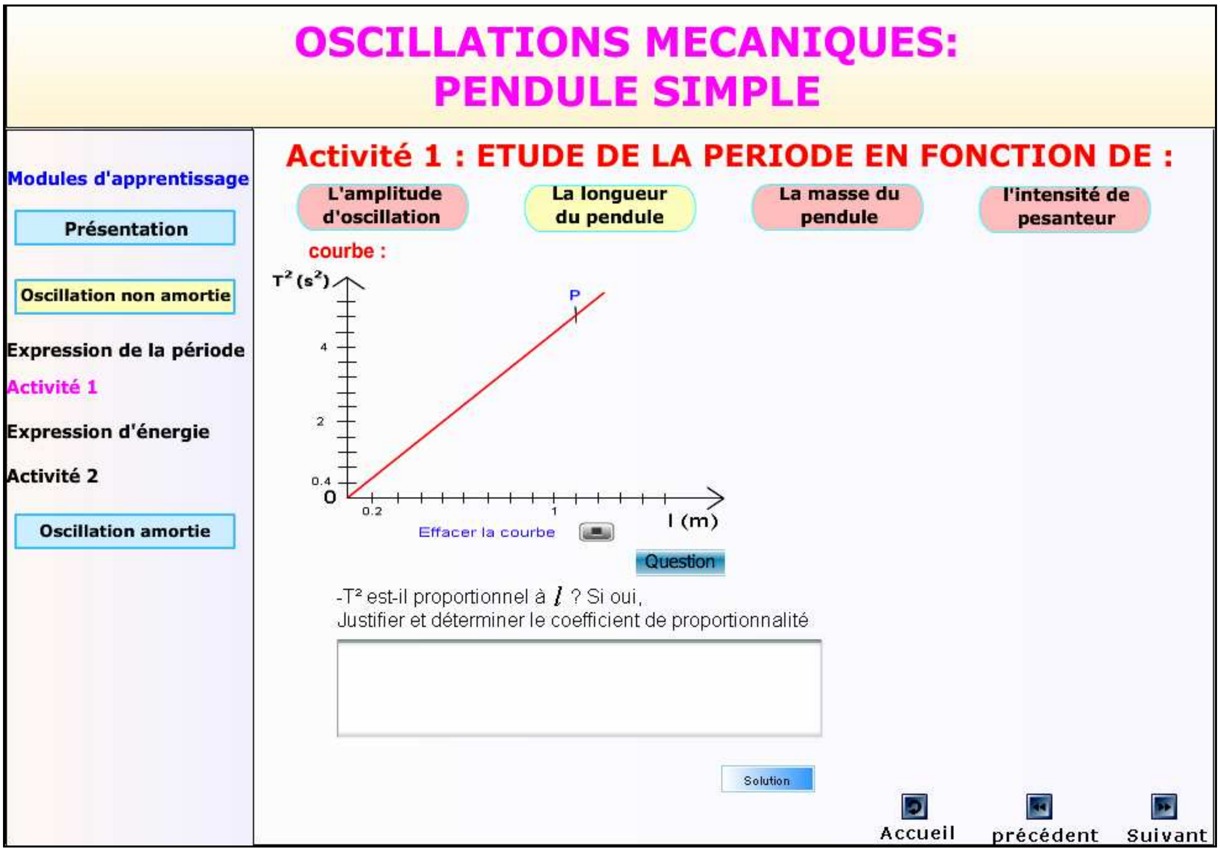
- ***Solution proposée***

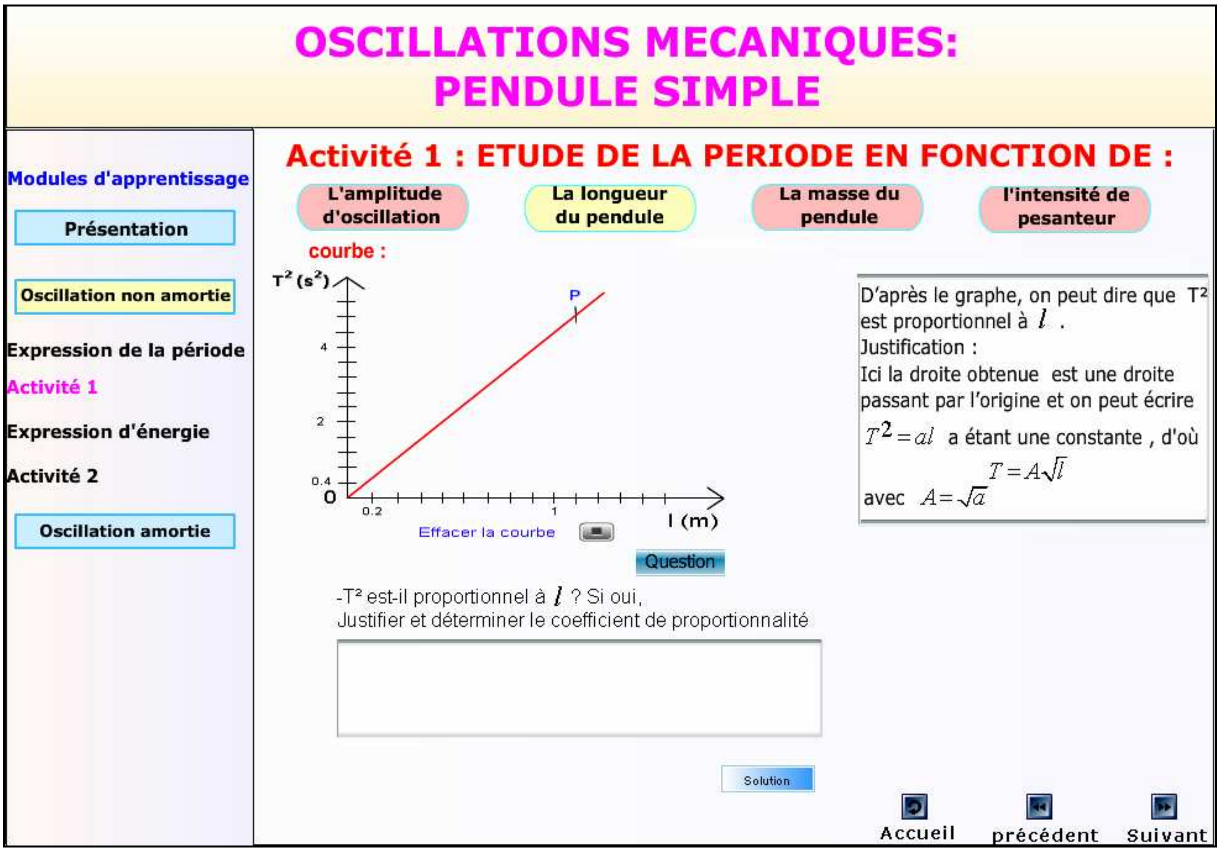


- ***Représentation graphique***



- ***Analyse de la représentation graphique***

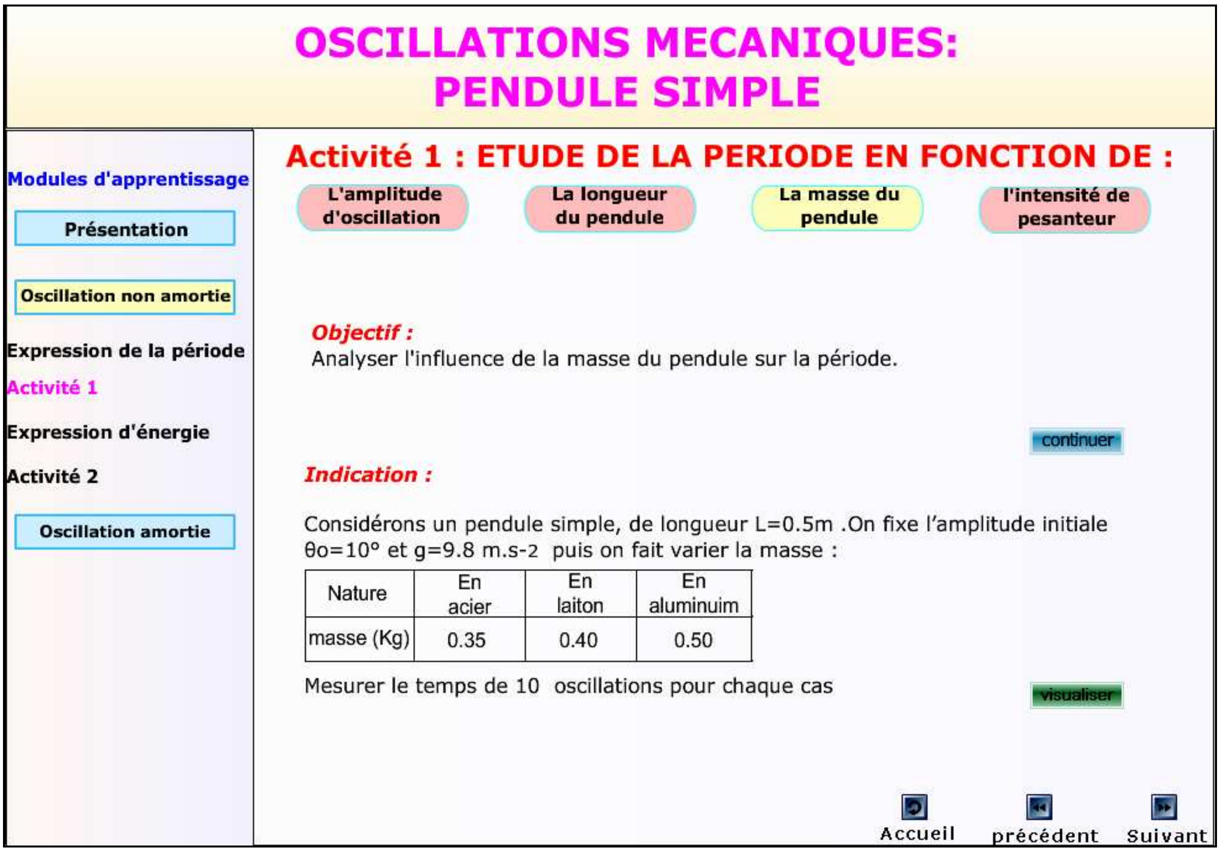




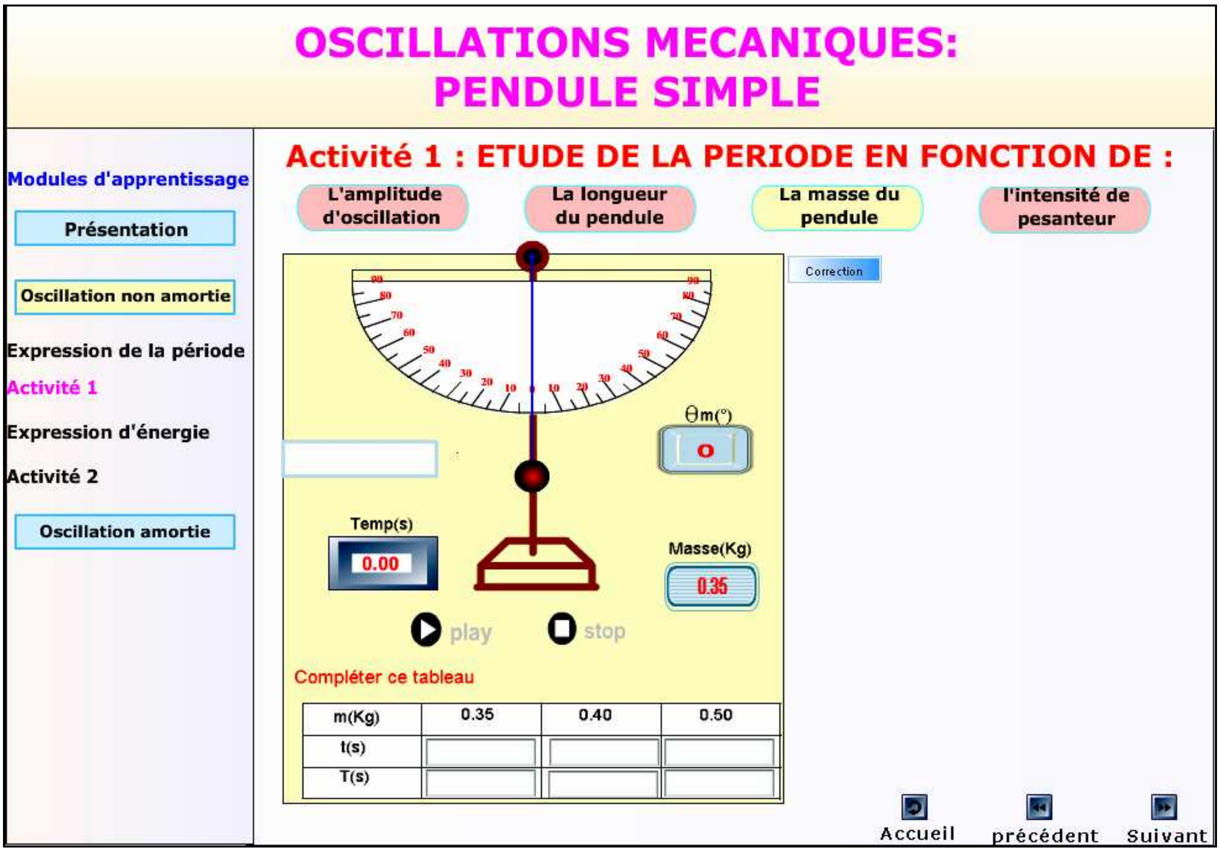
c) Etude de la période en fonction de la masse du pendule

- ***Objectif***

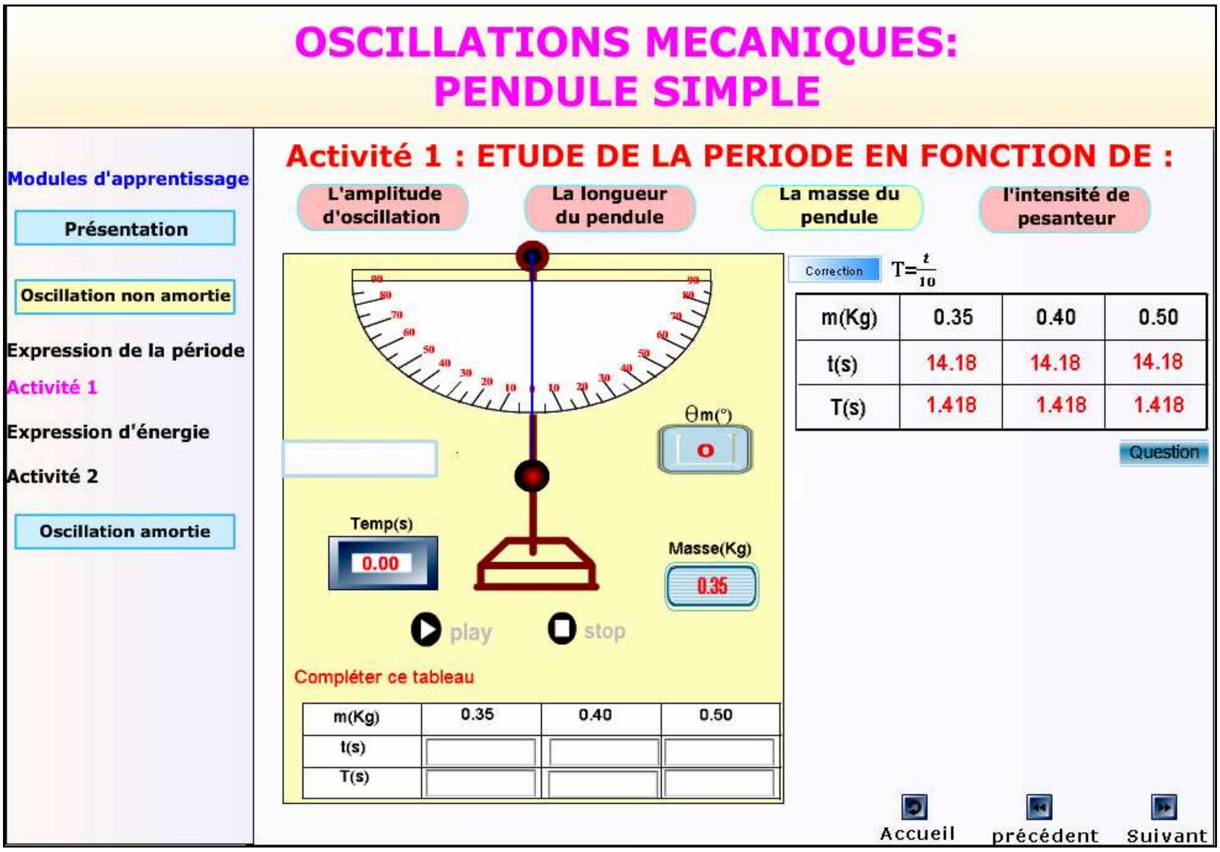
- ***Indication***



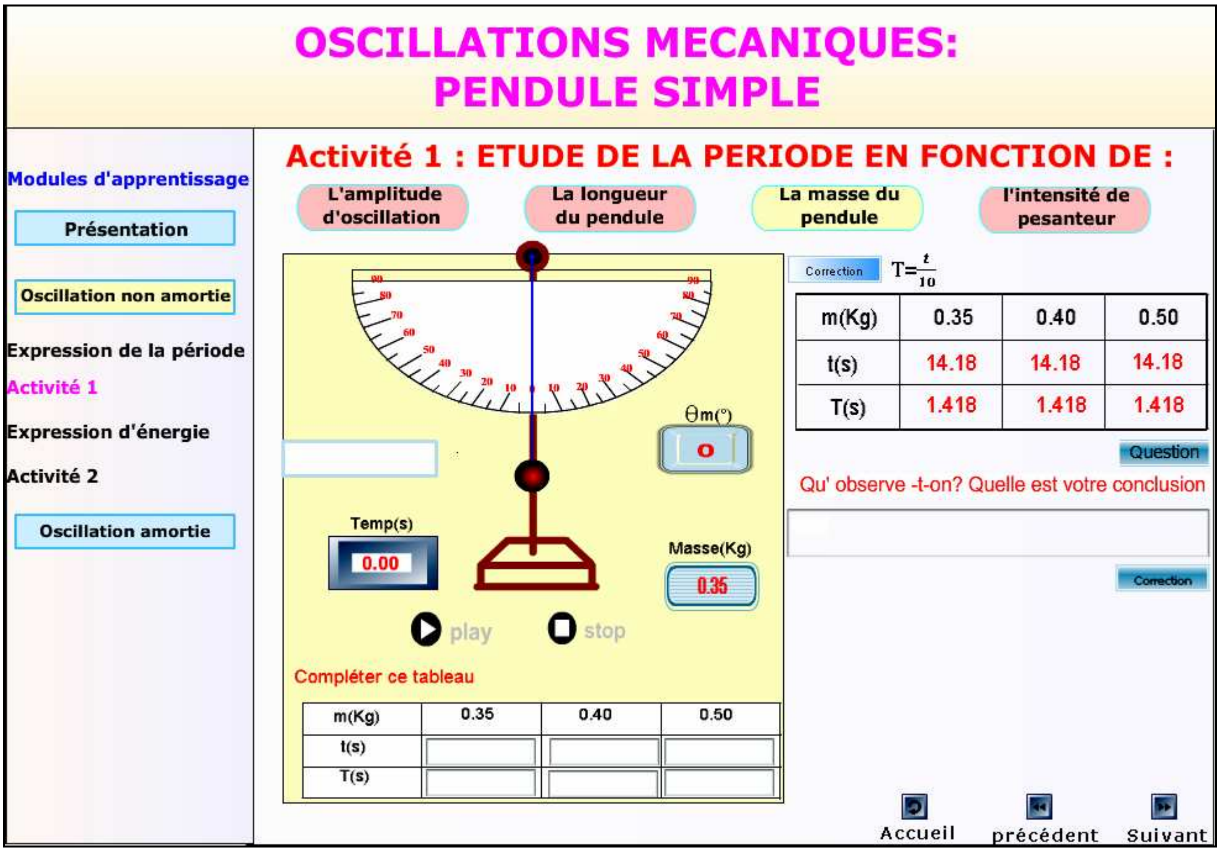
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***



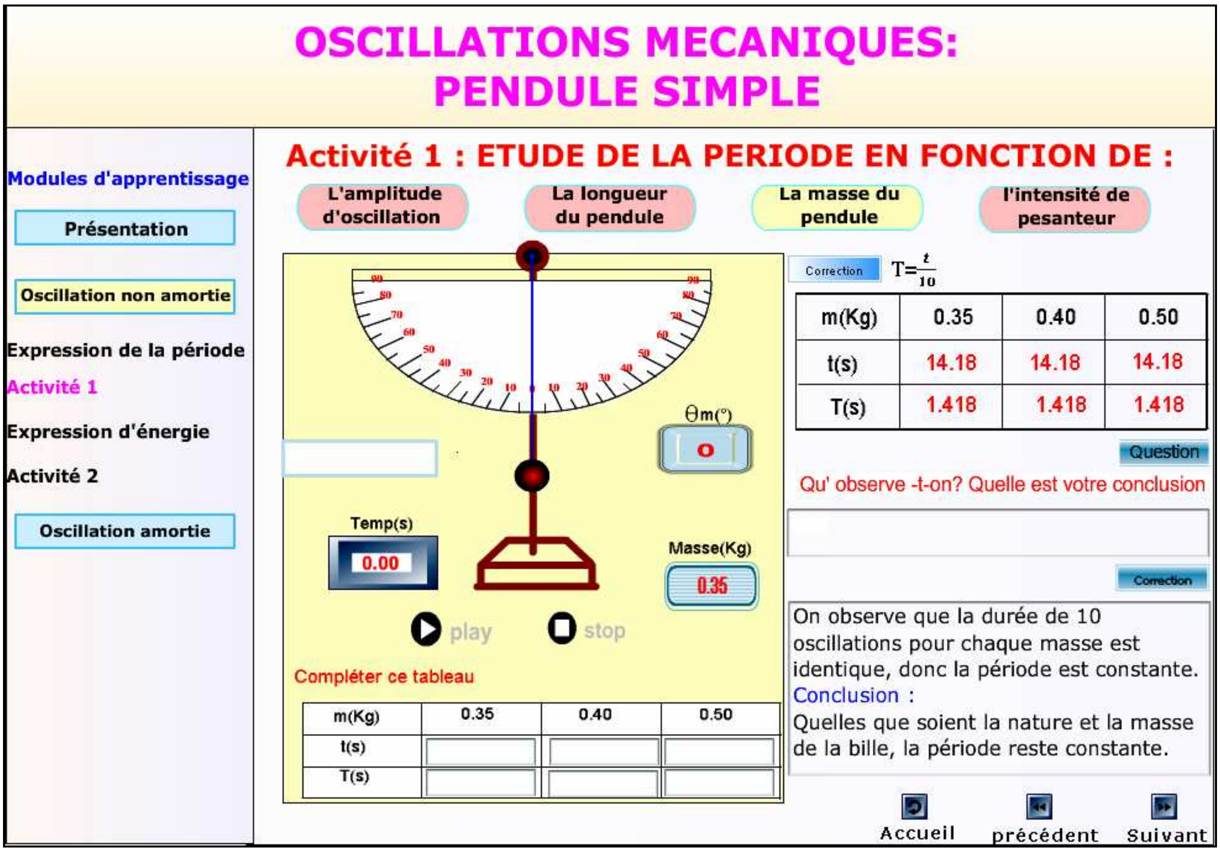
- *Valeurs proposée par le logiciel*



- ***Question***

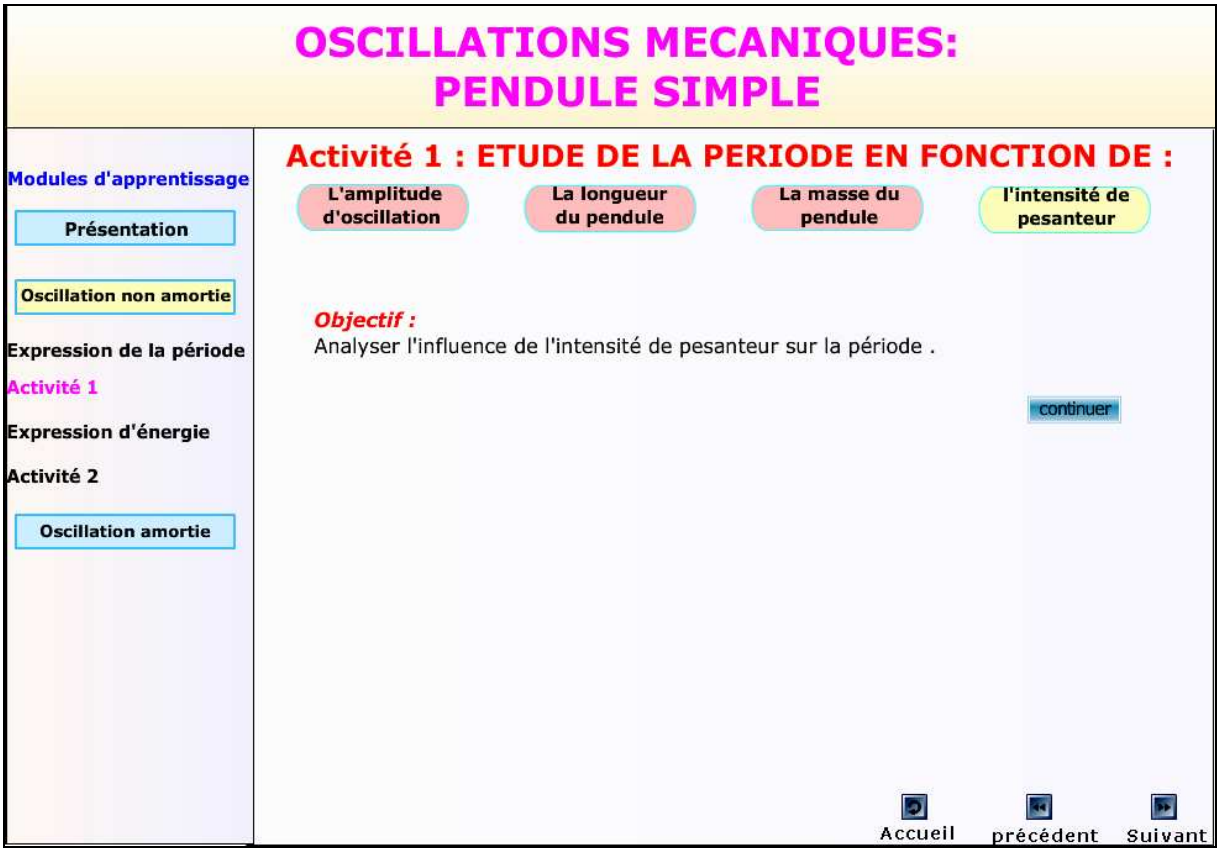


- ***Solution proposée et conclusion***

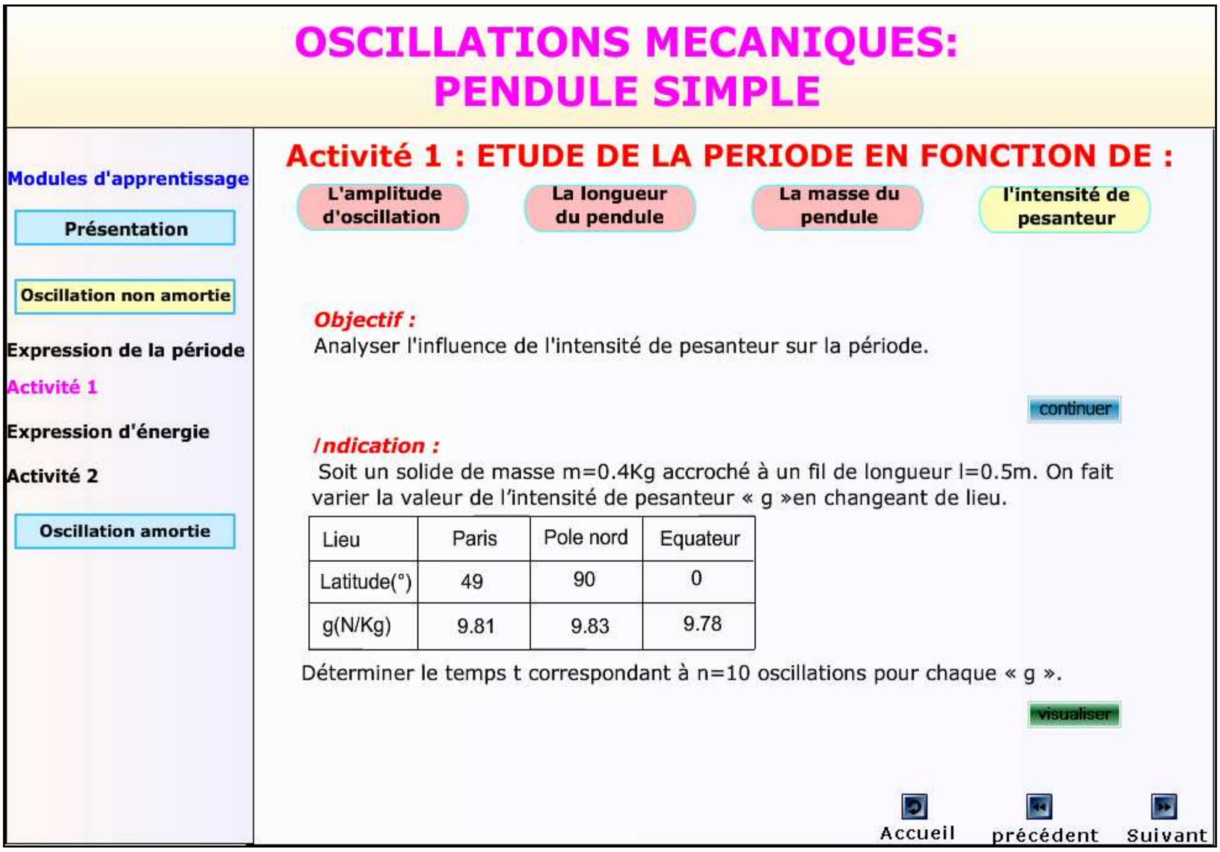


d) **Etude de la période en fonction de l'intensité de pesanteur**

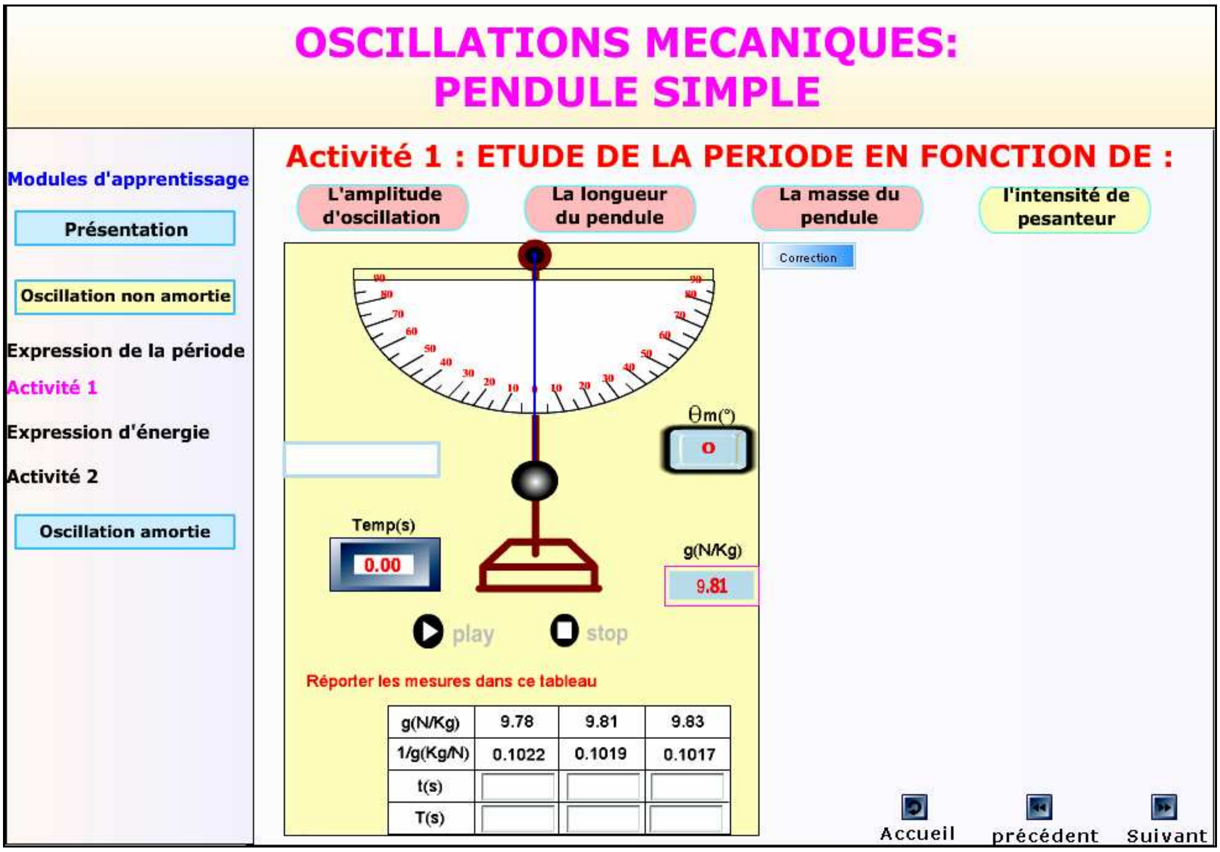
- ***Objectif***



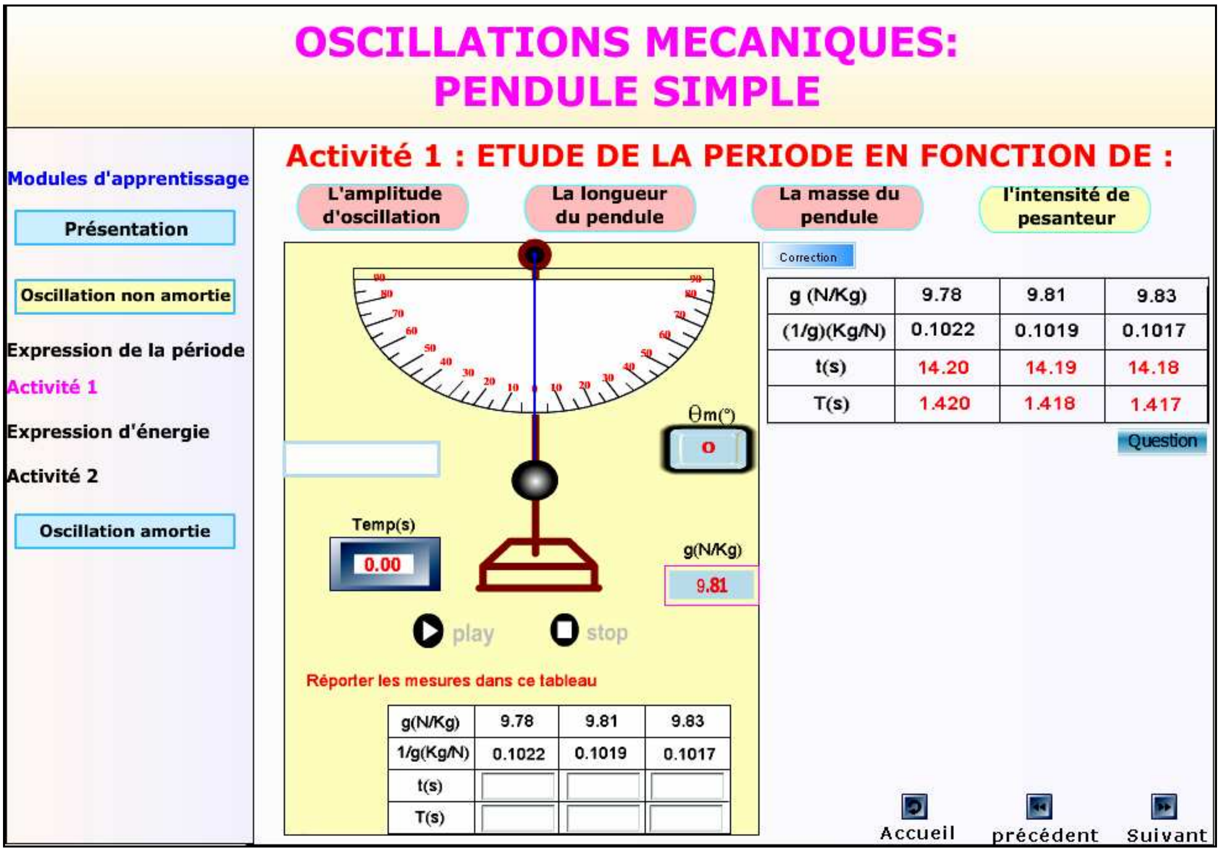
- ***Indication***



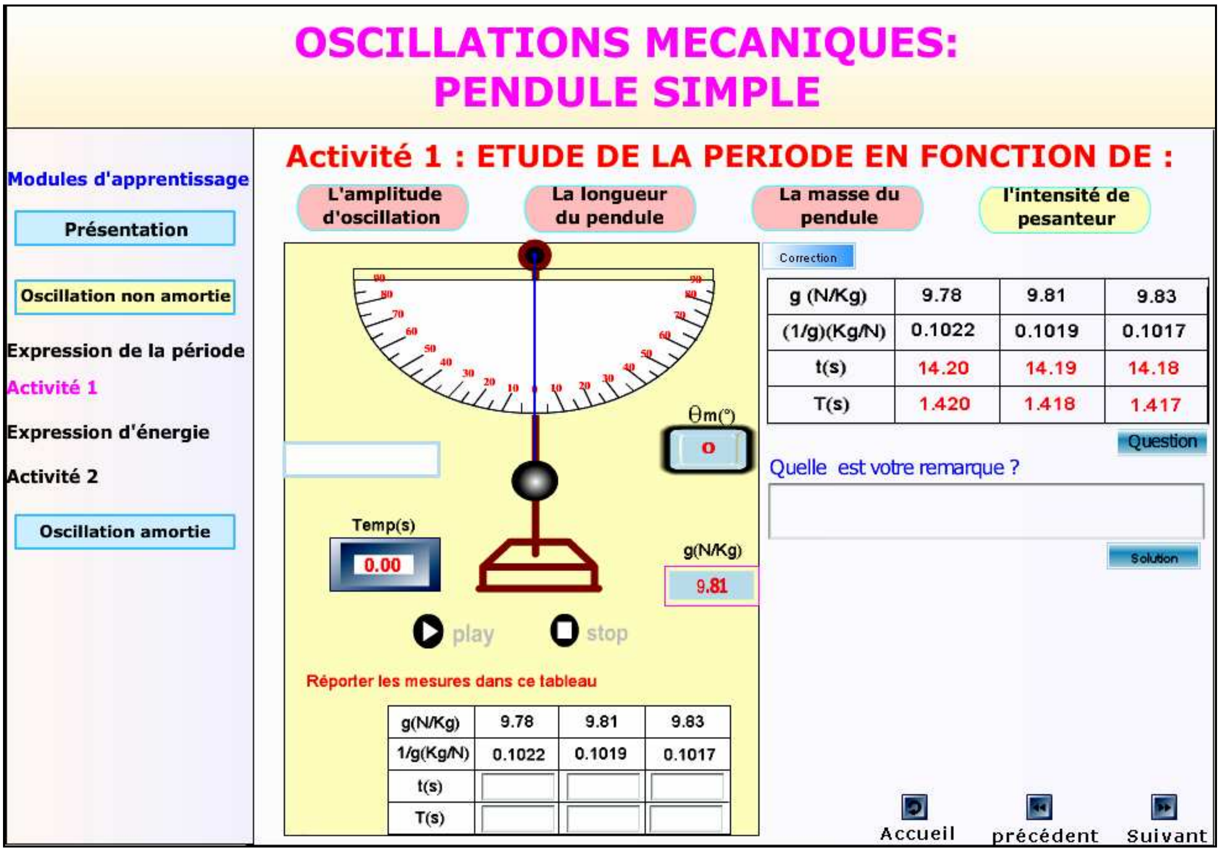
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***



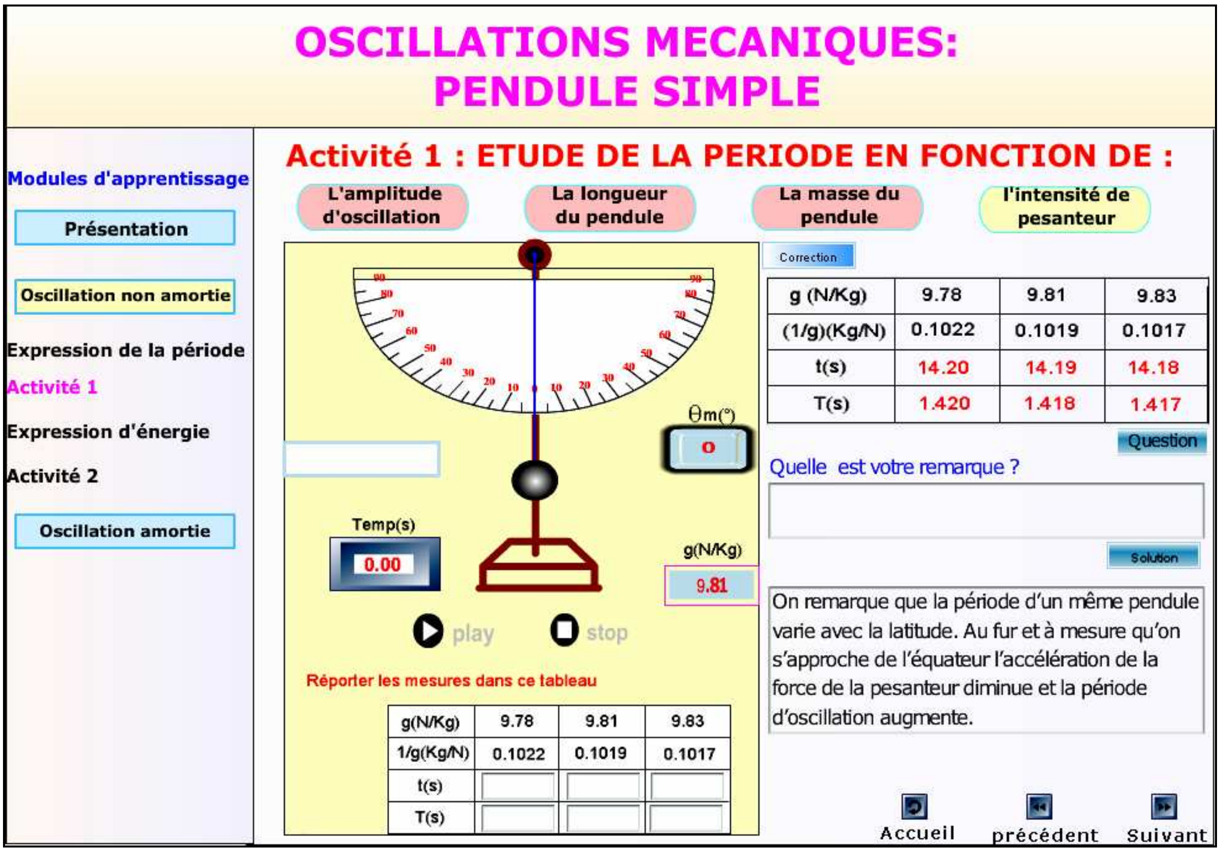
- *Valeurs proposée par le logiciel*



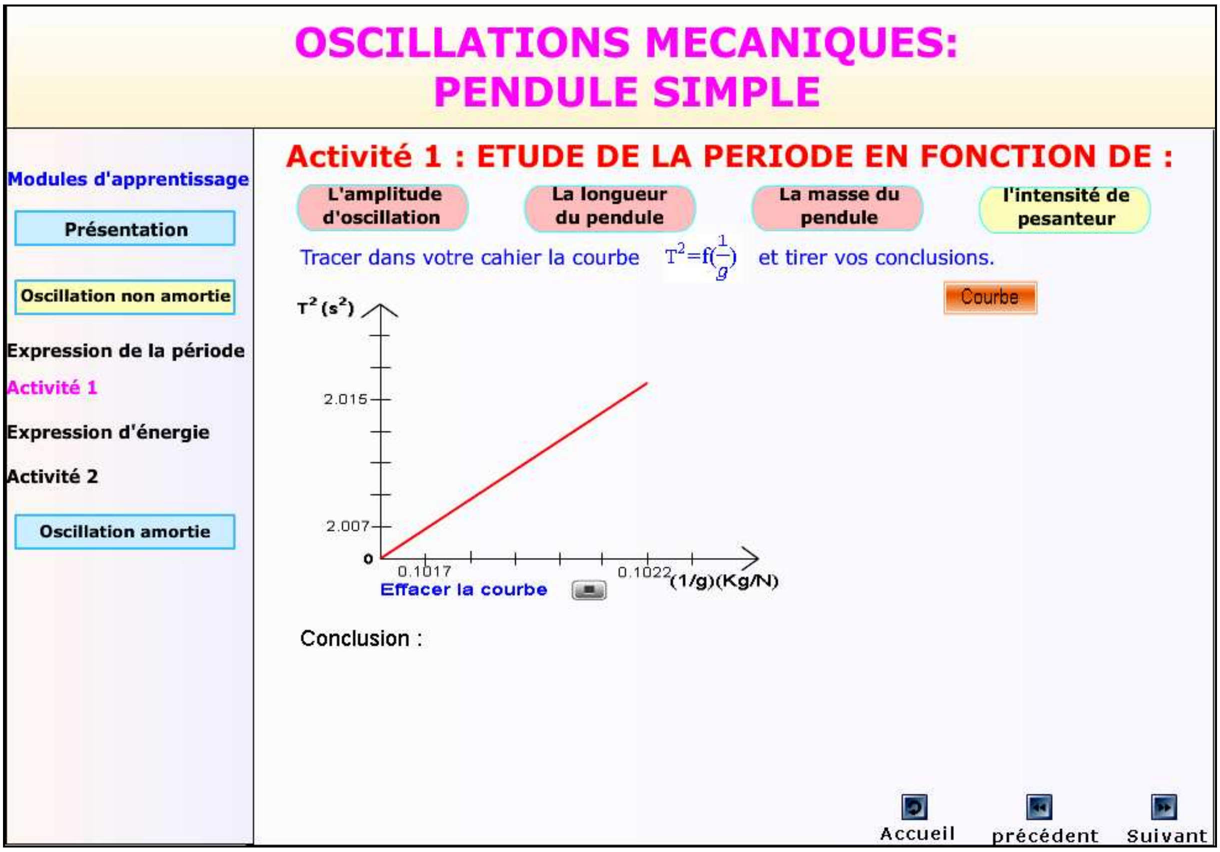
- ***Question***



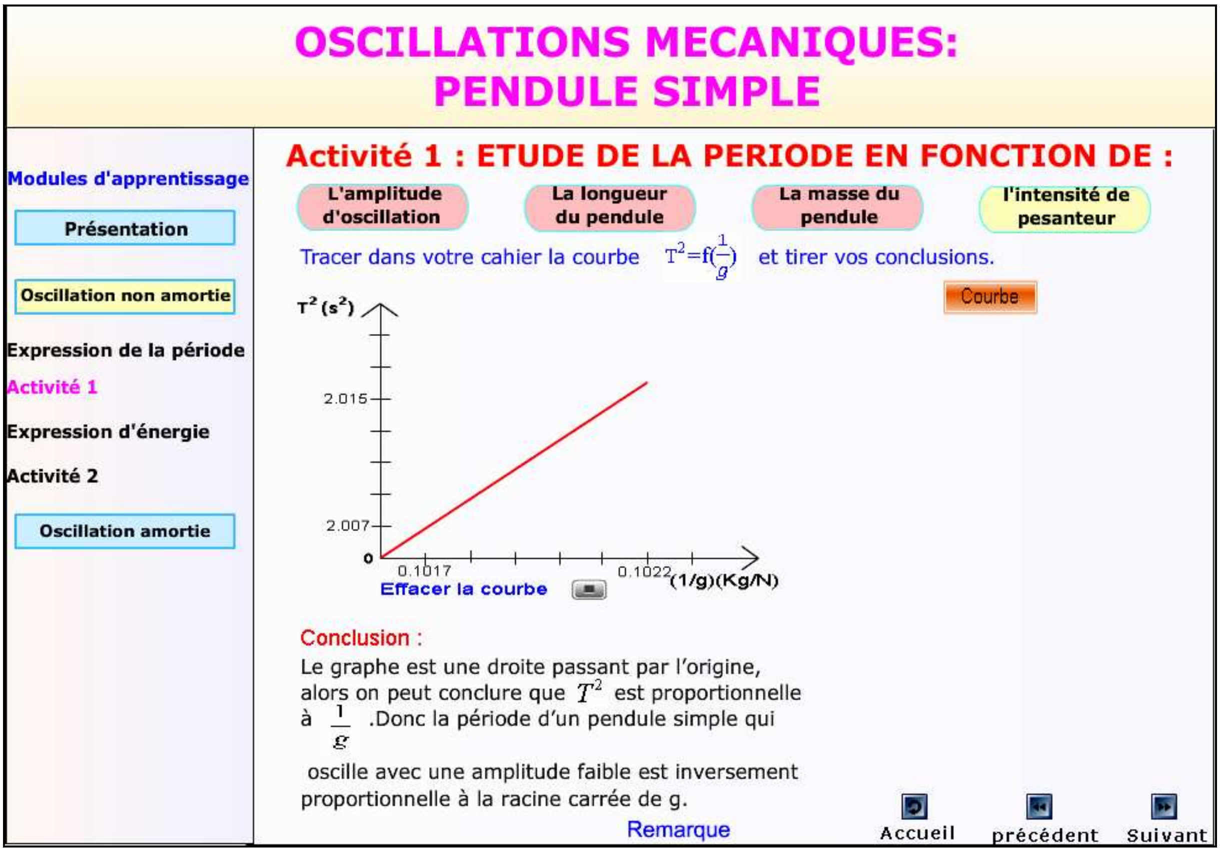
- ***Solution proposée***

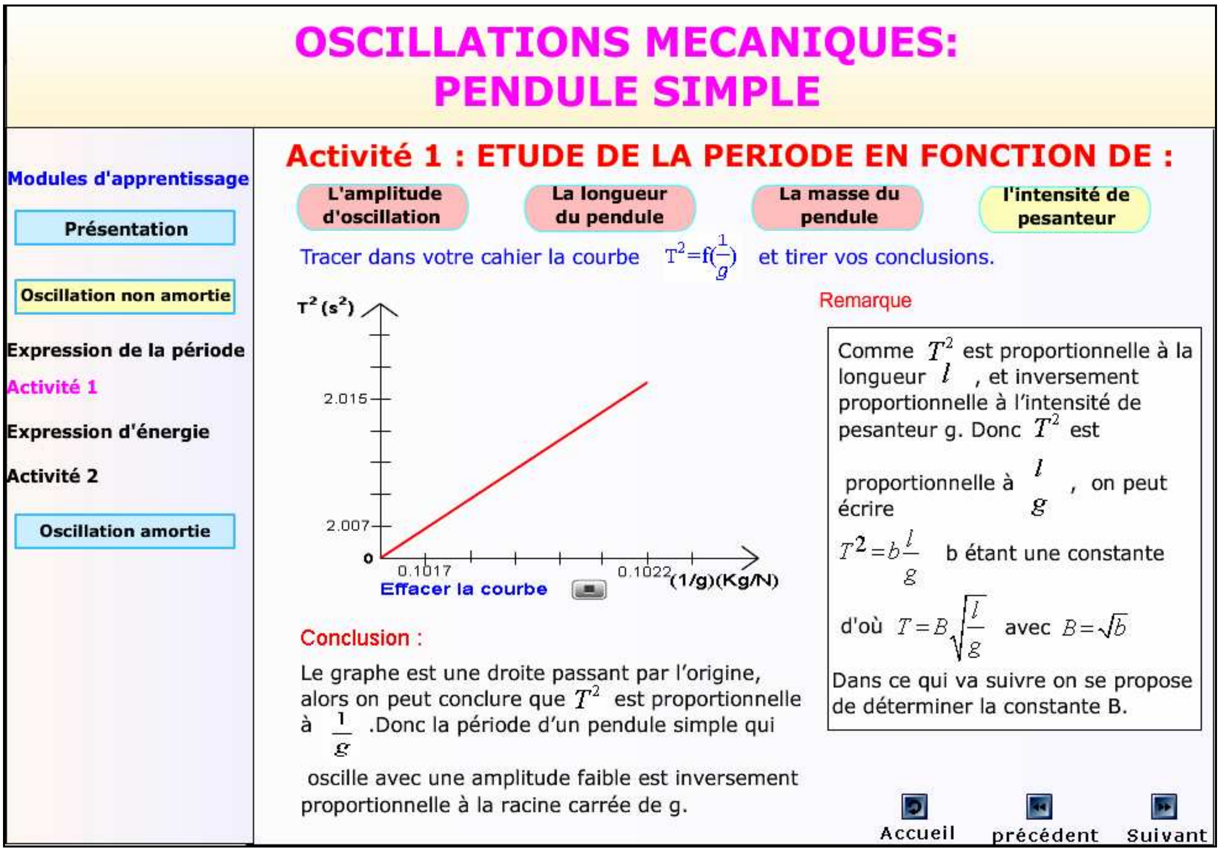


- ***Représentation graphique***



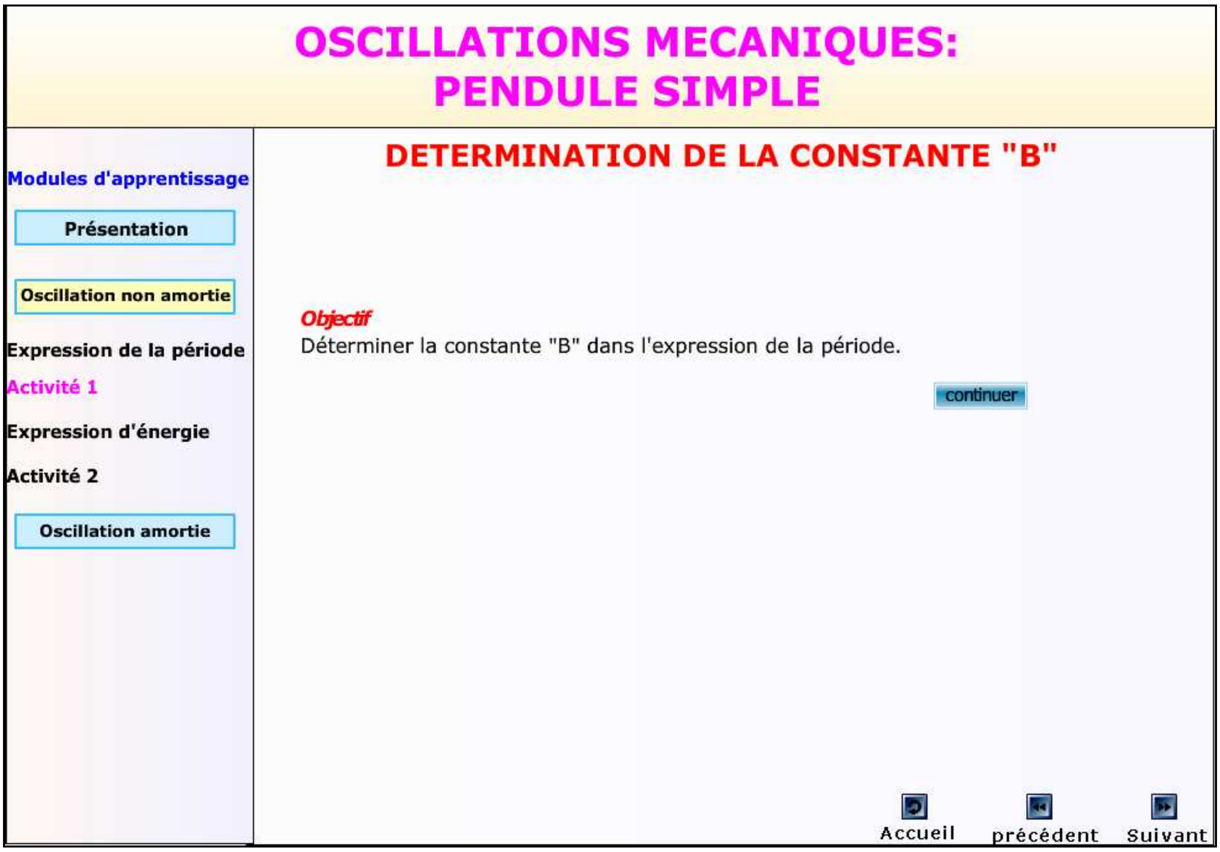
- ***Analyse de la représentation graphique***



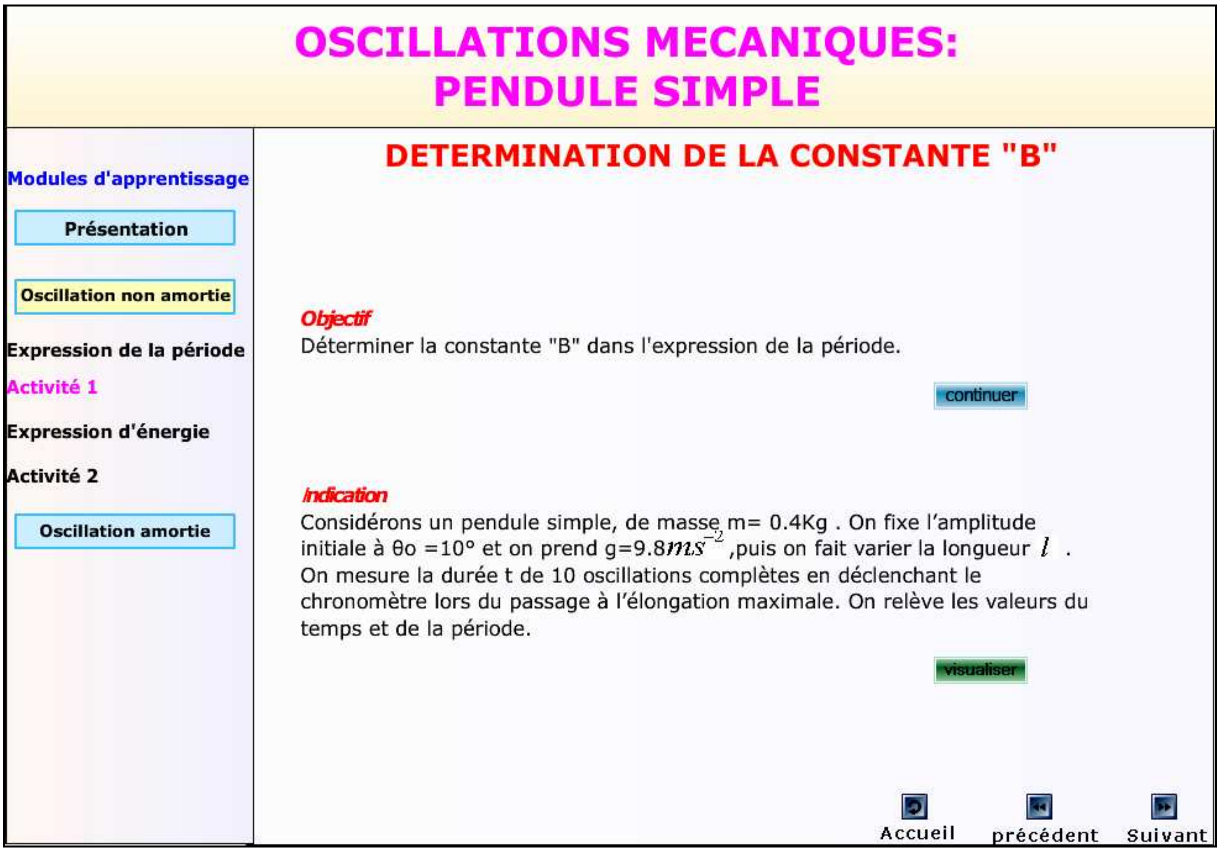


e) Détermination de la constante B

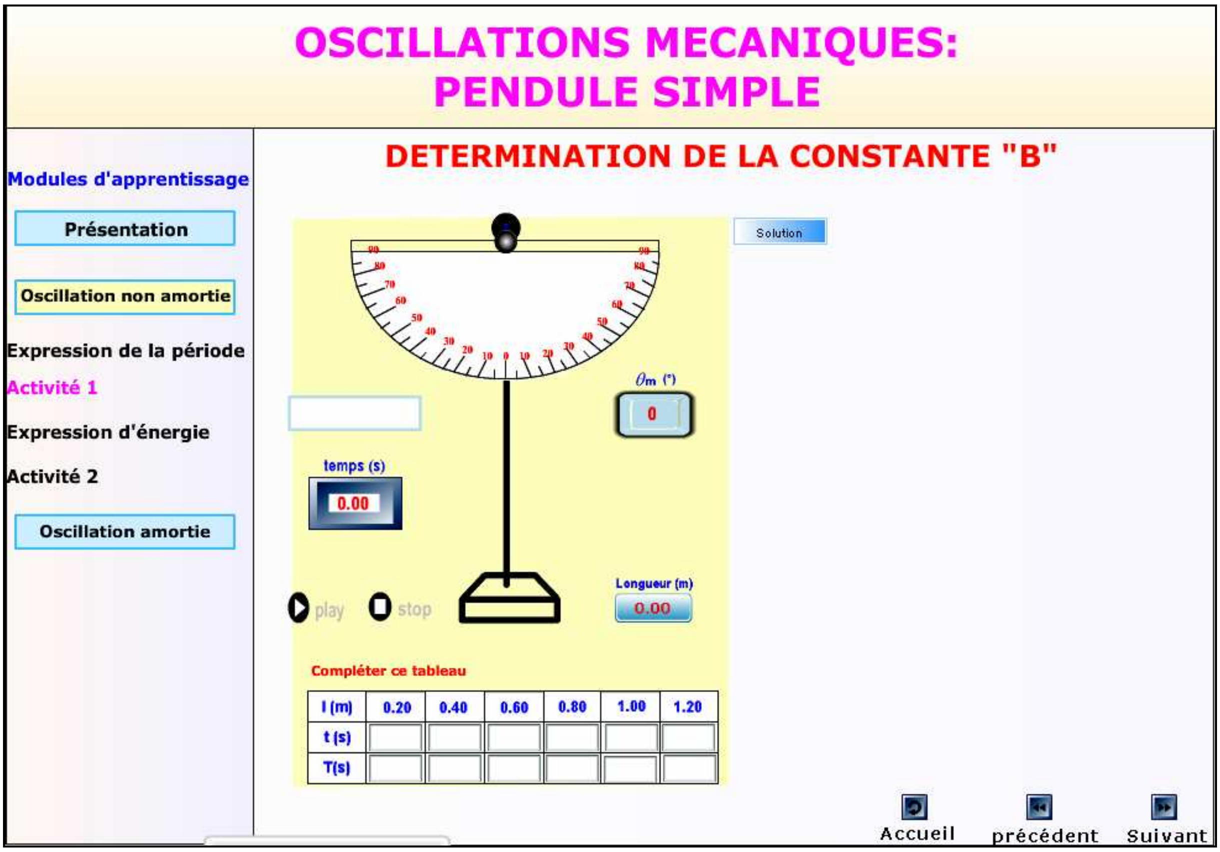
- ***Objectif***


OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
Modules d'apprentissage
Présentation
Oscillation non amortie
Expression de la période
Activité 1
Expression d'énergie
Activité 2
Oscillation amortie
DETERMINATION DE LA CONSTANTE "B"
Objectif
Déterminer la constante "B" dans l'expression de la période.
continuer
Accueil
précédent
Suivant

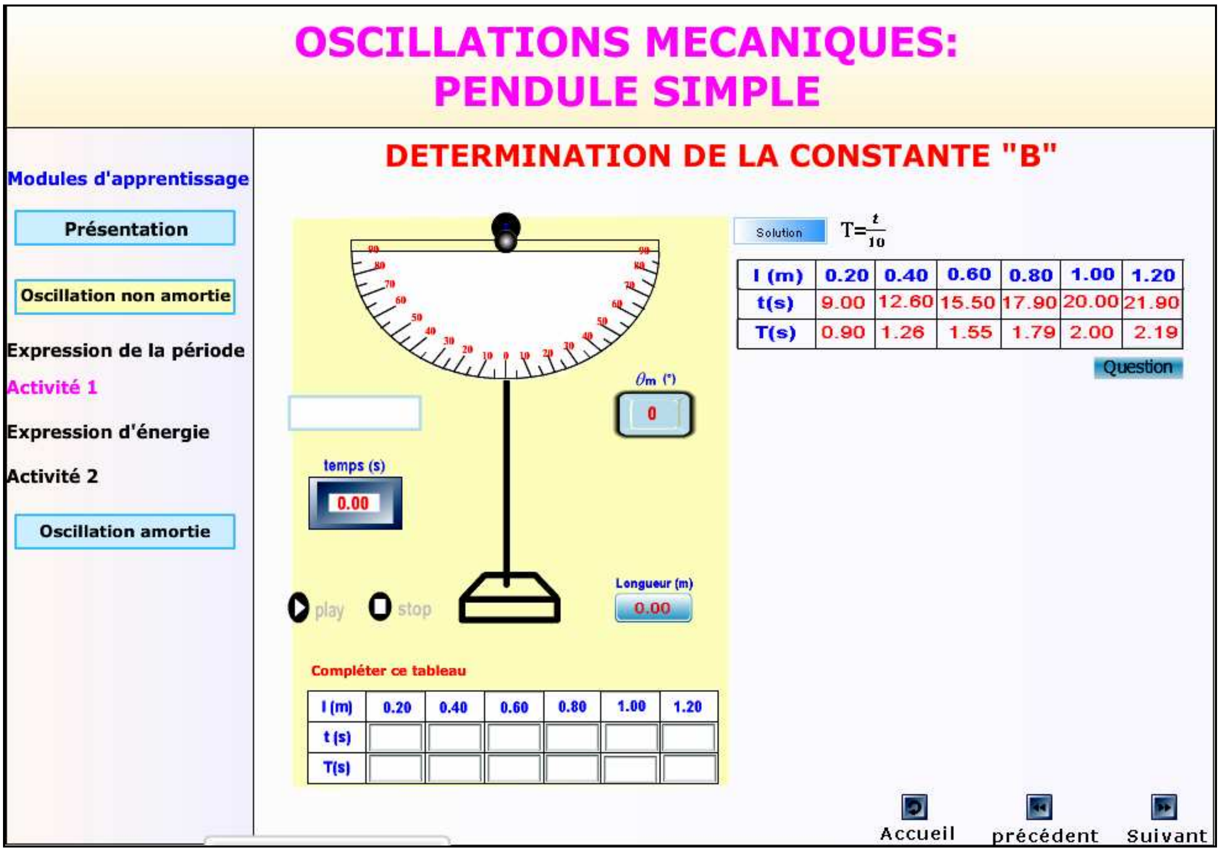
- ***Indication***



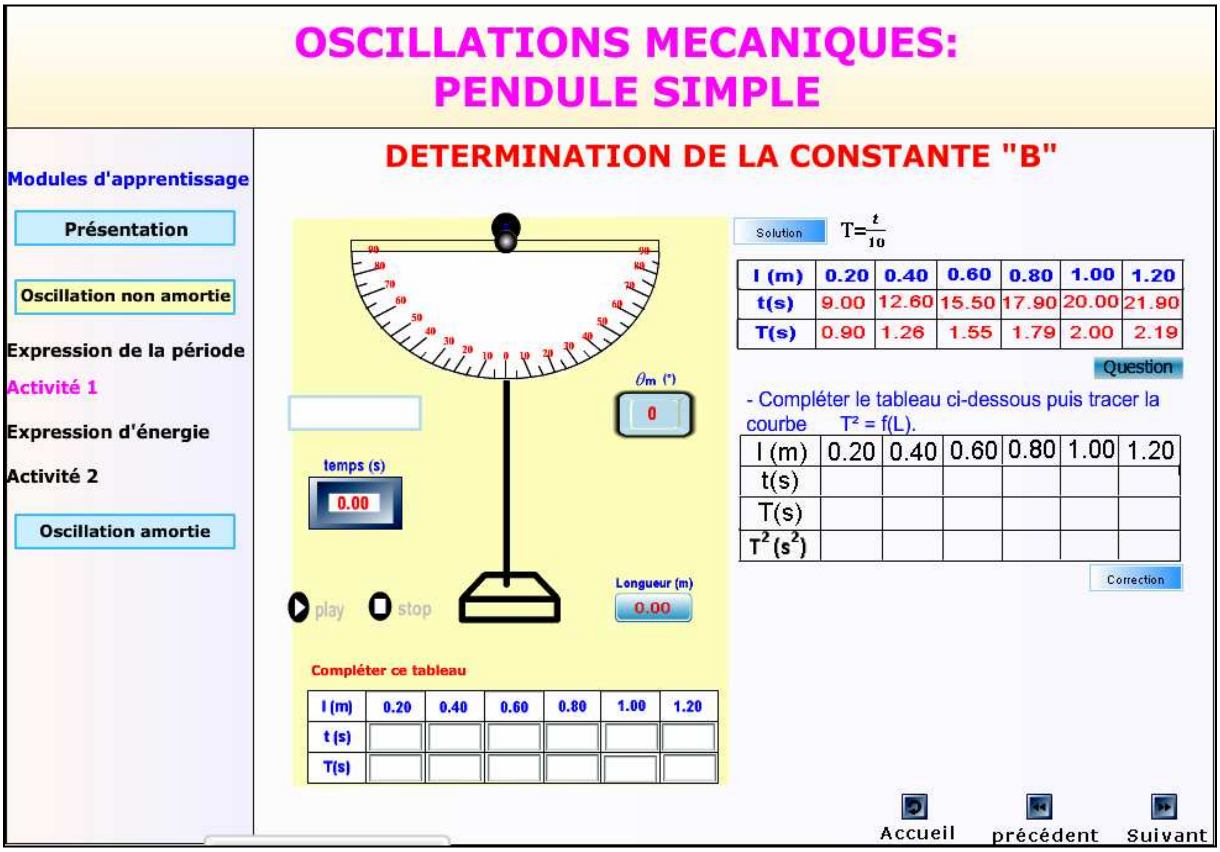
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***



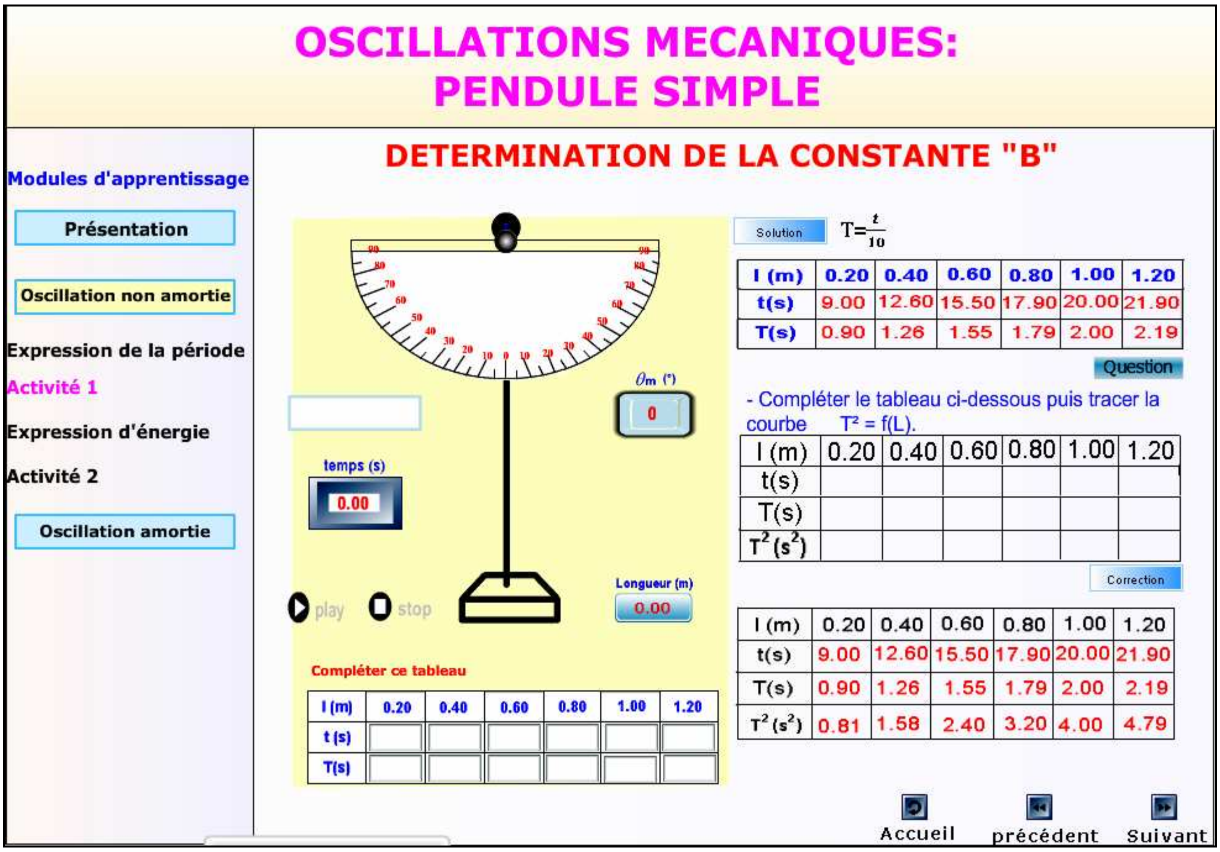
- ***Valeurs proposée par le logiciel***



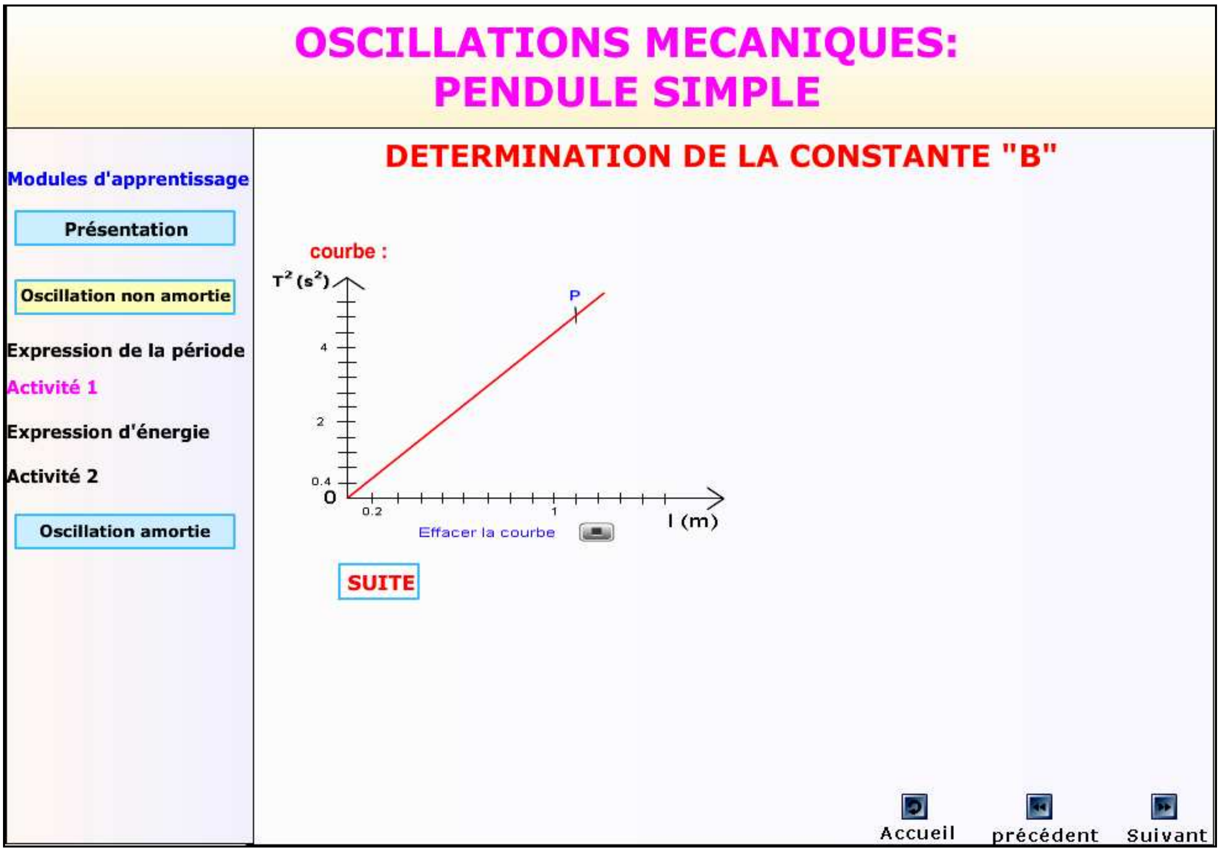
- ***Question***



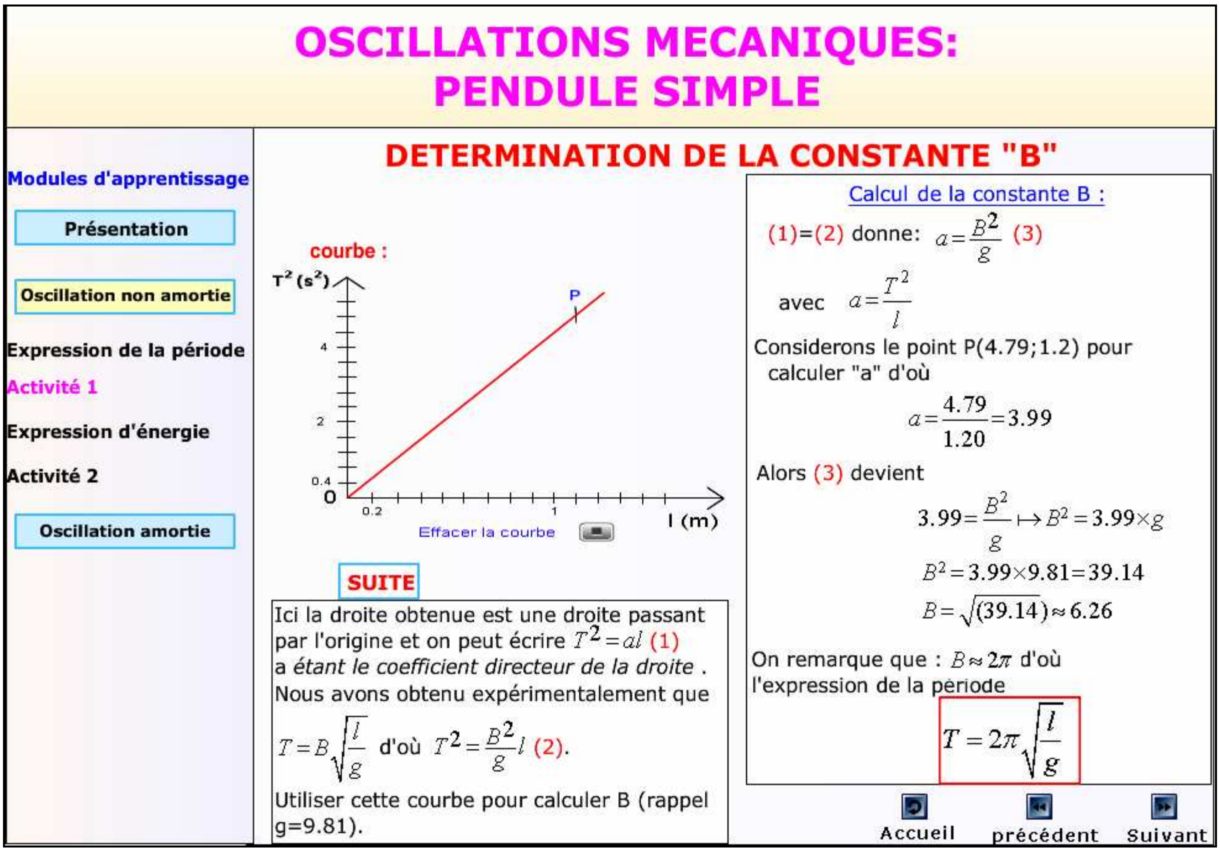
- ***Solution proposée***



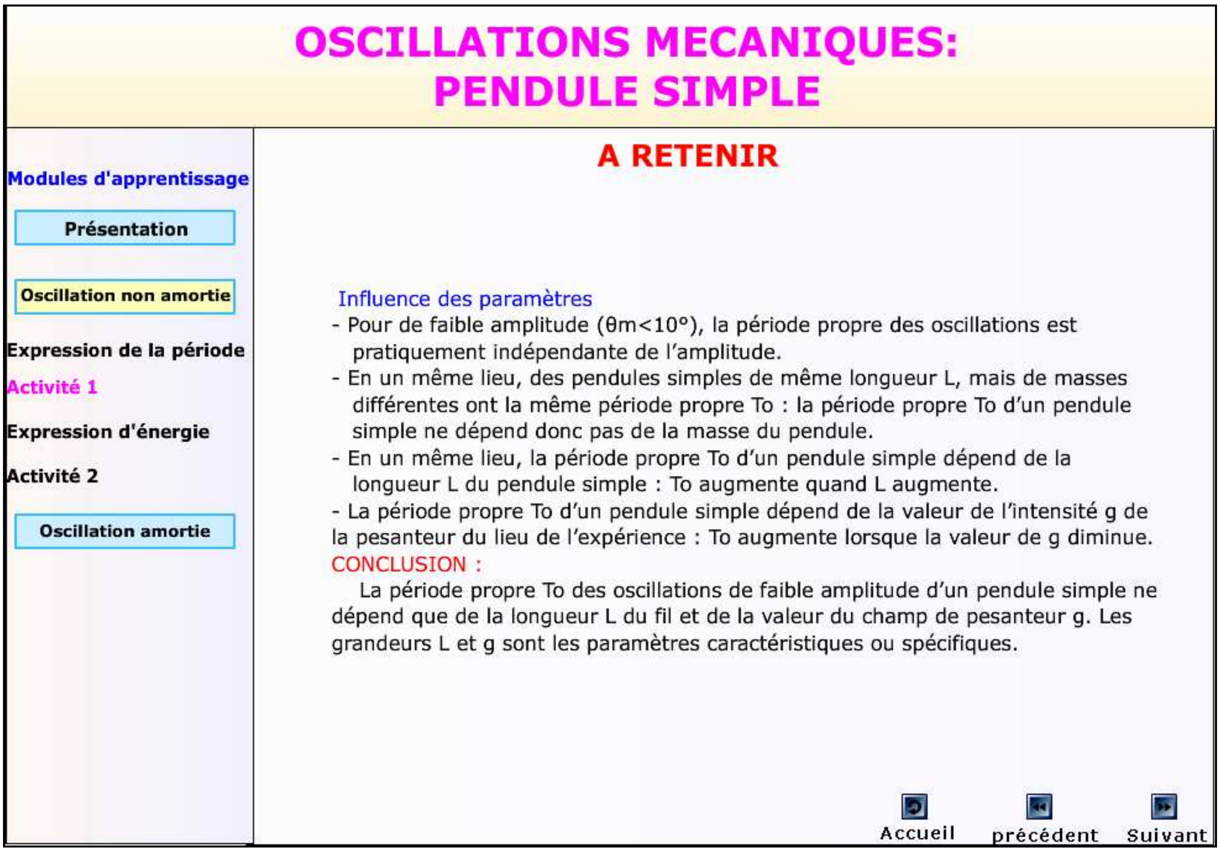
- ***Représentation graphique***



- ***Analyse de la représentation graphique***



f) A retenir


OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
Modules d'apprentissage
Présentation
Oscillation non amortie
Expression de la période
Activité 1
Expression d'énergie
Activité 2
Oscillation amortie
A RETENIR
Influence des paramètres
- Pour de faible amplitude (θm<10°), la période propre des oscillations est pratiquement indépendante de l'amplitude.
- En un même lieu, des pendules simples de même longueur L, mais de masses différentes ont la même période propre To : la période propre To d'un pendule simple ne dépend donc pas de la masse du pendule.
- En un même lieu, la période propre To d'un pendule simple dépend de la longueur L du pendule simple : To augmente quand L augmente.
- La période propre To d'un pendule simple dépend de la valeur de l'intensité g de la pesanteur du lieu de l'expérience : To augmente lorsque la valeur de g diminue.
CONCLUSION :
La période propre To des oscillations de faible amplitude d'un pendule simple ne dépend que de la longueur L du fil et de la valeur du champ de pesanteur g. Les grandeurs L et g sont les paramètres caractéristiques ou spécifiques.
Accueil
précédent
Suivant

B-2 : Expression de l'énergie

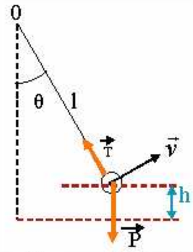
OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

- Présentation
- Oscillation non amortie
- Expression de la période
- Activité 1
- Expression d'énergie
- Activité 2
- Oscillation amortie

EXPRESSION DE L'ENERGIE MECANIQUE D'UN PENDULE SIMPLE NON AMORTI

Pour le pendule simple, le centre d'inertie G du solide de masse m décrit un arc de cercle de rayon l. Le vecteur vitesse $\vec{v}$ de G est tangent à la trajectoire ; sa norme v s'exprime par $v = l\dot{\theta}$.



L'énergie mécanique E_m est égale à la somme de l'énergie cinetique E_C et de l'énergie potentielle E_P .

L'énergie cinétique E_C du pendule est celle acquise par la masse m soit :

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{ou} \quad E_C = \frac{1}{2}ml^2\dot{\theta}^2$$

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

- Présentation
- Oscillation non amortie
- Expression de la période
- Activité 1
- Expression d'énergie
- Activité 2
- Oscillation amortie

EXPRESSION DE L'ENERGIE MECANIQUE D'UN PENDULE SIMPLE NON AMORTI

L'énergie potentielle de pesanteur E_P du pendule simple s'exprime par :

$$E_P = mgh + cte$$

Si la référence de l'énergie potentielle est prise au point le plus bas de la trajectoire (position d'équilibre), alors on a : $h = l(1-\cos\theta)$ et E_P s'écrit : $E_P = mgl(1-\cos\theta)$

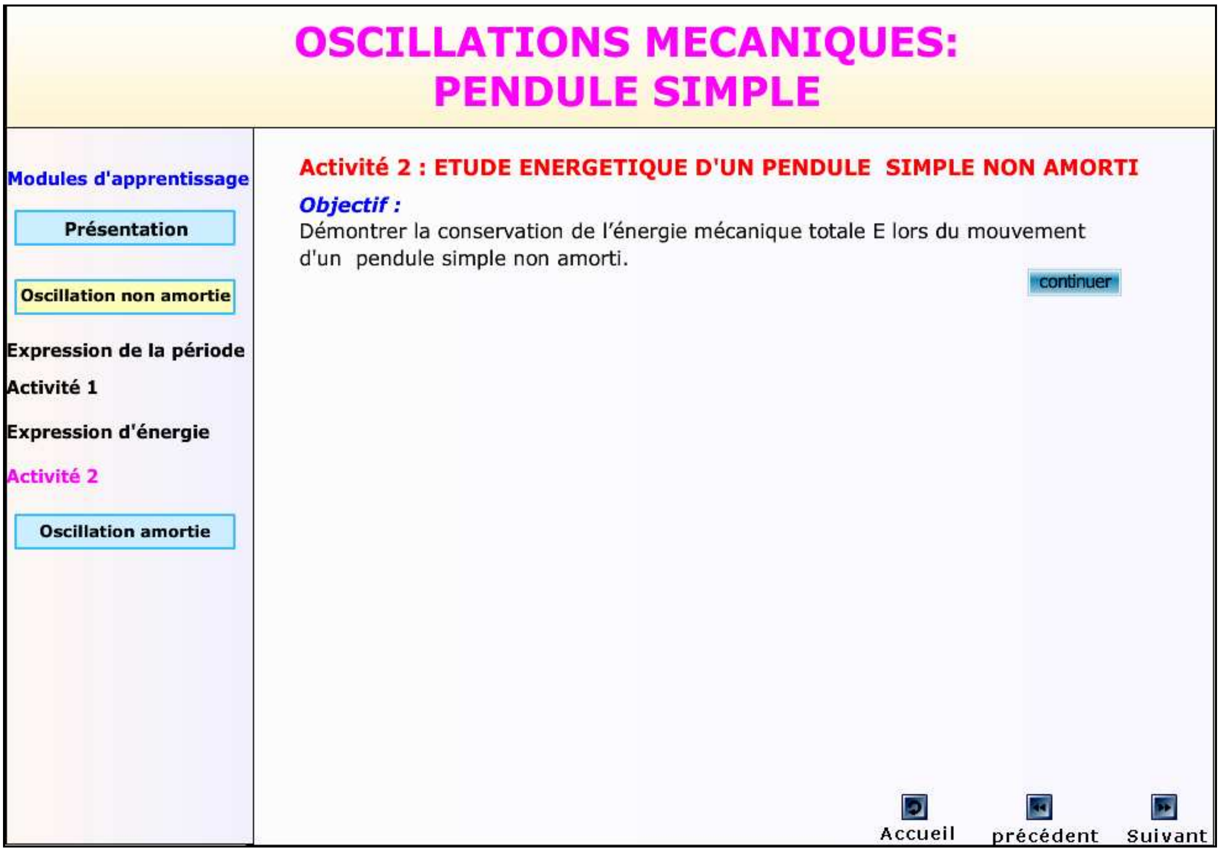
Alors l'énergie mécanique est donnée par :

$$E_m = \frac{1}{2}ml^2\dot{\theta}^2 + mgl(1-\cos\theta)$$

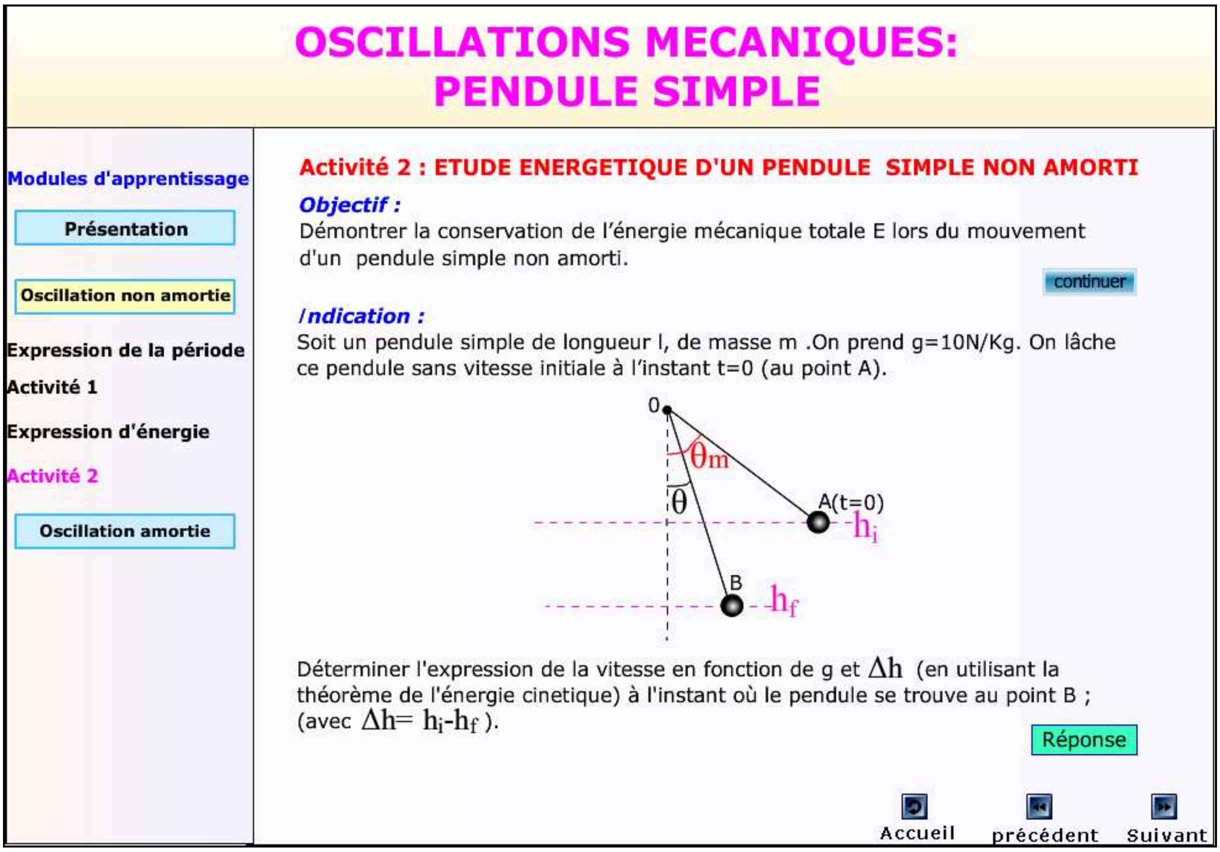
Accueil précédent Suivant

Module 2 : Etude énergétique d'un pendule simple non amorti

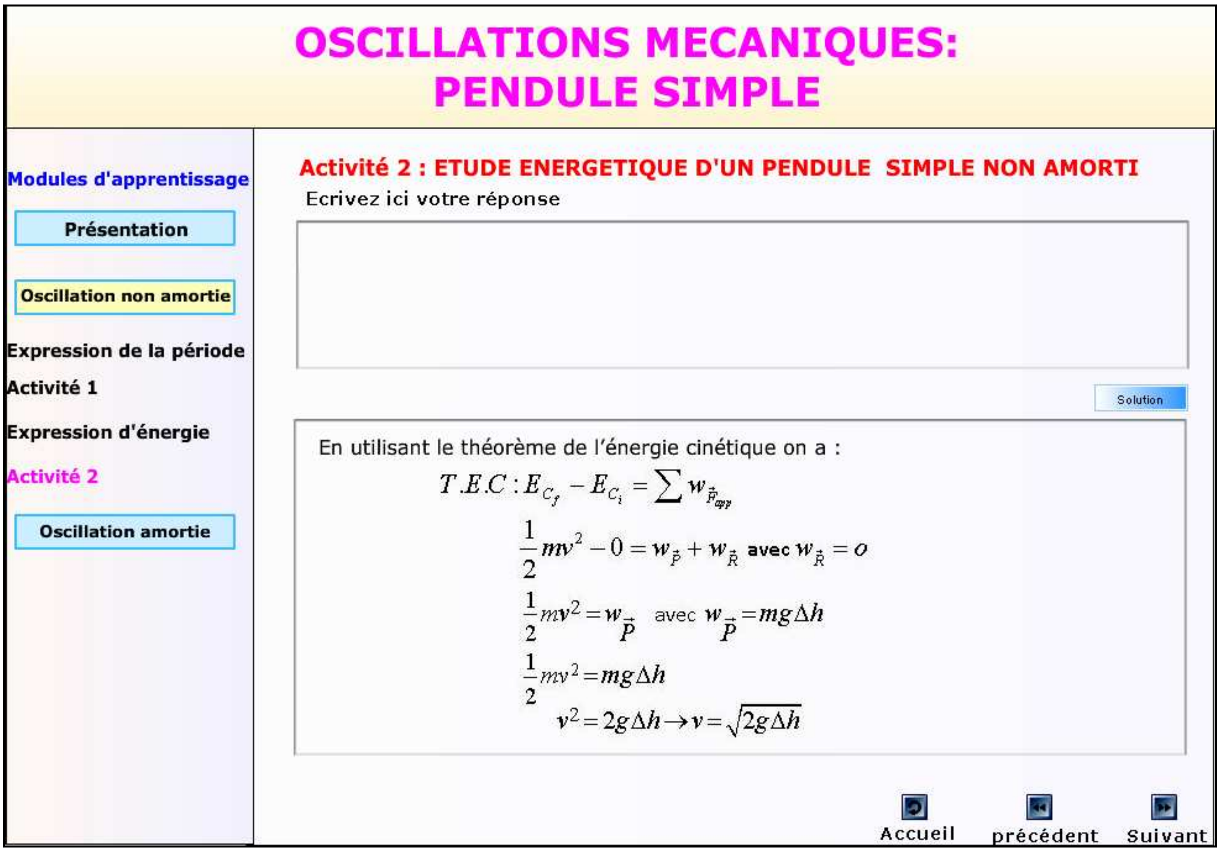
- ***Objectif***



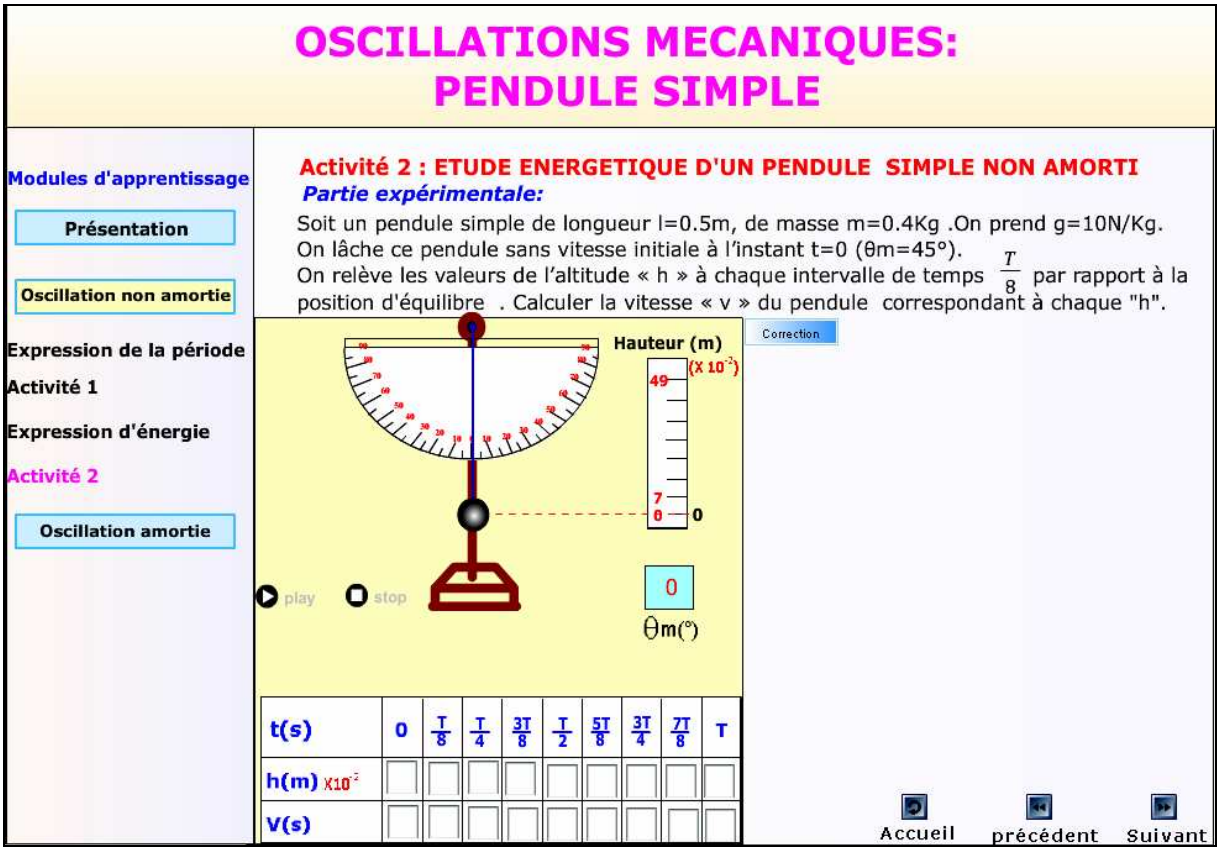
- *Indication*



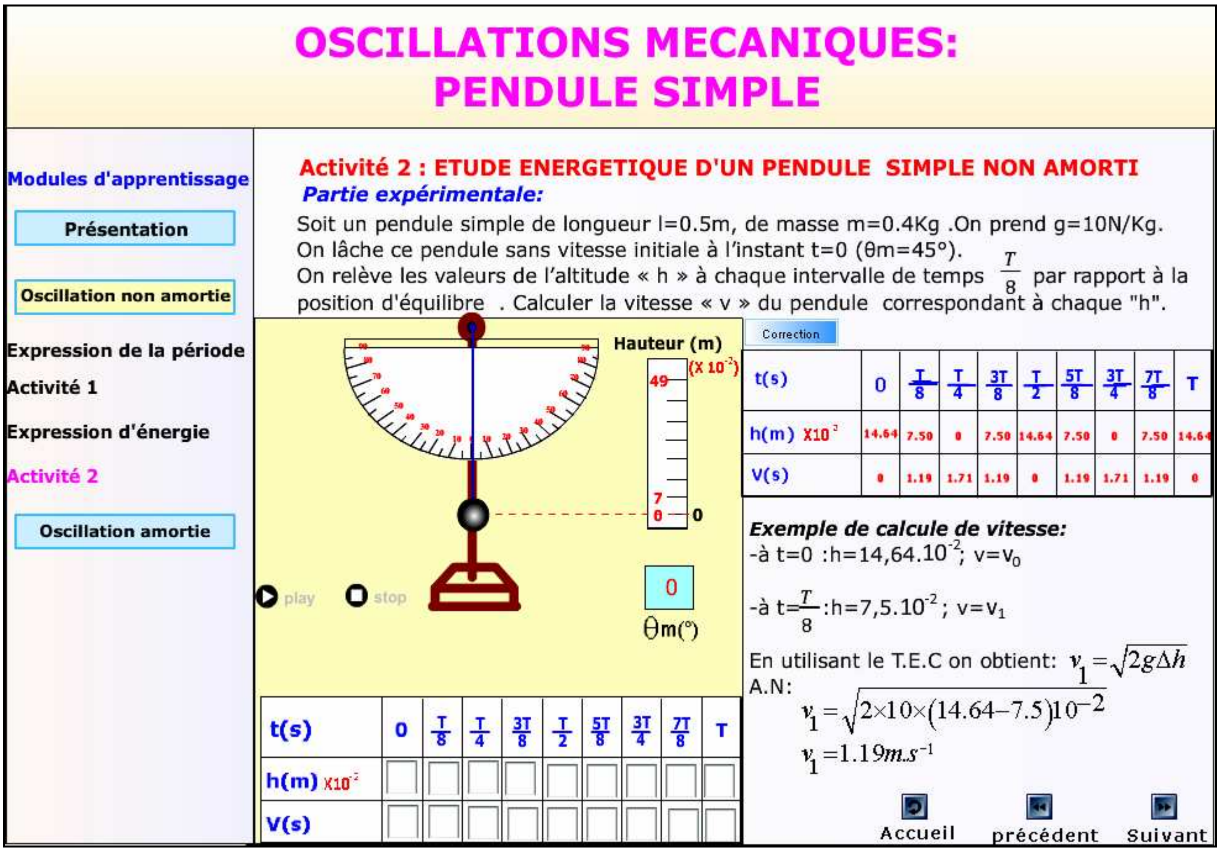
- *Solution proposée par le logiciel*



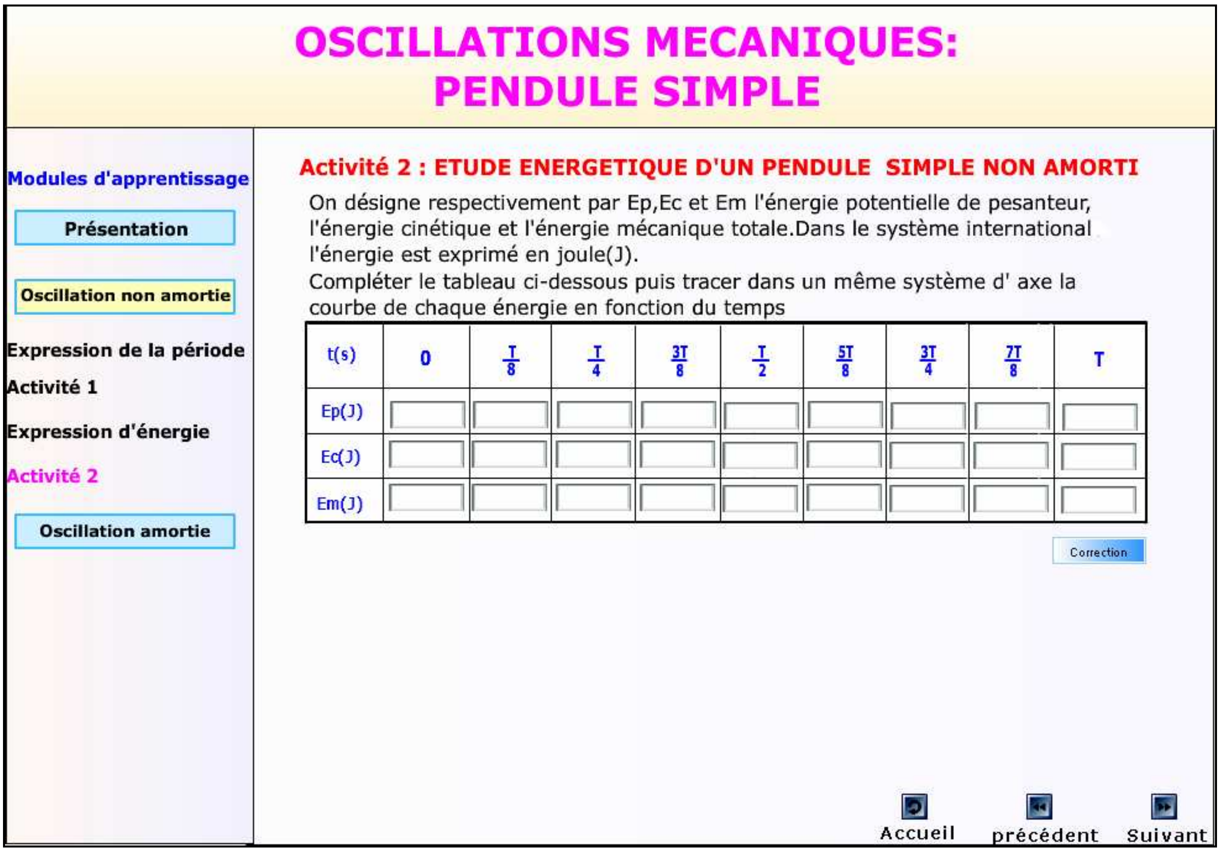
- ***Animation pour relever les valeurs de l'altitude « h »***



- ***Valeurs proposée par le logiciel***



- ***Question***



OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Expression de la période

Activité 1

Expression d'énergie

Activité 2

Oscillation amortie

Activité 2 : ETUDE ENERGETIQUE D'UN PENDULE SIMPLE NON AMORTI

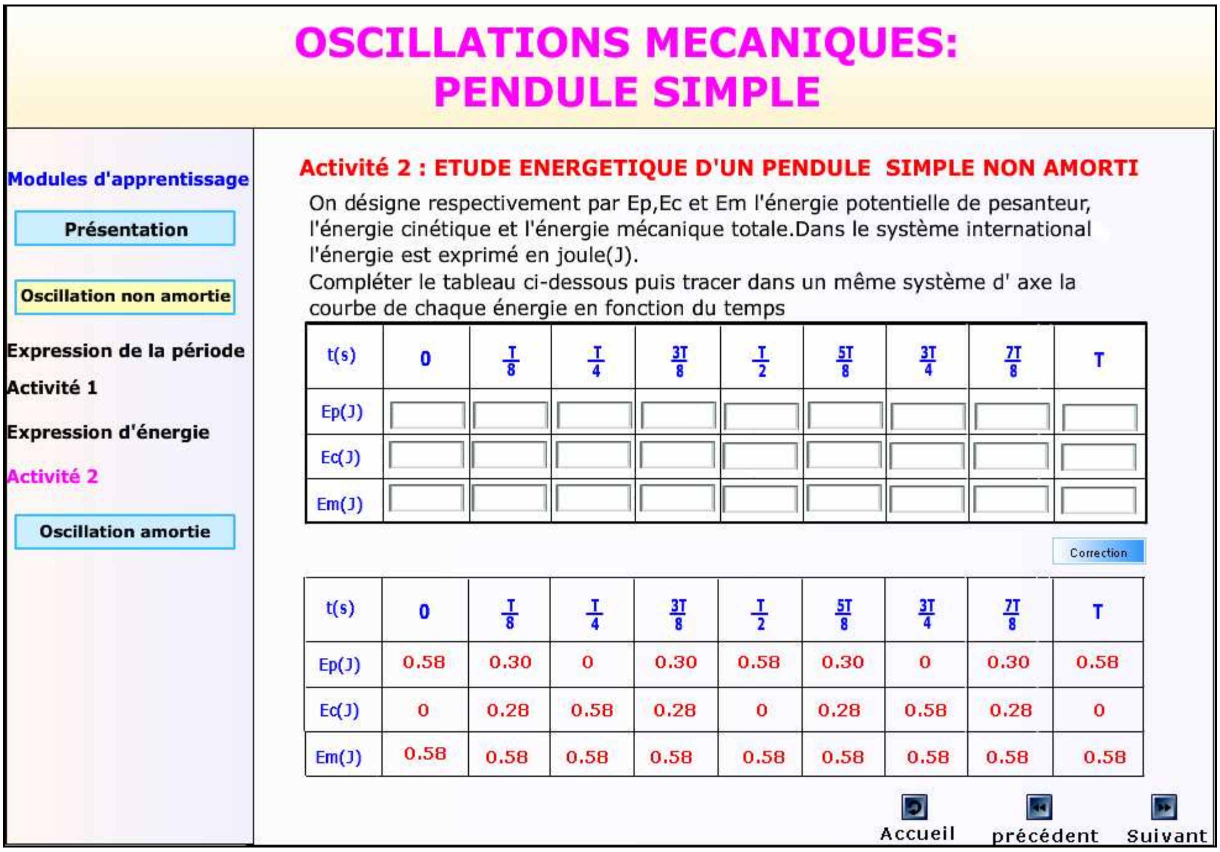
On désigne respectivement par Ep,Ec et Em l'énergie potentielle de pesanteur, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique totale.Dans le système international l'énergie est exprimé en joule(J).
Compléter le tableau ci-dessous puis tracer dans un même système d' axe la courbe de chaque énergie en fonction du temps

t(s)	0	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{3T}{8}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{5T}{8}$	$\frac{3T}{4}$	$\frac{7T}{8}$	T
Ep(J)									
Ec(J)									
Em(J)									

Correction

Accueil précédent Suivant

- ***Solution proposée***



OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Expression de la période

Activité 1

Expression d'énergie

Activité 2

Oscillation amortie

Activité 2 : ETUDE ENERGETIQUE D'UN PENDULE SIMPLE NON AMORTI

On désigne respectivement par Ep,Ec et Em l'énergie potentielle de pesanteur, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique totale.Dans le système international l'énergie est exprimé en joule(J).
Compléter le tableau ci-dessous puis tracer dans un même système d' axe la courbe de chaque énergie en fonction du temps

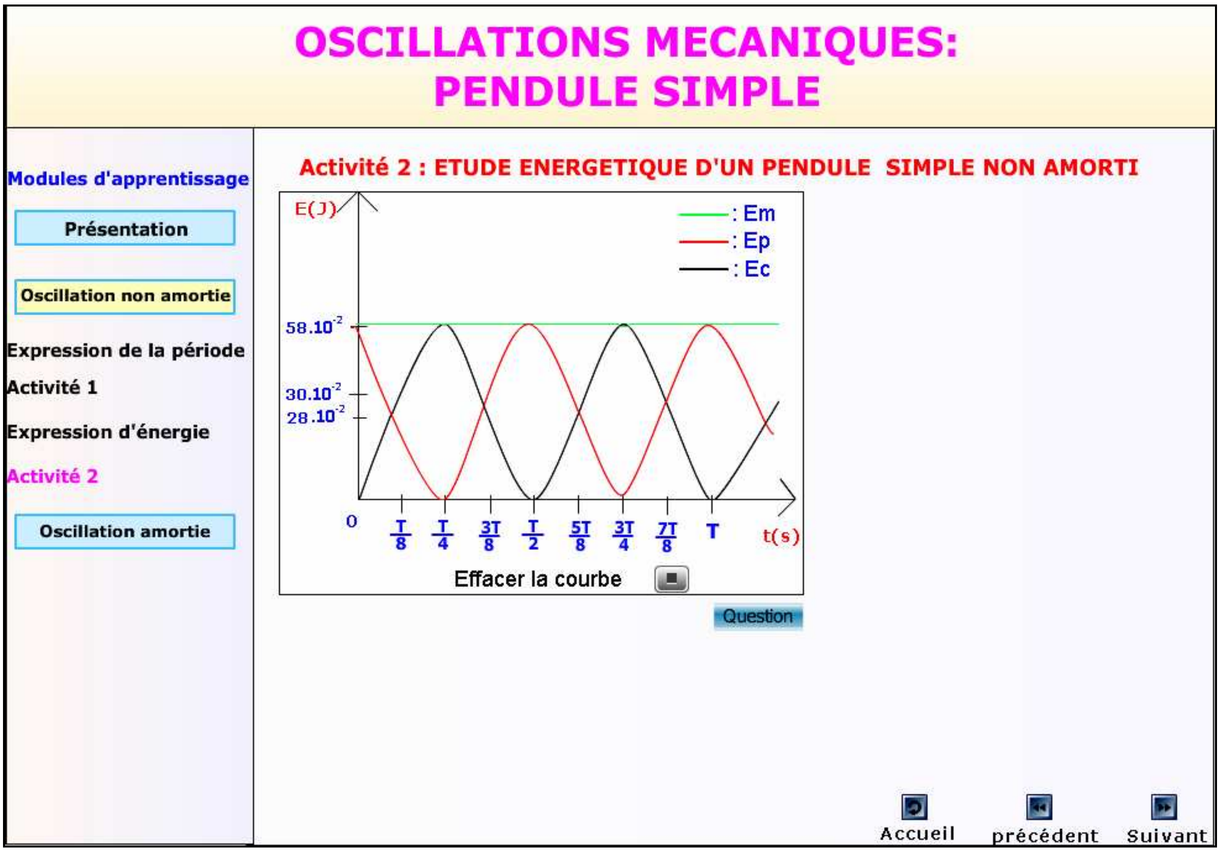
t(s)	0	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{3T}{8}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{5T}{8}$	$\frac{3T}{4}$	$\frac{7T}{8}$	T
Ep(J)									
Ec(J)									
Em(J)									

Correction

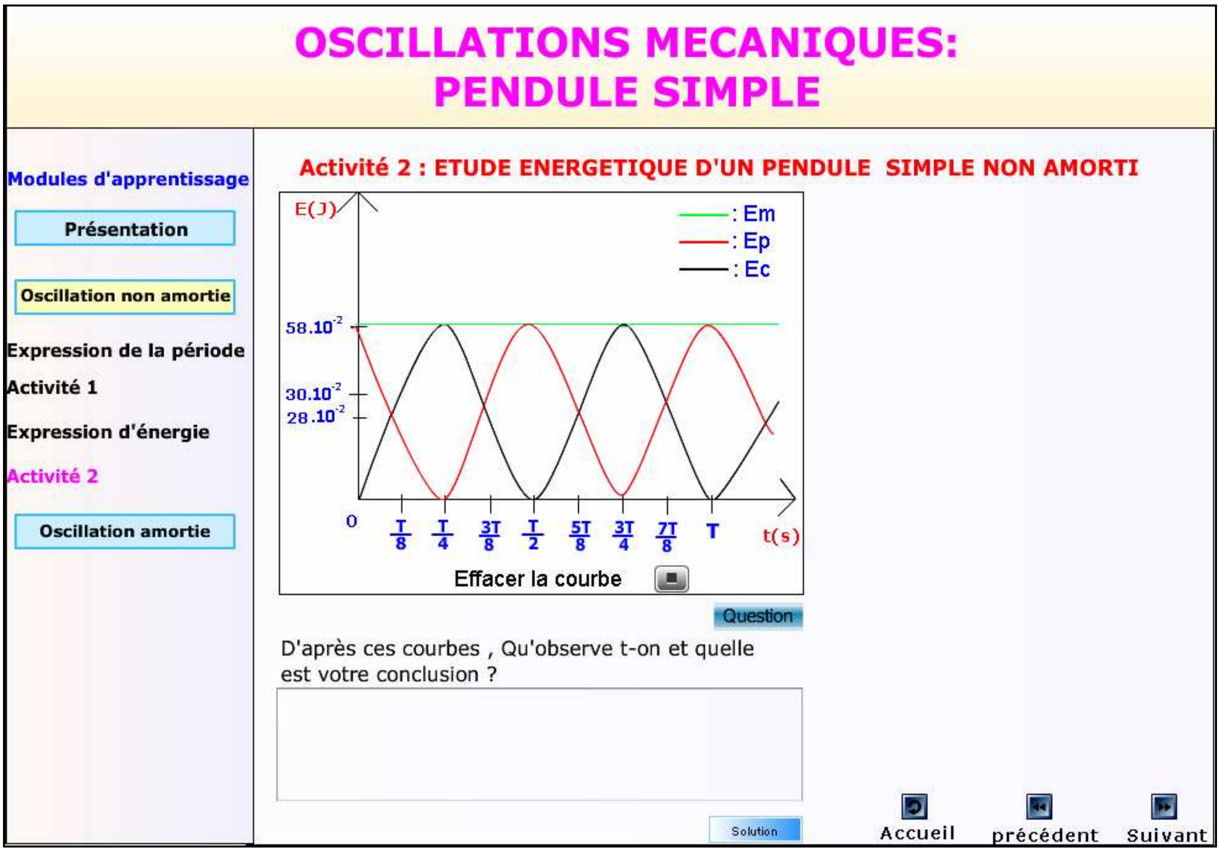
t(s)	0	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{3T}{8}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{5T}{8}$	$\frac{3T}{4}$	$\frac{7T}{8}$	T
Ep(J)	0.58	0.30	0	0.30	0.58	0.30	0	0.30	0.58
Ec(J)	0	0.28	0.58	0.28	0	0.28	0.58	0.28	0
Em(J)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

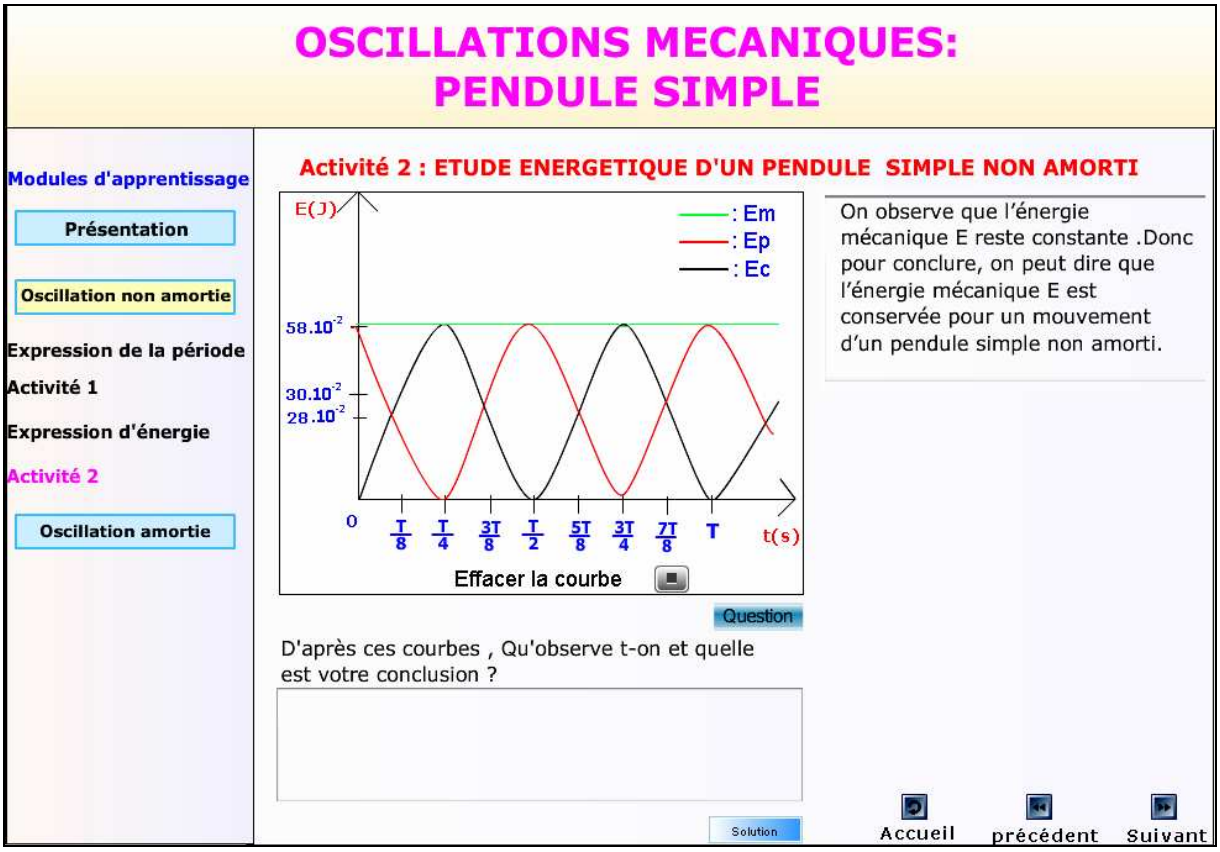
Accueil précédent Suivant

- ***Représentation graphique***



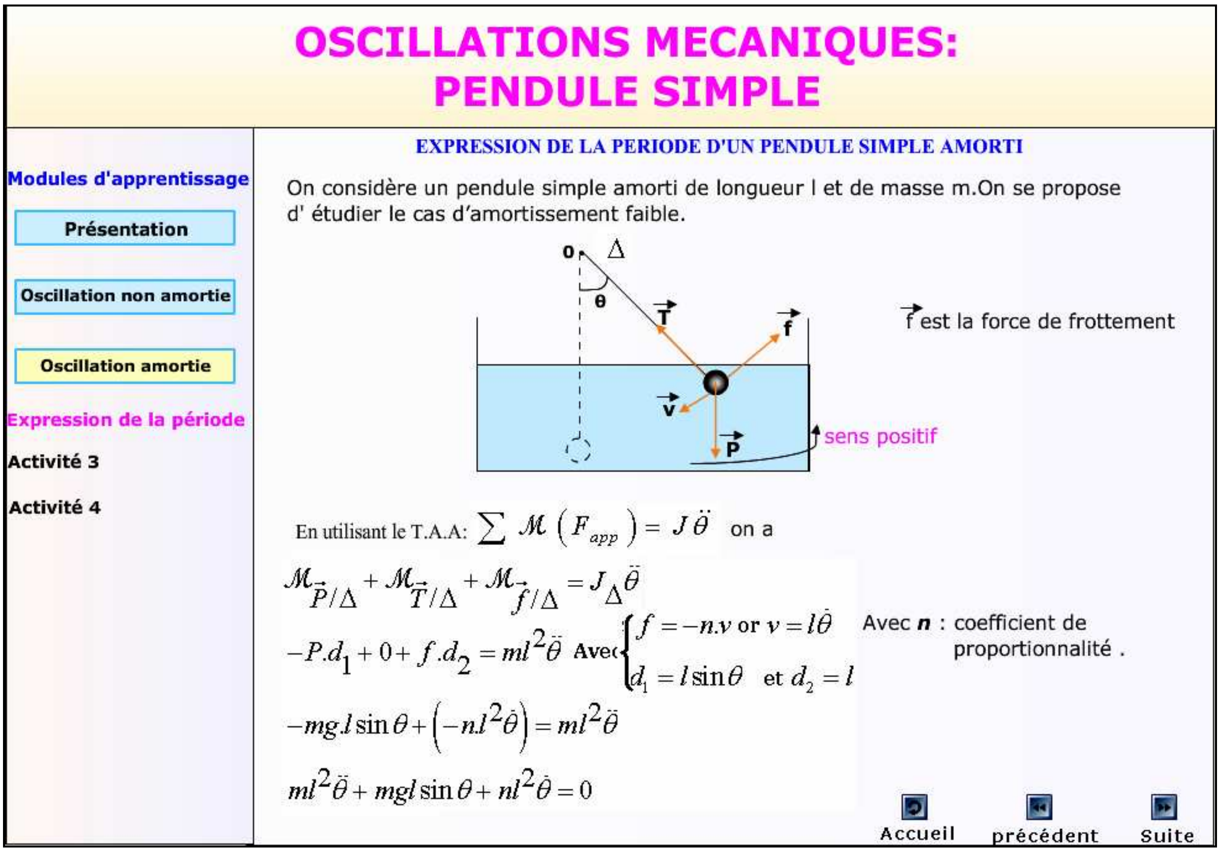
- ***Analyse de la représentation graphique***

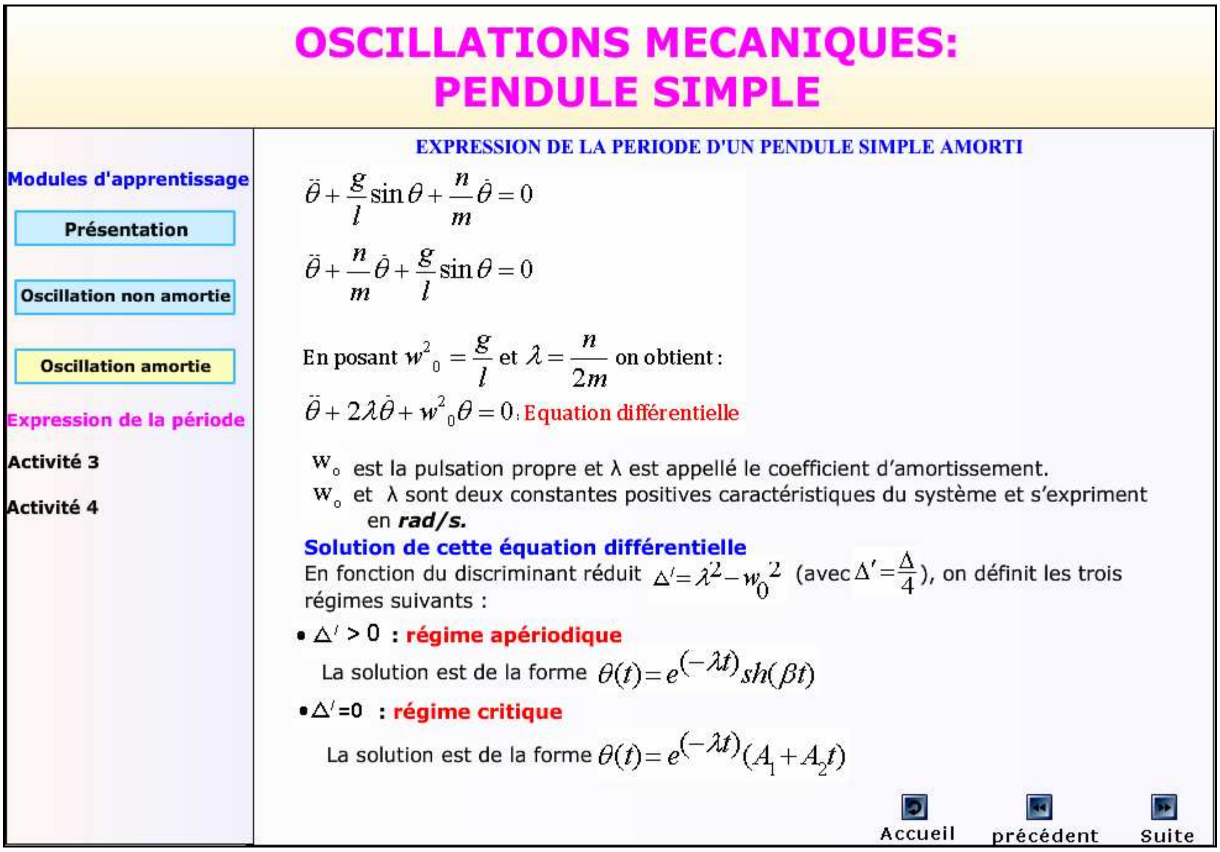



OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
Modules d'apprentissage
Présentation
Oscillation non amortie
Expression de la période
Activité 1
Expression d'énergie
Activité 2
Oscillation amortie
Activité 2 : ETUDE ENERGETIQUE D'UN PENDULE SIMPLE NON AMORTI
E(J)
: Em
: Ep
: Ec
58.10-2
30.10-2
28.10-2
0
T/8
T/4
3T/8
T/2
5T/8
3T/4
7T/8
T
t(s)
Effacer la courbe
Question
D'après ces courbes , Qu'observe t-on et quelle est votre conclusion ?
Solution
On observe que l'énergie mécanique E reste constante .Donc pour conclure, on peut dire que l'énergie mécanique E est conservée pour un mouvement d'un pendule simple non amorti.
Accueil
précédent
Suivant

C- Oscillation amortie

Expression de la période





OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Oscillation amortie

Expression de la période

Activité 3

Activité 4

EXPRESSION DE LA PERIODE D'UN PENDULE SIMPLE AMORTI

• $\Delta' < 0$: **régime pseudo-périodique**

La solution est de la forme : $\theta(t) = Be^{(-\lambda t)}\cos(wt+\varphi)$

La pseudo-période:

On définit la pseudo-période T_1 par

$$T_1 = \frac{2\pi}{w_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{w_0^2 - \lambda^2}}$$

$$= \frac{\frac{2\pi}{w_0}}{\frac{\sqrt{w_0^2-\lambda^2}}{w_0}} = \frac{T_0}{\frac{\sqrt{w_0^2-\lambda^2}}{w_0}}$$

Avec $\sqrt{\frac{w_0^2-\lambda^2}{w_0^2}} = \sqrt{\frac{\frac{4\pi^2}{T_0^2}-\lambda^2}{\frac{4\pi^2}{T_0^2}}}$ puisque $w_0 = \frac{2\pi}{T_0}$

$$= \sqrt{\frac{4\pi^2-\lambda^2 T_0^2}{4\pi^2}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{4\pi^2-\lambda^2 T_0^2}$$

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

Modules d'apprentissage

Présentation

Oscillation non amortie

Oscillation amortie

Expression de la période

Activité 3

Activité 4

EXPRESSION DE LA PERIODE D'UN PENDULE SIMPLE AMORTI

Alors

$$T_1 = \frac{T_0}{\frac{1}{2\pi}\sqrt{4\pi^2-\lambda^2 T_0^2}}$$

$$\boxed{T_1 = 2\pi T_0 \frac{1}{\sqrt{4\pi^2-\lambda^2 T_0^2}}}$$

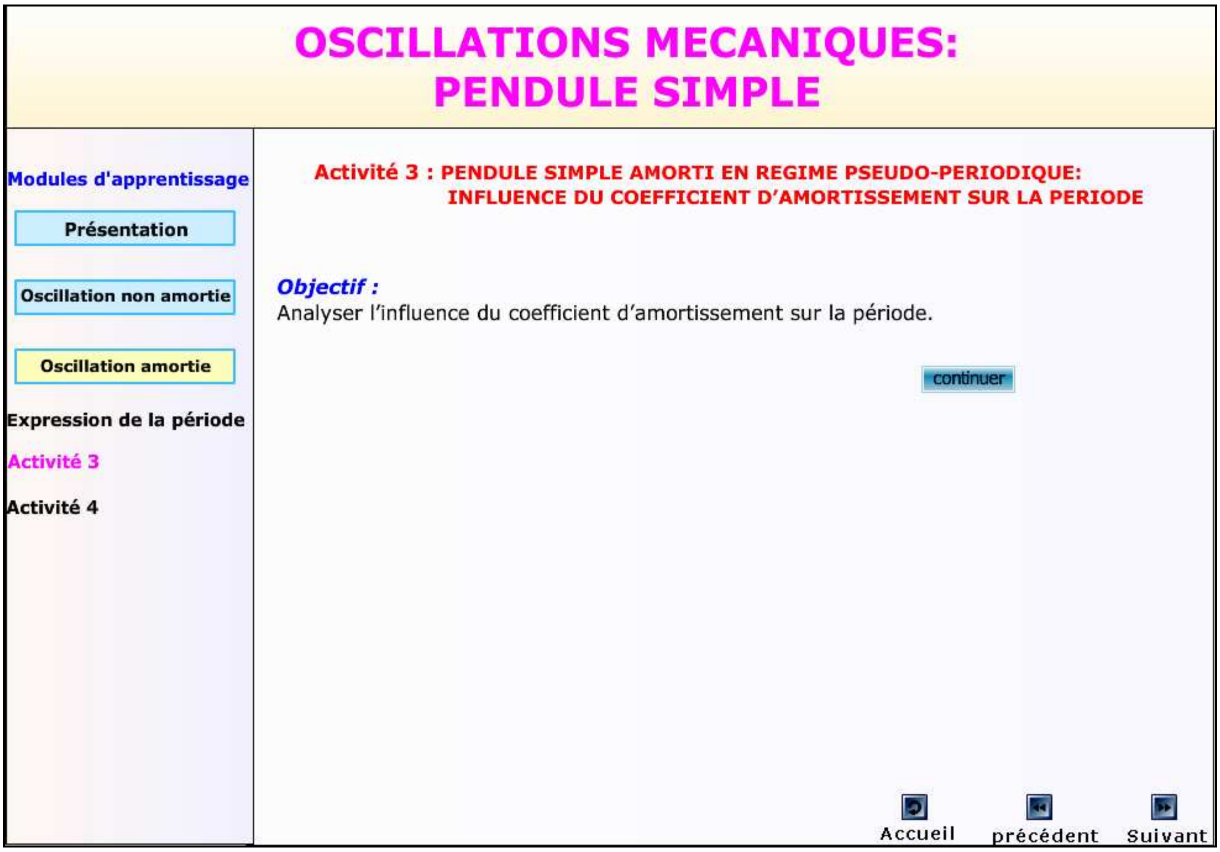
Cas de l'amortissement très faible

Par définition un amortissement très faible correspond à un coefficient d'amortissement λ très petit.Dans ce cas $T_1 \approx T_0$.

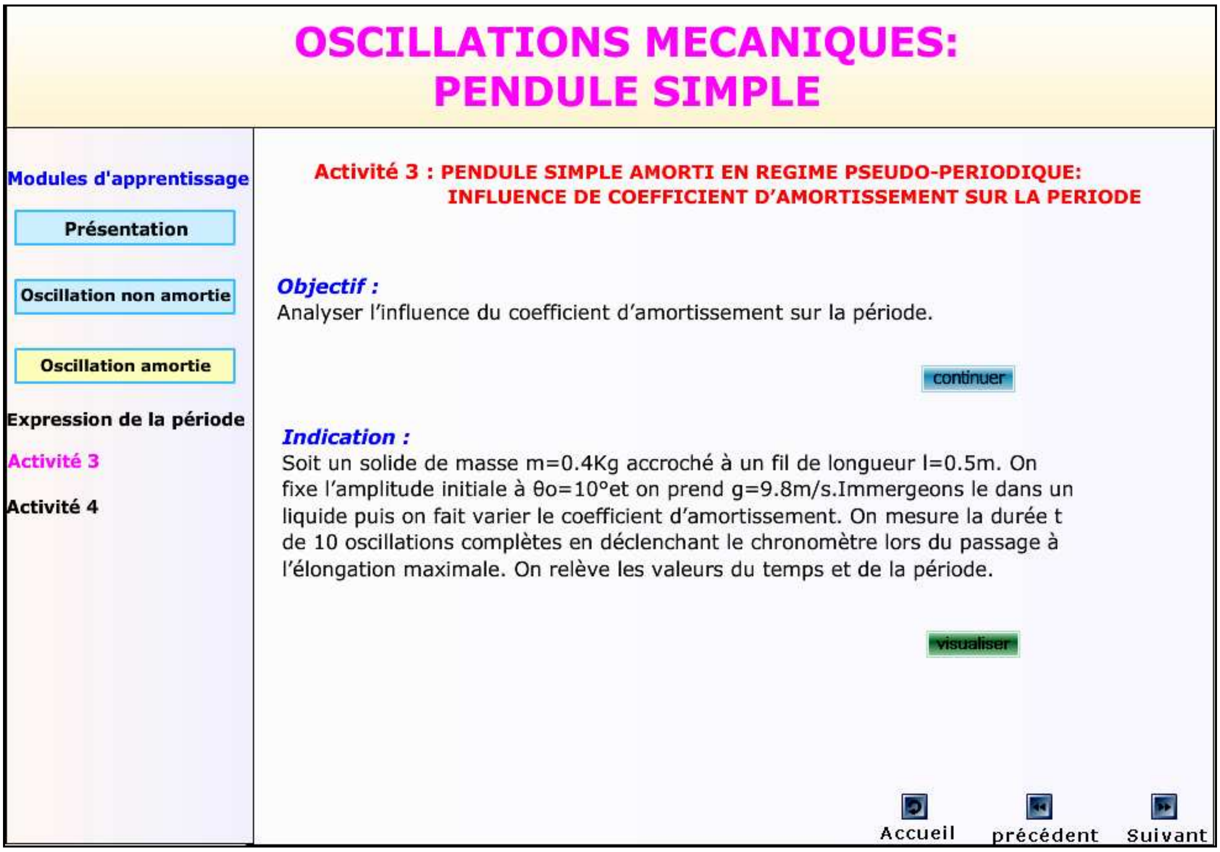
Accueil précédent Suivant

Module 3 : Pendule simple amorti en régime pseudo-périodique : Influence du coefficient d'amortissement sur la période

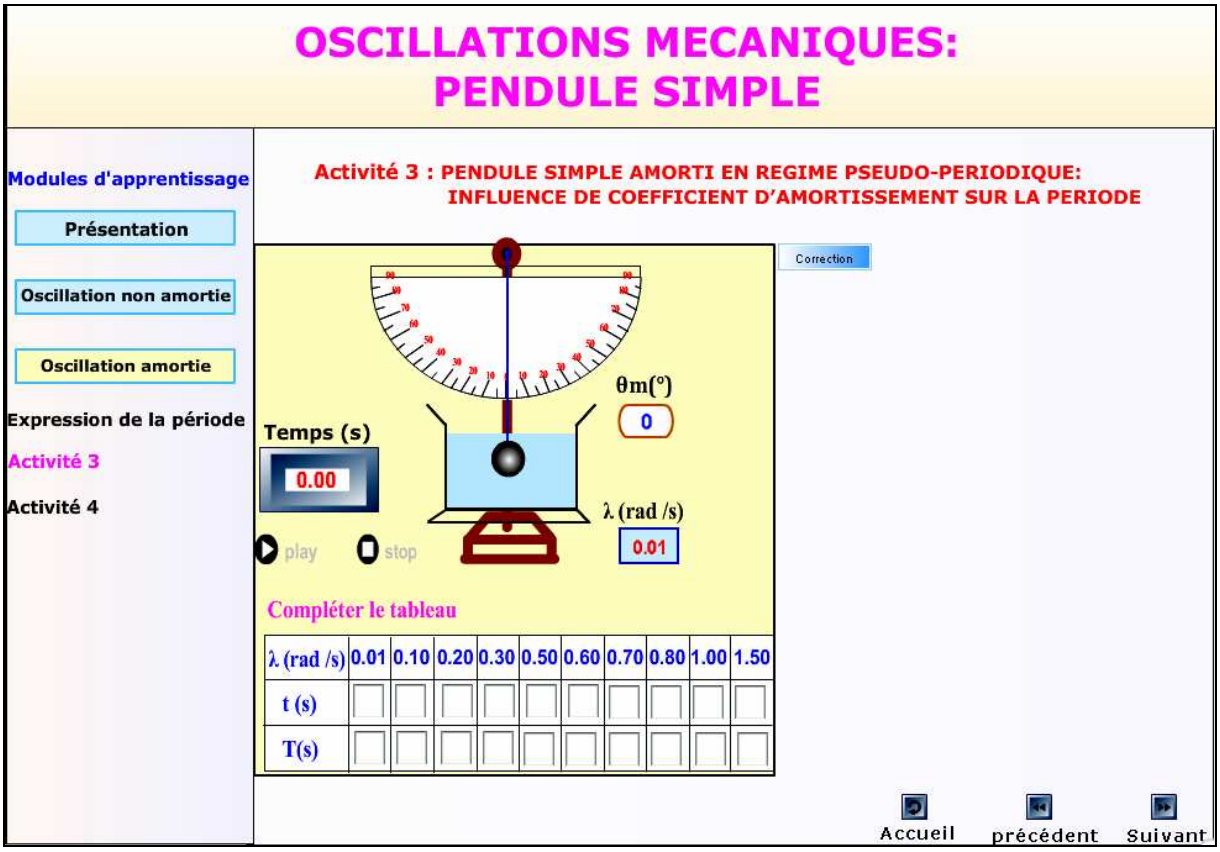
- ***Objectif***



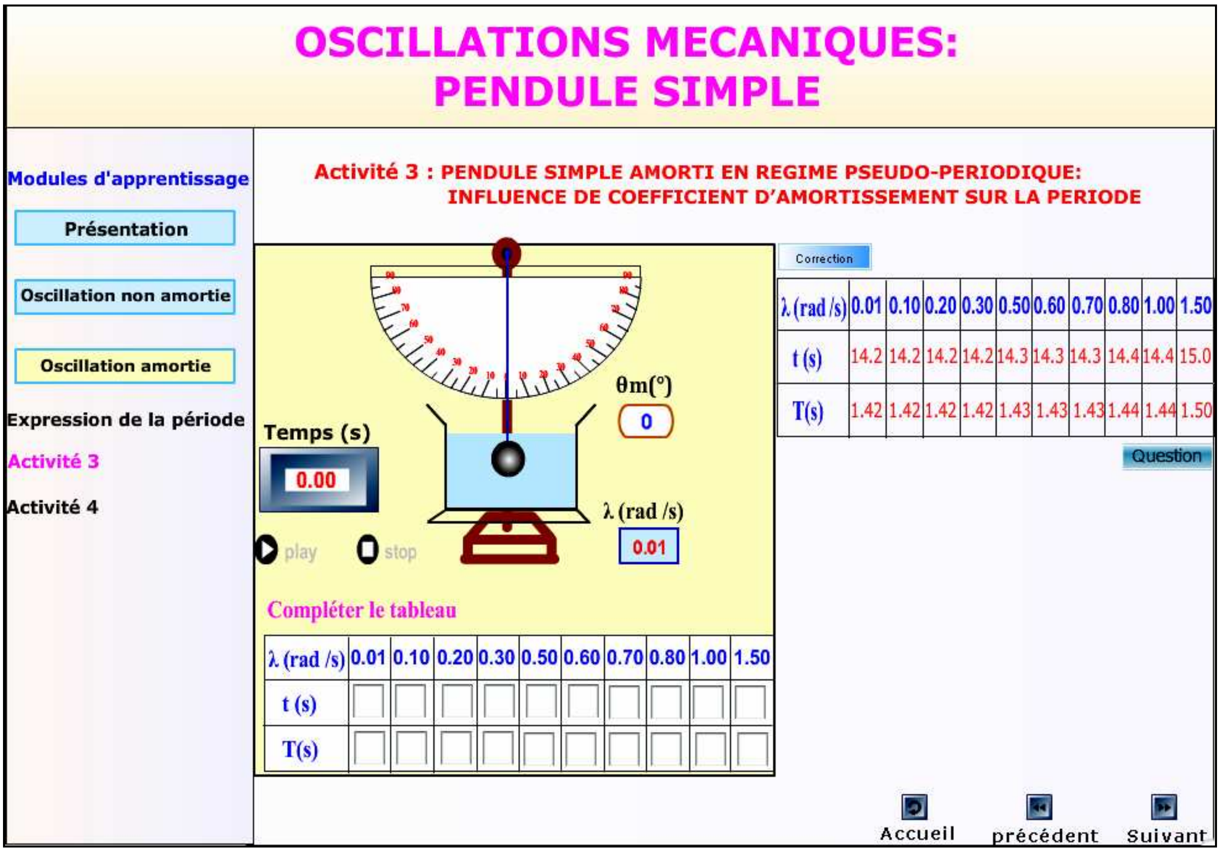
- ***Indication***



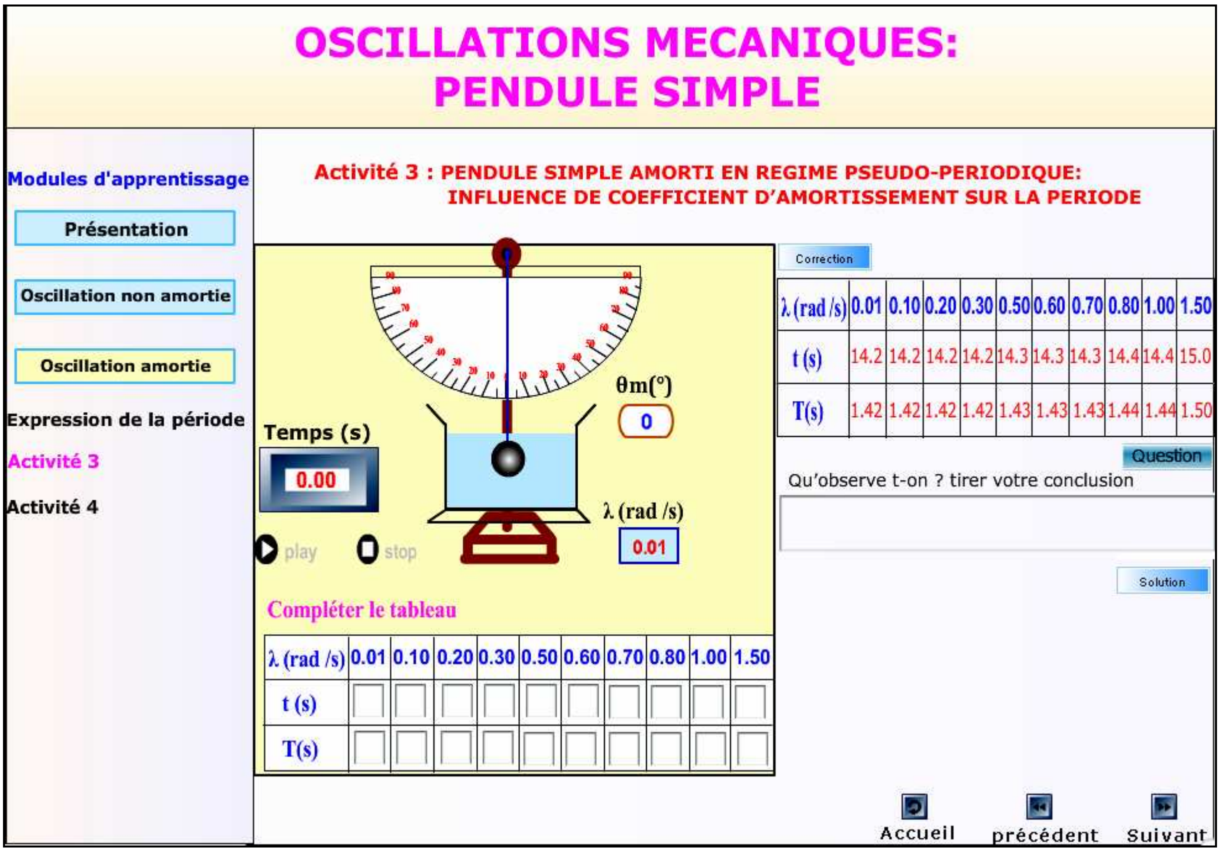
- ***Animation pour relever les valeurs des temps t et la période T pour 10 oscillations***



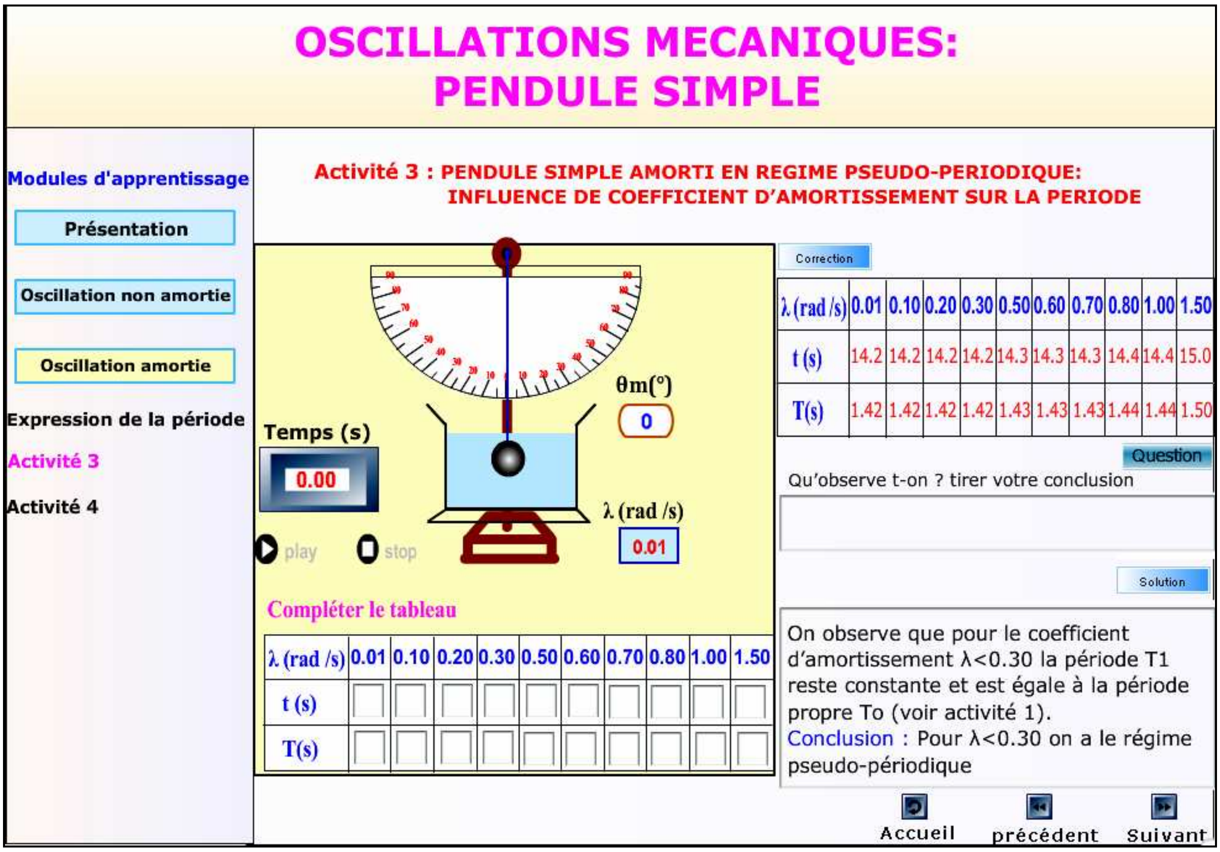
- *Valeurs proposée par le logiciel*



- *Question*

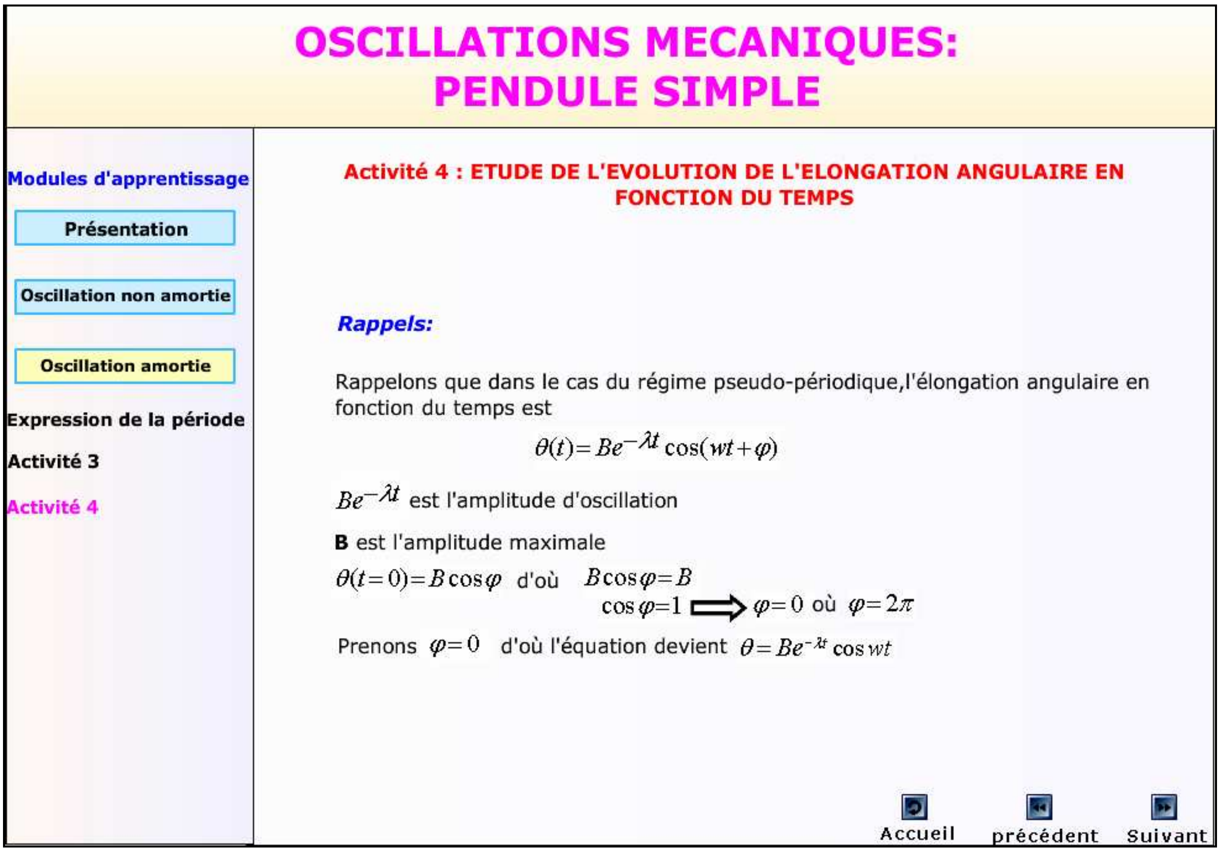


- ***Solution proposée et conclusion***

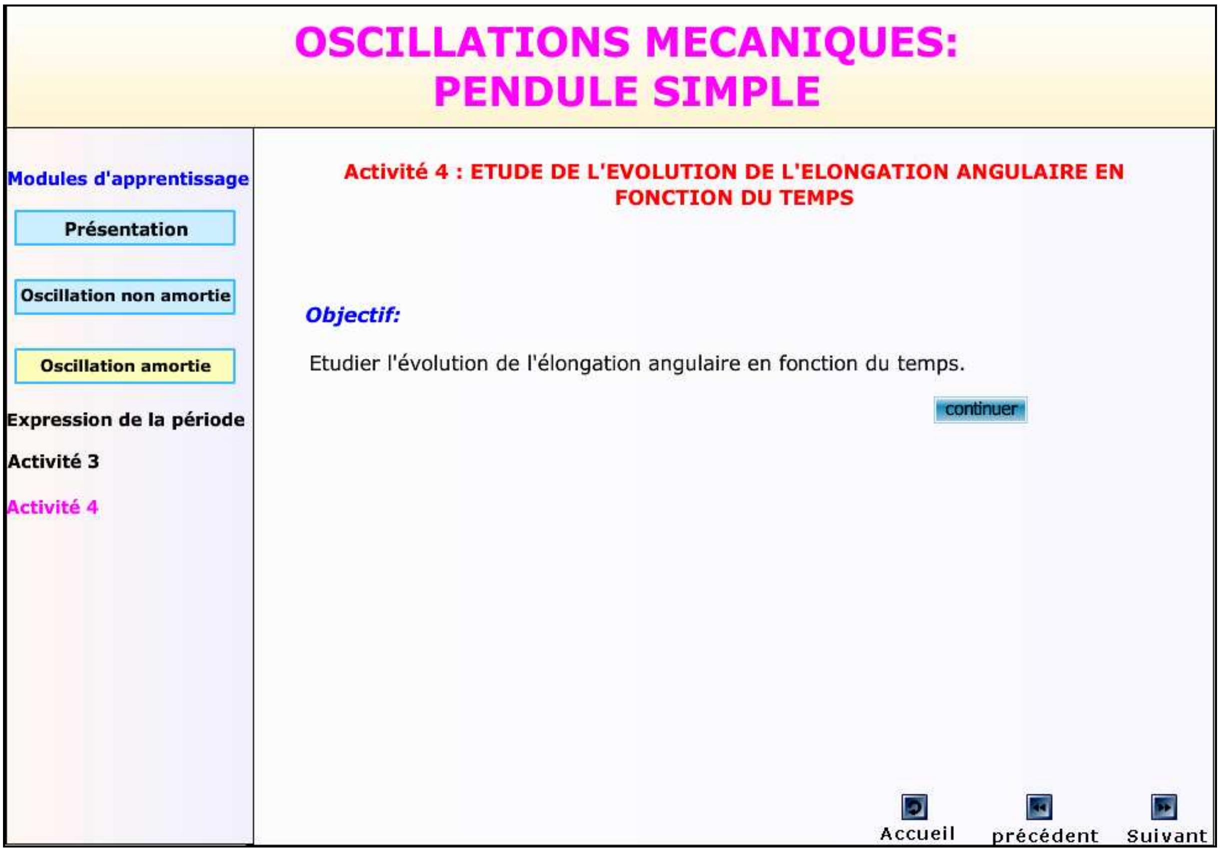


Module 4 : Etude de l'élongation angulaire en fonction du temps

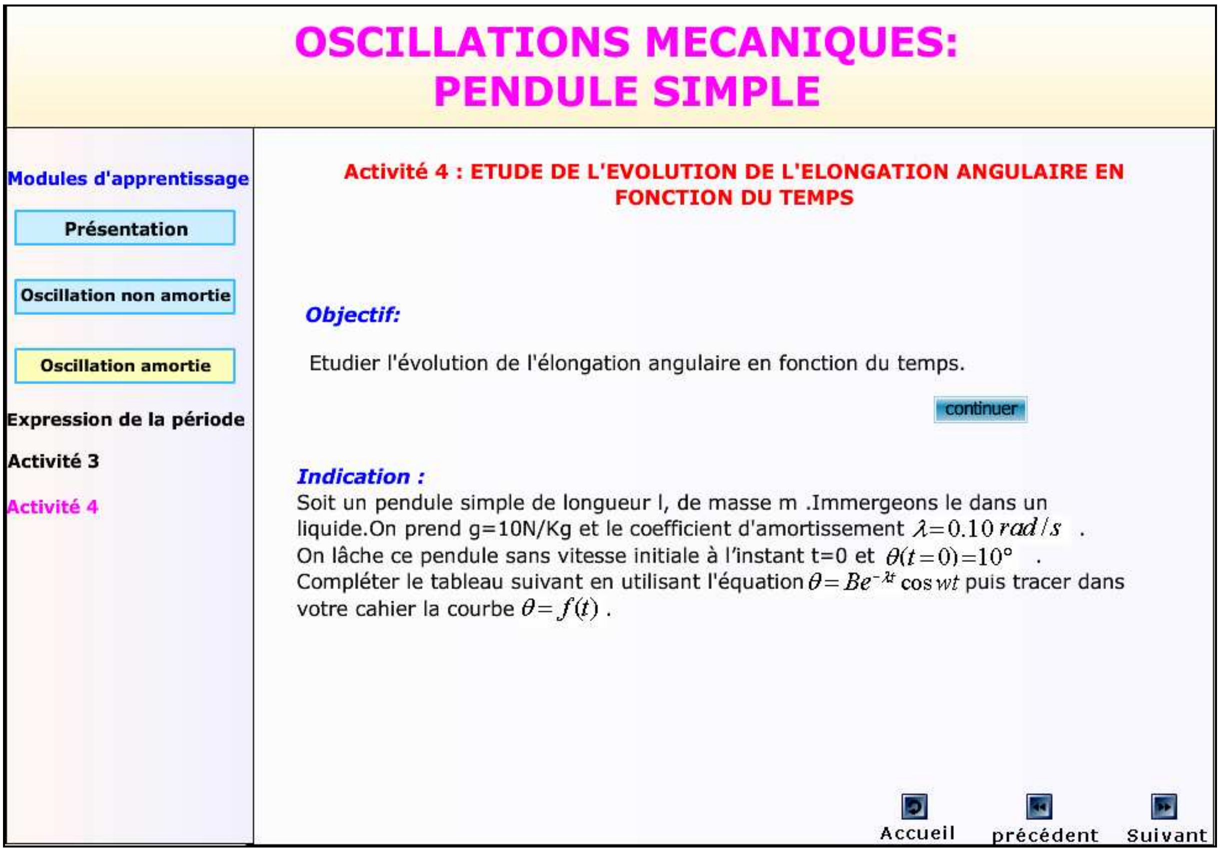
- ***Rappels***



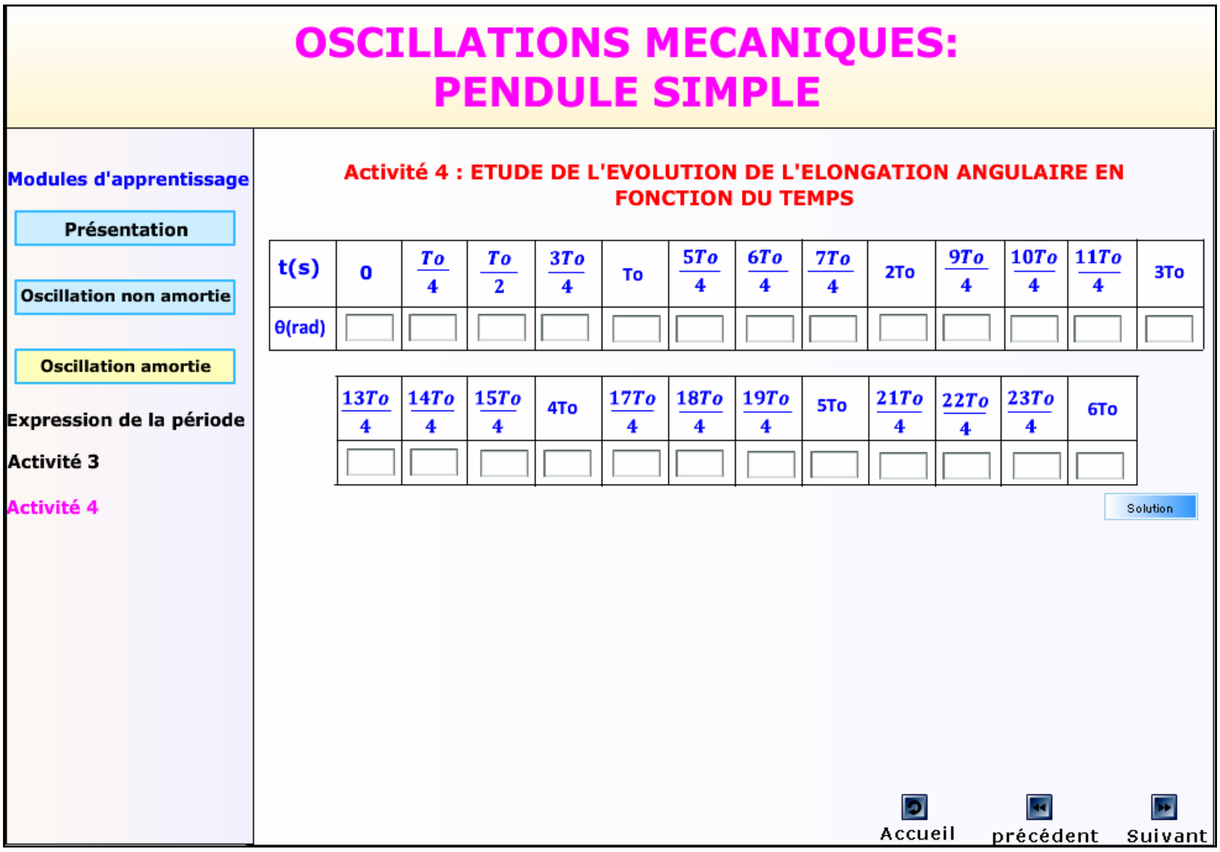
- ***Objectif***


OSCILLATIONS MECANIQUES:
PENDULE SIMPLE
Modules d'apprentissage
Présentation
Oscillation non amortie
Oscillation amortie
Expression de la période
Activité 3
Activité 4
Activité 4 : ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'ELONGATION ANGULAIRE EN FONCTION DU TEMPS
Objectif:
Etudier l'évolution de l'élongation angulaire en fonction du temps.
continuer
Accueil
précédent
Suivant

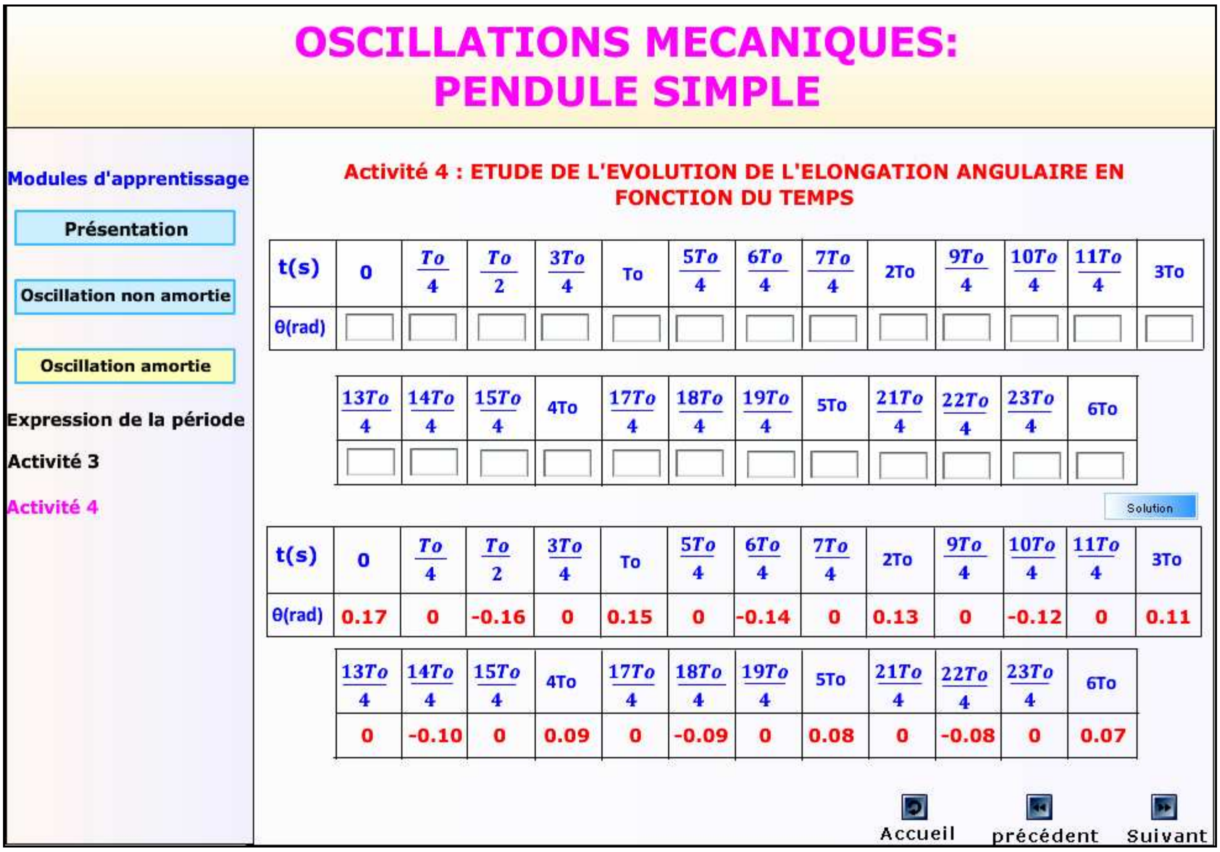
- *Indication*



- *Tableau à compléter*



- *Valeurs proposée par le logiciel*



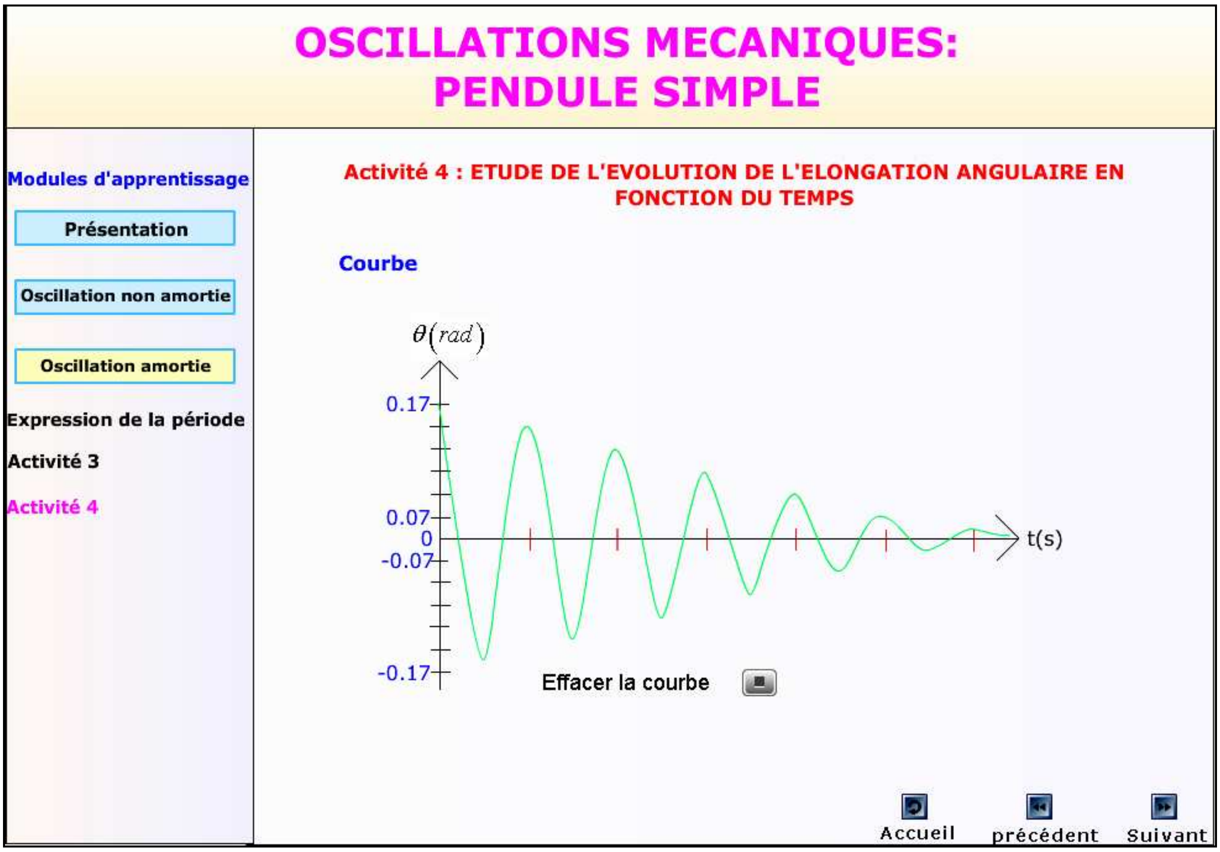
t(s)	0	$\frac{To}{4}$	$\frac{To}{2}$	$\frac{3To}{4}$	To	$\frac{5To}{4}$	$\frac{6To}{4}$	$\frac{7To}{4}$	2To	$\frac{9To}{4}$	$\frac{10To}{4}$	$\frac{11To}{4}$	3To
θ(rad)													

$\frac{13To}{4}$	$\frac{14To}{4}$	$\frac{15To}{4}$	4To	$\frac{17To}{4}$	$\frac{18To}{4}$	$\frac{19To}{4}$	5To	$\frac{21To}{4}$	$\frac{22To}{4}$	$\frac{23To}{4}$	6To

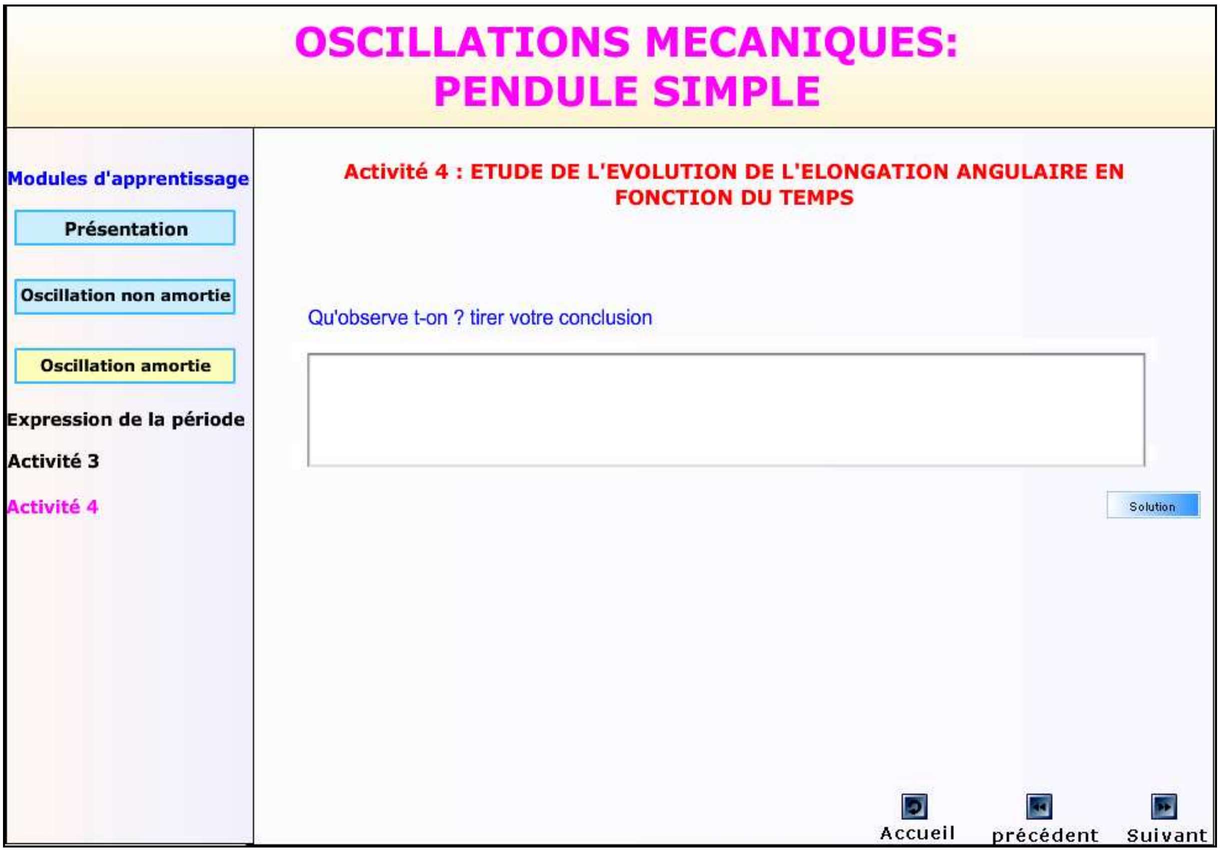
t(s)	0	$\frac{To}{4}$	$\frac{To}{2}$	$\frac{3To}{4}$	To	$\frac{5To}{4}$	$\frac{6To}{4}$	$\frac{7To}{4}$	2To	$\frac{9To}{4}$	$\frac{10To}{4}$	$\frac{11To}{4}$	3To
θ(rad)	0.17	0	-0.16	0	0.15	0	-0.14	0	0.13	0	-0.12	0	0.11

$\frac{13To}{4}$	$\frac{14To}{4}$	$\frac{15To}{4}$	4To	$\frac{17To}{4}$	$\frac{18To}{4}$	$\frac{19To}{4}$	5To	$\frac{21To}{4}$	$\frac{22To}{4}$	$\frac{23To}{4}$	6To
0	-0.10	0	0.09	0	-0.09	0	0.08	0	-0.08	0	0.07

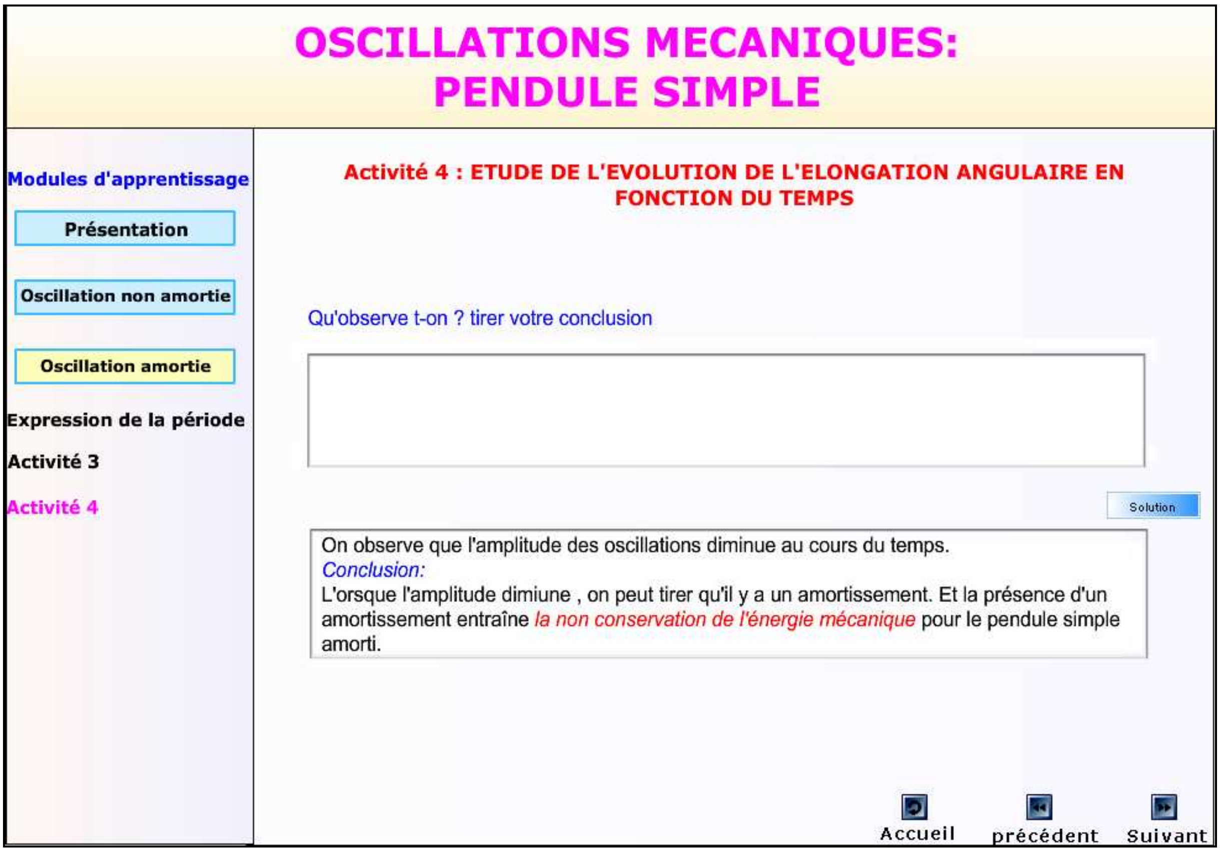
- *Représentation graphique*



- ***Question***



- ***Solution proposée et conclusion***



D- Evaluations

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE

SOMMAIRE PROFESSEUR

Evaluations

Sujet 1 :

On dispose d'un pendule simple de masse m=100g et de longueur l=0,5m. On écarte le pendule de sa position d'équilibre d'un angle θ , puis on le lâche sans vitesse initiale.

1)A quelle condition la période T des oscillations d'un pendule simple est-elle indépendante de l'amplitude de mouvement ?

2)- Quelle est l'expression littérale de la période propre des oscillations de ce pendule ?

-Calculer sa valeur sachant que l'intensité de la pesanteur est $g=9{,}81ms^{-2}$.

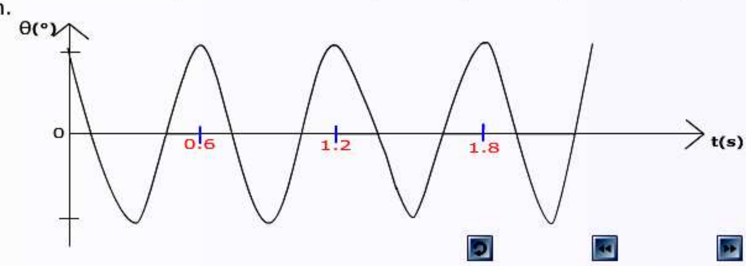
Sujet 2 :

On réalise l'enregistrement, au cours du temps, de l'élongation d'un pendule simple (voir le schéma ci-dessous).

1)Déterminer la valeur de la période propre.

2)Rappeler la loi d'isochronisme des petites oscillations. S'applique-t-elle dans le cas présent ?

3)Déterminer l'accélération de pesanteur sachant que la longueur du pendule simple est égale à 0,16m.



Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE

SOMMAIRE PROFESSEUR

Evaluations

Sujet 3:

Un pendule simple est constitué d'un fil de longueur l=0.50m et d'une bille de masse m=20g. On écarte d'un angle θm=10°, puis on lâche sans vitesse initiale. On prendra g= 9.8N/Kg .

1-Calculer l'énergie mécanique à l'instant où le pendule esr lâché.

2-Déterminer sa vitesse à l'instant où son élongation est θ.

Sujet 4:

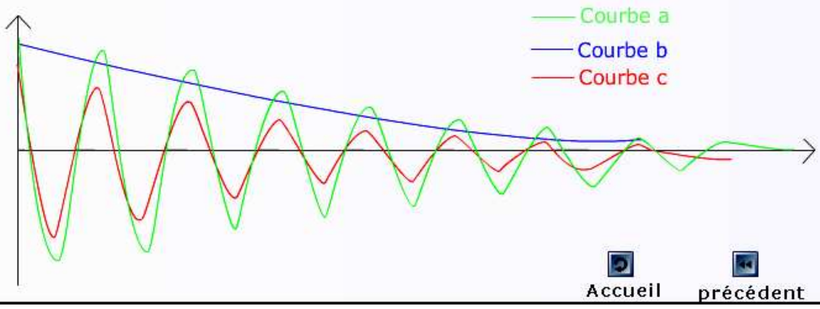
On enregistre l'évolution de l'élongation angulaire d'un même pendule simple, en fonction du temps, au cours de trois expériences différentes (voir le schéma ci-dessous).

1)Quel est le phénomène mis en évidence dans ces trois cas ?

2)Quelles modifications a-t-on apportées au dispositif pour passer d'une expérience à l'autre ?

3)Associer chacune des représentations graphiques ci-dessous à un régimes d'oscillations.

4)Classer les enregistrements par ordre croissant de l'amortissement.



Accueil précédent Suivant

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE

SOMMAIRE PROFESSEUR

Evaluations

Ecrivez la réponse dans cette zone de texte

Solution

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE

SOMMAIRE PROFESSEUR

Evaluations

Ecrivez la réponse dans cette zone de texte

Solution

Solution 1:

1)-La période est indépendante de l'amplitude des oscillations si l'amplitude est inférieure à 10°.

2)- L'expression littérale de la période propre des oscillatios de ce pendule est

$$\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

-Valeur de la période propre:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{0.5}{9.81}} \simeq 1.42 s$$

Accueil précédent Suite

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE
SOMMAIRE PROFESSEUR
Evaluations

Solution 2:

1 - La valeur de la période propre est **To=0.60s**.

2 - Isochrone: lorsque l'amplitude des oscillations est inférieure à 10°, la période est pratiquement indépendante de l'amplitude. Mais ici l'amplitude θmax étant inférieure à 10°, donc cette loi s'applique ici.

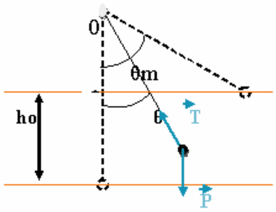
3- Détermination de l'accéleration de la pesanteur

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Soit $g = \frac{4\pi^2 l}{T_0^{\ 2}} = \frac{4\pi^2 \times 0.16}{0.80^2} = 9.9ms^{-2}$

Solution 3:

1-Energie mécanique à l'instant où le pendule lâche



$$E_m = E_C + E_P$$

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$ Avec **v=0 ,ho =l (1 - cos θ)**

$$E_m = mgl(1-\cos\theta)$$

A.N : $E_m = 1,49.10^{-2}\,J$

Accueil précédent Suite

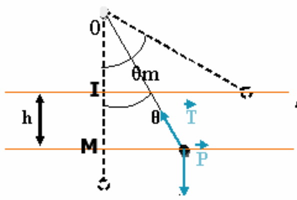
OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE
SOMMAIRE PROFESSEUR
Evaluations

2- Détermination de la vitesse à l'instant où son élongation est θ :

$$T.E.C : E_{C_f} - E_{C_i} = \sum w_{\vec{F}_{app}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 = w_{\vec{P}} + w_{\vec{R}} \text{ avec } w_{\vec{R}} = o$$



Alors on a : $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ avec $h = OM - OI$

$= l\cos\theta - l\cos\theta_0$ Avec: **θm=θo**

$= l(\cos\theta - \cos\theta_0)$

D'où : $\frac{1}{2}mv^2 = mgl(\cos\theta - \cos\theta_0)$

$v^2 = 2gl(\cos\theta - \cos\theta_0)$

$$\boxed{v = \sqrt{2gl(\cos\theta - \cos\theta_0)}}$$

Accueil précédent Suivant

OSCILLATIONS MECANIQUES: PENDULE SIMPLE

SOMMAIRE ELEVE

SOMMAIRE PROFESSEUR

Evaluations

Solution 4:

1) Le phénomène mis en évidence dans ce trois cas est le phénomène d'amortissement des oscillations.
2) Pour passer une expérience à l'autre,on a modifié les frottements,par exemple en plaçant une palette sur la masse du pendule.
3) -Régime pseudo-périodique:courbes **(a)** et **(c)**.
   -Régime apériodique:courbe **(b)**.
4) Classement de l'amortissement: par ordre croissant d'amortissement,on a: **(a)**;**(c)**;**(b)**.

Accueil précédent

CONCLUSION

Dans ce travail nous avons développé un logiciel didactique pour l'étude des oscillations d'un pendule simple non amorti et d'un pendule simple amorti. L'aspect énergétique est aussi analysé. Il s'adresse aux élèves des classes terminales scientifiques. Il propose divers types d'activités avec des objectifs précis :

- Lecture d'éléments de cours sur les thèmes à étudier
- Réalisation de travaux pratiques virtuels
- Résolution d'exercices à titre d'évaluation formative et d'évaluation sommative.

De ce point de vue, ce logiciel est un support de cours et de travaux pratiques. Il simule l'environnement d'apprentissage que l'on rencontre dans les séances de travaux pratiques dans un laboratoire de Lycée.

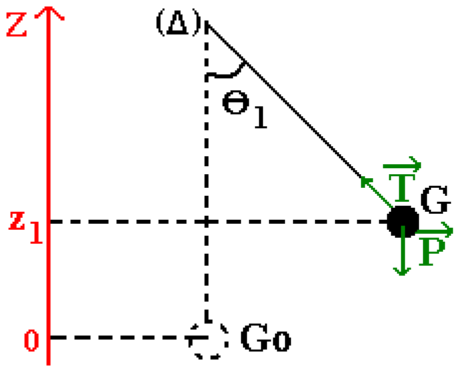
L'approche que nous avons retenue est fondée sur la construction du savoir et des connaissances par l'apprenant(e) lui (elle) même :

- Le phénomène physique à étudier est présenté sous forme d'animation/simulation. L'apprenant(e) est invité(e) à l'observer attentivement. Cette phase d'observation lui permet d'identifier les paramètres qui influent sur le système.
- Il modifie ces paramètres et fait des mesures. Il inscrit les valeurs obtenues dans un tableau. Il trace des courbes, les analyse et tire des conclusions. Cette analyse de courbe après chaque modification de paramètre permet à l'élève de prendre une attitude face à ses observations. Cet aller retour entre courbe et paramètre est essentiel pour développer son esprit critique.
- Il confronte ensuite ses résultats avec ceux donnés par le logiciel.

Pour terminer, nous espérons que ce logiciel pourra servir réellement de support didactique aux enseignants des Lycées. Cependant l'utilisation de ce nouveau mode d'accès au savoir demande quelques mesures d'accompagnement comme la formation des enseignants en informatique et la vulgarisation des ordinateurs dans les établissements.

<u>ANNEXE 1 :</u> Energie mécanique d'un pendule simple non amorti.

Considérons un pendule simple de longueur l et de masse m, mobile autour d'un axe horizontal. Repérons par un axe **z** vertical ascendant le centre d'inertie **G** du système. On prend comme origine de potentiel (cote de référence) la position de ce centre d'inertie lorsque ce système est en équilibre. On le lâche sans vitesse initiale à l'instant **t_0= 0.** A l'instant t son altitude est **z_1**



L'énergie mécanique totale de ce système à tout instant est :

$$E(t) = Ep(t) + Ec(t)$$

Où Ep(t) représente l'énergie potentielle à l'instant t et Ec(t) l'énergie cinétique.

Le bilan énergétique à la position z_1 s'écrit :

$$E_1(t_1) = Ep(z=z_1) + Ec(z = z_1)$$

$Ec(z = z_1)$ est l'énergie cinétique à la position $z = z_1$

$$Ec(z = z_1) = 0$$

On en déduit que $E_0 = ½\ mv0^{2}$ et $E_1 = mgz_1$

L'énergie mécanique totale de ce système à tout instant est

$$E(t) = Ep(t) + Ec(t)$$

Avec

- $Ep(t) = mgz_1$ or $z_1 = l(1-\cos\theta)$

Pour θ faible $1-\cos\theta \approx \theta^2/2$

$\Rightarrow Ep(t) = mgl(\theta^2)/2 = ½\ mgl\ \theta^2$

Or $\theta = A\cos(\omega t + \varphi)$

D'ou $Ep(t) = ½\ mgl[A\cos(\omega t + \varphi)]^2$

* $Ec(t) = 1/2J\dot{\theta}^2$

Avec $\dot{\theta} = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$

D'où $Ec(t) = ½ J[-\omega A \sin(\omega t + \varphi)]^2$

Donc

$E(t) = ½ J[-\omega A (\sin(\omega t + \varphi)]^2 + ½ mgl[A \cos(\omega t + \varphi)]^2$

Or $J\omega^2 = ml^2 \times g/l = mgl \Rightarrow J\omega^2 = mgl$

Alors $E(t) = ½ J\omega^2[A (\sin(\omega t + \varphi)]^2 + ½ J\omega^2[A \cos(\omega t + \varphi)]^2$

$= ½ J\omega^2 A^2\underbrace{[\sin^2(\omega t + \varphi) + \cos^2(\omega t + \varphi)]}_{1}$

$\boxed{E(t) = ½ J \omega^2 A^2 = \text{constante}}$

<u>ANNEXE 2</u> : Pseudo-période

Un pendule faiblement amorti oscille toujours mais l'amplitude d'oscillation diminue progressivement au cours du temps.
La période d'oscillation T est appelée pseudo-période.

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ Avec

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}}$$

ω_0 est la pulsation propre du pendule et λ est le coefficient d'amortissement.

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_0 \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}}}$$

$$T = \frac{\frac{2\pi}{\omega_0}}{\frac{\omega_0 \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}}}{\omega_0}} = \frac{T_0}{\sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}}}$$

Avec

$$\sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}} = \sqrt{\frac{\frac{4\pi^2}{T_0^2} - \lambda^2}{\frac{4\pi^2}{T_0^2}}}$$ puisque $\omega_0 = 2\pi/T_0$

$$= \sqrt{\frac{4\pi^2 - \lambda^2 T_0^2}{4\pi^2}}$$

$$\sqrt{\frac{\omega_0^2 - \lambda^2}{\omega_0^2}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{4\pi^2 - \lambda^2 T_0^2}$$

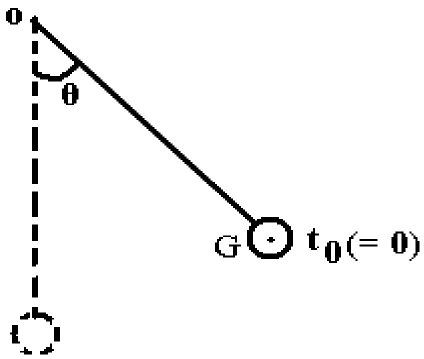
Alors :

$$T = \frac{T_0}{\frac{1}{2\pi}\sqrt{4\pi^2 - \lambda^2 T_0^2}}$$

$$\boxed{T = 2\pi T_0 \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 - \lambda^2 T_0^2}}}$$

ANNEXE 3 : Energie mécanique d'un pendule simple amorti

Soit un pendule simple de longueur **l** et de masse m. On le lâche sans vitesse initiale à l'instant $t_0 = 0$.



L'énergie mécanique totale de ce système à tout instant est

$E(t) = Ec(t) + Ep(t)$

$E(t) = ½\ J\ \dot{\theta}^2 + mgl\ (\theta^2/2)$ or $mgl = J\ \omega^2$

$E(t) = ½\ J\ \dot{\theta}^2 + J\ \omega^2(\theta^2/2)$

Avec

- $\Theta(t) = Ae^{(-\lambda t)}\cos(\omega t + \varphi)$
- $\dot{\theta}(t) = [-A\lambda e^{(-\lambda t)}\cos(\omega t + \varphi)] + [Ae^{(-\lambda t)}(-\omega \sin(\omega t + \varphi))]$

  $= [-A\lambda e^{(-\lambda t)}\cos(\omega t + \varphi)] – A\omega e^{(-\lambda t)}\sin(\omega t + \varphi)$

  $\dot{\theta}(t) = Ae^{(-\lambda t)}[-\omega \sin(\omega t + \varphi) – \lambda \cos(\omega t + \varphi)]$

  D'où :

  $E(t) = ½\ J[Ae^{(-\lambda t)}(-\omega \sin(\omega t + \varphi) – \lambda \cos(\omega t + \varphi))]^2 + ½\ J\omega^2[Ae^{(-\lambda t)}\cos(\omega t + \varphi)]^2$

  Pour $\omega \approx \omega_0$, $\lambda \rightarrow 0$ (système peu amorti) alors

  $E(t) = ½\ J\ [-Ae(-\lambda t)\ \omega_0 \sin(\omega_0\ t + \varphi)]2 + ½\ J\ \omega_0{}^2\ [Ae(-\lambda t) \cos(\omega\ _0t + \varphi)]2$

$$E(t) \quad = \tfrac{1}{2}\, JA2\, \omega_0^{\;2}\, e(-2\lambda t)\, [\underbrace{\sin 2(\omega t + \varphi) + \cos 2\,(\omega t + \varphi)}_{1}]$$

$$\boxed{E(t) = \tfrac{1}{2}\, j\, \omega_0^{2}\, A^{2}\, e^{(-2\lambda t)}}$$

BIBLIOGRAPHIE

[1]CESSAC, J. Physique Terminale D, Paris : Fernand Nathan, 1967,303p

[2]COMMISSION PEDAGOGIQUE DU LYCEE GALLIENI, Travaux pratiques de physique-chimie, Imprimerie-Nationale-Tananarive, 1975, 48p

[3]DURANDEAU, P. Physique Terminale S, Paris : Hachette livre, 1995, 384p

[4]GROSSETÊTE, C. Physique Terminale S, Paris : Belin, 1995, 448p

[5]PROVOST, P. dictionnaire pratique de physique, Imprimerie JOUVE, 17, rue du Louvre 75001 PARIS, 1981, 259p

[6]LANDAN, L. La physique à la portée de tous, Russe :Mir. Mouscou, 1982, 261p

[7]RAHANITRARIVONY, H. H. Etude sur micro-ordinateur de la marche d'un rayon lumineux à travers un prisme. Mémoire CAPEN, ENS Antananarivo. N° d'ordre 243/PC, 2006, 67p

[8]RAKOTOMALALA, J.E. Etude sur micro-ordinateur de la diffraction par « N » fentes. Mémoire CAPEN, ENS Antanarivo, 2005, 78p

[9]RAKOTOMANDIMBY, T.F.R Mouvement oscillatoire amorti : Etude basée sur l'Expérimentation Assistée par Ordinateur. Mémoire CAPEN, ENS Antanarivo. N° d'ordre 212/PC, 2003, 77p

[10]TAHINAMALALA, M.G. Etude sur micro-ordinateur d'une réflexion par un miroir. Mémoire CAPEN, ENS Antananarivo. N° d'ordre 208/PC, 2003, 112p

[11]YAVORSKI, B. Aide-mémoire de physique, Editions Mir.Mouscou, 1996, 963 pages

WEBOGRAPHIE

http : //forums. Futura-Sciences, com/technologies/279757-pendule-pesant-calcul-de-hauteur-chute.html

http : //pageperso-orange. fr /physique. Chimie/cours-de-physique/physique-13-pendule-simple. Html

http : //fr. eureka. ntic. Org/display-lo. php ? format = HTML lom- id =1900

http : //www. Webphysique. Fr/portrait – de – phase- d'un –pendule, 79. html

http : //montblancsciences. Free. Fr/terms/physique/cours/p15 html

http : //www. Webphysique. Fr/spip. php ? page=forum id_article = 81

http : //fr. Wikiversity. Org/wiki/%C3%89 volutiontemporelle-des syst %C3% A8mes-m%C3% A9caniques

RESSOURCE NUMERIQUE POUR L'ETUDE DES OSCILLATIONS MECANIQUES : CAS D'UN PENDULE SIMPLE

Résumé :

Ce mémoire intitulé « Ressource numérique pour l'étude des oscillations mécaniques : cas d'un pendule simple » développe un logiciel didactique qui sert de support de cours et de travaux pratiques sur les oscillations d'un pendule simple non amorti et amorti qui figurent dans le programme des classes terminales scientifiques.

Il comporte deux parties :

- La première partie présente un repère théorique sur le thème d'étude.
- La deuxième partie propose quatre modules d'apprentissage :
  - Le premier module concerne l'analyse des paramètres qui influent sur la période d'un pendule simple non amorti.
  - Le deuxième module se concentre sur la conservation de l'énergie mécanique d'un pendule simple non amorti.
  - Le troisième module étudie l'influence du coefficient d'amortissement sur la période d'un pendule simple amorti.
  - Le dernier module traite l'évolution, en fonction du temps, de l'élongation angulaire d'un pendule amorti.

Mots clés :

Oscillation mécanique, pendule simple, énergie mécanique, période, logiciel, TP virtuel, pendule amorti, mouvement, simulation, didacticiel, science physiques.

Nombre de pages : 83

Nombre de figure : 17

Directeur de mémoire : Henri RASOLONDRAMANITRA

Maitre de conférences

Auteur : Annick TAHINJANAHARY