Aspect énergétique des phénomènes mécaniques
Théorème de l'énergie mécanique

Chap. 13,4

Au programme

- Je sais :
  - Définir une force conservative, une force non conservative.
  - Expliquer ce qu'est une énergie potentielle d'interaction.
  - Déterminer l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.
  - La définition de l'énergie mécanique.
  - Énoncer les conditions dans lesquelles l'énergie mécanique se conserve ou pas.

- Je suis capable :
  - D'identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.
  - D'exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc.
  - Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatrices.

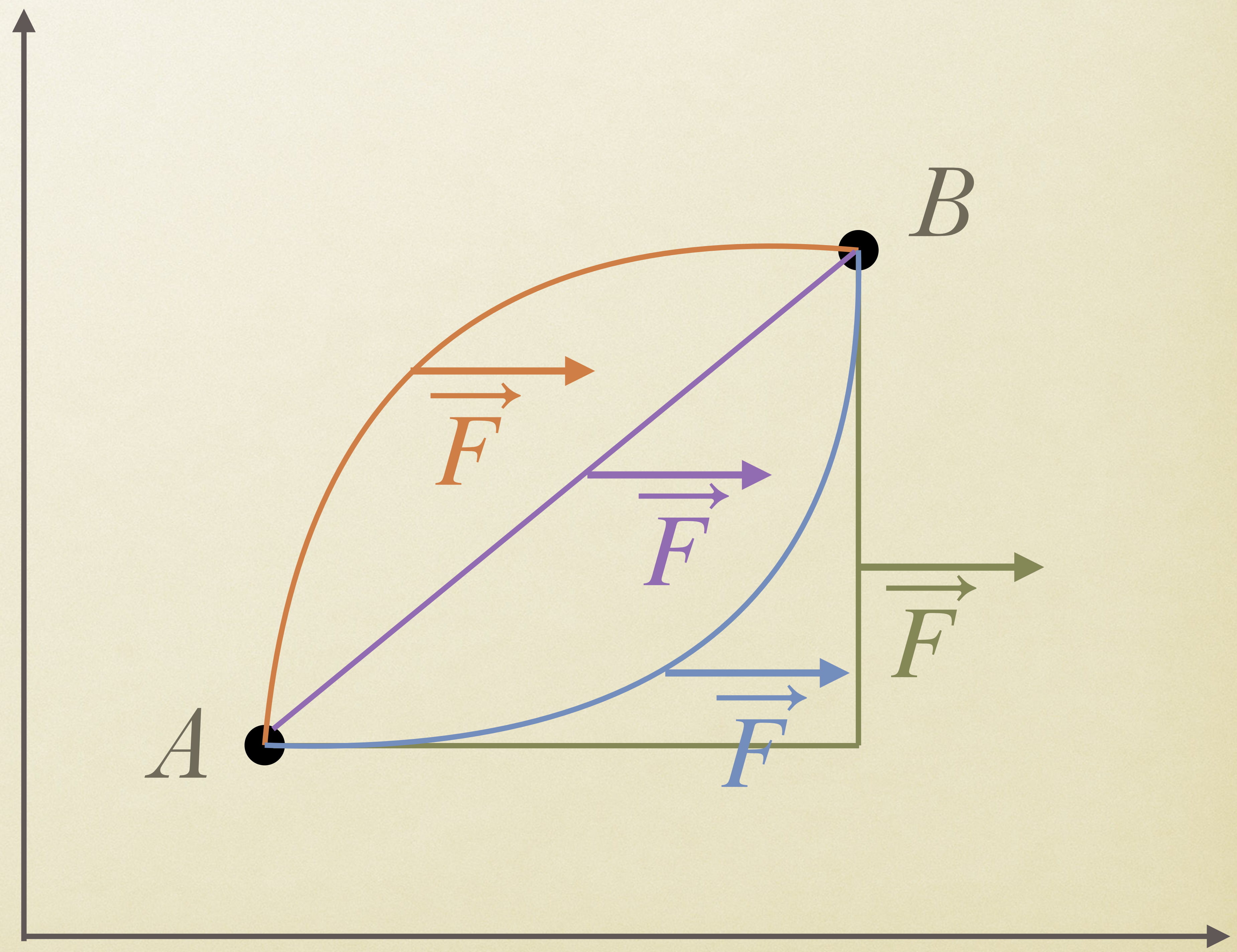
1. Force conservative, Énergie potentielle d'interaction

1.1 FORCE CONSERVATIVE

Une **force conservative** est une force dont le travail ne dépend pas du chemin suivi entre deux positions du point d'application.

$$W_{AB}(\overrightarrow{F}) = W_{AB}(\overrightarrow{F}) = W_{AB}(\overrightarrow{F}) = W_{AB}(\overrightarrow{F})$$

- **Conséquence :** $W_{AB}(\overrightarrow{F})$ et $W_{BA}(\overrightarrow{F})$ sont *de signes opposés* et $W_{AB}(\overrightarrow{F}) + W_{BA}(\overrightarrow{F}) = 0$ quels que soient les chemins suivis (à l'aller et au retour).



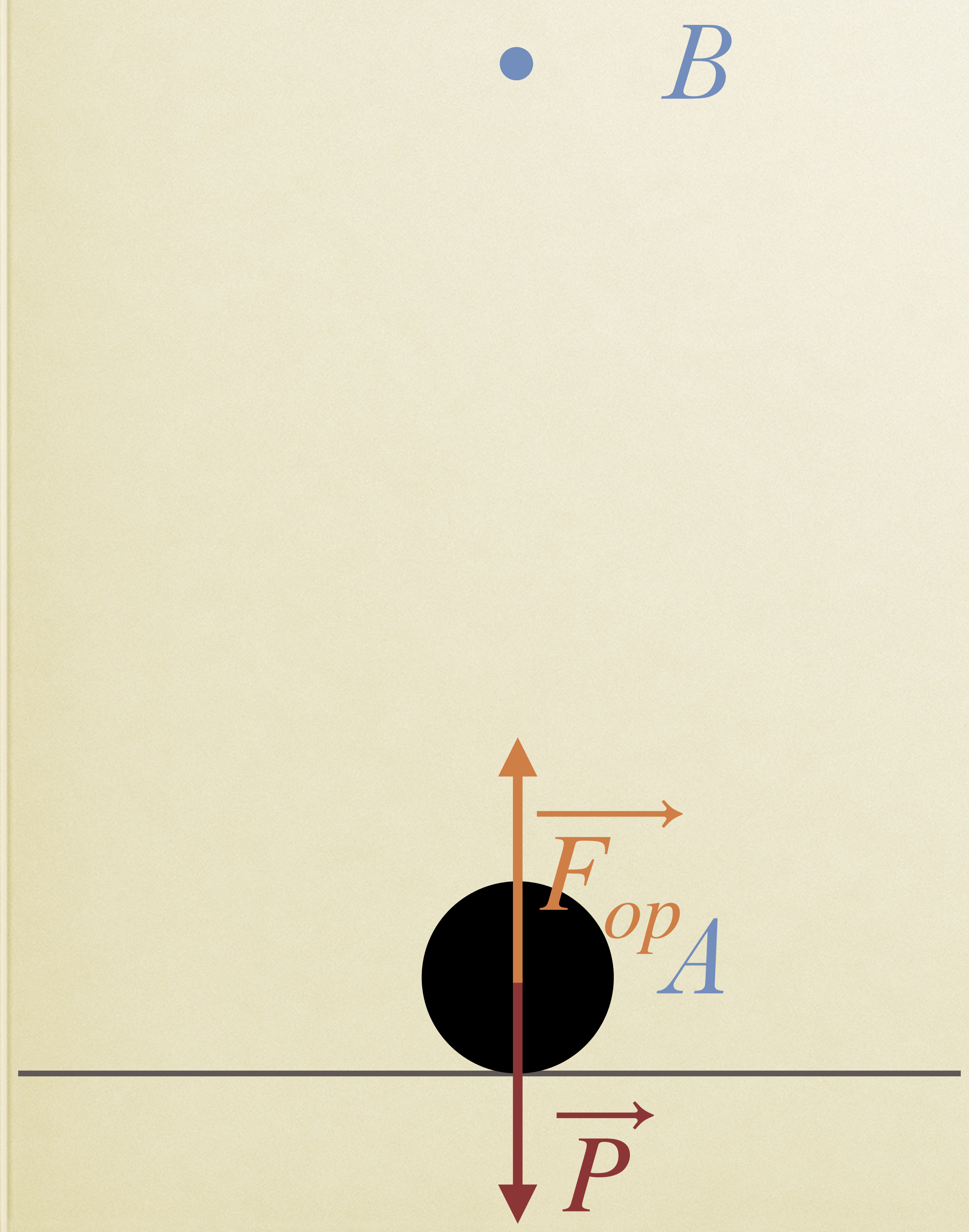
1.2 Quelques forces conservatives

- Force gravitationnelle (donc le poids) ;
- Force électrostatique ;
- Force de rappel exercée par un ressort ;
- …

De façon générale, les forces qui modélisent les **interactions fondamentales** sont **conservatives**.

Les **forces de frottement** ne sont pas **conservatives**.

1.3 Première approche de l'énergie potentielle d'interaction



- Système = {balle}
- Déplacement de la balle de A à B :
  - Interaction : balle — Terre, modélisation : poids $\overrightarrow{P}$
  - Interaction : système — Opérateur : $\overrightarrow{F_{op}}$
  - **Hypothèse :** Le déplacement se fait à vitesse nulle : $\overrightarrow{F_{op}} + \overrightarrow{P} = \overrightarrow{0}$
- Quelle énergie reçoit le système de la part de l'opérateur ?
  - $W_{AB}(\overrightarrow{F_{op}}) = \overrightarrow{F_{op}} \cdot \overrightarrow{AB}$
  - $W_{AB}(\overrightarrow{F_{op}}) = \overrightarrow{F_{op}} \cdot \overrightarrow{AB} = -\overrightarrow{P} \cdot \overrightarrow{AB} = -W_{AB}(\overrightarrow{P}) = -(-mg(z_B - z_A)) = mg(z_B - z_A) > 0$
- Si l'opérateur lâche la balle, celle-ci tombe. *D'où provient l'énergie ?*
- *Tout se passe comme si l'énergie reçue de l'opérateur était stockée dans le système et disponible pour le mettre en mouvement :* ***énergie potentielle d'interaction****.*

1.4 Énergie potentielle d'interaction

On peut attribuer à un système une **énergie potentielle d'interaction** E_P, *associée à une interaction modélisable par une* ***force conservative*** $\overrightarrow{F^c}$.

La **variation** ΔE_P de l'énergie potentielle E_P lors du déplacement du système d'un point A à un point B, est égale au travail qu'effectuerait un opérateur compensant exactement la force conservative $\overrightarrow{F^c}$, soit :

$$\Delta E_P = E_P(B) - E_P(A)$$

$$= W_{AB}(\overrightarrow{F_{op}})$$

$$= -\, W_{AB}(\overrightarrow{F^c})$$

Seules les variations d'énergie potentielle ont un sens physique

2. Énergie mécanique

2.1 THÉORÈME DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

- Si on note $\overrightarrow{F}$ la résultante des force qui s'appliquent sur un système ponctuel, $\overrightarrow{F}^c$ la résultante des forces conservatives qui s'appliquent sur le sytème ponctuel et $\overrightarrow{F}^{nc}$ la résultante des forces non conservatives qui s'appliquent sur le système ponctuel :

$$\begin{aligned} \Delta E_C &= E_C(B) - E_C(A) \\ &= W_{AB}(\overrightarrow{F}) \\ &= W_{AB}(\overrightarrow{F}^c) + W_{AB}(\overrightarrow{F}^{nc}) \end{aligned}$$

- Donc

$$\Delta E_C - W_{AB}(\overrightarrow{F}^c) = W_{AB}(\overrightarrow{F}^{nc})$$

$$\Delta E_C + \Delta E_P = W_{AB}(\overrightarrow{F}^{nc})$$

E_P est ici la somme de toutes les énergies potentielles

- Si on définit l'**énergie mécanique**, par $\Delta E_M = \Delta E_C + \Delta E_P$

$$\Delta E_M = W_{AB}(\overrightarrow{F}^{nc})$$

2.2 Systèmes conservatifs

- Un système est dit **conservatif** si, lors de son évolution, $\Delta E_M = 0$.
- Un système est donc conservatif *s'il n'est soumis qu'à des interactions modélisées par des forces conservatives* ou *si les forces non conservatives auxquelles il est soumis ne travaillent pas*.

L'énergie mécanique d'un système conservatif se conserve au cours du mouvement, sa variation est nulle.

- *L'énergie mécanique d'un système non conservatif diminue.*

2.3 Exemple d'utilisation du concept d'énergie mécanique

On laisse tomber une pierre de masse m depuis l'altitude h, sans vitesse initiale. Déterminer sa vitesse lorsqu'elle arrive au sol (origine des altitudes). Dans les conditions de l'expérience, on peut négliger les frottements du système avec l'air.

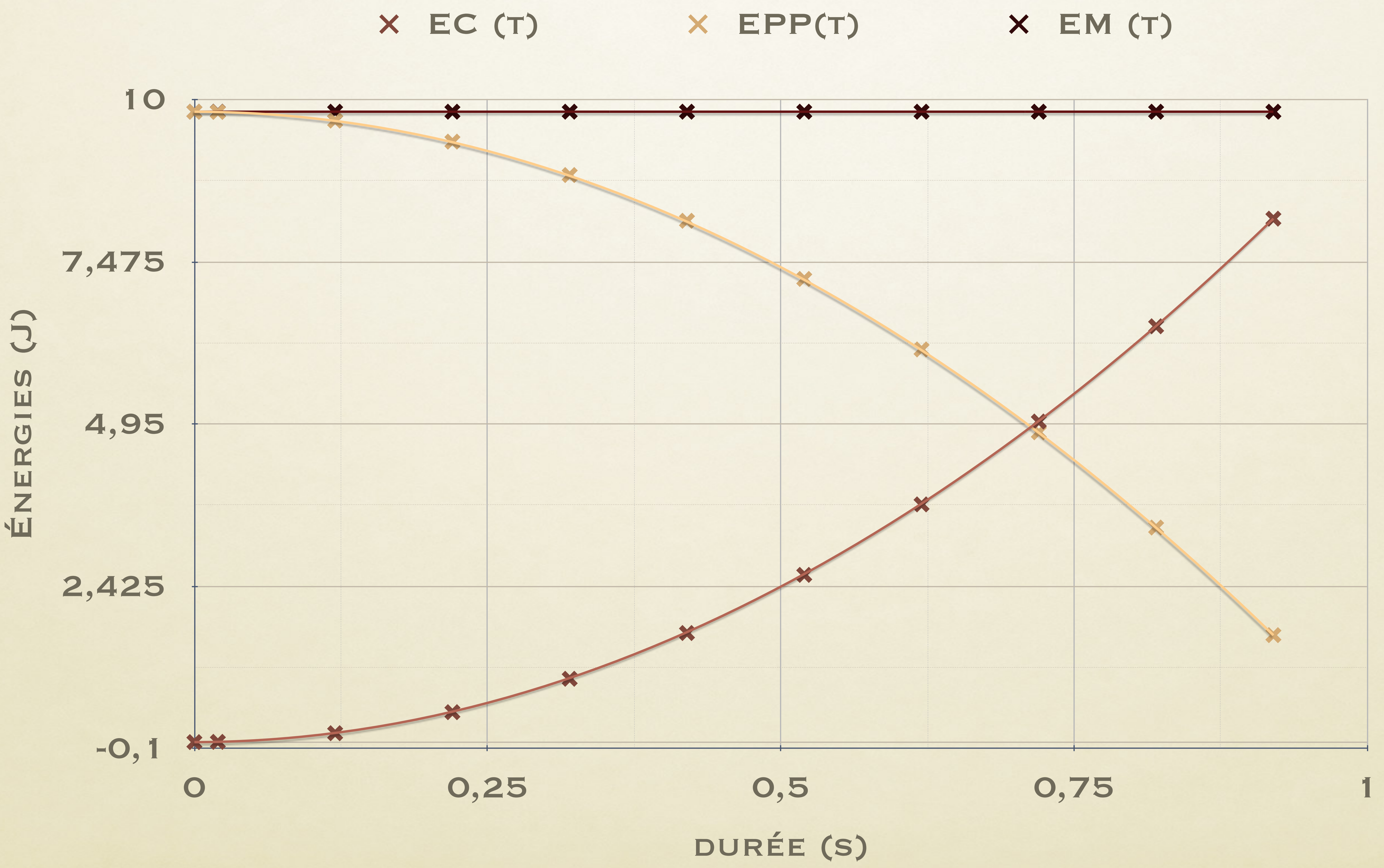
Le système étant conservatif, on peut utiliser la conservation de l'énergie mécanique.

Dans l'état initial : $E_{M_i} = E_{C_i} + E_{PP_i} = 0 + mgh = mgh$

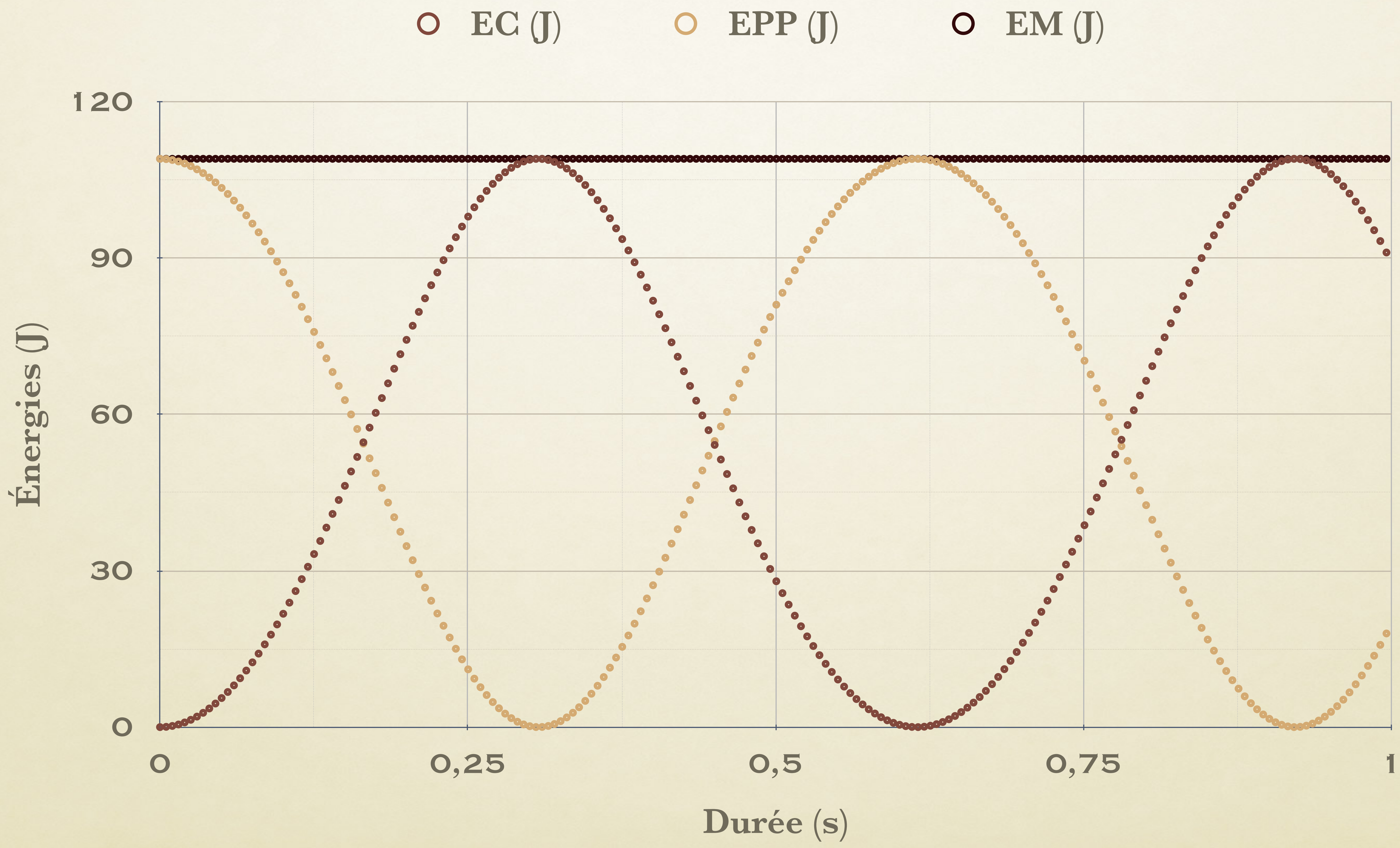
Dans l'état final : $E_{M_f} = E_{C_f} + E_{PP_f} = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv^2$

Comme $E_{M_i} = E_{M_f}$ alors $v = \sqrt{2gh}$

2.4 Conversion d’énergie potentielle en énergie cinétique



2.5 Oscillations non amorties d'un pendule simple



2.6 Oscillations amorties d'un pendule simple