PHYSIQUE

Leçon 2 – Élasticité et conservation de l’énergie cinétique

L’applet *Collisions unidimensionnelles* simule des collisions élastiques et inélastiques dans les repères de laboratoire et de centre de masse.

Préalables

L’élève devrait avoir achevé la *Leçon 1 – Conservation de la quantité de mouvement* dont la matière inclut les quantités vectorielles, les quantités scalaires et les collisions élastiques et inélastiques. L’élève devrait aussi pouvoir définir l’énergie cinétique, manipuler des équations et faire des substitutions dans celles-ci.

Résultats d’apprentissage

L’élève étudiera l’élasticité d’une collision et la conservation de l’énergie cinétique. Il pourra définir les collisions élastiques et inélastiques, et les comparer en dégageant les différences. Il saura aussi comparer les lois de conservation vectorielle et scalaire, et prédire les résultats d’une collision en se fondant sur ces lois.

Directives

L’élève devrait connaître les fonctions de l’applet, telles que décrites dans l’option Aide. L’applet devrait être ouvert. Plusieurs directives point par point de cette leçon doivent être exécutées dans l’applet.

Contenu

Contexte

Cette leçon a pour but d'étudier le rôle de l'énergie cinétique dans les collisions. Nous nous servirons des notions d'énergie cinétique et de quantité de mouvement pour analyser les collisions. Comme tu l'as appris dans les leçons précédentes, la quantité de mouvement est un vecteur. Cependant, dans cette leçon, nous allons nous concentrer sur la quantité scalaire appelée énergie cinétique. Il est nécessaire que tu comprennes la différence entre la quantité de mouvement et l'énergie cinétique pour analyser les problèmes de collision.

Exercice 1 À titre de révision, réponds aux questions qui suivent.

a) En une ou deux phrases, décris ce qu'est la quantité de mouvement. Comment la calcule-t-on?

b) Énonce la loi de conservation de la quantité de mouvement.

c) Quelle est la différence entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique?

d) Comment calcule-t-on l'énergie cinétique?

Exercice 2 Deux autos tamponneuses, ayant chacune une masse de 50 kg et une vitesse de 0,75 m/s, se dirigent tous droit l'une vers l'autre.

a) Quelle est la quantité de mouvement de chaque auto? Les deux autos ont-elles la même quantité de mouvement? (Souviens-toi que la quantité de mouvement est une quantité vectorielle.)

b) Quelle est la quantité de mouvement totale du système?

c) Quelle est l'énergie cinétique de chaque auto? Les deux autos ont-elles la même énergie cinétique? (Souviens-toi que l'énergie cinétique est une quantité scalaire.)

d) Quelle est l'énergie cinétique totale du système?

Collisions unidimensionnelles et énergie cinétique

L'énergie cinétique est de l'énergie du mouvement. Tout objet qui bouge possède non seulement une quantité de mouvement, mais aussi de l'énergie cinétique. Lors des leçons antérieures, tu as découvert qu'il y a conservation de la quantité de mouvement totale d'un système fermé et isolé durant une collision. Mais qu'en est-il de l'énergie cinétique? Est-elle également conservée?

Exercice 3 Au moyen de l'applet, étudie cinq collisions différentes entre les mêmes objets et remplis le tableau qui suit. Tu te serviras des données recueillies pour vérifier que la quantité de mouvement est conservée et pour voir si l'énergie cinétique est également conservée.

- Dans l'applet, désactive les fonctions **Afficher CM** et **Afficher repère CM** (☑ Afficher CM ☑ Afficher repère CM).
- Clique sur Options () et entre les données affichées à la figure 1 :

- Choisis « e » au hasard
- Masse bleue : entre une masse de 5,0 kg
- Masse verte : entre une masse de 5,0 kg

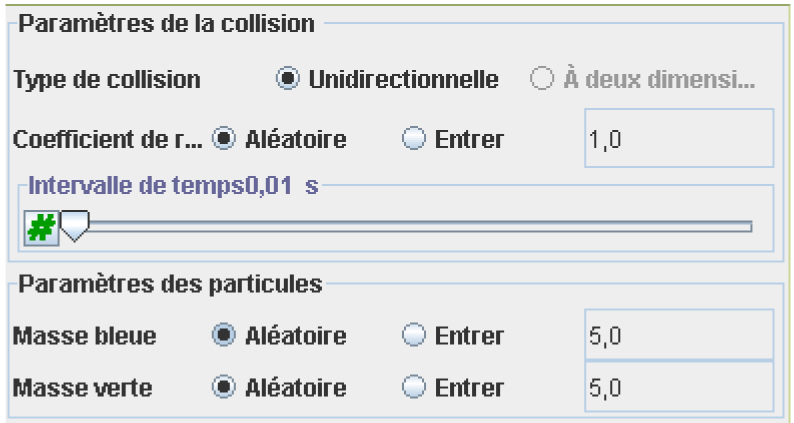


Figure 1

- Pour générer une nouvelle collision (sans modifier la valeur de « e » ou la masse d'un objet), clique sur Nouveau ( ) et modifie la vitesse vectorielle initiale de la balle bleue, en ajustant la barre de défilement de la vitesse initiale (

) à une valeur donnée.
- Après chaque collision, visionne l'information sur la collision en cliquant sur Données ( ) et remplis le tableau approprié.

Ne t'inquiète pas si tu ne sais pas ce que « e » représente; nous en discuterons en détail à la section suivante. **La valeur de « e » sera affichée avec les autres informations de l'applet. Tu dois les consigner pour chaque collision.**

Collision 1 e = ________							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{initiale}$ (m/s)	$\vec{v}_{finale}$ (m/s)	$\vec{p}_{initiale}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{finale}$ (kg·m/s)	$E_{k\ initiale}$ (J)	$E_{k\ finale}$ (J)
Bleu							
Vert							
Total	-----	-----	-----				

Collision 2 e = ________							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{initiale}$ (m/s)	$\vec{v}_{finale}$ (m/s)	$\vec{p}_{initiale}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{finale}$ (kg·m/s)	$E_{k\ initiale}$ (J)	$E_{k\ finale}$ (J)
Bleu							
Vert							

Total	-----	-----	-----				
Collision 3 e = _________							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{initiale}$ (m/s)	$\vec{v}_{finale}$ (m/s)	$\vec{p}_{initiale}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{finale}$ (kg·m/s)	$E_{k\ initiale}$ (J)	$E_{k\ finale}$ (J)
Bleu							
Vert							
Total	-----	-----	-----				
Collision 4 e = _________							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{initiale}$ (m/s)	$\vec{v}_{finale}$ (m/s)	$\vec{p}_{initiale}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{finale}$ (kg·m/s)	$E_{k\ initiale}$ (J)	$E_{k\ finale}$ (J)
Bleu							
Vert							
Total	-----	-----	-----				
Collision 5 e = _________							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{initiale}$ (m/s)	$\vec{v}_{finale}$ (m/s)	$\vec{p}_{initiale}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{finale}$ (kg·m/s)	$E_{k\ initiale}$ (J)	$E_{k\ finale}$ (J)
Bleu							
Vert							
Total	-----	-----	-----				

Exercice 4 Réponds aux questions qui suivent en utilisant les données que tu as recueillies dans les tableaux sur les collisions.

a) Y a-t-il conservation de la quantité de mouvement dans chaque collision?

b) Y a-t-il conservation de l'énergie cinétique dans chaque collision?

Dans une collision, il y a toujours conservation de la quantité de mouvement, mais non de l'énergie cinétique. Parfois, l'énergie cinétique est presque conservée et d'autres fois, elle l'est à peine. Que se passe-t-il? Pour répondre à cette question, nous devons considérer ce qui arrive aux objets durant une collision.

Collisions élastiques et inélastiques

Lors d’une collision, l’énergie change de forme. Quand des objets interagissent et entrent en collision, ils se déforment. Lorsque cela se produit, l’énergie cinétique des corps en collision est convertie en énergie potentielle ou est dissipée sous forme de son ou de chaleur. La mesure dans laquelle l’énergie cinétique initiale est convertie en énergie cinétique finale durant la collision détermine l’« **élasticité** » de la collision.

Il existe une gamme d’élasticités : les collisions peuvent varier de la collision parfaitement élastique à la collision parfaitement inélastique. Plus une collision devient inélastique, plus la quantité d’énergie cinétique perdue est importante.

Collisions parfaitement élastiques
Dans une collision parfaitement élastique, il y a conservation de l’énergie cinétique totale du système. En général, les collisions parfaitement élastiques n’ont lieu qu’au niveau subatomique.

Collisions inélastiques
Dans une collision inélastique, une partie de l’énergie cinétique est perdue, généralement sous forme d’énergie sonore ou thermique. Il s’agit d’une catégorie très vaste dans laquelle rentrent la plupart des collisions.

Collisions parfaitement inélastiques
Dans une collision parfaitement inélastique (également appelée complètement inélastique), les objets restent collés après s’être heurtés. Ce type de collision est celui où la perte d’énergie cinétique est la plus grande.

Exercice 5 Imagine que tu lances une superballe parfaitement sphérique (une balle élastique très rebondissante) contre le mur.

a) Décris la forme de la balle avant, durant et après la collision.

Avant : ____________ Durant : ____________ Après : ____________

b) Décris ce qui arrive à l’énergie cinétique de la balle durant l’interaction. L’énergie cinétique de la balle est-elle conservée? Si non, qu’est-ce qui lui est arrivé?

Exercice 6 Imagine que tu lances une boule de pâte à modeler contre le mur.

a) Décris la forme de la boule avant, durant et après la collision.

Avant : _____________ Durant : _____________ Après : _____________

b) Décris ce qui arrive à l'énergie cinétique de la boule durant l'interaction. L'énergie cinétique de la boule est-elle conservée? Si non, que lui est-il arrivé?

Coefficient de restitution

Maintenant que nous avons discuté de la notion d'élasticité, revenons aux collisions réalisées plus tôt. Cette fois-ci, nous allons examiner ce que « e » représente.

Exercice 7 Utilise les tableaux de données créés à l'exercice 3 pour remplir ce qui suit.

1. Enregistre l'$E_{k\ \text{initiale}}$ totale, l'$E_{k\ \text{finale}}$ totale et « e » d'après les tableaux de l'exercice 3.
2. Calcule le pourcentage d'énergie cinétique perdue au moyen de :

$$p_{\text{totale i CM}} = p_{\text{totale f CM}}$$

$$p_{1\text{i CM}} + p_{2\text{i CM}} = p_{1\text{f CM}} + p_{2\text{f CM}}$$

$$m_1 v_{1\text{i CM}} + m_2 v_{2\text{i CM}} = m_1 v_{1\text{f CM}} + m_2 v_{2\text{f CM}}$$

$$m_1 v_{1\text{i CM}} + m_2 v_{2\text{i CM}} = v_{\text{f CM}}(m_1 + m_2)$$

$$v_f = \frac{m_1 v_{1\text{i CM}} + m_2 v_{2\text{i CM}}}{(m_1 + m_2)}$$

N° de la collision	Énergie cinétique initiale totale (J)	Énergie cinétique finale totale (J)	% d'énergie cinétique perdue	e
1				

2				
3				
4				
5				

Exercice 8 En te servant du tableau qui précède, compare le pourcentage d’énergie cinétique totale perdue durant chaque collision à la valeur de « e ». Quelle est la relation entre le pourcentage d’énergie cinétique perdue et « e »?

En faisant l’exercice précédent, tu aurais dû constater que la valeur de « e » baisse de plus en plus à mesure que la perte d’énergie cinétique augmente. Le symbole « e » est une mesure de la quantité d’énergie cinétique perdue durant une collision – il s’agit d’un indicateur de l’élasticité de la collision.

Le **coefficient de restitution**, « e », est une mesure de l’élasticité d’une collision. Il s’agit du rapport des vitesses vectorielles finales aux vitesses vectorielles initiales des objets entrant en collision.

Sous forme d’équation, il s’exprime :

$$\begin{aligned} v_{1i\,CM} &= v_{1i\,Lab} - v_{CM\,Lab} \\ &= 8{,}0\ m/s - 2{,}7\ m/s \\ &= 5{,}3\ m/s \end{aligned} \qquad \begin{aligned} v_{2i\,CM} &= v_{2i\,Lab} - v_{CM\,Lab} \\ &= 0 - 2{,}7\ m/s \\ &= -2{,}7\ m/s \end{aligned} \tag{1}$$

Quantité	Symbole	Unité SI
Coefficient de restitution	e	coefficient
Vitesse vectorielle	$\vec{v}$	m/s

La valeur de « e » varie de 1,0 à 0.

Si une collision est **parfaitement élastique**, l’énergie cinétique est conservée et e = 1.
Si une collision est **parfaitement inélastique**, les objets restent collés, l’énergie cinétique n’est donc pas conservée et e = 0.

Exercice 9 Es-tu d'accord ou en désaccord avec l'énoncé suivant?

Dans une collision parfaitement inélastique (e = 0,0), toute l'énergie cinétique est perdue et l'énergie cinétique finale totale est nulle. Donne un exemple pour appuyer ta réponse.

Exercice 10 En te servant du coefficient de restitution, prouve que la valeur de « e » doit être nulle pour qu'une collision soit parfaitement inélastique.

Analyse des collisions élastiques

Les deux caractéristiques générales de collisions élastiques sont la conservation de la quantité de mouvement et l'élasticité. Si une collision a lieu dans un système fermé et isolé, la quantité de mouvement est conservée. Cependant, l'énergie cinétique n'est pas toujours conservée et l'élasticité de la collision est l'indice nécessaire pour déterminer combien d'énergie cinétique est conservée. Ces deux éléments d'information au sujet d'une collision nous aident à analyser les collisions et à prévoir les résultats.

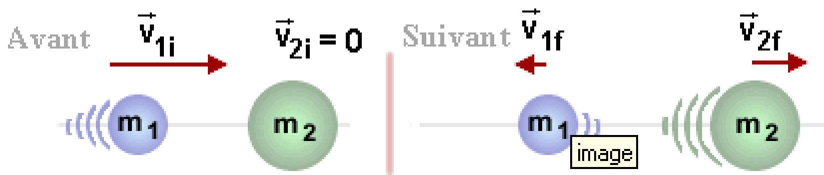
À la présente section, tu utiliseras le système des deux équations pour répondre aux questions sur les collisions. La résolution de ces questions nécessite plusieurs étapes, mais si tu travailles minutieusement et que tu suis une approche systématique (comme la méthode en quatre étapes), tu n'auras pas de difficulté.

Exemple de collision élastique

L'objet 1, dont la masse est de 3,0 kg, se déplace vers la droite à la vitesse de 6,1 m/s. Il entre en collision avec l'objet 2, qui est au repos et dont la masse est de 8,0 kg. Si e = 0,95, quelle est la vitesse vectorielle finale de chaque objet?

Solution :

Prévision : Au départ, seule m_1 est en mouvement et la quantité de mouvement initiale totale est dirigée vers la droite. Lors de la collision, m_1 heurte l'objet m_2 et le met en mouvement de façon telle que m_2 se déplace vers la droite. Qu'arrive-t-il à m_1? Cette collision est presque parfaitement élastique ($e = 0{,}95$) et, puisque m_2 est beaucoup plus massif que m_1, nous pouvons nous attendre à ce que m_1 rebondisse sur m_2 et se déplace vers la gauche. La simulation de cette collision dans l'applet confirme la prévision.



Élaboration : Énumère toutes les données connues et inconnues :

$$\begin{aligned} v_{1f\ Lab} &= v_{1f\ CM} + v_{CM\ Lab} \\ &= 0 + 2{,}7\ m/s \\ &= 2{,}7\ m/s \end{aligned} \qquad \begin{aligned} v_{2f\ Lab} &= v_{2f\ CM} + v_{CM\ Lab} \\ &= 0 + 2{,}7\ m/s \\ &= 2{,}7\ m/s \end{aligned}$$

Nous devons calculer deux inconnues : $\vec{v}_{1f}$ et $\vec{v}_{2f}$. Nous avons également un système de deux équations :

1. Loi de conservation de la quantité de mouvement L'élimination des valeurs nulles donne : $m_1 = 5{,}0\ kg \qquad m_2 = 10{,}0\ kg$ $v_{1i\ CM} = 5{,}3\ m/s \qquad v_{2i\ CM} = -2{,}7\ m/s$ $v_{1f\ CM} = v_{f\ CM} = ? \qquad v_{2f\ CM} = v_{f\ CM} = ?$ (1)	2. Coefficient de restitution La manipulation pour isoler $\vec{v}_{1f}$ donne : $v_f = \dfrac{m_1 v_{1i\ CM} + m_2 v_{2i\ CM}}{(m_1 + m_2)}$ $= \dfrac{(5.0\ kg)(5{,}3\ m/s) + (10{,}0\ kg)(-2{,}7\ m/s)}{(5{,}0\ kg + 10{,}0\ kg)}$ $= \dfrac{0}{15{,}0\ kg} = 0$ (2)

La substitution de l'équation 2 dans l'équation 1 donne une expression pour $\vec{v}_{2f}$:

$$m_1v_{1i} = m_1\left(v_{2f} - 0{,}95\,v_{1i}\right) + m_2v_{2f}$$

$$m_1v_{1i} = m_1v_{2f} - 0{,}95\,m_1v_{1i} + m_2v_{2f}$$

$$m_1v_{1i} + 0{,}95\,m_1v_{1i} = m_1v_{2f} + m_2v_{2f}$$

$$1{,}95\,m_1v_{1i} = v_{2f}\left(m_1 + m_2\right)$$

$$v_{2f} = \frac{1{,}95\,m_1v_{1i}}{\left(m_1 + m_2\right)} \qquad (3)$$

Substitue les valeurs connues dans l'équation 3 et calcule $\vec{v}_{2f}$.

Résolution : $v_{2f} = \dfrac{1{,}95\,m_1v_{1i}}{\left(m_1 + m_2\right)} = \dfrac{1{,}95\,(3{,}0\text{ kg})(6{,}1\text{ m/s})}{(3{,}0\text{ kg} + 8{,}0\text{ kg})} = 3{,}24\text{ m/s} = 3{,}2\text{ m/s}$

Maintenant que tu connais $\vec{v}_{2f}$, la substitution de cette valeur dans l'équation 2 te permettra de calculer $\vec{v}_{1f}$.

$$\begin{aligned} v_{1f} &= v_{2f} - 0{,}95\,v_{1i} \\ &= 3{,}24\text{ m/s} - 0{,}95(6{,}1\text{ m/s}) \\ &= -2{,}55\text{ m/s} \\ &= -2{,}6\text{ m/s} \end{aligned}$$

Après la collision, l'objet 1 se déplace vers la **gauche** à la vitesse de 2,6 m/s et l'objet 2 se déplace vers la **droite** à la vitesse de 3,2 m/s.

Vérification : La réponse est confirmée au moyen de l'applet. En outre, elle correspond à la prévision.

Pour toutes les questions qui suivent, suppose que les objets entrent en collision frontale (collision unidimensionnelle) et que le système est fermé et isolé. Dans la mesure du possible, vérifie tes réponses en simulant les collisions dans l'applet.

Exercice 11 L'objet 1, dont la masse est de 12,0 kg, se déplace vers la droite à la vitesse de 6,0 m/s. Il heurte l'objet 2, qui est au repos et a une masse de 3,5 kg. Si la collision est parfaitement élastique (e = 1,0), quelle est la vitesse vectorielle finale de chaque objet?

Exercice 12 Dans une collision où e = 0,25, l’objet A (masse = 5,0 kg) heurte l’objet B (masse = 5,0 kg) : si l’objet A se déplaçait initialement vers la droite à 10,0 m/s et que l’objet B était au repos, quelle est la vitesse vectorielle finale de chaque objet?

Exercice 13 Deux objets, tous deux de masse égale à 7,0 kg, se heurtent dans une collision partiellement élastique, où e = 0,80. Au départ, l’objet se déplaçait vers la droite à la vitesse de 3,2 m/s et l’objet 2 était au repos. Après la collision, quelle est la vitesse vectorielle finale de chaque objet?

Exercice 14 L'objet 1 (masse = 2,0 kg) se déplace vers la droite à la vitesse de 9,23 m/s. Il entre en collision avec l'objet 2 (masse = 9,0 kg), qui est au repos. Si e = 0,78, quelle est la vitesse vectorielle finale de chaque objet?

Résumé

Dans cette leçon, tu as étudié l'énergie cinétique totale d'un système avant et après une collision. Tu as découvert que l'énergie cinétique **n'**est **pas** toujours conservée dans une collision. En résumé :

- L'énergie cinétique est de l'« énergie du mouvement ». Tout objet qui est en mouvement possède de l'énergie cinétique :

$$v_f = \frac{m_1 v_{1i}}{(m_1 + m_2)} = \frac{(5,0\ \text{kg})(8,0\ \text{m/s})}{(5,0\ \text{kg} + 10,0\ \text{kg})} = 2,\bar{6}\ \text{m/s} = 2,7\ \text{m/s}$$

- Dans une collision, l'énergie cinétique totale du système n'est pas nécessairement conservée. Quand un objet est déformé durant une collision, il y a perte d'énergie cinétique.

- L'**élasticité** d'une collision est une mesure de la quantité d'énergie cinétique qui est conservée. Il existe une gamme d'élasticités qui incluent :

  Collision parfaitement élastique
  Dans une collision parfaitement élastique, il y a conservation de l'énergie cinétique totale du système. En général, les collisions parfaitement élastiques surviennent uniquement au niveau subatomique.

  Collisions inélastiques
  Dans une collision inélastique, une certaine quantité d'énergie cinétique est perdue, généralement sous forme d'énergie sonore ou thermique. Il s'agit d'une catégorie très vaste dans laquelle rentrent la plupart des collisions.

Collisions parfaitement inélastiques
Dans une collision parfaitement inélastique (également appelée complètement inélastique), les objets qui se heurtent restent collés après l'impact. Ce genre de collision est celui où la perte d'énergie cinétique est la plus importante.

- Le **coefficient de restitution**, « e », est également une mesure de l'élasticité d'une collision. Il s'agit du rapport des vitesses vectorielles finales aux vitesses vectorielles initiales des objets qui entrent en collision. Sous forme d'équation, il s'exprime :

$$\begin{aligned} v_{1i\,CM} &= v_{1i\,Lab} - v_{CM\,Lab} \\ &= 8{,}0\ m/s - 2{,}7\ m/s \\ &= 5{,}3\ m/s \end{aligned} \qquad \begin{aligned} v_{2i\,CM} &= v_{2i\,Lab} - v_{CM\,Lab} \\ &= 0 - 2{,}7\ m/s \\ &= -2{,}7\ m/s \end{aligned}$$

- La valeur de « e » varie de 1,0 à 0.
  - Si une collision est **parfaitement élastique**, il y a conservation de l'énergie cinétique et e = 1.
  - Si une collision est inélastique, une partie de l'énergie cinétique est convertie en d'autres formes d'énergie et la valeur de e est supérieure à 0, mais inférieure à 1.
  - Si une collision est **parfaitement inélastique**, les objets restent collés. L'énergie cinétique n'est donc pas conservée et e = 0.

- Il est possible d'analyser les collisions à deux inconnues en utilisant la loi de conservation de la quantité de mouvement et l'équation du coefficient de restitution.