

# PHYSIQUE



## Leçon 1 – Conservation de la quantité de mouvement

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 une connaissance élémentaire du mouvement, de la vitesse, des vecteurs et de la manipulation des équations.

### Résultats d'apprentissage

L'élève étudiera la quantité de mouvement et les collisions unidimensionnelles. Il pourra définir et calculer la quantité de mouvement d'un objet. Il pourra également expliquer qualitativement et montrer quantitativement qu'il y a conservation de la quantité de mouvement dans les collisions unidimensionnelles. En outre, il pourra prévoir les résultats approximatifs d'une collision en se fondant sur les lois de conservation.

### 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](#)

[Qu'est-ce que la quantité de mouvement?](#)

[Conservation de la quantité de mouvement](#)

[Analyse des collisions](#)

[Exemple de collision inélastique](#)

[Exemple de collision élastique](#)

[Résumé](#)

---

## Contexte

En physique, il existe deux grandes catégories de quantités : les vecteurs et les scalaires. Tu devrais déjà connaître la différence entre les deux. Il est nécessaire de comprendre ce que sont les vecteurs pour comprendre la quantité de mouvement.

### Exercice 1

À titre de révision, réponds aux questions suivantes.

- Qu'est-ce qu'une quantité scalaire? Donne deux exemples.
- Qu'est-ce qu'une quantité vectorielle? Donne deux exemples.
- Deux joueurs de soccer courent l'un vers l'autre, chacun à la vitesse de 10,0 km/h. Ont-ils la même vitesse vectorielle? Pourquoi?

Pour étudier la quantité de mouvement et les collisions, tu dois aussi avoir une notion des **systèmes**. Un système est un ensemble constitué de deux objets ou plus et il en existe plusieurs types que tu dois connaître :

- **système fermé** : aucune masse n'entre dans le système ou n'en sort;
- **système isolé** : aucune force externe n'agit sur le système et aucune énergie n'en sort;
- **système ouvert** : une masse peut entrer dans le système ou en sortir et des forces externes peuvent exercer une influence.

Dans le cadre des leçons où nous examinons la quantité de mouvement d'un système, il est important que le système étudié soit fermé et isolé. Il est facile de savoir si un système est fermé. Par contre, il est un peu plus difficile de déterminer si un système est isolé — tu dois être conscient de toute force externe qui pourrait agir sur le système.

### Exercice 2

Pour les questions qui suivent, on te dit ce qui est compris dans le système. Indique si le système est isolé ou non. S'il ne l'est pas, nomme la force externe qui agit sur lui.

- a) Deux ballons de basket-ball (le système) se déplacent verticalement dans l'air. L'un retombe, tandis que l'autre vient d'être lancé en l'air. Les deux ballons se rencontrent durant leur mouvement.
- b) Deux voitures (le système) dérapent sur un chemin de gravier et finissent par entrer en collision.
- c) Deux patineurs (le système) évoluent sur de la glace sans friction et se dirigent droit l'un vers l'autre. Ils finissent par entrer en collision.

### Qu'est-ce que la quantité de mouvement?

Dans la vie quotidienne, nous utilisons le mot « élan » pour caractériser divers types d'évènements, comme une manifestation sportive, une campagne politique ou des tendances économiques. Cependant, quel que soit l'évènement concerné, le mot « élan » sous-entend toujours un mouvement ou une impulsion produisant un mouvement. Ainsi, quand nous disons que « les perdants ont pris de l'élan », nous voulons dire que l'équipe « s'est mise à avancer » et qu'il sera difficile de l'arrêter — plus son élan est grand, plus il sera difficile de l'arrêter.

En physique, la quantité de mouvement a la même signification. Tout objet en mouvement possède une quantité de mouvement.

<p>La <b>quantité de mouvement</b> est « une masse en mouvement » ou une mesure de l'élan que possède un objet.</p>		
<p>Sous forme d'équation, elle s'exprime :</p>		
$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1)$		
<b>Quantité</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unité SI</b>
Quantité de mouvement	$\vec{p}$	kg·m/s
Masse	m	kg
Vitesse vectorielle	$\vec{v}$	m/s

Puisque la vitesse vectorielle est un vecteur, il en est de même de la quantité de mouvement. La direction du vecteur quantité de mouvement est la même que celle du vecteur vitesse.

### Exercice 3

En utilisant l'équation (1), calcule la quantité de mouvement :

- a) d'un oiseau de 10,0 kg qui vole à la vitesse de 8,0 m/s vers l'est.
- b) d'un objet de 70,0 kg qui se déplace vers l'ouest à la vitesse de 5,0 m/s.
- c) d'un camion de 500,0 kg au repos.
- d) d'une voiture de 200 kg qui se déplace à 100 km/h vers l'ouest.

### Exercice 4

Détermine quel objet possède la plus grande quantité de mouvement.

- a) Un camion de 500,0 kg se déplaçant à 60 km/h ou une voiture de 200,0 kg se déplaçant à 60 km/h?
- b) Un objet de 15,0 kg se déplaçant vers la droite à 5,0 m/s ou un objet de 15,0 kg se déplaçant vers la gauche à 5,0 m/s?

c) Un camion de 500 kg se déplaçant à 60 km/h ou une voiture de 200 kg se déplaçant à 150 km/h?

d) Un camion de 500 kg au repos ou une voiture de 200 kg au repos?

e) Un camion de 200 kg au repos ou un moustique volant à la vitesse de 2 m/s?

### Conservation de la quantité de mouvement

Tout objet en mouvement possède une vitesse vectorielle et une quantité de mouvement. Cependant, que se passe-t-il lorsque deux objets ou plus entrent en collision? Que deviennent la vitesse vectorielle et la quantité de mouvement de chaque objet? Examinons cette question en nous servant de l'applet.

#### Exercice 5

Exécute cinq collisions différentes et remplis les tableaux qui suivent.

- Dans l'applet, désactive les boutons **Afficher CM** et **Afficher repère CM** ( Afficher CM  Afficher repère CM).
- Pour produire une nouvelle collision, clique sur Nouveau () et modifie la vitesse initiale de la balle bleue en ajustant la barre de défilement de la vitesse () à une valeur donnée.
- Après chaque collision, visualise l'information sur la collision en cliquant sur Données () et remplis le tableau approprié.
- Note : Tu auras besoin des équations qui suivent pour remplir les tableaux :

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_{\text{finale}} - \vec{v}_{\text{initiale}} \quad \text{et} \quad \Delta \vec{p} = \vec{p}_{\text{finale}} - \vec{p}_{\text{initiale}}$$

Collision 1							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{\text{initiale}}$ (m/s)	$\vec{v}_{\text{finale}}$ (m/s)	$\Delta\vec{v}$ (m/s)	$\vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	$\Delta\vec{p}$ (kg·m/s)
Bleu							
Vert							

Collision 2							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{\text{initiale}}$ (m/s)	$\vec{v}_{\text{finale}}$ (m/s)	$\Delta\vec{v}$ (m/s)	$\vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	$\Delta\vec{p}$ (kg·m/s)
Bleu							
Vert							

Collision 3							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{\text{initiale}}$ (m/s)	$\vec{v}_{\text{finale}}$ (m/s)	$\Delta\vec{v}$ (m/s)	$\vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	$\Delta\vec{p}$ (kg·m/s)
Bleu							
Vert							

Collision 4							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{\text{initiale}}$ (m/s)	$\vec{v}_{\text{finale}}$ (m/s)	$\Delta\vec{v}$ (m/s)	$\vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	$\Delta\vec{p}$ (kg·m/s)
Bleu							
Vert							

Collision 5							
Objet	Masse (kg)	$\vec{v}_{\text{initiale}}$ (m/s)	$\vec{v}_{\text{finale}}$ (m/s)	$\Delta\vec{v}$ (m/s)	$\vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	$\vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	$\Delta\vec{p}$ (kg·m/s)
Bleu							
Vert							

### Exercice 6

Maintenant, examine l'information que tu as enregistrée et calculée à la question précédente. Peux-tu dégager une relation intéressante entre ce qui est arrivé à la masse bleue et à la masse verte?

- Existe-t-il une relation entre la variation de la vitesse de la masse bleue et de celle de la masse verte? Si oui, décris la relation.
  
- Existe-t-il une relation entre la variation de la quantité de mouvement de la masse bleue et de celle de la masse verte? Si oui, décris la relation.

Tu devrais voir un lien intéressant entre la variation de la quantité de mouvement de chaque masse : les variations de quantité de mouvement devraient être égales, mais de sens opposé. Par exemple, si la quantité de mouvement de la masse bleue a augmenté, celle de la masse verte a diminué de la même quantité. Ce lien nous mène à un concept important concernant la quantité de mouvement et ce qui arrive à la quantité de mouvement totale d'un système lors d'une collision. Examinons cette notion de façon un peu plus approfondie.

### Exercice 7

Si la variation de la quantité de mouvement d'un objet est exactement égale à la variation de la quantité de mouvement d'un autre objet, mais de sens opposé, que cela indique-t-il au sujet de la quantité de mouvement totale du système?

### Exercice 8

Si la quantité de mouvement totale d'un système avant une collision est égale à la quantité de mouvement totale d'un système après une collision, alors nous disons qu'il y a **conservation de la quantité de mouvement**. Pour les cinq collisions que tu as exécutées à l'exercice 5, vérifie que la quantité de mouvement totale initiale est égale à la quantité de mouvement totale finale.

$$\begin{aligned}\text{Note : } \sum \vec{p}_{\text{initiale}} &= \vec{p}_{\text{initiale balle verte}} + \vec{p}_{\text{initiale balle bleue}} \\ \sum \vec{p}_{\text{finale}} &= \vec{p}_{\text{finale balle verte}} + \vec{p}_{\text{finale balle bleue}}\end{aligned}$$

N° de la collision	Quantité de mouvement totale initiale $\Sigma \vec{p}_{\text{initiale}}$ (kg·m/s)	Quantité de mouvement totale finale $\Sigma \vec{p}_{\text{finale}}$ (kg·m/s)	Y a-t-il conservation de la quantité de mouvement? $\Sigma \vec{p}_{\text{initiale}} = \Sigma \vec{p}_{\text{finale}}$
1			
2			
3			
4			
5			

### Exercice 9

Tu as découvert que, dans un système fermé et isolé, la variation de la quantité de mouvement d'un objet est égale et opposée à la variation de la quantité de mouvement d'un autre objet. Tu as également vu qu'il y a conservation de la quantité de mouvement totale d'un système fermé et isolé dans une collision. Maintenant, partant de ta découverte que la variation de la quantité de mouvement d'un objet est égale et opposée à celle d'un autre, établis l'expression algébrique de la conservation de la quantité de mouvement.

$$m_1 = 5,0 \text{ kg}$$

$$m_2 = 10,0 \text{ kg}$$

$$v_{1i} = 8,0 \text{ m/s}$$

$$v_{2i} = 0 \text{ m/s}$$

$$v_{1f} = v_f = ?$$

$$v_{2f} = v_f = ?$$

Tu viens de découvrir l'une des lois les plus importantes de la physique, à savoir la loi de la conservation de la quantité de mouvement. Elle régit toutes les interactions physiques et est considérée comme l'une des lois fondamentales de la physique. On a appliqué la loi de la conservation de la quantité de mouvement pour étudier et analyser toutes les formes d'interaction, du monde subatomique des électrons, des protons et même d'objets plus petits, jusqu'au monde astronomique des planètes, des étoiles et des galaxies. Cette loi contrôle l'univers en maintenant fixe la quantité totale de mouvement dans l'univers. Autrement dit, si un corps ralentit et s'arrête de bouger, un autre corps doit accélérer et commencer à se déplacer. Visionne le clip suivant qui décrit

comment la connaissance des lignes droites a mené René Descartes à cette conclusion.

Clip (2:10) : [La loi de la conservation de la quantité de mouvement.](#)

### **Loi de la conservation de la quantité de mouvement**

Dans tout système fermé et isolé, la quantité totale de mouvement ne varie jamais. Lors d'une collision, il y a conservation de la quantité de mouvement – la quantité totale de mouvement avant la collision est égale à la quantité totale de mouvement après la collision.

Sous forme d'équation, elle s'exprime :

$$\sum \vec{p}_{\text{initiale}} = \sum \vec{p}_{\text{finale}} \quad (2)$$

Lors d'une collision, il y a conservation de la quantité totale de mouvement à condition qu'aucune force extérieure n'agisse sur le système. Il existe toutefois deux **types** distincts de collisions :

1. dans une collision **élastique**, les objets rebondissent l'un sur l'autre et il y a conservation de l'énergie cinétique totale du système;
2. dans une collision entièrement **inélastique**, les objets restent collés au moment de l'impact et se déplacent comme une entité unique après la collision. Dans ce cas, l'énergie cinétique totale N'EST PAS conservée.

### **Analyse des collisions**

À la section précédente, tu as découvert qu'il y a conservation de la quantité de mouvement totale d'un système, à condition qu'aucune force extérieure n'agisse sur ce dernier. Nous allons utiliser la loi de conservation de la quantité de mouvement pour analyser diverses collisions. Pour résoudre des questions à plusieurs étapes, il est utile d'adopter une méthode en quatre étapes :

<b>Prévision</b>	Assure-toi de bien comprendre la question grâce à un diagramme et prévois ce qui, à ton avis, va se passer.
<b>Élaboration</b>	Énumère toutes les données connues et inconnues et détermine quelles lois ou équations il convient d'utiliser. Manipule les équations et établis une expression pour l'inconnue.

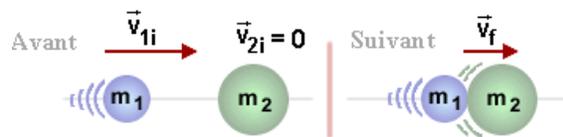
<b>Résolution</b>	Introduis les valeurs connues dans l'équation et calcule l'inconnue.
<b>Vérification</b>	Réfléchis à ta réponse. Est-elle logique? Dans la mesure du possible, vérifie ta réponse à l'aide de l'applet.

### Exemple de collision inélastique :

Une masse de 2,0 kg, qui se déplace vers la droite à la vitesse de 2,97 m/s entre inélastiquement en collision avec une masse de 10,0 kg au repos. Si les objets restent collés, quelle est la vitesse du système après la collision?

Au départ,  $m_1$  se déplace vers la droite et  $m_2$  est au repos. Après la collision, les objets restent collés et se déplacent comme une grosse masse unique ( $m_1 + m_2$ ). Puisque la quantité de mouvement totale initiale est dirigée vers la droite, la quantité de mouvement totale finale doit également être dirigée vers la droite. Puisque les objets sont collés, ils se déplacent tous les deux vers la droite.

#### Prévision :



#### Élaboration :

Le mouvement vers la droite est positif. L'information inconnue est la vitesse finale du système,  $\vec{v}_{\text{finale}}$ .

$$\begin{array}{ll}
 m_1 = 2,0 \text{ kg} & m_2 = 10,0 \text{ kg} \\
 v_{1i} = 3,0 \text{ m/s} & v_{2i} = 0 \text{ m/s} \\
 v_{1f} = v_f = ? & v_{2f} = v_f = ?
 \end{array}$$

Utilise la loi de conservation de la quantité de mouvement pour résoudre cette question.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{p}_{\text{initiale}} &= \mathbf{p}_{\text{finale}} \\
 m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} &= m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \\
 m_1 v_{1i} &= m_1 v_f + m_2 v_f \\
 m_1 v_{1i} &= v_f (m_1 + m_2) \\
 v_f &= \frac{m_1 v_{1i}}{(m_1 + m_2)}
 \end{aligned}$$

Substitue les valeurs connues et calcule  $\vec{v}_{\text{finale}}$  :

#### Résolution :

$$v_f = \frac{m_1 v_{1i}}{(m_1 + m_2)} = \frac{(2,0 \text{ kg})(3,0 \text{ m/s})}{(2,0 \text{ kg} + 10,0 \text{ kg})} = 0,50 \text{ m/s}$$

Après la collision, le système se déplace vers la droite à 0,50 m/s.

Nous avons prédit que le système se déplacerait vers la droite et notre réponse concorde avec notre prévision. Tu peux également exécuter ce

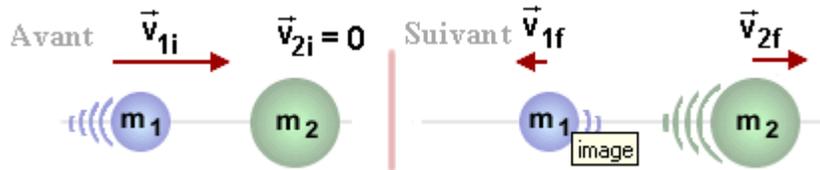
**Vérification** : scénario dans l'applet pour vérifier ta réponse (pour rendre la collision inélastique, règle l'élasticité ( $e$ ) à zéro).

### Exemple de collision élastique :

Une masse de 4,0 kg ( $m_1$ ) qui se déplace vers la droite à la vitesse de 8,0 m/s entre élastiquement en collision avec une masse de 9,0 kg ( $m_2$ ) qui est au repos. Après la collision, la masse de 4,0 kg se déplace vers la gauche à la vitesse de 0,86 m/s. Quelle est la vitesse de la masse de 9,0 kg après la collision?

Avant la collision,  $m_1$  se déplace vers la droite et  $m_2$  est au repos. Après la collision, les objets rebondissent et s'écartent l'un de l'autre,  $m_1$  se déplaçant vers la gauche et  $m_2$ , vers la droite.

**Planification** :



**Élaboration** :

Le mouvement vers la droite est positif et le mouvement vers la gauche est négatif. L'information inconnue est la vitesse finale de  $m_2$  :

$$\begin{array}{ll}
 m_1 = 4,0 \text{ kg} & m_2 = 9,0 \text{ kg} \\
 \vec{v}_{1i} = +8,0 \text{ m/s} & \vec{v}_{2i} = 0 \text{ m/s} \\
 \vec{v}_{1f} = -0,86 \text{ m/s} & \vec{v}_{2f} = ?
 \end{array}$$

Utilise la loi de conservation de la quantité de mouvement pour résoudre cette question.

$$\begin{aligned}
 \vec{p}_{\text{initiale}} &= \vec{p}_{\text{finale}} \\
 m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} &= m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} \\
 m_1 \vec{v}_{1i} &= m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} \\
 m_2 \vec{v}_{2f} &= m_1 \vec{v}_{1i} - m_1 \vec{v}_{1f} \\
 \vec{v}_{2f} &= \frac{m_1 \vec{v}_{1i} - m_1 \vec{v}_{1f}}{m_2}
 \end{aligned}$$

**Résolution** :

Substitue les valeurs connues et calcule  $\vec{v}_{2f}$  :

$$\vec{v}_{2f} = \frac{m_1 \vec{v}_{1i} - m_1 \vec{v}_{1f}}{m_2}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{(4,0 \text{ kg})(+8,0 \text{ m/s}) - (4,0 \text{ kg})(-0,86 \text{ m/s})}{9,0 \text{ kg}} = + 3,94 \text{ m/s}$$

Après la collision,  $m_2$  se déplace vers la droite à la vitesse de 3,94 m/s. Nous avons prédit que  $m_2$  se déplacerait vers la droite et notre réponse concorde avec notre prévision. Tu peux également exécuter ce scénario dans l'applet pour

**Vérification :** vérifier ta réponse (règle l'élasticité (e) à 0,6).

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

#### Exercice 10

Un objet de 5,0 kg se déplace vers la droite à la vitesse de 10,0 m/s. Il entre en collision avec un objet de 7,0 kg initialement au repos. Après la collision, l'objet de 5,0 kg continue de se déplacer vers la droite, mais maintenant à la vitesse de 1,17 m/s. Dans quelle direction et à quelle vitesse l'autre objet se déplace-t-il?

#### Exercice 11

Un objet de 10,0 kg a subi une collision entièrement inélastique avec un objet de 2,0 kg qui était initialement au repos. Après la collision, le système se déplace vers la droite à la vitesse de 2,56 m/s. Quelle était la vitesse initiale de l'objet de 10,0 kg?

**Exercice 12**

L'objet A, dont la masse est de 2,0 kg, se déplace vers la droite à la vitesse de 15,0 m/s. L'objet B, dont la masse est de 12,5 kg, se déplace vers la gauche, également à la vitesse de 15,0 m/s. Si les deux objets restent collés au moment de l'impact, quelle est la vitesse finale du système?

**Exercice 13**

Si tu tires avec une arme, celle-ci « recule ».

a) En te servant de la loi de conservation de la quantité de mouvement, explique pourquoi l'arme recule lorsque tu tires.

b) Si une balle de 30 g est tirée au moyen d'une arme de 7,5 kg à une vitesse de +300 m/s, quelle est la vitesse de recul de l'arme?

**Exercice 14**

Un pétard de 250 g explose en deux morceaux. Le premier a une masse de 97 g et vole vers la droite à la vitesse de 16 m/s. Quelle est la vitesse du deuxième morceau?

### Exercice 15

Les collisions qui suivent sont-elles possibles? Pourquoi?

- a) Un objet qui se déplace initialement vers la droite subit une collision inélastique avec un autre objet qui est au repos. Après la collision, le système se déplace vers la gauche.
  
- b) Un objet, A, qui se déplace initialement vers la droite, entre en collision avec un autre objet, B, qui est au repos. Après la collision, A revient vers la gauche et B reste au repos.
  
- c) Un objet, A, qui se déplace initialement vers la droite, entre en collision avec un autre objet, B, qui est au repos. L'objet B est plus massif que l'objet A. Après la collision, A revient vers la gauche et B se déplace vers la droite.
  
- d) Un objet se déplace vers la droite et entre en collision avec un autre objet qui est au repos. Après la collision, les deux objets se déplacent vers la droite, mais à des vitesses différentes.

### Résumé

Dans cette leçon, tu as étudié la quantité de mouvement d'un système fermé et isolé lors d'une collision. Tu as découvert l'une des lois fondamentales qui régissent les processus physiques : la loi de la conservation de la quantité de mouvement. En résumé :

- La quantité de mouvement est « une masse en mouvement » ou une mesure de l'élan que possède un objet. Sous forme d'équation, elle s'exprime :

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- Dans une collision entre deux objets, la variation de la quantité de mouvement de l'objet est égale et opposée à la variation de la quantité de mouvement de l'autre objet. Sous forme d'équation, elle s'exprime :

$$m_1 = 5,0 \text{ kg} \qquad m_2 = 10,0 \text{ kg}$$

$$v_{1i} = 8,0 \text{ m/s} \qquad v_{2i} = 0 \text{ m/s}$$

$$v_{1f} = v_f = ? \qquad v_{2f} = v_f = ?$$

- La quantité totale de mouvement d'un système est conservée durant une collision. La loi de conservation de la quantité de mouvement énonce que la quantité de mouvement totale d'un système avant une collision est égale à la quantité de mouvement totale dans le même système après une collision. Sous forme d'équation, elle s'exprime :

$$\sum \vec{p}_{\text{initiale}} = \sum \vec{p}_{\text{finale}}$$

- En général, il existe deux **types** de collisions :
  1. Dans une collision **élastique**, les objets rebondissent l'un sur l'autre et il y a conservation de l'énergie cinétique totale du système.
  2. Dans une collision complètement **inélastique**, les objets sont collés au moment de l'impact et se déplacent comme une entité unique après la collision. Dans ce cas, il N'Y A PAS conservation de l'énergie cinétique totale.
  
- Nous pouvons analyser les collisions élastiques et inélastiques, et déterminer les vitesses initiales ou prédire les vitesses finales en appliquant la loi de la conservation de la quantité de mouvement.