

## LES COLLISIONS FRONTALES ENTRE DEUX VÉHICULES

Quel est le rôle de la masse dans un choc frontal entre deux voitures ? Quel est le rôle de la vitesse ? Quelle est la force délivrée par chacun des deux véhicules ?

Voici quelques éléments de réponses pour mieux comprendre la manière dont se déroulent les collisions.

**Préambule** : les collisions s'étudient à partir de la *quantité de mouvement linéaire*<sup>(1)</sup>. Cette grandeur physique spécifique est le produit de la masse par la vitesse, elle s'exprime en *kilogramme-mètre par seconde* (symbole **kg.m.s<sup>-1</sup>**). Les quantités de mouvement se retranchent en cas de choc frontal, elles s'additionnent en cas de choc avant-arrière.

Les quantités de mouvement permettent de calculer la *vitesse résiduelle*, c'est-à-dire la vitesse juste après la collision. Cette vitesse est identique pour les deux véhicules si on considère que ceux-ci se sont fondus l'un dans l'autre pour ne plus former qu'une seule masse<sup>(2)</sup>.

La comparaison entre la vitesse résiduelle et la vitesse initiale permet ensuite de calculer la *variation de vitesse* propre à chacun des deux véhicules.

La variation de vitesse combinée à la durée de la collision permet de calculer la *décélération* de chacun des deux véhicules en cas de choc frontal, ou l'*accélération* du véhicule percuté à l'arrière en cas de choc avant-arrière. Cette grandeur renseigne sur la violence de la collision et permet d'en évaluer les conséquences pour les passagers.

La durée de la collision se définit comme le temps durant lequel les carrosseries se déforment, cette durée étant évidemment identique pour chacun des deux véhicules impliqués. La durée de la collision dépend de nombreux paramètres tels que la structure du véhicule, sa vitesse ou la nature de l'obstacle. Grandeur naturellement impossible à mesurer directement, on peut l'estimer à partir de données recueillies lors de crash-tests. Ici, la valeur retenue pour les calculs est 0,1 seconde.

Enfin, en combinant la masse et la décélération, il est possible de calculer la *force* qui s'est exercée sur le véhicule durant la collision. Remarque : cette force est toujours d'une intensité égale pour chacun des deux véhicules impliqués, c'est une vérification concrète du *principe de réciprocité* d'Isaac Newton<sup>(3)</sup>.

Profitions de cette occasion pour rappeler que, quelles que soient les circonstances, le poids et la masse des véhicules, passagers ou bagages impliqués dans une collision restent toujours des grandeurs constantes et invariables.

Afin d'estimer les éventuelles conséquences des collisions frontales sur les passagers, rappelons ces valeurs généralement admises<sup>(4)</sup> :

- jusqu'à  $100 \text{ m.s}^{-2}$ , la décélération est supportable pour des passagers jeunes, en bonne santé et ceinturés.

- à partir de  $150 \text{ m.s}^{-2}$ , risque de lésions au visage et aux membres, avec un fort risque d'hémorragie interne.

- au-delà de  $200 \text{ m.s}^{-2}$ , aucune possibilité de survie.

Dernière précision : le mécanisme des collisions est indépendant du phénomène de gravitation. Autrement dit, toutes conditions égales par ailleurs, une collision sur la Lune se déroulerait de la même manière et produirait les mêmes effets que sur la Terre.

Le mécanisme des collisions frontales est ici résumé à partir de sept hypothèses. Les lecteurs intéressés par le mécanisme des collisions transversales se reporteront au "GUIDE DES LOIS PHYSIQUES DE L'AUTOMOBILE".

**1<sup>ère</sup> hypothèse : deux voitures identiques de masse 1 500 kilogrammes circulant à  $50 \text{ km.h}^{-1}$  se percutent de face.**

a) vitesse résiduelle :  $0 \text{ km.h}^{-1}$

b) variation de vitesse :  $50 \text{ km.h}^{-1}$

c) décélération :

Cette valeur est identique pour chacune des 2 voitures :  $140 \text{ m.s}^{-2}$

d) forces exercées :  $2 \times 210\,000 \text{ N}$

Bilan :

Contrairement à une idée reçue, les vitesses initiales ne s'additionnent pas.

L'intensité de la décélération est fonction de la vitesse initiale.

**2<sup>ème</sup> hypothèse : deux voitures identiques de masse 1 500 kilogrammes se percutent de face, l'une circulant à 70 km.h<sup>-1</sup>, l'autre circulant à 50 km.h<sup>-1</sup>.**

a) vitesse résiduelle : 10 km.h<sup>-1</sup> dans le sens de circulation de la voiture la plus rapide.

b) variations de vitesse :

La vitesse de la première voiture passe de + 70 km.h<sup>-1</sup> à + 10 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 60 km.h<sup>-1</sup>), celle de la deuxième voiture passe de + 50 km.h<sup>-1</sup> à - 10 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 60 km.h<sup>-1</sup>).

c) décélération :

Cette valeur est identique pour chacune des 2 voitures : 167 m.s<sup>-2</sup>

d) forces exercées : 2 x 250 000 N

Bilan :

Deux véhicules de même masse subissent des variations de vitesse et une décélération identiques, que leurs vitesses initiales soient égales ou pas, ce qui démontre *a contrario* que la différence de masse est un facteur d'inégalité des collisions.

L'intensité de la décélération est fonction de la vitesse initiale la plus élevée.

**3<sup>ème</sup> hypothèse : un camion de masse 3 000 kilogrammes percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes, les deux véhicules circulant à 50 km.h<sup>-1</sup>.**

a) vitesse résiduelle : 17 km.h<sup>-1</sup> dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 50 km.h<sup>-1</sup> à + 17 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 33 km.h<sup>-1</sup>), celle de la voiture passe de + 50 km.h<sup>-1</sup> à - 17 km.h<sup>-1</sup> (variation de 67 km.h<sup>-1</sup>).

c) décélérations :

- \* camion :  $93 \text{ m.s}^{-2}$
- \* voiture :  $186 \text{ m.s}^{-2}$

d) forces exercées :  $2 \times 280\,000 \text{ N}$

Bilan :

La différence de masse détermine l'intensité des décélérations au détriment de la voiture la plus légère.

**4<sup>ème</sup> hypothèse : un camion de masse 3 000 kilogrammes circulant à  $70 \text{ km.h}^{-1}$  percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à  $50 \text{ km.h}^{-1}$ .**

a) vitesse résiduelle :  $30 \text{ km.h}^{-1}$  dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de  $+70 \text{ km.h}^{-1}$  à  $+30 \text{ km.h}^{-1}$  (variation de vitesse de  $40 \text{ km.h}^{-1}$ ), celle de la voiture passe de  $+50 \text{ km.h}^{-1}$  à  $-30 \text{ km.h}^{-1}$  (variation de vitesse de  $80 \text{ km.h}^{-1}$ ).

c) décélérations :

- \* camion :  $111 \text{ m.s}^{-2}$
- \* voiture :  $222 \text{ m.s}^{-2}$

d) forces exercées :  $2 \times 330\,000 \text{ N}$

Bilan :

La différence de masse conditionne à la fois le rapport des décélérations et leurs intensités, au détriment de la voiture la plus légère.

**5<sup>ème</sup> hypothèse : un camion de masse 40 tonnes (40 000 kilogrammes) circulant à 60 km.h<sup>-1</sup> percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à 80 km.h<sup>-1</sup>.**

a) vitesse résiduelle : 55 km.h<sup>-1</sup> dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 60 km.h<sup>-1</sup> à + 55 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 5 km.h<sup>-1</sup>), celle de la voiture passe de + 80 km.h<sup>-1</sup> à - 55 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 135 km.h<sup>-1</sup>).

c) décélérations :

\* camion : 14 m.s<sup>-2</sup>

\* voiture : 375 m.s<sup>-2</sup>

d) forces exercées : 2 x 560 000 N

**6<sup>ème</sup> hypothèse : un camion de masse 40 tonnes (40 000 kilogrammes) circulant à 60 km.h<sup>-1</sup> est percuté à l'arrière par une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à 80 km.h<sup>-1</sup>.**

a) vitesse résiduelle : 61 km.h<sup>-1</sup>

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 60 km.h<sup>-1</sup> à + 61 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 1 km.h<sup>-1</sup>), celle de la voiture passe de + 80 km.h<sup>-1</sup> à + 61 km.h<sup>-1</sup> (variation de 19 km.h<sup>-1</sup>).

c) accélération ou décélération :

\* camion : accélération 2 m.s<sup>-2</sup>

\* voiture : décélération 53 m.s<sup>-2</sup>

d) forces exercées : 2 x 80 000 N

**7<sup>ème</sup> hypothèse : un camion de masse 3 000 kilogramme circulant à 50 km.h<sup>-1</sup> percute une voiture de masse 1 500 kilogrammes à l'arrêt.**

a) vitesse résiduelle : 34 km.h<sup>-1</sup>

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de 50 km.h<sup>-1</sup> à 34 km.h<sup>-1</sup> (variation de 16 km.h<sup>-1</sup>), celle de la voiture passe de 0 à 34 km.h<sup>-1</sup> (variation de vitesse de 34 km.h<sup>-1</sup>).

c) accélération ou décélération :

\* camion : décélération 47 m.s<sup>-2</sup>

\* voiture : accélération 94 m.s<sup>-2</sup>

d) forces exercées : 2 x 140 000 N

Bilan :

Quelle que soit la configuration du choc (frontal, latéral ou arrière), la différence de masse conditionne l'intensité de la décélération subie par chacun des deux véhicules, au détriment du véhicule le plus léger.

### **Conclusion**

Quel que soit le type de collision, le rapport des décélérations subies par deux véhicules reste toujours strictement égal au rapport de leurs masses.

Autrement dit : le véhicule le plus lourd dicte toujours sa loi au plus léger.

Par ailleurs, l'intensité des décélérations est toujours fonction de la vitesse initiale ou, dans le cas de deux véhicules ayant des vitesses initiales inégales, de la vitesse initiale la plus élevée.

Autrement dit : la vitesse est toujours un facteur aggravant.

## **Notes et remarques**

(1) *Attention à ne pas confondre l'énergie cinétique et la quantité de mouvement. L'énergie cinétique, qu'elle soit de translation ou de rotation, est une grandeur scalaire qu'on ne peut représenter que par un nombre. La quantité de mouvement, qu'elle soit linéaire ou rotatif, est une grandeur vectorielle caractérisée par une orientation spatiale. Autrement dit, on peut la représenter par une flèche indiquant une direction. Dans les ouvrages scientifiques classiques, la quantité de mouvement rotatif est appelée moment cinétique (voir dossier ADILCA "lois physiques deux-roues") et toute grandeur vectorielle est signalée par une flèche horizontale placée au-dessus du symbole.*

(2) *Une collision de ce type, qualifiée parfois de molle ou inélastique, se caractérise par une déformation des tôles et de la structure, autrement dit par un travail qui correspond à la variation d'énergie cinétique de la voiture. En l'absence de déformation, une collision est dite dure ou élastique, elle se caractérise par un rebond et obéit à d'autres lois.*

(3) *Troisième principe de Newton ou principe de réciprocité : "Toute force qui s'exerce sur un corps entraîne une action réciproque d'égale intensité mais de sens opposé." Attention à une confusion fréquente : deux forces d'égale intensité n'entraînent pas pour autant deux effets identiques, puisque, selon le deuxième principe de Newton, la décélération subie par chacun des deux véhicules est inversement proportionnelle à sa masse. Voir d'autres applications de ce principe dans les dossiers ADILCA consacrés aux différentes forces.*

(4) *Les valeurs indiquées ici sont des décélérations moyennes et non des décélérations maximales. Par ailleurs, en cas de collision frontale, les occupants d'une voiture subissent en principe une décélération inférieure à celle de la voiture, à condition de pouvoir bénéficier de la déformation de la structure (tôles, compartiment moteur ou coffre), et d'être ceinturés.*

**ASSOCIATION ADILCA**

[www.adilca.com](http://www.adilca.com)

\* \* \*

## RELATIONS ENTRE GRANDEURS

### Quantité de mouvement linéaire :

$$Q = M \cdot V$$

**Q** : quantité de mouvement, exprimée en **kg.m.s<sup>-1</sup>**

**M** : masse, exprimée en **kg**

**V** : vitesse, exprimée en **m.s<sup>-1</sup>**

cohérence des unités :  $Q = \text{kg}^{+1} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{s}^{-1} = \text{kg.m.s}^{-1}$

Exemple : calculons la quantité de mouvement d'une voiture de masse 1 500 kg circulant à la vitesse de 20 m.s<sup>-1</sup> (72 km.h<sup>-1</sup>) :

$$Q = 1\,500 \times 20 = 30\,000 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

### Vitesse résiduelle après une collision frontale :

$$V = (Q1 - Q2) / (M1 + M2)$$

**V** : vitesse résiduelle, exprimée en **m.s<sup>-1</sup>**

**Q1** : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **kg.m.s<sup>-1</sup>**

**Q2** : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **kg.m.s<sup>-1</sup>**

**M1** : masse du véhicule 1, exprimée en **kg**

**M2** : masse du véhicule 2, exprimée en **kg**

cohérence des unités :  $V = \text{kg}^{+1} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m.s}^{-1}$

Exemple : calculons la vitesse résiduelle après une collision frontale de deux voitures, l'une de masse 1 500 kg circulant à 20 m.s<sup>-1</sup>, l'autre de masse 1 000 kg circulant à 15 m.s<sup>-1</sup> :

$$V = (30\,000 - 15\,000) / (1\,500 + 1\,000) = 15\,000 / 2\,500 = 6 \text{ m.s}^{-1}$$

### Vitesse résiduelle après une collision de deux véhicules circulant dans le même sens :

$$V = (Q1 + Q2) / (M1 + M2)$$

**V** : vitesse résiduelle, exprimée en **m.s<sup>-1</sup>**

**Q1** : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **kg.m.s<sup>-1</sup>**

**Q2** : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **kg.m.s<sup>-1</sup>**

**M1** : masse du véhicule 1, exprimée en **kg**

**M2** : masse du véhicule 2, exprimée en **kg**

cohérence des unités :  $V = \text{kg}^{+1} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m.s}^{-1}$

Exemple : calculons la vitesse résiduelle après une collision de deux voitures circulant dans le même sens, l'une de masse 1 000 kg circulant à 15 m.s<sup>-1</sup>, percutée à l'arrière par l'autre de masse 1 500 kg circulant à 20 m.s<sup>-1</sup> :

$$V = (15\,000 + 30\,000) / (1\,000 + 1\,500) = 45\,000 / 2\,500 = 18 \text{ m.s}^{-1}$$

### Décélération :

$$Y = \Delta V / T$$

**Y** : décélération, exprimée en **m.s<sup>-2</sup>**

**ΔV** : variation de vitesse, exprimée en **m.s<sup>-1</sup>**

**T** : durée de la collision, exprimée en **s**

cohérence des unités : **Y** = m.s<sup>-1</sup> . s<sup>-1</sup> = **m.s<sup>-2</sup>**

Exemple : calculons la décélération d'une voiture ayant subi une variation de vitesse de 2 m.s<sup>-1</sup> dans une collision de durée 0,1 s :

$$Y = 2 / 0,1 = 20 \text{ m.s}^{-2}$$

### Force :

$$F = M . Y$$

**F** : force, exprimée en **N**

**M** : masse, exprimée en **kg**

**Y** : décélération, exprimée en **m.s<sup>-2</sup>**

cohérence des unités : **F** = kg . m.s<sup>-2</sup> = **kg.m.s<sup>-2</sup> = N**

Exemple : calculons la force qui s'est exercée sur une voiture de masse 1 500 kg ayant subi une décélération de 20 m.s<sup>-2</sup> :

$$F = 1\,500 \times 20 = 30\,000 \text{ N}$$

Une force de même intensité s'est exercée sur la voiture percutée.

**ASSOCIATION ADILCA**

[www.adilca.com](http://www.adilca.com)

\* \* \*