

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*⁽¹⁾. 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⁻¹**). 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⁽²⁾.

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 d'*action-réaction* d'Isaac Newton⁽³⁾.

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 de ces collisions sur les passagers, rappelons ces valeurs généralement admises⁽⁴⁾ :

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

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

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

Dernière précision : le mécanisme des collisions est indépendant du référentiel considéré. 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 huit hypothèses. Les lecteurs intéressés par le mécanisme des collisions transversales se reporteront au "GUIDE DES LOIS PHYSIQUES DE L'AUTOMOBILE".

1^{ère} hypothèse : deux voitures identiques de masse 1300 kilogrammes circulant à 50 km.h^{-1} se heurtent de face et de plein fouet.

a) vitesse résiduelle : 0 km.h^{-1}

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

c) décélération :

Cette valeur est identique pour chacune des 2 voitures : 139 m.s^{-2}

d) forces exercées : $2 \times 181\,000 \text{ N}$

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^{ème} hypothèse : une voiture de masse 1300 kilogrammes est heurtée de face et de plein fouet par un 4x4 de masse 2600 kilogrammes, les deux voitures circulant à 50 km.h⁻¹.

a) vitesse résiduelle : 17 km.h⁻¹ dans le sens de circulation du 4x4.

b) variations de vitesse :

La vitesse du 4x4 passe de + 50 km.h⁻¹ à + 17 km.h⁻¹, celle de la voiture passe de + 50 km.h⁻¹ à - 17 km.h⁻¹

c) décélérations :

- * 4x4 : 93 m.s⁻²
- * voiture : 185 m.s⁻²

d) forces exercées : 2 x 240 000 N

Bilan :

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

3^{ème} hypothèse : deux voitures identiques de masse 1300 kilogrammes se heurtent de face et de plein fouet, l'une circulant à 50 km.h⁻¹, l'autre circulant à 70 km.h⁻¹.

a) vitesse résiduelle : 10 km.h⁻¹ dans le sens de circulation de la voiture la plus rapide.

b) variations de vitesse :

La vitesse de la première voiture passe de + 50 km.h⁻¹ à - 10 km.h⁻¹, celle de la deuxième voiture passe de + 70 km.h⁻¹ à + 10 km.h⁻¹

c) décélération :

Cette valeur est identique pour chacune des 2 voitures : 167 m.s^{-2}

d) forces exercées : $2 \times 220\,000 \text{ N}$

Bilan :

Deux véhicules de même masse subissent toujours une décélération identique, 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 (dans cet exemple, dommages corporels probables dans les deux voitures).

4^{ème} hypothèse : une voiture de masse 1300 kilogrammes circulant à 50 km.h^{-1} est heurtée de face et de plein fouet par un 4x4 de masse 2600 kilogrammes circulant à 70 km.h^{-1} .

a) vitesse résiduelle : 30 km.h^{-1} dans le sens de circulation du 4x4.

b) variations de vitesse :

La vitesse du 4x4 passe de $+70 \text{ km.h}^{-1}$ à $+30 \text{ km.h}^{-1}$, celle de la voiture passe de $+50 \text{ km.h}^{-1}$ à -30 km.h^{-1}

c) décélérations :

* 4x4 : 111 m.s^{-2}

* voiture : 222 m.s^{-2}

d) forces exercées : $2 \times 290\,000 \text{ N}$

Bilan :

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

La différence de vitesse ne modifie pas le rapport des décélérations.

5^{ème} hypothèse : une voiture de masse 1500 kilogrammes circulant à 90 km.h⁻¹ heurte de face et de plein fouet un camion de masse 40 tonnes (40 000 kilogrammes) circulant à 60 km.h⁻¹.

a) vitesse résiduelle : 55 km.h⁻¹ dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

La vitesse de la voiture passe de + 90 km.h⁻¹ à - 55 km.h⁻¹, celle du camion passe de + 90 km.h⁻¹ à + 55 km.h⁻¹

c) décélérations :

* voiture : 400 m.s⁻²

* camion : 15 m.s⁻²

d) forces exercées : 2 x 600 000 N

6^{ème} hypothèse : un camion de masse 40 tonnes (40 000 kilogrammes) circulant à 60 km.h⁻¹ est heurté à l'arrière par une voiture de masse 1500 kilogrammes circulant à 90 km.h⁻¹.

a) vitesse résiduelle : 61 km.h⁻¹

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 60 km.h⁻¹ à + 61 km.h⁻¹, celle de la voiture passe de + 90 km.h⁻¹ à + 61 km.h⁻¹

c) accélération ou décélération :

* camion : accélération 3 m.s⁻²

* voiture : décélération 80 m.s⁻²

d) forces exercées : 2 x 120 000 N

7^{ème} hypothèse : une voiture de masse 1 200 kg immobilisée est heurtée à l'arrière par une voiture de masse 1 800 kg circulant à 18,4 m.s⁻¹ (66 km.h⁻¹).

a) vitesse résiduelle : 11 m.s⁻¹ (40 km.h⁻¹)

b) variations de vitesse :

La vitesse de la première voiture passe de 0 km.h⁻¹ à + 40 km.h⁻¹, celle de la seconde voiture passe de + 66 km.h⁻¹ à + 40 km.h⁻¹

c) accélération ou décélération :

* première voiture : accélération 110 m.s⁻²

* seconde voiture : décélération 74 m.s⁻²

d) forces exercées : 2 x 132 500 N

8^{ème} hypothèse : une voiture de masse 1 200 kg circulant à 9 m.s⁻¹ (soit 32,4 km.h⁻¹) est heurtée à l'arrière par une voiture de masse 1 800 kg circulant à 26 m.s⁻¹ (soit 93,6 km.h⁻¹).

a) vitesse résiduelle : 19,2 m.s⁻¹ (69 km.h⁻¹)

b) variations de vitesse :

La vitesse de la première voiture passe de + 32,4 km.h⁻¹ à + 69 km.h⁻¹, celle de la seconde voiture passe de + 93,6 km.h⁻¹ à + 69 km.h⁻¹

c) accélération ou décélération :

* première voiture : accélération 102 m.s⁻²

* seconde voiture : décélération 68 m.s⁻²

d) forces exercées : 2 x 122 400 N

Bilan :

Que le choc soit frontal ou pas, la différence de masse conditionne l'intensité des décélérations au détriment du véhicule le plus léger.

Conclusion

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

Autrement dit : la vitesse est toujours un facteur aggravant.

De plus, quels que soient les paramètres et la configuration des collisions, le rapport des décélérations subies par deux véhicules reste toujours exactement égal au rapport de leurs masses.

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

(1) La quantité de mouvement est une grandeur vectorielle avec une orientation spatiale. Autrement dit, on peut la représenter par une flèche (longueur, direction, sens). Ce n'est pas le cas de l'énergie cinétique qui est grandeur scalaire et qu'on ne peut représenter que par un nombre.

(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 d'action-réaction : "Toute force qui s'exerce sur un corps entraîne une réaction d'égale intensité mais de sens opposé." Attention à une erreur 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 à condition d'être ceinturés.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

QUELQUES RELATIONS ENTRE GRANDEURS

Quantité de mouvement linéaire :

$$Q = M \cdot V$$

Q : quantité de mouvement, exprimée en **kg.m.s⁻¹**

M : masse, exprimée en **kg**

V : vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

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

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

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

Vitesse résiduelle après une collision frontale :

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

V : vitesse résiduelle, exprimée en **m.s⁻¹**

Q1 : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **kg.m.s⁻¹**

Q2 : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **kg.m.s⁻¹**

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

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

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

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

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

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⁻¹**

Q1 : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **kg.m.s⁻¹**

Q2 : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **kg.m.s⁻¹**

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

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

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

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⁻¹, l'autre de masse 1 500 kg circulant à 20 m.s⁻¹ :

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

Décélération :

$$Y = \Delta V / T$$

Y : décélération, exprimée en **m.s⁻²**

ΔV : variation de vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

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

cohérence des unités : **Y = m.s⁻¹ . s⁻¹ = m.s⁻²**

Exemple : calculons la décélération d'une voiture ayant subi une variation de vitesse de 15 m.s⁻¹ dans une collision de 0,1 s :

$$Y = 15 / 0,1 = 150 \text{ m.s}^{-2}$$

Force :

$$F = M . Y$$

F : force, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

Y : décélération, exprimée en **m.s⁻²**

cohérence des unités : **F = kg . m.s⁻² = kg.m.s⁻² = N**

Exemple : calculons la force qui s'est exercée sur une voiture de masse 1 000 kg ayant subi une décélération de 150 m.s⁻² :

$$F = 1\,000 \times 150 = 150\,000 \text{ N}$$

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *