LES COLLISIONS

I. LES COLLISIONS, LOIS PHYSIQUES……..2

II. COLLISIONS FRONTALES……3

III. COLLISIONS TRANSVERSALES……10

IV. RELATIONS ENTRE GRANDEURS……11

V. BIBLIOGRAPHIE…….....18

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

I. LES COLLISIONS, LOIS PHYSIQUES

Les collisions s'étudient à partir de la *quantité de mouvement* (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 des deux épaves immédiatement après la collision. Cette vitesse est toujours identique pour les deux véhicules impliqués si on considère que ceux-ci se sont encastrés l'un dans l'autre pour ne plus former qu'une seule masse. La vitesse résiduelle est ensuite ramenée à zéro par frottement des deux épaves sur la chaussée (2).

La comparaison entre la vitesse initiale et la vitesse résiduelle permet de calculer la *variation de vitesse* propre à chacun des deux véhicules. Cette variation de vitesse combinée à la durée de la collision permet de calculer la *décélération* subie par chacun des deux véhicules impliqués (en cas de choc frontal), ou l'*accélération* du véhicule percuté (en cas de choc arrière). Cette grandeur renseigne sur la violence de la collision et permet d'en évaluer les conséquences pour les passagers (3).

La *durée* de la collision se définit comme le laps de temps durant lequel les deux carrosseries entrent en contact et 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, 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 du véhicule et sa décélération, il est possible de calculer la *force* qui s'est exercée sur la carrosserie durant la collision. Il est important de noter que 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 (4).

Dernier calcul possible, l'*énergie cinétique* dissipée dans la collision. Cette grandeur est égale à la somme des énergies cinétiques initiales, de laquelle on a retranché l'énergie cinétique des deux épaves frottant sur la chaussée après la collision.

Remarque 1 : la masse des véhicules impliqués dans une collision reste toujours invariable.

Remarque 2 : le mécanisme des collisions est indépendant du phénomène de gravitation. Autrement dit, toutes conditions égales par ailleurs (masses, vitesses), une collision qui se produirait sur la Lune ou ailleurs, se déroulerait de la même manière et entraînerait les mêmes effets que sur la Terre.

Remarque 3 : le principe de conservation de la quantité de mouvement, souvent mal compris, ne s'applique qu'au *centre des masses* des véhicules impliqués : celui-ci décrit toujours une trajectoire rectiligne d'orientation immuable et conserve toujours la même vitesse, que ce soit avant, pendant ou immédiatement après la collision (vitesse résiduelle). Un principe universel valable quelle que soit la configuration de la collision (5).

II. COLLISIONS FRONTALES

Quel est le rôle de la masse dans un choc frontal entre deux voitures ? Quel est le rôle de la vitesse ? Quelle est la décélération subie par chacun des deux véhicules ? Quelle est la force exercée sur chacun des deux véhicules ? Voici quelques éléments de réponses.

1. Masses et vitesses égales

Exemple : deux voitures identiques de masse 1 500 kilogrammes circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$) se percutent de face.

d) vitesse résiduelle : 0 $km.h^{-1}$

b) variation de vitesse :

Cette valeur est identique pour chacune des 2 voitures : 50 $km.h^{-1}$

c) décélération :

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

d) force subie par chacune des deux voitures :

Cette valeur est identique pour chacune des deux voitures impliquées : 210 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 294 000 J

Bilan :

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

L'intensité de la décélération est fonction de la vitesse initiale. L'énergie cinétique dissipée dans la collision est égale à la somme des énergies cinétiques initiales, mais il s'agit là d'un cas particulier puisque les deux voitures ont des masses égales animées de vitesses initiales égales et opposées.

Dans cet exemple, le centre des masses des deux voitures est resté immobile (vitesse nulle) avant, pendant et après la collision, mais il s'agit là d'un cas particulier.

2. Masses égales et vitesses inégales

Exemple : deux voitures identiques de masse 1 500 kg se percutent de face, la première circulant à 70 $km.h^{-1}$ (19,5 $m.s^{-1}$), la seconde circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$).

a) vitesse résiduelle : 10 $km.h^{-1}$ (2,75 $m.s^{-1}$) dans le sens de circulation de la voiture ayant la vitesse la plus élevée. En vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement, cette vitesse était celle du centre des masses juste avant la collision. La vitesse résiduelle est ensuite ramenée à zéro par frottement des épaves sur la chaussée.

b) variations de vitesse :

La vitesse de la première voiture passe de + 70 $km.h^{-1}$ à + 10 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 60 $km.h^{-1}$), celle de la deuxième voiture passe de + 50 $km.h^{-1}$ à – 10 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 60 $km.h^{-1}$).

c) décélération :

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

d) force subie par chacune des deux voitures :

Cette valeur est identique pour chacune des deux voitures impliquées : 250 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 420 000 J

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.

L'énergie cinétique dissipée dans la collision est égale à la somme des énergies cinétiques initiales, de laquelle on a retranché l'énergie cinétique résiduelle du bloc formé par les deux masses encastrées l'une dans l'autre. L'énergie cinétique résiduelle va ensuite se dissiper par frottement des deux épaves sur la chaussée.

3. Masses inégales et vitesses égales

Exemple : un camion de masse 3 000 kilogrammes percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes, les deux véhicules circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$).

a) vitesse résiduelle : 17 $km.h^{-1}$ (4,7 $m.s^{-1}$) dans le sens de circulation du camion. En vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement, cette vitesse était celle du centre des masses juste avant la collision, elle est ramenée à zéro par frottement.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 50 $km.h^{-1}$ à + 17 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 33 $km.h^{-1}$).

La vitesse de la voiture passe de + 50 $km.h^{-1}$ à – 17 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 67 $km.h^{-1}$).

c) décélérations :

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

d) force subie par chacun des deux véhicules :

Cette valeur est identique pour chacun des deux véhicules impliqués : 279 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 392 000 J

Bilan :

La différence de masse conditionne l'inégalité de la décélération propre à chaque véhicule, au détriment du véhicule le plus léger.

4. Masses et vitesses inégales

Exemple 1 : un camion de masse 3 000 kilogrammes circulant à la vitesse de 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$) percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à 70 $km.h^{-1}$ (19,5 $m.s^{-1}$).

a) vitesse résiduelle : 10 $km.h^{-1}$ (2,8 $m.s^{-1}$) dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

La vitesse de la voiture passe de + 70 $km.h^{-1}$ à – 10 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 80 $km.h^{-1}$), celle du camion passe de + 50 $km.h^{-1}$ à + 10 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 40 $km.h^{-1}$).

c) décélérations :

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

d) force subie par chacun des deux véhicules : 333 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 560 000 J

Exemple 2 : un camion de masse 3 000 kilogrammes circulant à la vitesse de 70 $km.h^{-1}$ (19,5 $m.s^{-1}$) percute de face une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$).

a) vitesse résiduelle : 30 $km.h^{-1}$ (8,3 $m.s^{-1}$) dans le sens de circulation du camion.

b) variations de vitesse :

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

c) décélérations :

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

d) force subie par chacun des deux véhicules : 333 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 560 000 J

Bilan : La comparaison entre ces deux exemples démontre que c'est le total des quantités de mouvement initiales qui conditionne le déroulement d'une collision, et non la manière dont elles sont réparties entre chacun des deux véhicules.

5. Collision par l'arrière

Exemple : un camion de 3 000 kilogrammes circulant à 60 $km.h^{-1}$ (16,7 $m.s^{-1}$) est percuté à l'arrière par une voiture de masse 1 500 kilogrammes circulant à 80 $km.h^{-1}$ (22,2 $m.s^{-1}$).

a) vitesse résiduelle : 67 $km.h^{-1}$ (18,5 $m.s^{-1}$). En vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement, cette vitesse était celle du centre des masses juste avant la collision.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 60 $km.h^{-1}$ à + 67 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 7 $km.h^{-1}$), celle de la voiture passe de + 80 $km.h^{-1}$ à + 67 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 13 $km.h^{-1}$).

c) accélération ou décélération :

* camion : accélération 18 $m.s^{-2}$
* voiture : décélération 37 $m.s^{-2}$

d) force subie par chacun des deux véhicules :

Cette force est identique pour chacun des deux véhicules impliqués : 55 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 18 000 J

Bilan :

On remarque que cette collision a dissipé une quantité d'énergie cinétique relativement faible, ceci étant dû au fait que les deux véhicules circulaient dans le même sens.

Par ailleurs et comme dans toutes les autres configurations, la différence de masse conditionne l'intensité des décélérations subies par chacun des deux véhicules, à l'avantage du véhicule le plus lourd, au détriment du véhicule le plus léger.

6. Collision d'un véhicule à l'arrêt

Exemple : un camion de masse 3 000 kilogrammes circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$) percute une voiture de masse 1 500 kilogrammes à l'arrêt.

a) vitesse résiduelle : 34 $km.h^{-1}$ (9,3 $m.s^{-1}$). En vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement, cette vitesse était celle du centre des masses juste avant la collision, elle est ramenée à zéro par frottement des épaves sur la chaussée.

b) variations de vitesse :

La vitesse du camion passe de + 50 $km.h^{-1}$ à + 34 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 16 $km.h^{-1}$), celle de la voiture passe de 0 à + 34 $km.h^{-1}$ (variation de vitesse de 34 $km.h^{-1}$).

c) accélération ou décélération :

* camion : décélération 47 $m.s^{-2}$
* voiture : accélération 93 $m.s^{-2}$

d) force subie par chacun des deux véhicules : 140 000 N

e) énergie dissipée dans la collision : 100 000 J

7. Conclusion

Quel que soit le type de collision, le rapport des décélérations subies par deux véhicules est 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) *L'énergie cinétique et la quantité de mouvement sont deux grandeurs distinctes. L'énergie cinétique, qu'elle soit de translation ou de rotation, n'a pas d'orientation spatiale, on ne peut donc pas la représenter par un vecteur, mais uniquement par un nombre, c'est ce qu'on appelle une grandeur scalaire. Au contraire, la quantité de mouvement, qu'elle soit de translation ou de rotation, est une grandeur caractérisée par une orientation spatiale. Autrement dit, on peut la représenter par un vecteur, ce qui permet ensuite d'effectuer diverses opérations (Attention : pas d'opération vectorielle possible entre grandeurs de natures différentes). Concrètement, sur un dessin, un vecteur prend la forme d'une flèche avec un point d'application, une orientation et une longueur. Remarque : dans les ouvrages scientifiques classiques, la quantité de mouvement de rotation 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 (au sens physique du terme) qui correspond à la variation d'énergie cinétique de chacun des deux véhicules. 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) *Les valeurs indiquées ci-après sont les décélérations moyennes subies par les véhicules, et non des décélérations maximales, seulement mesurables par des capteurs. Par ailleurs, en cas de choc frontal, les occupants, s'ils sont ceinturés, subissent une décélération inférieure à celle de la voiture, car ils bénéficient de la déformation de la structure avant du véhicule (tôles, compartiment moteur), à laquelle s'ajoute l'étirement de la ceinture de sécurité quand l'avant cesse de se déformer. Afin d'estimer les éventuelles conséquences des collisions sur les passagers, rappelons ces valeurs généralement admises :*

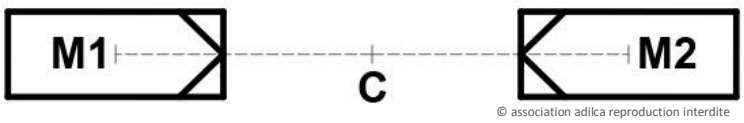
- jusqu'à 100 m.s^{-2}, la décélération du véhicule est supportable sans dommage si les passagers sont jeunes, en bonne santé et ceinturés ;

- à partir de 150 m.s^{-2}, des lésions au visage et aux membres sont possibles, ainsi qu'un risque d'hémorragie interne pour des individus âgés ou en mauvaise santé ;

- au-delà de 200 m.s^{-2}, lésions profondes, hémorragies internes, faible probabilité de survie.

(4) *Troisième principe de Newton ou principe de réciprocité : "*Toute action qui s'exerce sur un corps entraîne une réaction d'égale intensité mais de sens opposé.*" Attention à une confusion fréquente : deux forces d'égale intensité n'entrainent pas pour autant deux effets identiques, puisque, selon le deuxième principe de Newton (relation fondamentale de la dynamique), la décélération subie par chacun des deux véhicules est inversement proportionnelle à sa masse : [**F** = **M . Y**] d'où [**Y** = **F / M**]. C'est pourquoi l'action doit être attribuée au véhicule ayant la quantité de mouvement la plus élevée.*

(5) *Le centre des masses se définit comme le centre d'équilibre de deux masses indépendantes. Synonyme : barycentre.*



Centre des masses **C** de deux voitures en instance de collision.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***

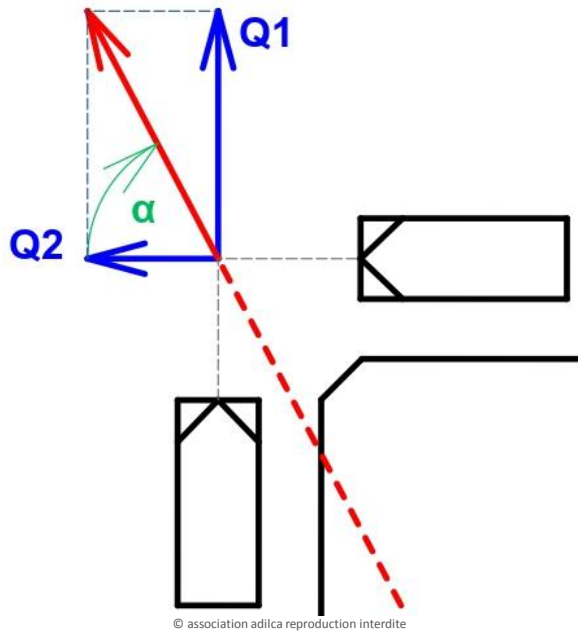
III. COLLISIONS TRANSVERSALES

Une collision transversale impliquant deux véhicules a pour effet de dévier leurs trajectoires initiales.

Dans le cas général, les trajectoires initiales sont perpendiculaires. La trajectoire résultante de la masse unique constituée des deux véhicules est alors égale à la *somme vectorielle* des quantités de mouvement initiales.

L'angle formé par cette résultante est fonction du rapport des quantités de mouvement initiales des deux véhicules impliqués. Cette même relation permet de calculer la vitesse initiale de l'un des deux véhicules impliqués, à condition toutefois de connaître celle du second véhicule impliqué.

Remarque : lorsque les trajectoires initiales ne forment pas un angle droit (suite à une manœuvre d'évitement, par exemple), il suffit de décomposer l'un des deux vecteurs pour le ramener à une perpendiculaire, et procéder ensuite comme dans le cas général.



La flèche rouge représente la résultante de la collision. L'angle α indique son orientation.
Q1 représente la quantité de mouvement du véhicule 1 ;
Q2 représente la quantité de mouvement du véhicule 2 ;
Le rapport Q1 / Q2 est la Tangente de l'angle α (Tangente = côté opposé / côté adjacent).
La ligne rouge pointillée illustre le principe de conservation de la quantité de mouvement.

Tous les autres paramètres de la collision se déduisent ensuite, soit de la somme vectorielle des quantités de mouvement initiales, soit de la mesure de l'angle (relevé sur le terrain) que forme la résultante par rapport aux vecteurs quantité de mouvement des deux véhicules impliqués.

IV. RELATIONS ENTRE GRANDEURS

Quantité de mouvement de translation :

$$Q = M . V$$

Q : quantité de mouvement de translation, exprimée en **kg.m.s^{-1}**
M : masse, exprimée en **kg**
V : vitesse, exprimée en **m.s^{-1}**

cohérence des unités : **Q** = kg^{+1} . m^{+1}.s^{-1} = **kg.m.s^{-1}**

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

Q = 1 500 x 20 = 30 000 **kg.m.s^{-1}**

Vitesse résiduelle d'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** = kg^{+1}.m^{+1}.s^{-1} . kg^{-1} = **m.s^{-1}**

Exemple : calculons la vitesse résiduelle d'une collision frontale entre deux voitures, la première de masse 1 500 kg circulant à 72 km.h^{-1} (20 m.s^{-1}), la seconde de masse 1 000 kg circulant à 54 km.h^{-1} (15 m.s^{-1}) :

V = (30 000 – 15 000) / (1 500 + 1 000) = 15 000 / 2 500 = 6 **m.s^{-1}**

Remarque : conformément au principe général de conservation de la quantité de mouvement, la vitesse résiduelle de la collision était celle est du *centre des masses* juste avant la collision, elle est ensuite ramenée à zéro par frottement des deux épaves sur la chaussée.

Vitesse résiduelle d'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** = $kg^{+1}.m^{+1}.s^{-1} . kg^{-1}$ = **$m.s^{-1}$**

Exemple : calculons la vitesse résiduelle d'une collision entre deux voitures circulant dans le même sens, l'une de masse 1 000 kg circulant à 54 $km.h^{-1}$ (15 $m.s^{-1}$), percutée à l'arrière par l'autre de masse 1 500 kg circulant à 72 $km.h^{-1}$ (20 $m.s^{-1}$) :

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

Remarque : conformément au principe général de conservation de la quantité de mouvement, la vitesse résiduelle de la collision était celle du *centre des masses* juste avant la collision, un principe valable quelle que soit la configuration de la collision.

Décélération :

$$\gamma = \Delta V / T$$

γ : 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 : **γ** = $m.s^{-1} . s^{-1}$ = **$m.s^{-2}$**

Exemple : calculons la décélération d'une voiture ayant subi une variation de vitesse de 2 $m.s^{-1}$ dans une collision d'une durée de 0,1 s :

γ = 2 / 0,1 = 20 **$m.s^{-2}$**

Force :

$$F = M . \gamma$$

F : force, exprimée en **N**
M : masse, exprimée en **kg**
γ : 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 la carrosserie d'une voiture de masse 1 500 kg ayant subi une décélération de 20 $m.s^{-2}$:

F = 1 500 x 20 = 30 000 **N**

Remarque 1 : conformément au principe d'action-réaction, une force de même intensité mais de sens contraire s'est exercée sur la carrosserie de l'autre véhicule.

Remarque 2 : afin de distinguer l'action de la réaction, l'action doit être attribuée au véhicule le plus massique ou, en cas d'égalité, à celui ayant la vitesse la plus élevée, par le fait que ce véhicule est porteur de la plus grande quantité de mouvement. Un paramètre facile à déterminer : il suffit pour cela de relever le sens de déplacement du centre des masses (collision frontale), ou son orientation (collision transversale).

Collision transversale :

Q1 / Q2 = Tangente α

Q1 : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **$kg.m.s^{-1}$**
Q2 : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **$kg.m.s^{-1}$**
α : angle formé par la résultante des quantités de mouvement, exprimé en degrés.

Exemple 1 : calculons l'angle formé par la résultante des quantités de mouvement suite à une collision perpendiculaire entre deux voitures, l'une de masse 1 500 kilogrammes circulant à la vitesse de 54 $km.h^{-1}$ (15 $m.s^{-1}$), l'autre de masse 1 000 kilogrammes circulant à 36 $km.h^{-1}$ (10 $m.s^{-1}$) :

(1 500 x 15) / (1 000 x 10) = Tangente α

22 500 / 10 000 = Tangente α

Tangente α = 2,25

α = 66 **degrés**.

Cet angle doit s'apprécier par rapport à la trajectoire initiale de la voiture ayant la plus faible quantité de mouvement, puisque celle-ci subit la plus forte déviation. Dans cet exemple, la trajectoire initiale de l'autre voiture n'a été déviée que de 24 degrés (90 – 66 = 24 degrés).

Remarque 1 : un angle de 45 degrés signifierait que les quantités de mouvement mises en jeu par chacune des deux voitures étaient strictement égales.

Remarque 2 : conformément au principe général de conservation de la quantité de mouvement, la trajectoire du *centre des masses* est restée parfaitement rectiligne, que ce soit avant, pendant ou après le choc. Un principe valable quelle que soit la configuration de la collision.

Exemple 2 : calculons la vitesse initiale d'une voiture de masse 1 000 kilogrammes percutée à angle droit par un camion de masse 5 000 kilogrammes circulant à 36 $km.h^{-1}$ (10 $m.s^{-1}$), l'angle formé par la résultante des quantités de mouvement étant de 76 degrés :

Tangente 76 = 4

(5 000 x 10) / (1 000 x V) = 4

50 000 / (1 000 x 4) = V

V = 50 000 / 4 000

V = 12,5 **$m.s^{-1}$** = 45 $km.h^{-1}$

Résultante d'une collision transversale :

$$R = (Q1^2 + Q2^2)^{1/2}$$

R : résultante de la collision, exprimée en **$kg.m.s^{-1}$**
Q1 : quantité de mouvement du véhicule 1, exprimée en **$kg.m.s^{-1}$**
Q2 : quantité de mouvement du véhicule 2, exprimée en **$kg.m.s^{-1}$**

cohérence des unités : $\mathbf{R} = [\ (kg.m.s^{-1})^2 + (kg.m.s^{-1})^2\ ]^{1/2} = [\ (kg.m.s^{-1})^2\ ]^{1/2} = \mathbf{kg.m.s^{-1}}$

[*la puissance ½ correspond à une racine carrée*]

Exemple : calculons la résultante d'une collision transversale entre un camion de masse 5 000 kilogrammes circulant à 36 $km.h^{-1}$ (10 $m.s^{-1}$) et une voiture de masse 1 000 kilogrammes circulant à 45 $km.h^{-1}$ (12,5 $m.s^{-1}$) :

$$R = [\ (5\,000 \times 10)^2 + (1\,000 \times 12{,}5)^2\ ]^{1/2}$$

$$R = [\ (50\,000)^2 + (5\,000)^2\ ]^{1/2}$$

$$R = [\ 2\,500\,000\,000 + 25\,000\,000\ ]^{1/2}$$

$$R = [\ 2\,525\,000\,000\ ]^{1/2}$$

R = 50 250 **$kg.m.s^{-1}$**

Vitesse résiduelle d'une collision transversale

$$V = R / (M1 + M2)$$

V : vitesse résiduelle, exprimée en **$m.s^{-1}$**
R : résultante de la collision, 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** = $kg.m.s^{-1} . (kg + kg)^{-1} = kg.m.s^{-1} . kg^{-1} =$ **$m.s^{-1}$**

Exemple : calculons la vitesse résiduelle d'une collision transversale entre un camion de masse 5 000 kilogrammes circulant à 36 $km.h^{-1}$ (10 $m.s^{-1}$) et une voiture de masse 1 000 kilogrammes circulant à 45 $km.h^{-1}$ (12,5 $m.s^{-1}$) :

$$V = 50\ 250 / (5\ 000 + 1\ 000)$$

$$V = 50\ 250 / 6\ 000$$

V = 8,375 **$m.s^{-1}$** = 30 $km.h^{-1}$

Remarque : conformément au principe général de conservation de la quantité de mouvement, la vitesse résiduelle était celle du *centre des masses* juste avant la collision, elle est ensuite ramenée à zéro par frottement des deux épaves sur la chaussée. Un principe valable pour tous types de collisions, que celles-ci soient frontales, transversales ou avant-arrière.

Énergie cinétique dissipée dans une collision frontale

$$E = ½ [(M1 . M2) . (V1 + V2)^2] . (M1 + M2)^{-1}$$

E : énergie dissipée dans la collision, exprimée en **J**
M1 : masse de la première voiture, exprimée en **kg**
M2 : masse de la deuxième voiture, exprimée en **kg**
V1 : vitesse de la première voiture, exprimée en **$m.s^{-1}$**
V2 : vitesse de la deuxième voiture, exprimée en **$m.s^{-1}$**

cohérence des unités : **E** = kg . kg . $m^2.s^{-2} . kg^{-1} = kg.m^2.s^{-2} =$ **J**

Exemple : calculons l'énergie cinétique dissipée dans une collision frontale entre deux voitures identiques de masse 1 500 kilogrammes, l'une circulant à 70 $km.h^{-1}$ (19,5 $m.s^{-1}$), l'autre circulant à 50 $km.h^{-1}$ (14 $m.s^{-1}$).

$$E = ½ (1\ 500 \times 1\ 500) \times (19,5 + 14)^2 / (1\ 500 + 1\ 500)$$

$$E = ½ (2\ 250\ 000) \times (33,5)^2 / (3000)$$

$$E = ½ (2\ 250\ 000 \times 1122{,}25) / (3000)$$

$$E = (2\ 250\ 000 \times 1122{,}25) / (2 \times 3000)$$

$$E = 2\ 525\ 000\ 000 / 6000$$

$$\mathbf{E} = 420\ 000\ \mathbf{J}$$

Cette énergie s'est dissipée grâce à la déformation des deux carrosseries pendant la collision, elle s'est traduite par une élévation de leurs températures respectives.

La part restante de l'énergie cinétique initiale, dite *énergie cinétique résiduelle*, s'est dissipée après la collision, par frottement des deux épaves sur la chaussée. Ce frottement s'est traduit par une élévation de la température des éléments en contact avec la chaussée, et par une élévation de la température de la chaussée elle-même.

Énergie cinétique résiduelle

$$\mathbf{E = ½ (M1 + M2) . V^2}$$

E : énergie cinétique résiduelle, exprimée en **J**
M1 : masse du véhicule 1, exprimée en **kg**
M2 : masse du véhicule 2, exprimée en **kg**
V : vitesse résiduelle, exprimée en **$m.s^{-1}$**

cohérence des unités : $\mathbf{E} = (kg + kg) . (m.s^{-1})^2 = kg . m^2.s^{-2} = \mathbf{J}$

Exemple : calculons l'énergie cinétique résiduelle après une collision transversale entre un camion de masse 5 000 kilogrammes circulant à 36 $km.h^{-1}$ (10 $m.s^{-1}$) et une voiture de masse 1 000 kilogrammes circulant à 45 $km.h^{-1}$ (12,5 $m.s^{-1}$) :

$$E = ½ (5\ 000 + 1\ 000) \times (8{,}375)^2$$

$$E = ½ (6\ 000) \times (70)$$

$$\mathbf{E} = 3\ 000 \times 70 = 210\ 000\ \mathbf{J}$$

Telle est la quantité d'énergie cinétique du bloc unique formé des deux masses qui frottent sur la chaussée après la collision. (Attention rappel : l'énergie cinétique n'est pas une grandeur vectorielle).

Calculons l'énergie cinétique initiale, c'est-à-dire l'énergie cinétique de chacun des deux véhicules juste avant la collision :

$$E \text{ (camion)} = ½ (5\,000) \times (10)^2 = 2\,500 \times 100 = 250\,000 \text{ J}$$

$$E \text{ (voiture)} = ½ (1\,000) \times (12{,}5)^2 = 500 \times 156{,}25 = 78\,125 \text{ J}$$

E (camion + voiture) = 250 000 + 78 125 = 328 125 **J**

Telle est la quantité totale d'énergie cinétique initiale.

La différence entre l'énergie cinétique initiale et l'énergie cinétique résiduelle permet de savoir quelle quantité d'énergie cinétique s'est dissipée dans la collision.

Calculons cette différence :

E = 328 125 – 210 000 = 118 125 **J**

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***

V. BIBLIOGRAPHIE

- ARES (André) et MARCOUX (Jules) : *Physique mécanique*, Éditions LIDEC, Montréal 1983.

- ASSOCIATION ADILCA (ouvrage collectif édité à compte d'auteurs) : *Guide des Lois Physiques de l'Automobile*, Paris 2002.

- KITTEL (Charles), KNIGHT (Walter D.), RUDERMAN (Malvin A.) : *Cours de Physique de Berkeley, Tome 1 (traduction du texte original par Pierre Lallemand),* Éditions DUNOD, Paris 2001.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***