

FORCES FICTIVES ET FORCES RÉELLES

Qu'est-ce qu'une force, au sens où l'entend la physique ? Combien existe-t-il de catégories de forces ? Qu'est-ce qu'une force fictive ? Qu'est-ce qu'une force agissant à distance ? Comment distinguer une force fictive d'une force réelle ? Quelles sont les forces qui s'exercent sur une voiture ? D'où proviennent-elles, où s'exercent-elles et peut-on en dresser une liste exhaustive ? Voici quelques réponses.

Définition

Une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse.

Cette définition découle des travaux d'Isaac Newton qui, le premier, a énoncé qu'en l'absence de force, une masse reste immobile ou, si elle est animée d'une vitesse, conserve celle-ci en décrivant une trajectoire rectiligne.

Selon ce principe appliqué à l'automobile, la vitesse de la voiture peut être nulle, croissante (accélération), stabilisée, ou décroissante (décélération). Sa trajectoire peut être rectiligne ou circulaire. Mais dans tous les cas, toute variation de vitesse ou de trajectoire résulte de l'action d'une force. Une force, oui, mais laquelle ?

Les deux catégories de forces

Apprenons d'abord à distinguer deux catégories de forces qu'on mélange trop souvent : les forces fictives et les forces réelles. Nous détaillerons ensuite les véritables causes du mouvement de la voiture.

I. FORCES FICTIVES

Il n'existe que trois forces fictives : la force d'inertie, la force centrifuge et la force de Coriolis. Ces forces sont dites fictives parce qu'elles n'ont pas d'existence réelle. Utilisées à tort et à travers, elles ont donné lieu à bien des raisonnements ou interprétations erronés.

Comment reconnaître une force fictive ?

1. Le recours à une force fictive nécessite de "figer" le mouvement réellement observé, autrement dit de raisonner comme si le système était immobile, c'est donc une description imaginaire, également qualifiée de "*statique*", par opposition à une description réelle, dite "*dynamique*".

2. Une force fictive est toujours supposée s'exercer sur le centre de gravité d'une masse quelconque, comme par magie, alors que les forces réelles s'exercent toujours en surface ou à la périphérie d'une masse (une seule exception : le poids).
3. Le troisième principe de Newton énonce que toute force qui s'exerce sur un corps entraîne une réaction d'égale intensité mais de sens opposé. Or ce principe fondamental ne peut s'appliquer dans le cas d'une force fictive, puisqu'elle est le fruit, non pas d'une interaction, mais d'une simple projection imaginaire.

Pour éviter toute confusion, rappelons une règle simple mais rarement respectée : il est obligatoire de séparer les descriptions statique et dynamique et de les assortir d'un mode d'emploi, tout mélange étant rigoureusement proscrit (voir les dossiers ADILCA "*référentiels*", "*statique et dynamique*" et "*système solaire*").

Répétons également que, contrairement à ce qu'on peut lire ici ou là, on ne peut jamais, ni observer, ni ressentir, ni mesurer les effets des forces fictives pour la simple et bonne raison que ce sont des forces imaginaires qui n'existent que sur le papier (voir les dossiers ADILCA "*force d'inertie*", "*force centrifuge*" et "*force de Coriolis*").

Soulignons enfin qu'en automobile, les descriptions statiques ne présentent aucun intérêt, les véhicules terrestres étant, par définition, des objets conçus pour satisfaire des besoins de déplacement par rapport à la Terre.

II. FORCES RÉELLES

Les forces réelles sont les seules explications logiques et rationnelles de tous les phénomènes physiques qui se manifestent dans notre environnement, et en particulier ceux concernant l'énergie et le mouvement. On peut à tout instant observer, ressentir ou mesurer leurs effets et le principe d'action réaction leur est applicable.

Quatre types de forces réelles

On distingue quatre types de forces réelles :

1. Forces agissant à distance.

Il n'en existe que deux : la force électromagnétique et la force de gravitation.

Exemple 1 : tous les moteurs électriques fonctionnent grâce au principe d'attraction-répulsion qui caractérise la force électromagnétique.

Exemple 2 : la Terre décrit une orbite circulaire autour du Soleil à cause de la force de gravitation créée par la masse du Soleil.

Exemple 3 : un caillou lancé en l'air retombe au sol à cause de la force de gravitation créée par la masse de la Terre.

Ces forces agissent à distance, donc sans contact, mais elles sont pourtant bien réelles puisqu'on peut en observer, en ressentir ou en mesurer les effets.

Exemple : laissons tomber un objet au sol. Pour quelle raison cet objet se dirige-t-il vers le centre de la Terre ? On l'ignore encore aujourd'hui ! Comme Isaac Newton il y a 350 ans, on en est réduit à supposer qu'il est attiré par une masse plus importante que la sienne...

En revanche, ce que nous pouvons observer, c'est que l'objet ne reste immobile qu'une fraction de seconde, le temps d'écartier les doigts ; sa vitesse, nulle au début de la chute, est bien instantanément modifiée, il y a donc bien une cause, c'est-à-dire une force à l'origine de ce mouvement.

C'est à partir de cette simple observation qu'Isaac Newton a pu définir le concept de force, puis échafauder la théorie de l'attraction universelle.

2. Forces de frottement.

Ces forces résultent du glissement de deux corps l'un contre l'autre. Elles génèrent des résistances indésirables qu'on peut réduire, mais qu'il est impossible de supprimer totalement.

Exemple 1 : un cycliste en mouvement est freiné par le frottement de l'air sur la bicyclette, les vêtements et la peau.

Exemple 2 : un voilier en mouvement est freiné par le frottement de l'eau sur la coque.

Exemple 3 : le rendement d'un moteur thermique est affecté par divers frottements, comme par exemple celui des pistons contre les parois des cylindres, etc.

3. Forces de pression.

Ces forces proviennent de la pression exercée par un gaz ou un liquide, ces forces étant, dans certains cas, des forces de frottement "domestiquées"...

Exemple 1 : les turbines d'un barrage hydroélectrique fonctionnent grâce à la pression que l'eau exerce sur les pales.

Exemple 2 : un voilier se déplace grâce à la pression que l'air exerce sur les voiles.

Exemple 3 : un avion se maintient en vol grâce à la pression que l'air exerce sous les ailes.

Exemple 4 : un moteur d'automobile fonctionne grâce à la pression que les gaz exercent sur les pistons.

4. Forces de contact.

Comme leur nom l'indique, ces forces s'exercent par contact. Elles sont à l'origine de la plupart des formes de mouvement qu'on peut observer dans notre environnement.

Exemple 1 : pour soulever un objet quelconque, un stylo par exemple, il faut solliciter une force de contact qui consiste à le saisir avec les doigts.

Exemple 2 : pour pousser un objet, un meuble par exemple, il est nécessaire d'exercer une force de contact sur un point quelconque de la surface de l'objet.

Exemple 3 : la marche ou la course à pied nécessitent le contact des pieds (ou des semelles) avec le sol.

Exemple 4 : le mouvement et la trajectoire des véhicules terrestres quels qu'ils soient (bicyclette, voiture, train...) proviennent de forces de contact qui s'exercent au contact du sol ou des rails⁽¹⁾.

III. FORCES AGISSANT SUR LA VOITURE

Le mouvement de la voiture...

Observons le mouvement d'une voiture : celle-ci accélère, maintient sa vitesse, ralentit, change de direction et s'immobilise, tout cela grâce à des forces bien réelles. Identifions l'origine de ces forces.

Imaginons par exemple de lever la voiture à l'aide d'un cric pour essayer ensuite de la mettre en mouvement : ce serait impossible car, les roues motrices n'étant plus en contact avec le sol, elles tourneraient alors dans le vide et la voiture resterait immobile.

Le mouvement de la voiture ne provient donc pas directement du moteur, mais du contact des pneumatiques avec le sol : le moteur sert à faire tourner les roues mais, pour mettre la voiture en mouvement, il faut solliciter la réaction du sol qui s'exerce à la périphérie des roues motrices : tout se passe alors comme si la voiture était tractée par la bande de roulement des pneumatiques.

Un raisonnement identique s'applique lorsqu'il s'agit d'arrêter la voiture. N'importe quel automobiliste peut d'ailleurs constater que, malgré de bons freins, il est difficile d'arrêter une voiture sur une route verglacée.

Ce ne sont donc pas les freins qui arrêtent directement la voiture, mais une force qui provient du sol et qui s'exerce à la périphérie des quatre pneumatiques : tout se passe alors comme si la voiture était freinée par la bande de roulement des pneumatiques.

Pour modifier la trajectoire de la voiture, c'est-à-dire, selon le principe de Newton, la dévier d'une trajectoire rectiligne, le raisonnement est identique : il faut solliciter une force qui provient du sol et qui s'exerce à la périphérie des pneumatiques des roues directrices quand celles-ci pivotent.

Tout se passe alors comme si la voiture était saisie transversalement par la bande de roulement des pneumatiques des roues directrices.

Pourquoi doit-on solliciter le moteur quand la voiture circule à une vitesse stabilisée sur une route horizontale ? Tout simplement parce que le moteur doit compenser l'action des deux forces de frottement que sont la résistance au roulement et la résistance de l'air. Si on coupe le moteur, la voiture finit par s'arrêter.

Pour s'affranchir de tout frottement, il faudrait que le véhicule quitte le sol et parvienne dans l'espace, autrement dit dans le vide, à l'image des astres, planètes et engins spatiaux. Le véhicule pourrait alors maintenir sa vitesse pour l'éternité, sans l'aide d'aucun moteur...

Les sept forces qui s'exercent sur la voiture...

Au total, combien existe-t-il de forces qui, à un moment ou à un autre, peuvent s'exercer sur une voiture ? Il y en a sept, et sept seulement !

Ces forces sont de trois types (force agissant à distance, forces de frottement, forces de contact). Les voici dans l'ordre :

- le poids (force agissant à distance) ;
- la résistance au roulement (force de frottement) ;
- la résistance de l'air (force de frottement) ;
- la force de traction (force de contact) ;
- la force de retenue (force de contact) ;
- la force de freinage (force de contact) ;
- la force de guidage (force de contact).

Remarque : dans la littérature automobile classique, la force de freinage est souvent assimilée à une force de frottement, ce qui est une formulation incorrecte (les autres forces ne sont jamais évoquées) : elle ne pourrait être qualifiée ainsi qu'à condition que les quatre roues soient complètement bloquées, ce qui, avec une voiture moderne en état standard, est absolument impossible.

Les particularités du poids

Le poids est une autre appellation de la force de gravitation, c'est donc une force agissant à distance, comme on l'a vu plus haut.

Le poids étant le produit de la masse par l'accélération gravitationnelle, c'est la force la plus facile à mesurer : il suffit pour cela d'utiliser une bascule. Mais attention à la confusion entre poids et masse⁽²⁾ !

Par rapport aux autres forces qui s'exercent sur la voiture, le poids présente quatre caractéristiques remarquables :

1. C'est la seule force qui, par exception à la règle, s'exerce sur le centre de gravité.
2. C'est la seule force dont l'orientation est immuable (le centre de la Terre).
3. C'est la seule force qui agit en permanence, même quand la voiture est à l'arrêt moteur éteint.
4. C'est la seule force dont l'intensité est constante et invariable⁽³⁾.

Selon le principe d'action réaction, le poids est exactement équilibré par la réaction du sol, d'égale intensité mais de sens opposé, à condition que la route soit parfaitement horizontale et sans dévers.

En effet, dès que la route présente une déclivité ou un dévers, le poids affecte le mouvement ou la trajectoire de la voiture par le biais de ce qu'on appelle la *composante du poids parallèle à la route* (voir les dossiers ADILCA "déclivités" et "anneaux de vitesse").

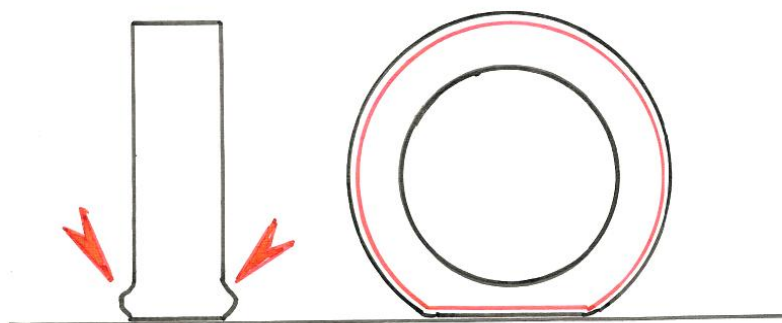
Remarque : contrairement à une idée reçue due à la confusion entre poids et masse, la force nécessaire pour accélérer une masse sur un terrain horizontal est toujours parfaitement identique en tous lieux, sur la Terre comme sur la Lune par exemple, bien que le poids terrestre soit six fois supérieur au poids sélène (on néglige la résistance au roulement et la résistance de l'air).

La résistance au roulement

La résistance au roulement provient, d'une part, du mouvement des billes à l'intérieur de leurs cages, et d'autre part, de la déformation de la bande de roulement des pneumatiques au contact du sol sous l'effet de la masse qui pèse sur les roues : en se déplaçant sur toute la circonférence des pneumatiques lorsque les roues tournent, cette déformation crée une résistance qui freine la voiture.

La résistance au roulement apparaît comme la somme de quatre forces s'exerçant au contact du sol, parallèles à la route et de sens opposé au déplacement de la voiture.

Son intensité, sensiblement proportionnelle au poids et à la vitesse, est également liée à la pression de gonflage des pneumatiques.



© association adilca reproduction interdite

La masse qui pèse sur la roue crée un pli qui se propage sur toute la circonférence du pneu lorsque la roue tourne.

Il est impossible de mesurer directement l'intensité de la résistance au roulement, c'est pourquoi on se sert pour cela d'un banc à rouleaux : la voiture est immobilisée sur deux paires de rouleaux qui entraînent les roues avant ou arrière par le biais d'un moteur électrique.

En mesurant la puissance électrique absorbée par la rotation des roues à vitesse stabilisée, on en déduit l'intensité de la résistance au roulement⁽⁴⁾.

Le tableau suivant donne l'ordre de grandeur de la résistance totale générée par la rotation des quatre roues et de la transmission d'une voiture de tourisme de gamme moyenne de masse 1 500 kilogrammes :

| | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| vitesse (km.h ⁻¹) | 50 | 70 | 90 | 110 | 130 |
| résistance (N) | 90 | 120 | 160 | 200 | 250 |

© association adilca reproduction interdite

La résistance de l'air

La résistance de l'air est due au frottement des molécules d'air sur la carrosserie de la voiture lorsque celle-ci se déplace.

La résistance de l'air apparaît comme une force généralement horizontale (sauf portance ou déportance), parallèle à la route et de sens opposé au déplacement de la voiture.

Son intensité est proportionnelle à la surface de prise au vent, à la forme de la voiture et au *carré* de sa vitesse.

Il est impossible de mesurer directement l'intensité de la résistance de l'air, c'est pourquoi on utilise pour cela un tunnel aérodynamique dans lequel on fait souffler un vent artificiel (voir le dossier ADILCA "aérodynamique").

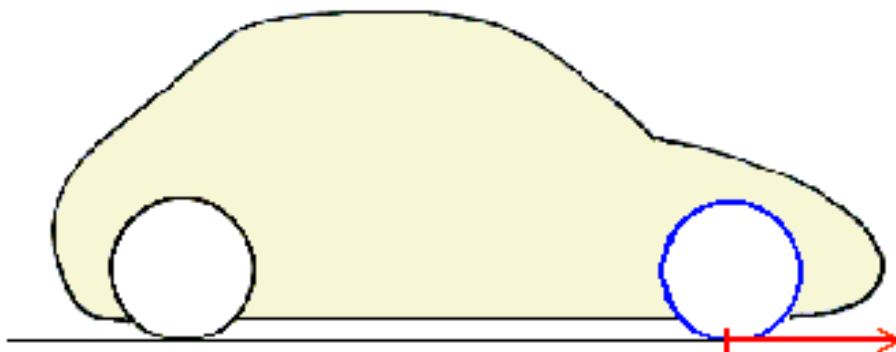
Le tableau suivant donne l'ordre de grandeur de la résistance de l'air générée par la carrosserie d'une voiture de tourisme de gamme moyenne :

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| vitesse (km.h^{-1}) | 50 | 70 | 90 | 110 | 130 |
| résistance (N) | 90 | 170 | 300 | 430 | 620 |

© association adilca reproduction interdite

Les quatre forces de contact

La force de traction, la force de retenue, la force de freinage et la force de guidage sont des forces de contact qui, comme leur nom l'indique, s'exercent à la périphérie des pneumatiques au contact du sol.



FORCE DE TRACTION (roues avant motrices)

© association adilca reproduction interdite

Ces quatre forces ont un rôle essentiel car elles donnent la maîtrise du mouvement de la voiture, tout l'art de la conduite automobile consistant à les solliciter avec précision au bon moment et au bon endroit.

Leur intensité ne se mesure pas, elle se calcule. L'intensité de la force de traction, par exemple, dépend de la cylindrée, de la quantité de carburant introduite dans le moteur et de la démultiplication de la transmission. Dès que l'alimentation du moteur est interrompue, la force de retenue se substitue à la force de traction (voir le dossier ADILCA "*couple moteur*").

La force de freinage et la force de guidage ont une importance telle, en physique comme en automobile, que nous leur avons consacré chacune un dossier particulier (voir les dossiers ADILCA "*force de freinage*" et "*force de guidage*").

Les lecteurs intéressés par les autres détails de ces études, notamment par leur expression mathématique, se reporteront au "GUIDE DES LOIS PHYSIQUES DE L'AUTOMOBILE".

Le principe d'action réaction

Le principe d'action réaction, ou troisième principe de Newton, énonce que toute force qui s'exerce sur une masse entraîne une réaction d'égale intensité mais de sens opposé.

Comme toutes les forces réelles, les quatre forces de contact qui s'exercent sur la voiture obéissent à ce principe : l'action provient de la masse de la voiture et s'exerce sur la Terre au contact du sol.

La Terre reste insensible à cette action en raison de sa masse⁽⁵⁾.

Le centre de gravité

Le centre de gravité se définit comme le centre d'équilibre d'une masse.

On l'a déjà dit et on le répète : aucune force ne s'exerce jamais sur le centre de gravité d'aucune masse, à part le poids. C'est donc une erreur de présenter le centre de gravité comme l'*alpha* et l'*oméga* des lois physiques.

Néanmoins, la position exacte du centre de gravité (en longueur, par rapport à l'empattement, et en hauteur, par rapport à la voie) conditionne le comportement de la voiture lorsque celle-ci est soumise à l'action de l'une des quatre forces de contact.

En effet, la distance (ou la hauteur) qui sépare le centre de gravité du point de contact au sol des pneumatiques apparaît comme un *bras de levier* qui, combiné à une force, crée un *couple*, au sens physique du terme.

Ce couple provoque la rotation de la masse de la voiture autour de son centre de gravité, mouvement que l'on décompose selon trois axes orthogonaux :

1. Axe transversal, c'est le *tangage* : la voiture est *déséquilibrée*, elle s'appuie sur le train arrière ou avant, selon que le conducteur sollicite la force de traction ou de freinage.
2. Axe longitudinal, c'est le *roulis* : la voiture est *déséquilibrée*, elle s'appuie sur les roues extérieures à la trajectoire lorsque le conducteur sollicite la force de guidage.
3. Axe vertical, c'est le *lacet* : la voiture est *déroutée*, elle change de cap lorsque le conducteur sollicite la force de guidage.

Remarque : il ne faut pas confondre ce mouvement avec le principe d'action réaction (ou 3^{ème} principe de Newton) exposé plus haut. C'est malheureusement une confusion fréquente liée à l'emploi abusif du concept de force centrifuge (voir le dossier ADILCA "force centrifuge").

(1) Une exception, l'aérotrain de l'ingénieur Jean Bertin. Mi-train mi-avion, testé avec succès sur des lignes expérimentales entre 1964 et 1975, l'appareil était guidé par un rail en béton mais propulsé par une turbine de type aviation.

(2) En langage mathématique, on dit que la masse est une grandeur scalaire, donc invariable, tandis que le poids est une grandeur vectorielle. Une bascule ne mesure en réalité qu'une force, qu'on devrait exprimer en newtons (symbole **N**). Ce n'est que par un calcul ultérieur (division du poids par l'accélération gravitationnelle locale) qu'on en déduit la masse, exprimée en kilogrammes (symbole **kg**).

(3) Le poids est indépendant de la longitude, mais pas de la latitude, en raison de la forme particulière du globe terrestre : le poids exact d'une masse de 1 000 kg est de 9 830 N au pôle nord, 9 810 N en Europe et 9 780 N à l'équateur (l'accélération gravitationnelle est fonction inverse du carré de la distance qui sépare du centre de la Terre). L'influence de l'altitude est négligeable jusqu'à 5 000 m (le point culminant des routes européennes se trouve en France, au col de l'Iseran, à 2 770 m d'altitude).

(4) Comme il n'est pas possible de désolidariser le mouvement des roues motrices de celui de la transmission, cela signifie que la mesure effectuée sur les roues motrices inclut obligatoirement la résistance liée à la rotation des arbres de roues, du différentiel, de l'arbre de transmission et de l'arbre secondaire de la boîte de vitesses, même si le moteur est éteint avec le levier de vitesses au point mort.

(5) L'égalité de l'action et de la réaction ne signifie pas que leurs effets sont identiques. L'absence de perturbation du mouvement de la Terre s'explique par le rapport des masses des deux corps en présence : la masse de la voiture (1 500 kg) s'efface devant celle de la Terre (6×10^{24} kg).

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

QUELQUES RELATIONS ENTRE GRANDEURS...

Poids :

$$P = M \cdot g$$

P : poids, exprimé en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

g : accélération gravitationnelle, exprimée en **m.s⁻²**
(accélération gravitationnelle terrestre : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$)

cohérence des unités : $P = \text{kg} \cdot \text{m.s}^{-2} = \mathbf{N}$

Exemple : calculons le poids d'une voiture de masse 1 500 kg :

$$P = 1\,500 \times 9,8 = 14\,700 \text{ N}$$

Force de traction :

$$F = C \cdot X / R$$

F : force de traction, exprimée en **N**

C : couple moteur, exprimé en **Nm**

X : démultiplication de la transmission, grandeur sans dimension

R : rayon des roues motrices, exprimé en **m**

cohérence des unités : $F = \text{N.m} \cdot \text{m}^{-1} = \mathbf{N}$

Exemple : calculons la force de traction qui s'exerce au contact du sol sur des roues motrices de 0,30 m de rayon lorsqu'un couple moteur de 250 Nm est relayé par une démultiplication de 12 :

$$F = 250 \times 12 / 0,30 = 10\,000 \text{ N}$$

Force de retenue :

$$F = C \cdot X / R$$

F : force de retenue, exprimée en **N**

C : couple antagoniste, exprimé en **Nm**

X : démultiplication de la transmission, grandeur sans dimension

R : rayon des roues motrices, exprimé en **m**

cohérence des unités : $F = \text{N.m} \cdot \text{m}^{-1} = \mathbf{N}$

Exemple : calculons la force de retenue qui s'exerce au contact du sol sur des roues motrices de 0,30 m de rayon lorsqu'un couple antagoniste de 30 Nm est relayé par une démultiplication de 8 :

$$F = 30 \times 8 / 0,30 = 800 \text{ N}$$

Force de freinage :

$$F = \frac{1}{2} M \cdot V^2 / D$$

F : force de freinage, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

V : vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

D : distance de freinage, exprimée en **m**

cohérence des unités : $F = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N}$

Exemple : calculons la force de freinage capable d'immobiliser une voiture de masse 1 500 kg sur une distance de 50 mètres avec une vitesse initiale de 30 m.s⁻¹ (108 km.h⁻¹) :

$$F = \frac{1}{2} \times 1\,500 \times 30^2 / 50 = 750 \times 900 / 50 = 13\,500 \text{ N}$$

Force de guidage :

$$F = M \cdot V^2 / R$$

F : force de guidage, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

V : vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

R : rayon de trajectoire, exprimé en **m**

cohérence des unités : $F = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N}$

Exemple : calculons la force de guidage capable de maintenir une voiture de masse 1 500 kg sur une trajectoire circulaire de 50 mètres de rayon à la vitesse de 20 m.s⁻¹ (72 km.h⁻¹) :

$$F = 1\,500 \times 20^2 / 50 = 1\,500 \times 400 / 50 = 12\,000 \text{ N}$$

Centre de gravité :

$$d = L \cdot M2 / (M1 + M2)$$

d : distance entre le centre de gravité et l'essieu directeur, exprimée en **m**

L : empattement, exprimé en **m**

M1 : masse pesant sur le train avant, exprimée en **kg**

M2 : masse pesant sur le train arrière, exprimée en **kg**

cohérence des unités : $d = \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m}$

Exemple : calculons la distance entre le centre de gravité et l'essieu directeur d'une voiture de masse 1 500 kg répondant aux caractéristiques suivantes : empattement de 2,5 m, 840 kg pesant sur le train avant, 660 kg sur le train arrière :

$$d = 2,5 \times 660 / (840 + 660) = 1\,650 / 1\,500 = 1,1 \text{ m}$$

Tangage :

$$R = M \cdot Y \cdot H / L$$

R : réaction de tangage, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

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

H : hauteur du centre de gravité, exprimée en **m**

L : longueur de l'empattement, exprimée en **m**

cohérence des unités : $R = \text{kg} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N}$

Exemple : calculons la réaction de tangage d'une voiture soumise à une décélération de $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (masse 1 500 kg, hauteur du centre de gravité 0,5 m, empattement 2,5 m) :

$$R = 1\,500 \times 5 \times 0,5 / 2,5 = 1\,500 \text{ N}$$

Roulis :

$$R = M \cdot Y \cdot H / L$$

R : réaction de roulis, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

Y : accélération transversale, exprimée en **m.s⁻²**

H : hauteur du centre de gravité, exprimée en **m**

L : largeur de voie, exprimée en **m**

cohérence des unités : $R = \text{kg} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{+1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = \text{N}$

Exemple : calculons la réaction de roulis d'une voiture soumise à une accélération transversale de $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (masse 1 500 kg, hauteur du centre de gravité 0,5 m, voie 1,5 m) :

$$R = 1\,500 \times 5 \times 0,5 / 1,5 = 2\,500 \text{ N}$$

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *