

## LA FORCE CENTRIFUGE

Le concept de force centrifuge est rarement livré avec son mode d'emploi : comme la force de Coriolis et la force d'inertie, la force centrifuge appartient à la catégorie des forces fictives, également appelées forces apparentes ou pseudo-forces.

Pourquoi les appelle-t-on ainsi ? Parce que ces forces ne peuvent apparaître que dans le cadre de descriptions imaginaires. Bref, elles n'ont aucune existence réelle.

Voici un florilège des diverses observations ou expériences censées prouver l'existence de la force centrifuge. Nous allons simplement vérifier si le dogme est correct.

### Quelques définitions...

Une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse. Centrifuge signifie "*qui éloigne du centre*".

Ainsi, selon cette définition, une force qualifiée de centrifuge devrait pouvoir éloigner une masse quelconque d'un centre ou d'un axe de rotation selon une trajectoire radiale, c'est à dire dans la direction indiquée par le prolongement d'un rayon.

### L'objet posé sur le capot...

Déposons un objet quelconque sur le capot d'une voiture (par exemple un "cône de Lübeck"). L'expérience consiste à faire avancer la voiture, d'abord en ligne droite puis ensuite en tournant brusquement le volant.

Vu de l'intérieur de la voiture (référentiel voiture), on constate effectivement que l'objet tombe par terre, comme attiré vers l'extérieur de la trajectoire par une force apparente. Telle est la description dans ce référentiel qualifié de restreint dont nous détaillons les règles et le mode d'emploi par ailleurs (dossier ADILCA "*les référentiels*").

Observons la même expérience du haut d'une fenêtre ou d'un balcon (référentiel Terre) : dès que le conducteur fait pivoter les roues directrices, la force de guidage vient dévier la voiture de sa trajectoire initiale.

Le capot étant une surface lisse, cette force ne peut se transmettre à l'objet qui, de ce fait, conserve une trajectoire rectiligne et finit par tomber par terre. L'objet en question n'est donc pas soumis à une quelconque force, il est tout simplement livré à lui-même.

### L'expérience avec la moto...

Posons le cône de Lübeck sur le réservoir d'une moto. Sauf conduite brutale, l'objet reste toujours en équilibre, même lorsque la moto décrit une trajectoire circulaire. Si l'objet

glisse et finit par tomber par terre, c'est à cause des vibrations du moteur ou de la pression de l'air, mais pas à cause de la force centrifuge.

Pour s'en convaincre, il suffit de remplacer le cône de Lübeck par une bouteille à demi remplie d'eau fixée à plat sur le réservoir ou sur le guidon : on constate que, quelque soit l'inclinaison de l'engin en mouvement, la surface du liquide reste toujours perpendiculaire au plan de symétrie de la machine.

En fait, cette expérience ne sert qu'à mettre en évidence l'accélération transversale de la bouteille et de son contenu, cette accélération étant liée à la trajectoire circulaire de la moto. Le même constat pourrait être fait à bord d'un avion.

### **Le mouvement de roulis...**

Observons une Citroën 2 CV en plein virage. À cause de ses suspensions molles, la voiture s'écrase sur les roues extérieures tandis que les roues intérieures sont délestées. Ce phénomène, c'est le "roulis".

Pourquoi la voiture se comporte-t-elle ainsi ? Pour dévier la voiture de sa trajectoire initialement rectiligne, le conducteur a dû solliciter une force transversale qu'on appelle force de guidage. Cette force s'exerce au contact du sol mais pas sur le centre de gravité. C'est la hauteur du centre de gravité qui explique le mouvement de roulis : la voiture tourne sur elle-même dans un plan transversal.

D'où vient ce phénomène ? Sous l'effet de la force de guidage, la voiture se comporte comme une personne déséquilibrée par un tapis qu'on tirerait sous ses pieds. Si la force de guidage s'exerçait directement sur le centre de gravité, il n'y aurait pas de roulis et la voiture virerait "à plat".

### **La mascotte suspendue au rétroviseur...**

Observons une mascotte suspendue au rétroviseur intérieur. En ligne droite et à vitesse constante, la mascotte indique la verticale.

Observons ce qui se passe lorsque la voiture franchit un virage : de l'intérieur de l'habitacle (référentiel voiture), on constate que la mascotte s'incline sur le côté, comme animée d'une force apparente.

Mais dans le référentiel Terre, la mascotte est seulement déviée d'une trajectoire initialement rectiligne : la force de guidage s'exerce d'abord sur les pneumatiques des roues directrices puis se transmet ensuite au châssis, à la carrosserie et à tous les accessoires de la voiture ; elle parvient enfin à la mascotte grâce au rétroviseur et au fil au bout duquel elle pend. D'où son inclinaison.

La force apparente qui, pour le passager, semble faire bouger la mascotte ne relève donc que d'une simple illusion d'optique. En réalité, cette force n'existe pas.

## Les sensations du passager...

À l'occasion d'un virage pris sur les chapeaux de roues, le passager d'une voiture a l'impression d'être plaqué contre le bord du siège ou contre la portière, comme s'il était animé d'une force apparente... D'où vient cette impression ?

Lorsque le conducteur tourne le volant, la voiture est soumise à la force de guidage qui s'exerce sur les pneumatiques des roues directrices ; cette force se transmet ensuite au châssis, à la carrosserie et à tous les accessoires de la voiture. Les objets solidement fixés à la carrosserie subissent cette force sans aucun retard.

Or ce n'est pas le cas des passagers qui, bien qu'assis sur leurs sièges, gardent tout de même une certaine liberté de mouvement. Lorsque la voiture commence à virer, les passagers conservent une trajectoire rectiligne, tout comme la mascotte dans l'expérience précédente, et ce jusqu'à ce que le bord du siège, la portière ou la carrosserie leur communique cette fameuse force de guidage...

Les passagers d'une voiture ne sont donc jamais soumis à la force centrifuge mais tout simplement à la force de guidage qui provient de la voiture et qui leur est communiquée par le siège ou par un élément de la carrosserie.

## Le mouvement des bagages...

Et les bagages placés dans le coffre ou les objets posés sur la tablette arrière ? L'explication est identique à celle qui concerne les passagers : lorsque la voiture vire, le mouvement des bagages placés dans le coffre ou des objets posés sur la tablette arrière n'est qu'apparent par rapport à la voiture.

En réalité, les objets non solidement arrimés conservent une trajectoire rectiligne tant qu'une partie quelconque de la carrosserie ne peut leur communiquer la moindre force de guidage.

## La bonne formule ?

La célèbre formule  $F = MV^2/R$  prouve-t-elle l'existence de la force centrifuge ? Vérifions d'abord qu'il s'agit-il bien d'une force.

Dans le Système International d'Unités (obligatoire en France depuis 1961), une force résulte de grandeurs fondamentales dont la combinaison engendre une grandeur dérivée qui s'exprime en *kilogramme mètre par seconde carrée* (symbole **kg.m.s<sup>-2</sup>**). La dimension obtenue est la définition même du *newton*, unité internationale de force.

Pour vérifier la cohérence de cette formule, examinons la manière dont se combinent les différentes grandeurs introduites dans cette équation : la masse s'exprime en kilogramme (symbole **kg**), la vitesse s'exprime en mètres par seconde (symbole **m.s<sup>-1</sup>**) et le rayon de la trajectoire s'exprime en mètres (symbole **m**).

Combinons ces différentes grandeurs :

$$F = MV^2/R$$

$$F = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-1} = \mathbf{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

Aucun doute possible, cette formule est parfaitement cohérente, elle exprime donc bien la dimension d'une force. Une force oui, mais laquelle ?

**FORMULE DE LA FORCE CENTRIFUGE**

Force centrifuge =  $\frac{\text{Masse du véhicule} \times \text{Vitesse au carré}}{\text{Rayon de virage}}$

$$FC = \frac{MV^2}{R}$$

FORMATION DU CONDUCTEUR BEPECASER 54.1

La bonne formule, mais pas la bonne force !  
(Document officiel accompagnant le sujet 54 de pédagogie en salle du BEPECASER)

### De quelle force s'agit-il ?

Nous avons déjà démontré par ailleurs (dossier ADILCA "*les référentiels*") qu'il n'y en a que deux possibles et deux seulement : dans le référentiel voiture, la force centrifuge qui est une force apparente et qui, de toute évidence, ne peut s'exercer que sur les passagers et les bagages mais certainement pas sur la voiture, ou alors, dans le référentiel Terre, la force de guidage qui est une force réelle et qui s'exerce à la fois sur la voiture et sur tout ce qu'elle contient.

Comment savoir ? La réponse vient tout naturellement en examinant les différentes grandeurs introduites dans l'équation que sont la masse de la voiture, sa vitesse et le rayon de sa trajectoire. Bon sang, mais c'est bien sûr, comme dirait l'autre : ces grandeurs n'existent que dans le référentiel Terre, elles n'existent absolument pas dans le référentiel voiture !

Pour bien comprendre cette nuance de taille, relisez le dossier ADILCA sur les référentiels ou essayez d'imaginer un instant ce que peut représenter la masse de la voiture, sa vitesse ou le rayon de sa trajectoire en raisonnant exclusivement dans le référentiel voiture...

Il n'y a plus aucun doute possible, cette formule ne peut pas exprimer la force centrifuge mais bien la force de guidage. C'est d'elle qu'il s'agit ici, et d'elle seulement !

## Choisir le bon référentiel !...

Ces diverses réflexions nous ramènent à la théorie des référentiels et on peut résumer ainsi les expériences précédentes :

- les unes sont observées dans un référentiel général (ici, la Terre) et décrivent un mouvement réel ;
- les autres sont observées dans un référentiel restreint (ici, la voiture) et décrivent un mouvement apparent.

D'où la nécessaire distinction entre forces réelles et forces apparentes : dans un référentiel général, les forces apparentes n'existent pas ; dans un référentiel restreint, il est impossible de décrire le mouvement réel.

Bien évidemment, il n'est pas question de mélanger les deux référentiels, ni même de confondre les deux descriptions (voir dossier ADILCA "*les référentiels*") !

## Choisir la bonne description !...

Pour être complet, précisons enfin que, dans un référentiel général (ici, la Terre), la description peut être "dynamique" ou "statique" :

- dans une description "dynamique", la voiture est en mouvement ; elle décrit alors une trajectoire circulaire grâce à la force de guidage qui s'exerce à la périphérie des pneumatiques des roues directrices ;
- dans une description "statique", la voiture est immobile ; on imagine alors une force fictive capable de comprimer les pneumatiques et les suspensions comme quand la voiture vire ; cette pseudo-force est supposée s'exercer sur le centre de gravité de la voiture ;

Bien évidemment, ces deux descriptions sont totalement contradictoires et il n'est pas question de les superposer (voir dossier ADILCA "*statique et dynamique*").

## Force centrifuge : la vraie définition !

Nous venons d'examiner les principales sources d'erreurs dont on déplore les méfaits un peu partout, y compris dans certains manuels scolaires de physique. Ceci nous amène à ces deux définitions complètement inédites de la force centrifuge :

*"Dans le référentiel voiture, on appelle force centrifuge la force imaginaire qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité des passagers et des bagages d'une voiture immobile pour les voir s'animer d'un mouvement identique à celui observé dans la réalité lorsque la voiture est soumise à une accélération transversale."*

*“Dans le référentiel Terre, on appelle force centrifuge la force imaginaire qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité d’une voiture immobile pour créer sur les pneumatiques et les suspensions un effet comparable à ce que ces éléments subissent lorsque la voiture décrit une trajectoire circulaire.”*

Insistons sur le caractère hypothétique de cette force clairement affirmé par l’emploi du conditionnel : *“la force imaginaire qu’il faudrait exercer...”* et l’impossibilité technique d’exercer directement la moindre force sur le centre de gravité d’une masse quelconque...

## **Conclusion**

Comme la force d’inertie et la force de Coriolis, la force centrifuge est une force fictive qui n’a pas d’existence réelle : elle n’apparaît que dans le cadre de descriptions imaginaires.

Ajoutons qu’il est bien évidemment impossible d’observer ou de ressentir les effets d’une force imaginaire. C’est donc à tort si ce concept a été utilisé pour décrire les phénomènes observés en automobile.

La vérité est beaucoup plus simple : la trajectoire normale d’une voiture en mouvement est de nature rectiligne. Pour dévier cette trajectoire, il faut solliciter une force transversale qu’on appelle “force de guidage”. C’est une force de contact qui s’exerce à la périphérie des pneumatiques des roues directrices lorsque le conducteur actionne la commande de direction (voir dossier ADILCA “*la force de guidage*”).

Tous les autres phénomènes observés en automobile ont des explications rationnelles qui découlent de cette vérité.

association ADILCA

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

\* \* \*