

## 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 imaginaires, également appelées forces fictives 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 pas d'existence réelle.

Pour le comprendre, nous allons reconsidérer les différentes expériences censées prouver l'existence de la force centrifuge.

### Quelques définitions

Avant tout, rappelons qu'une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse, et que 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 mettre la voiture en mouvement, d'abord en ligne droite puis en courbe.



© association adilca reproduction interdite

L'expérience dite "du Cône de Lübeck"...

Vu de l'intérieur de la voiture (référentiel voiture), on constate effectivement que l'objet tombe par terre à l'entrée de la courbe, comme attiré vers l'extérieur de la trajectoire

par une force apparente. C'est là qu'intervient le concept de force centrifuge pour expliquer ce mouvement apparent.

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 conserve alors une trajectoire rectiligne et tombe par terre. L'objet en question n'est donc pas soumis à la moindre force, centrifuge ou autre, il est tout simplement livré à lui-même.

### Deux expériences à moto...

Posons le cône de Lübeck sur le réservoir d'une moto. Sauf conduite brutale, l'objet reste 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 certainement pas à cause de la force centrifuge.

Une expérience du même genre, dite de la "bouteille d'eau", consiste à remplacer le cône de Lübeck par une bouteille à demi remplie de sirop et fixée à plat sur le réservoir ou sur le guidon : on constate que, quelle que soit l'inclinaison de l'engin, la surface du liquide reste perpendiculaire au plan de symétrie de la machine. Le même constat pourrait être fait à bord d'un avion qui s'incline pour virer.

En fait, cette expérience sert à distinguer deux descriptions : en *statique* (moto immobile), le liquide n'est soumis qu'à son poids, il tombe du côté où la machine penche ; en *dynamique* (moto en mouvement), son poids est équilibré par la force de guidage, le liquide conserve sa position initiale à l'intérieur de la bouteille.



© association adilca reproduction interdite

Expérience de la bouteille d'eau : la surface du liquide reste perpendiculaire à l'axe de symétrie de la moto.

## 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" qu'on attribue à tort à la force centrifuge.

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 sur les roues directrices au contact du sol, mais pas sur le centre de gravité.

C'est donc la hauteur du centre de gravité qui explique le mouvement de roulis : la voiture tourne sur elle-même dans un plan transversal, 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". Le mouvement de roulis n'a donc rien à voir avec la force centrifuge.

## La mascotte suspendue au rétroviseur...

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

Observons ce qu'il 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. Cette force apparente, c'est la force centrifuge.



© association adilca reproduction interdite

La mascotte suspendue au rétroviseur...

En réalité, dans le référentiel Terre, la mascotte est seulement déviée d'une trajectoire initialement rectiligne.

En effet, la force de guidage s'exerce d'abord sur les pneumatiques des roues directrices puis se transmet ensuite intégralement au châssis, à la carrosserie et à tous les accessoires qui y sont solidement fixés, rétroviseur compris. Cette force parvient enfin à la mascotte grâce au fil au bout duquel elle pend. D'où son inclinaison.

La force centrifuge 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... Cette force apparente, c'est la force centrifuge. Mais 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 intégralement et sans retard, l'arrimage consistant justement à donner à la carrosserie les moyens de communiquer cette fameuse force à tout ce qui se trouve dans ou sur la voiture.

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.

Ce n'est donc pas la force centrifuge que ressentent les passagers, mais la force de guidage qui s'exerce sur la voiture et qui leur est communiquée par contact avec le siège, la ceinture de sécurité ou tout autre 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. Donc : pas de force centrifuge non plus dans le coffre !

### **Action et réaction : gare à la confusion !**

Pourrait-on considérer la force centrifuge comme résultant du principe d'action réaction ?

Reprenons le troisième principe de Newton dénommé principe de l'action et de la réaction <sup>(1)</sup> : *“Toute force s'exerçant sur un corps entraîne une réaction d'égale intensité, mais de sens opposé.”*

Les expériences précédentes ont démontré sans ambiguïté que la trajectoire circulaire de la voiture est due à l'action d'une force unique, la force de guidage.

On l'a vu, la force de guidage s'exerce sur les pneumatiques au contact du sol, elle résulte d'une interaction entre la Terre et la voiture. De manière très logique, la réaction associée à cette force ne peut donc se manifester qu'au niveau du sol, elle aussi : de fait, lorsqu'un conducteur sollicite la force de guidage, les pneumatiques des roues directrices exercent une poussée horizontale sur le sol, avec une intensité strictement égale à celle de la force de guidage, mais de sens opposé.

Cette poussée devrait logiquement affecter le mouvement de rotation de la Terre. Heureusement, son effet reste purement théorique car, la masse de la voiture étant considérablement plus faible que celle de la Terre <sup>(2)</sup>, la voiture n'a pas d'autre possibilité que de s'inscrire docilement sur une trajectoire circulaire, ou de glisser.

Ajoutons que les trajectoires divergentes du très grand nombre de véhicules en circulation annuleraient cet effet, si celui-ci était perceptible.

Cette fameuse réaction, au sens *newtonien* du terme, existe donc bien, mais elle n'a strictement rien à voir avec le concept de force centrifuge :

- la force centrifuge s'exerce sur le centre de gravité, tandis que la réaction à la force de guidage s'exerce au contact du sol ;
- la force centrifuge étant une force imaginaire, il n'y a pas d'interaction, le principe d'action réaction lui est donc inapplicable.

### **La bonne formule ?**

La célèbre formule magique  $F = MV^2/R$  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 s'exprime en *kilogramme mètre par seconde carrée* (symbole **kg.m.s<sup>-2</sup>**), c'est une grandeur dérivée obtenue par combinaison de grandeurs fondamentales.

La dimension obtenue est la définition même du *newton* (symbole **N**), 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 :

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

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

Il n'y a plus 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 =  $\frac{\text{Masse du véhicule} \times \text{Vitesse au carré}}{\text{Rayon de virage}}$

$$F_C = \frac{M V^2}{R}$$

FORMATION DU CONDUCTEUR BEPECASER 54.1

© association adilca reproduction interdite

La bonne formule, mais pas la bonne force !  
(d'après un document du ministère des transports, France)

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

De quelle force s'agit-il ? Nous avons déjà démontré par ailleurs qu'il n'y avait que deux possibilités, 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 faire la distinction ?

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 : ces grandeurs n'existent que dans le référentiel Terre, elles n'existent pas dans le référentiel voiture !

Pour bien comprendre cette nuance de taille, essayez d'imaginer un instant ce que pourrait représenter la vitesse de la voiture ou le rayon de sa trajectoire en raisonnant exclusivement dans le référentiel voiture...

La preuve est ainsi faite, cette formule n'exprime pas 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 absolu (ici, la Terre) et décrivent un mouvement réel ;

- les autres sont observées dans un référentiel relatif (ici, la voiture) et décrivent un mouvement apparent<sup>(3)</sup>.

Bien évidemment, ces deux référentiels sont parfaitement distincts, il n'est donc pas question, ni de les confondre, ni de les mélanger (voir dossier ADILCA "référentiels"). Or c'est malheureusement une erreur fréquente !

### **Choisir la bonne description**

Pour être complet, précisons enfin que, dans un référentiel absolu (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 supposée s’exercer sur le centre de gravité et capable de comprimer les pneumatiques et les suspensions avec un effet comparable à celui qu’on observe dans la réalité quand la voiture vire.

Bien évidemment, ces deux descriptions sont totalement contradictoires, il n’est donc pas question de les mélanger, ni même de les superposer (voir dossier ADILCA “*statique & dynamique*”). Malheureusement, c’est une confusion très classique.

### **Force centrifuge : la définition correcte**

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.

Toutes ces observations, tous ces raisonnements, toutes ces déductions nous amènent à ces deux définitions originales et 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 la force de guidage.”*

*“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 identique à celui observé dans la réalité lorsque la voiture est soumise à la force de guidage.”*

Insistons sur les trois exigences de ces définitions :

1. l’immobilité de la voiture ;

2. le caractère hypothétique de cette force, clairement affirmé par l’emploi du conditionnel : “*la force qu’il faudrait exercer...*” ;

3. aucune force ne s’exerce et ne peut s’exercer sur le centre de gravité de quelque masse que ce soit, excepté le poids... (cette exigence seule suffirait à prouver le caractère irréel de la force centrifuge).

Trois bonnes raisons pour affirmer que la force centrifuge n’existe pas.

### **L’inventeur de la force centrifuge**

L’histoire n’a pas retenu son nom.

Le concept de force centrifuge est une application du principe général d’inertie (voir dossier ADILCA “*force d’inertie*”) au cas particulier du mouvement circulaire, mode de



raisonnement imaginaire initié par Jean Le Rond d'Alembert, mathématicien et physicien français (1717-1783).

## **Calcul de la force centrifuge**

Peut-on calculer l'intensité de la force centrifuge ? Oui, il est tout à fait possible de calculer l'intensité d'une force imaginaire, c'est-à-dire l'intensité d'une force qui n'existe pas, mais qu'il faudrait solliciter, si... Les physiciens adorent ce genre d'exercice !

Cependant, en ce qui concerne la force centrifuge, la démarche habituelle n'est pas la bonne, voici pourquoi.

Commençons par le commencement : en science, un bon principe consiste à se demander d'où provient la valeur qu'on a sous les yeux, ce qu'elle représente, et comment elle a été obtenue. Un principe de traçabilité, en quelque sorte.

Car, avant tout calcul, un physicien doit réaliser des expériences, définir des repères et effectuer des mesures. C'est le cheminement le plus important. Les calculs ne viennent qu'ensuite, mais ils se basent forcément sur des mesures concrètes, des valeurs numériques dont on peut garantir l'origine et la signification, bref, des grandeurs qui existent vraiment.

Ce n'est qu'ultérieurement, par la grâce d'un raisonnement purement théorique, que le physicien pourra transposer son raisonnement à l'étude d'un phénomène imaginaire.

En d'autres termes, pour arriver à une force imaginaire, il faut nécessairement partir d'une force réelle.

Car il n'y a pas, il ne peut pas y avoir de force imaginaire sans force réelle. Mais l'inverse n'est pas vrai : la force de guidage peut parfaitement être étudiée seule et suffit à tout expliquer, tandis que la force centrifuge est toujours obligatoirement tributaire de la force de guidage.

Dès lors, il est strictement interdit d'évoquer la force centrifuge sans expliquer d'où elle vient, ce qu'elle représente et comment elle a été obtenue. C'est ce qu'on appelle la traçabilité du raisonnement.

Ce sont les détails de cette démarche, somme toute très logique, qui ont souvent été ignorés ou occultés. Pour l'illustrer, voici un exemple concret.

## **Un exemple concret**

Considérons une voiture de masse 1 500 kg qui décrit une trajectoire circulaire de 100 m de rayon à la vitesse de  $20 \text{ m.s}^{-1}$ .

La célèbre formule, celle qui a souvent été détournée ou utilisée à tort et à travers et dont nous avons détaillé le mode d'emploi, permet de calculer l'intensité de la force de guidage **F** qui s'est exercée sur les pneumatiques de la voiture au contact du sol :

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

$$F = 1\ 500 \times 20^2 / 100 = 6\ 000\ \text{N}$$

L'accélération transversale correspondante est :

$$Y = V^2 / R$$

$$Y = 20^2 / 100 = 4\ \text{m.s}^{-2}$$

Ce n'est qu'à partir de ce résultat qu'on peut en déduire l'intensité de la force centrifuge **F'**, cette fameuse force imaginaire qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité de la voiture, si celle-ci était immobile, pour produire un effet comparable à celui observé dans la réalité.

Quelle formule utiliser ? Celle-ci, et uniquement celle-ci :

$$F' = - M Y = - F$$

Le calcul est alors vite fait : pour produire un effet comparable à celui observé dans la réalité, il faudrait mobiliser une force de **- 6 000 N**.

Autrement dit, à une force de guidage de **6 000 N** dans une description réelle correspond une force centrifuge de **- 6 000 N** dans une description imaginaire, d'où la confusion.

En effet, les vecteurs "force de guidage" et "force centrifuge" ont le même module. Mais attention, tout les distingue :

- la formule utilisée pour en calculer l'intensité ;
- leur point d'application (l'un de ces deux vecteurs trouve son origine à la périphérie des pneumatiques, l'autre au centre de gravité) ;
- leur direction (ici, le signe [-] souvent oublié est déterminant, il montre que la force centrifuge, si elle existait, devrait avoir une orientation spatiale contraire à celle de la force de guidage) ;
- et le fait que l'un de ces deux vecteurs s'applique sur une voiture en mouvement, l'autre sur une voiture immobile.

Bref, ces deux vecteurs n'appartiennent pas du tout à la même description.

C'est ainsi : l'intensité de la force centrifuge se déduit de celle de la force de guidage, jamais l'inverse.

Et la formule censée prouver l'existence de la force centrifuge résulte en réalité d'une confusion avec la force de guidage.

### **Le capteur à inertie**

Un simple capteur à inertie (appareil encore appelé capteur d'accélération transversale) permet-il de mesurer l'intensité de la force centrifuge ?

Détaillons le principe de fonctionnement de cet appareil : une masselotte, capable de coulisser dans un tube, est maintenue au repos par deux ressorts, mais peut néanmoins se déplacer le long d'un curseur en cas d'accélération transversale, c'est le principe du dynamomètre. L'ensemble est solidement fixé à la carrosserie de la voiture.

Reprenons l'exemple de la voiture qui décrit une trajectoire circulaire de 100 m de rayon à la vitesse de 20 m.s<sup>-1</sup>.

Dans ces conditions, si la masselotte a une masse de 10<sup>-2</sup> kg et si l'appareil est correctement étalonné, le curseur va indiquer une force transversale de 4 x 10<sup>-2</sup> N, c'est la force nécessaire pour courber la trajectoire de la masselotte. La relation fondamentale de la dynamique permet ensuite de calculer l'accélération transversale de la masselotte :

$$Y = F / M$$

$$Y = 4 \times 10^{-2} / 10^{-2} = 4 \text{ m.s}^{-2}$$

On remarque que cette accélération transversale est strictement identique à celle de la voiture, ce qui n'a rien d'étonnant puisque le capteur est solidement fixé à la carrosserie et décrit une trajectoire circulaire de même rayon.

Comme il n'y a pas de mouvement sans cause, on en déduit que l'accélération transversale de la masselotte provient de la force de guidage qui s'est exercée sur la voiture pour imposer une trajectoire circulaire à l'ensemble.

Autrement dit, le capteur à inertie mesure l'intensité de la force de guidage, et son principe de fonctionnement n'a strictement rien à voir avec le concept de force centrifuge.

### **Le vrai sens du mot "exister"...**

La force centrifuge n'existe pas, nous venons de le démontrer en long, en large, et en travers. Cependant, on peut encore lire ici ou là, et notamment sur la toile, quelques avis contraires. Un vrai dialogue de sourds. Qui croire ?

Rappelons d'abord que la *physique* désigne la science des choses naturelles <sup>(4)</sup>, c'est une discipline axée sur l'observation, la connaissance et la maîtrise des réalités, c'est justement ce qui en fait une science dure, concrète et rigoureuse.

Le malentendu à propos de la force centrifuge repose sur le véritable sens du verbe "*exister*". D'après le dictionnaire Larousse, ce verbe s'applique à tout ce qui fait partie de la réalité, par opposition à ce qui relève exclusivement de la fiction.

Or, pour certains, la seule trace du concept de force centrifuge dans un livre de physique suffirait à prouver son existence : puisque c'est écrit dans le bouquin, c'est que ça existe !

Cependant, le fait que certains ouvrages de physique fassent mention de la force centrifuge ne prouve pas son *existence*, au sens physique et littéral du terme...

En effet, on peut concevoir bien des abstractions sur le papier, mais en science et surtout en physique, seule la réalité importe. Ne dit-on pas qu'elle dépasse la fiction ?

### **L'exemple de la littérature**

Pour bien comprendre cette nuance de taille, regardons du côté de la littérature et posons-nous cette question : les personnages qu'on trouve dans les livres existent-ils tous vraiment ?

Prenons un exemple universel : le Père Noël !

Certes, il y a une multitude de contes pour enfants centrés autour du Père Noël, et dans ce cas, le Père Noël existe bien, dans le récit comme sur le papier. Mais ça ne suffit pas pour prouver son *existence* au sens physique et littéral du terme.

Et pour cause : le Père Noël n'est pas un personnage historique, il n'a jamais fait partie de la réalité. Autrement dit, personne n'a jamais pu, ni ne pourra jamais le croiser dans la rue.

Le Père Noël n'*existe* donc pas, au sens physique et littéral du terme. On en déduit qu'il y a bien deux significations du mot "*exister*", et que ces deux significations ne sont absolument pas équivalentes.

Mais ce n'est pas tout : la littérature nous donne aussi une seconde leçon, c'est l'interdiction du mélange des genres. En effet, en littérature, la distinction entre le réel et l'imaginaire est toujours parfaitement claire.

Ce qui revient à dire qu'il est rigoureusement prohibé d'associer dans un même récit deux personnages, l'un historique, l'autre non, ce serait un mélange absurde. D'ailleurs personne n'y a jamais songé.

On vient de le voir, la littérature fait la distinction entre la réalité et la fiction, mais qu'en est-il de la science en général, et de la physique en particulier ?

Examinons les différents manuels scolaires les plus diffusés : la frontière entre les descriptions réelles et les descriptions imaginaires est-elle bien délimitée ? La distinction entre les forces réelles et les forces fictives est-elle bien nette ? Le mode d'emploi des forces fictives est-il clairement détaillé ?

Lisez attentivement tout ce qui a été écrit ici ou là sur la force centrifuge, y compris ce qui a été cautionné, signé et validé par des professeurs émérites, vous aurez la réponse.

Persistons et signons : le Père Noël n'existe pas, la force centrifuge non plus !

### **Des réactions diverses...**

Comment la communauté scientifique a-t-elle réagi face à ce raisonnement implacable ?

Comme d'habitude, quand il s'agit d'une nouveauté : « *On le savait déjà !* » « *Ce n'est pas vous qui l'avez découvert !* » « *Ça ne sert à rien !* »

En ce qui concerne la première réaction, il suffit de voir avec quelle énergie les défenseurs de l'orthodoxie se sont mobilisés pour sauver le dogme moribond, et surtout la valeur des arguments utilisés, pour comprendre qu'il n'en est rien.

L'utilité de la découverte ? C'est à ceux qui se sont fourvoyés avec la force centrifuge de prouver l'intérêt d'un concept imaginaire. La vérité, la précision, l'exactitude n'ont pas besoin de justification.

### **Un gigantesque lavage de cerveau...**

Comment expliquer une telle foi aveugle en un concept aussi fumeux qu'inutile ?

Des contenus ambigus ou mal ficelés (voir dossier ADILCA "Cessac & Tréherne", et en particulier le paragraphe consacré au fameux "Saison, Allain, Blumeau, Duboc, Herchen, Mérat et Niard"), ont été assimilés de travers, ou pire, détournés à des fins de propagande de sécurité routière, pour faire sérieux, pour faire scientifique. Une manière inacceptable de prendre les sciences physiques en otage.

Destinés à cautionner une politique aux intentions louables, ces contenus alambiqués n'ont jamais pu et ne pourront jamais éviter le moindre accident. Mais, colportés par des professeurs sans qualifications ni compétences particulières, ils ont eu l'effet d'un gigantesque lavage de cerveau auquel huit cent mille jeunes se sont soumis de bonne grâce chaque année.

Résultat ? Tout le monde a, un jour ou l'autre, entendu parler de force centrifuge, alors que personne (ou presque) n'a jamais entendu parler de force de guidage. Un véritable désastre intellectuel et culturel.

## Conclusion

Comme la force d'inertie et la force de Coriolis, la force centrifuge est une force imaginaire qui n'a pas d'existence réelle.

Il est donc évidemment impossible d'observer, de ressentir ou de mesurer 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 rectiligne. Pour la dévier, il faut solliciter une force transversale qu'on appelle force de guidage.

La force de guidage 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 "force de guidage").

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

*(1) Attention ! Le principe d'action réaction ne s'applique qu'à des forces réelles, jamais à des forces fictives. En d'autres termes, dans une description imaginaire, les interactions n'existent pas.*

*(2) L'action s'exerce sur la masse de la voiture, la réaction sur celle de la Terre. Ces deux forces sont égales mais l'effet est inversement proportionnel à la masse. Si on compare une voiture de 2 tonnes et le globe terrestre ( $6 \times 10^{24}$  kg), le rapport des masses est de 1 pour  $3 \times 10^{21}$ , soit 1 pour 3 000 milliards de milliards. La Terre ne subit donc aucune perturbation.*

*(3) Un référentiel relatif est également qualifié de non inertiel, ou non galiléen.*

*(4) Pour désigner cette discipline, l'appellation de "science physique" a progressivement supplanté celle de "philosophie naturelle", en usage jusqu'au début du XVIII<sup>e</sup> siècle.*

## ASSOCIATION ADILCA

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

\* \* \*

## FORCE CENTRIFUGE : LE MODE DE CALCUL

### 1. Calcul de la 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<sup>-1</sup>**

**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 qui s'exerce au contact du sol et qui maintient une voiture de masse 1 500 kilogrammes sur une trajectoire circulaire de 100 mètres de rayon à la vitesse de 20 mètres par seconde :

$$F = 1\,500 \times 20^2 / 100 = 1\,500 \times 400 / 100 = 6\,000 \text{ N}$$

### 2. Calcul de l'accélération transversale :

$$Y = F / M$$

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

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

**M** : masse, exprimée en **kg**

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

Exemple : calculons l'accélération transversale d'une voiture de masse 1 500 kilogrammes décrivant une trajectoire circulaire de 100 mètres de rayon à la vitesse de 20 mètres par seconde :

$$Y = 6\,000 / 1\,500 = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

### 3. Calcul de la force centrifuge :

$$F' = - M \cdot Y$$

**F'** : force centrifuge, exprimée en **N**

**M** : masse, exprimée en **kg**

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

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

Exemple : calculons la force, dite “*force centrifuge*”, qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité d’une voiture immobile pour créer, sur les suspensions et les pneumatiques, un effet comparable à celui observé dans la réalité lorsque la voiture décrit une trajectoire circulaire de 100 mètres de rayon à la vitesse de 20 mètres par seconde :

$$F' = - 1\,500 \times 4 = - 6\,000 \text{ N}$$

Remarque 1 : cette force est couramment nommée “*force centrifuge*”, ce qui est une appellation incorrecte puisqu’il n’y a ni trajectoire, ni rayon, ni centre (la voiture est immobile). Le vrai nom de cette force est : force imaginaire, force fictive ou pseudo-force.

Remarque 2 : le signe [-] est obligatoire, il précise l’orientation spatiale de cette force, contraire à la logique du mouvement.

Remarque 3 : attention aux interprétations erronées, l’égalité numérique des résultats (au signe près) n’autorisant pas l’interchangeabilité des descriptions, des concepts ou des raisonnements.

Remarque 4 : les différents calculs doivent s’effectuer dans l’ordre indiqué. Il est en effet impossible de calculer directement la force centrifuge sans passer par les calculs intermédiaires détaillés ci-dessus, sauf à se tromper de description et de concept.

Remarque 5 : toute démarche scientifique passe par quatre étapes successives :

- 1) observer un *phénomène* (ici, une voiture qui décrit une trajectoire circulaire) ;
- 2) mesurer des *grandeurs* (ici : masse de la voiture, sa vitesse et le rayon de sa trajectoire) ;
- 3) effectuer des *calculs* (ici : calcul de la force de guidage et de l’accélération transversale correspondante) ;
- 4) éventuellement, transposer un *raisonnement* (ici : passage d’une description réelle à une description imaginaire avec l’introduction du concept de force centrifuge).

Les trois premières étapes, indispensables, garantissent la traçabilité du raisonnement. La quatrième étape, facultative, n’apporte rien sinon un risque de confusion, d’où les méprises au sujet de la force centrifuge.

**ASSOCIATION ADILCA**

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

\* \* \*



## FORCE CENTRIFUGE : LES DESSINS

La force centrifuge n'existe pas, mais le concept imaginaire fait toujours recette dès qu'il s'agit de mouvement circulaire.

Plus grave, n'importe quel professeur vacciné à la force centrifuge se sent obligé de prendre l'automobile comme exemple pour illustrer ses certitudes. Et quoi de plus efficace qu'un beau dessin pour y parvenir ?

En effet, un dessin marque les esprits, mieux qu'une démonstration. Mais il doit être parfaitement juste, jusque dans les moindres détails. Sinon, il est toxique et contagieux.

Précisément, les dessins illustrant la force centrifuge sont révélateurs de la confusion qui règne dans les esprits, comme autant d'aveux signés. Mais comment savoir si un dessin est juste ou faux ?

### Comment analyser un dessin ?

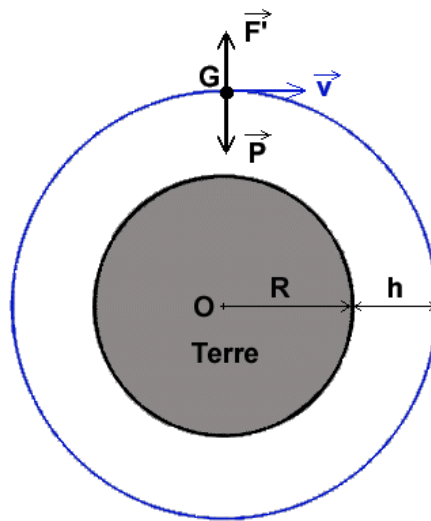
Pour savoir si un dessin est juste ou faux, il suffit d'examiner attentivement quatre détails :

1. La *légende du dessin* : elle doit préciser clairement si la description est statique ou dynamique. Dans une description statique, le véhicule est supposé immobile. Dans une description dynamique, il est supposé en mouvement. Pas de mélange possible (voir dossier ADILCA "*statique & dynamique*").
2. La présence d'un *vecteur vitesse* ou d'une *flèche trajectoire* : c'est le signe d'une description dynamique, ce qui exclut d'emblée la force centrifuge. En effet, dans une description dynamique, la force centrifuge n'existe pas.
3. Le *centre de gravité* : si une quelconque force s'exerce sur le centre de gravité, il ne peut s'agir que d'une force imaginaire, et donc d'une description statique. Dans une description dynamique, les forces ne s'exercent jamais sur le centre de gravité (excepté le poids), mais uniquement en surface ou par contact. Statique ou dynamique, c'est l'une ou l'autre, mais pas les deux à la fois.
4. Le *nombre de forces* : que la description soit dynamique ou statique, une seule force suffit pour tout expliquer. Si on en trouve deux ou trois, c'est qu'il y en a une ou deux en trop.

### Deux exemples

Des incohérences de ce genre se retrouvent dans la plupart des dessins illustrant la force centrifuge, en voici deux exemples.

**Premier exemple**, ce dessin extrait du livre de physique “CESSAC & TRÉHERNE” pour classe de Terminale D :



Dessin sans légende, livre de physique “CESSAC & TRÉHERNE” Terminale D.  
(© Éditions FERNAND NATHAN, Paris 1977).

Ce dessin est censé illustrer le mouvement d'un satellite “G” gravitant autour de la Terre (voir dossier ADILCA “Cessac & Tréherne”). Pourquoi ce dessin est-il incohérent ?

- La présence d'un vecteur vitesse “v” et d'une trajectoire circulaire (cercle bleu) prouve sans ambiguïté qu'il s'agit là d'une description dynamique, autrement dit que la force centrifuge “F” n'a rien à y faire.

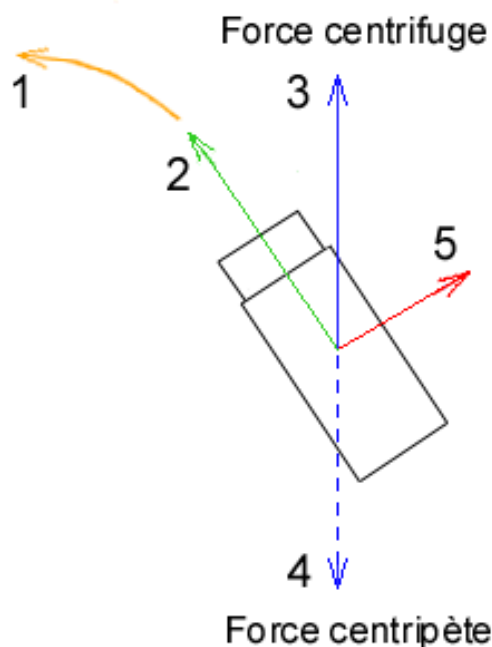
- Le vecteur “P” représente le poids du satellite, c'est la force centripète qui maintient l'engin en orbite circulaire autour de la Terre. Jusqu'ici, tout est correct.

- Le poids “P” s'exerce sur le centre de gravité du satellite, mais la force centrifuge “F” aussi, prouve qu'il s'agit là d'une force imaginaire sortie d'une description statique. Mêlant dynamique et statique, le dessin devient incohérent.

- Allons plus loin dans la logique de ce dessin : Les deux forces “P” et “F” étant de même module mais de sens contraire, elles s'annulent, donc *exit* le mouvement circulaire. Dans ce cas, tout se passerait comme si le satellite n'était plus soumis à aucune force, il abandonnerait alors son orbite circulaire pour s'éloigner progressivement de la Terre, sur une trajectoire rectiligne dont la direction est indiquée par “v”. Une illustration contradictoire, c'est le moins qu'on puisse dire.

- Poursuivons la logique jusqu'au bout : pour maintenir une trajectoire circulaire, une de ces deux forces est manifestement de trop. Comme il n'est pas question d'ignorer le poids “P” du satellite, on en déduit que c'est la force centrifuge “F” qu'il faut supprimer. Parfaitement logique, puisque la force centrifuge n'existe pas. C.Q.F.D !

**Deuxième exemple**, ce dessin extrait d'un manuel "FIMO-FCO" destiné à des conducteurs professionnels :



© association adilca reproduction interdite

Reproduction d'un dessin sans légende, manuel "FIMO-FCO 2010" (éditions ENPC).  
Seuls les numéros ont été rajoutés pour faciliter la "compréhension" du dessin.

Que faut-il penser de ce dessin ?

- La flèche 1 représente de toute évidence la trajectoire circulaire que va suivre le camion. On en déduit que le dessin propose une description dynamique, précision essentielle pour la suite car, dans une telle description, la force centrifuge n'existe pas. Cette remarque seule suffirait à disqualifier le dessin.

- Que représente la flèche 2 ? Mystère ! Il ne peut s'agir que de la force de traction, mais que vient-elle faire ici, sinon compliquer la description ?

- On remarque ensuite que les flèches 3, 4 et 5 sont des forces qui s'exercent sur le centre de gravité du camion. Or aucune force ne peut jamais s'exercer sur le centre de gravité, excepté le poids. Il s'agit donc de forces imaginaires.

- La flèche 3 est désignée par l'auteur du dessin comme étant la force centrifuge, mais en réalité, il s'agit d'une trajectoire, celle que le camion aurait suivie si la force de guidage n'existait pas. Confusion entre force et trajectoire, le mystère s'épaissit...

- La flèche 4 est désignée comme étant la force centripète, mais il n'y a pas de force centripète en automobile (voir dossier ADILCA "force centripète").

- De plus, orientée de cette manière, la force 4 neutralise la force 3 !

- La flèche 5 ne porte pas de nom. Dans le cadre d'une description dynamique, cette force n'existe pas, elle n'a donc rien à faire ici. L'auteur l'utilise néanmoins dans une improbable addition vectorielle avec la flèche 2, addition de laquelle résulte ce qu'il croit pouvoir nommer *force centrifuge* (flèche 3) !

- Le plus cocasse, c'est que la seule et unique force correcte qui permettrait d'expliquer la trajectoire circulaire du camion ne figure nulle part.

- Si le dessin proposait une description statique, la flèche 5 représenterait en effet la force centrifuge, mais attention, cette force serait alors la seule et unique à devoir figurer sur le dessin. Autrement dit, il faudrait supprimer toutes les autres et préciser dans la légende qu'il s'agit d'une force imaginaire s'exerçant sur un véhicule immobile. Mais un seul dessin ne suffirait pas, il faudrait en ajouter un second pour la description dynamique avec la force de guidage (voir dossier ADILCA "*force de guidage*"), ceci afin d'éviter toute confusion et expliquer (enfin !) l'origine du mouvement circulaire. Dans le cadre d'une démarche éducative, ce serait la moindre des choses. On n'y est pas encore.

Que faut-il penser de ce dessin ? Incontestablement, il mérite la médaille d'or. Faut-il blâmer son auteur ? Non. Ses professeurs ? Oui.

## **Conclusion**

La plupart des dessins censés illustrer le concept de force centrifuge (pour ne pas dire tous) sont truffés d'incohérences : absence de légende quant à la nature de la description, vecteur vitesse ou flèche trajectoire laissant croire à une description dynamique, mélange toxique de dynamique et de statique parfois aggravé par la présence de vecteurs excédentaires.

Entraînez-vous à déceler ces anomalies qui défient la logique et discréditent leurs auteurs, c'est un excellent exercice de santé mentale.

Enfin, lorsqu'un professeur s'échine à parler de force centrifuge, aussi sympathique et compétent soit-il, demandez-lui simplement de faire un dessin. En examinant le dessin, vous saurez tout de suite s'il y a une erreur...

**ASSOCIATION ADILCA**

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

\* \* \*