

LA FORCE CENTRIPÈTE

I. CE QU'IL FAUT SAVOIR SUR LA FORCE CENTRIPÈTE

II. FORCE CENTRIPÈTE : LE MODE DE CALCUL

- 1. Calcul de la force de gravitation**
- 2. Calcul de l'accélération gravitationnelle**
- 3. Calcul de la force centrifuge**

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

I. CE QU'IL FAUT SAVOIR SUR LA FORCE CENTRIPÈTE

On assimile parfois la force de guidage à une force de nature centripète, à tort.

Quelles sont les caractéristiques d'une force centripète ?

Définitions

Une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse. Ici, c'est la modification d'une trajectoire qui nous intéresse.

Centripète signifie "*qui rapproche du centre*". Une force est dite centripète quand son action consiste à rapprocher une masse d'un centre quelconque. Où situer exactement ce centre ? En physique, ce terme peut prendre deux significations différentes.

Trouver le centre...

1. S'agissant d'une masse décrivant une trajectoire circulaire, le centre en question est, bien sûr, celui du *cercle* que décrit cette masse.

Notons que, dans le cas du virage en automobile, l'action d'une force dite centripète devrait, selon cette définition, émaner du centre de la trajectoire (quelque part dans l'herbe ou au milieu des rochers...) et se traduire par une décroissance continue de la longueur du rayon jusqu'à la valeur zéro, la voiture décrivant alors une trajectoire en forme de spirale devant aboutir à ce fameux centre. De toute évidence, ce n'est jamais le cas.

2. Dans une autre acception qui dépasse le cadre du mouvement circulaire, le centre en question désigne le *centre de gravité*, point virtuel très utile pour la description de certains phénomènes. Ainsi par exemple, le phénomène de gravitation se résume à l'attraction réciproque entre deux centres de gravité, ce qui suppose l'existence d'une force agissant à distance.

Or, selon cette définition, parmi les quatre forces physiques fondamentales qui font fonctionner l'Univers, il n'en existe que deux qui répondent à ce critère, ce sont la *force électromagnétique* et la *force de gravitation*. Leur action peut donc être qualifiée de *centripète*, mais ce sont les seules.

Seulement deux forces de nature centripète...

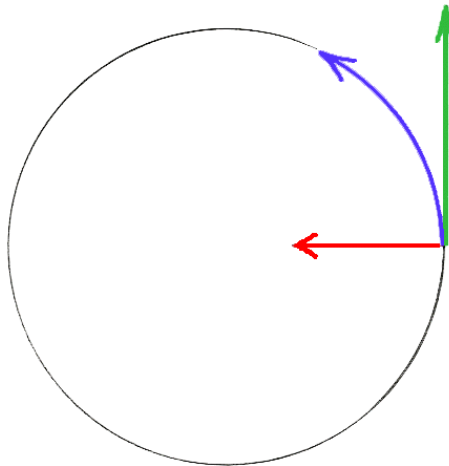
1. La force électromagnétique est une force centripète : elle est à l'origine des réactions chimiques, elle agit à distance et permet à un atome lourd de capturer un ou plusieurs atomes plus légers pour constituer une molécule.

Ainsi par exemple, lorsque des atomes d'oxygène et d'hydrogène sont mis en présence, chaque atome d'oxygène attire et capture deux atomes d'hydrogène pour former une molécule d'eau.

2. La force de gravitation, autrement dit le *poids*, est une force qui agit à distance et qui permet à deux masses de s'attirer mutuellement.

On peut le vérifier par exemple en lançant un caillou en l'air. On constate que le caillou est progressivement dévié de sa trajectoire initiale et se dirige vers le centre de la Terre⁽¹⁾.

La force de gravitation est à l'origine du mouvement circulaire des planètes. Ainsi explique-t-on la rotation de la Terre autour du Soleil : la masse du Soleil délivre une force qui dévie la trajectoire de la Terre. Si cette force n'existait pas, la Terre quitterait le système solaire. Et si la vitesse de la Terre était nulle, celle-ci prendrait immédiatement la direction du Soleil.



© association adilca reproduction interdite

Représentation schématique de la rotation de la Terre autour du Soleil

La Terre décrit une trajectoire circulaire (flèche bleue) à cause de la force de gravitation créée par la masse du Soleil (flèche rouge). Synonyme : force centripète, poids. Si cette force n'existait pas, la Terre conserverait une trajectoire rectiligne (flèche verte). Ne pas mélanger force, vitesse et trajectoire !

Exprimer la force de gravitation...

La force de gravitation s'exprime grâce à la relation découverte par Isaac Newton pour expliquer la rotation de la Lune autour de la Terre, puis celle de la Terre autour du Soleil :

$$F = M V^2 / R^{(2)}$$

Remarque : cette relation n'exprime pas la force centrifuge mais uniquement la force de gravitation ou, par analogie de raisonnement, la force de guidage (voir dossiers ADILCA "force centrifuge" et "force de guidage").

Force centripète et force centrifuge...

On présente souvent la force centripète et la force centrifuge comme deux forces opposées mais indissociables. Ce raisonnement simpliste repose sur deux confusions, voici lesquelles.

1. Une première confusion provient de la mauvaise compréhension du concept de force centrifuge et de son emploi à tort et à travers. La force centrifuge étant une force imaginaire, elle ne peut apparaître que dans une description tronquée qui fait abstraction du mouvement réel. De quoi s'agit-il ?

Dans ce genre de description, dite "statique", il faut imaginer que la Terre cesse de tourner autour du Soleil et reste immobile dans l'espace. Soumise à la force de gravitation, la Terre prendrait alors immédiatement la direction du Soleil pour venir s'y fondre, sauf si une force imaginaire, de même intensité mais de sens opposé, venait l'en empêcher.

Cette force imaginaire, c'est la force centrifuge. Mais la description est tronquée car elle suppose que la Terre cesse de tourner autour du Soleil⁽³⁾.

En résumé : la force centripète et la force centrifuge n'appartiennent pas à la même description !

2. Une deuxième confusion provient de la mauvaise compréhension du troisième principe de Newton, le fameux principe de réciprocité⁽⁴⁾ : « *Toute force qui s'exerce sur un corps entraîne une réaction d'égale intensité, mais de sens opposé.* » Cette réaction existe bien mais n'a strictement rien à voir avec la force centrifuge.

Reprenons la description du mouvement dans le système solaire et la relation entre le Soleil et la Terre : le Soleil génère une force qui agit à distance et maintient la Terre sur une trajectoire circulaire. Cette force, c'est la force de gravitation.

Le principe de réciprocité énoncé par Newton permet de déduire que la Terre attire également le Soleil, avec une force de même intensité que celle qui la maintient en orbite, mais de sens opposé. Cette fameuse réaction existe donc bien : elle s'exerce sur le centre de gravité du Soleil et non sur celui de la Terre.

Pourquoi seule la Terre infléchit-elle sa trajectoire, le Soleil restant parfaitement insensible à cette force ? L'explication tient à la masse du Soleil, plus de 300 000 fois supérieure à celle de la Terre : le rapport des masses étant en sa faveur, le Soleil dicte sa loi, la Terre s'y soumet⁽⁵⁾...

En résumé : la force centrifuge n'est pas la réaction à la force centripète !

Trois différences fondamentales...

Revenons sur Terre : la force de guidage, celle que le conducteur d'une automobile sollicite pour négocier un virage (voir le dossier ADILCA "force de guidage"), est-elle de nature centripète ?

Examinons point par point les caractéristiques de la force de guidage :

1. La voiture ne se rapproche jamais du centre de sa trajectoire, elle est seulement déviée d'une trajectoire rectiligne.

2. Cette force ne provient pas d'un hypothétique centre et n'agit pas à distance, c'est une force de contact.

3. Cette force ne s'exerce pas sur le centre de gravité de la voiture, mais à la périphérie des pneumatiques des roues directrices.

Trois raisons fondamentales qui nous permettent de conclure de manière claire, nette et définitive que la force de guidage n'est pas de nature centripète. C.Q.F.D.

Conclusion

Il faut se rendre à l'évidence : en automobile, il n'existe ni force centrifuge, ni force centripète !

(1) Une masse lancée à très grande vitesse (dite vitesse de libération) peut ne jamais retomber au sol. Il n'en reste pas moins que sa vitesse et sa trajectoire seront affectées par une force de gravitation, d'où qu'elle provienne et aussi faible soit-elle. La vitesse de libération à la surface de la Terre est d'environ 40 000 km.h⁻¹.

(2) Dans cette relation, la masse doit s'exprimer en kilogramme (symbole **kg**), la vitesse en mètre par seconde (symbole **m.s⁻¹**) et le rayon de trajectoire en mètre (symbole **m**). La dimension obtenue est le kilogramme mètre par seconde carrée (symbole **kg.m.s⁻²**) qui caractérise l'unité de force, le newton (symbole **N**).

(3) Cette description tronquée est dite "statique", par opposition à la description réelle, dite "dynamique". Attention ! Raisonner en statique entraîne de sérieuses conséquences : ici, cela supposerait la disparition des saisons ! Sur l'origine de la confusion, voir le dossier ADILCA "Cessac & Tréherne".

(4) Gare au mode d'emploi ! Ce principe ne s'applique qu'à des forces réelles, jamais à des forces imaginaires. Cela signifie que, dans une description statique, il n'y a pas d'interaction.

(5) L'action et la réaction sont égales mais leur effet est inversement proportionnel à la masse sur laquelle elles s'exercent (c'est le 2^{ème} principe de dynamique énoncé par Isaac Newton, voir dossier ADILCA "Issac Newton"). Soleil (S) : 2×10^{30} kg ; Terre (T) : 6×10^{24} kg ; rapport S/T = $1/3 \times 10^6$.

II. FORCE CENTRIPÈTE : LE MODE DE CALCUL

1. Calcul de la force de gravitation :

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

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

M : masse, exprimée en **kg**

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

R : rayon orbital, 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 gravitation qui maintient la Terre en orbite autour du Soleil. Caractéristiques de la Terre et de son mouvement : masse 6×10^{24} kg ; vitesse orbitale $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ($30 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) ; rayon orbital $150 \times 10^6 \text{ km}$ ($150 \times 10^9 \text{ m}$).

$$F = 6 \times 10^{24} \times (30 \times 10^3)^2 / (150 \times 10^9)$$

$$F = 6 \times 10^{24} \times 900 \times 10^6 / (150 \times 10^9)$$

$$F = 6 \times 900 \times 150^{-1} \times 10^{+24} \times 10^{+6} \times 10^{-9}$$

$$F = 36 \times 10^{21} \text{ N} = 36 \text{ ZN}$$

Remarque 1 : il suffit d'une seule force pour expliquer le mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil, c'est la force de gravitation. Cette force agit seule, elle s'exerce sur le centre de gravité de la Terre, elle est orientée vers le centre du Soleil. Il n'y a pas d'autre force mise en jeu dans ce système-ci, pas plus que dans n'importe quel autre.

Remarque 2 : conformément au principe de réciprocité d'Isaac Newton, la Terre exerce une action réciproque sur le centre de gravité du Soleil, de même intensité et de sens opposé. Le Soleil reste imperturbable, le rapport des masses étant en sa faveur.

2. Calcul de l'accélération gravitationnelle :

$$Y = F / M$$

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

F : force de gravitation, 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 1 : calculons l'accélération gravitationnelle que le Soleil exerce sur la Terre pour lui imposer une trajectoire circulaire. Caractéristiques de la Terre : masse 6×10^{24} kg ; force de gravitation exercée par le Soleil 36×10^{21} N.

$$Y = 36 \times 10^{21} / (6 \times 10^{24})$$

$$Y = 36 \times 6^{-1} \times 10^{+21} \times 10^{-24}$$

$$Y = 6 \times 10^{-3} = 0,006 \text{ m.s}^{-2}$$

Exemple 2 : conformément au principe de réciprocité, calculons l'accélération que la Terre exerce sur le Soleil. Caractéristiques du Soleil : masse 2×10^{30} kg ; action réciproque exercée par la Terre 36×10^{21} N.

$$Y = 36 \times 10^{21} / (2 \times 10^{30})$$

$$Y = 36 \times 10^{+21} \times 2^{-1} \times 10^{-30}$$

$$Y = 18 \times 10^{+21} \times 10^{-30}$$

$$Y = 18 \times 10^{-9} = 0,000\ 000\ 018 \text{ m.s}^{-2}$$

Remarque : cette accélération est environ 330 000 fois plus faible que celle qui s'exerce sur la Terre, ce qui, en accord avec le deuxième principe d'Isaac Newton, correspond bien au rapport des deux masses en interaction.

3. Calcul de la force centrifuge :

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

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

M : masse, exprimée en **kg**

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

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

Exemple : calculons la force qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité de la Terre, si celle-ci était immobile (vitesse orbitale nulle), pour compenser l'attraction du Soleil et la maintenir en équilibre dans l'espace :

$$F' = - 6 \times 10^{24} \times 6 \times 10^{-3}$$

$$F' = - 6 \times 6 \times 10^{+24} \times 10^{-3}$$

$$F' = - 36 \times 10^{21} \text{ N} = - 36 \text{ ZN}$$

Remarque 1 : cette force est couramment appelée “*force centrifuge*” ce qui est un qualificatif incorrect puisqu’il n’y a ni vitesse, ni rayon orbital, ni centre (la Terre est immobile et reste en équilibre dans l’espace). 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, supposée équilibrer l’attraction solaire.

Remarque 3 : attention aux interprétations erronées, l’égalité numérique des résultats n’autorisant pas le mélange des descriptions, des concepts ou des raisonnements. L’erreur la plus courante est de confondre la *force centrifuge* avec l’*action réciproque* que la Terre exerce sur le Soleil. En effet, bien que ces deux forces aient la même intensité (– 36 ZN), elles n’ont rien de commun :

- la *force centrifuge* s’exerce sur le centre de gravité de la Terre, c’est une force imaginaire, la description est *statique*.
- L’*action réciproque* s’exerce sur le centre de gravité du Soleil, c’est une force réelle, la description est *dynamique*.

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 étapes intermédiaires détaillées ci-dessus, sauf à se tromper de description et de concept.

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

- *observation* d’un phénomène ;
- *mesures* de grandeurs ;
- *calculs* ;
- et, en dernier lieu, *raisonnement* (ici : le concept de force centrifuge). Ce passage du concret à l’abstrait, du réel à l’imaginaire a souvent été court-circuité, d’où les nombreuses confusions et méprises au sujet de la force centrifuge.

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *