

LA FORCE D'INERTIE

I. LES LOIS DE NEWTON

II. FORCE D'INERTIE : LA VÉRITABLE DÉFINITION

III. FORCE D'INERTIE : LE MODE DE CALCUL

1. Calcul d'une accélération ou décélération
2. Calcul d'une force de traction ou de freinage
3. Calcul de l'action réciproque
4. Calcul de la force d'inertie

IV. FORCE D'INERTIE : LES MANUELS SCOLAIRES

V. BIBLIOGRAPHIE

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

I. LES LOIS DE NEWTON

Les lois générales du mouvement ont été découvertes et formulées par le mathématicien et physicien anglais Isaac Newton (1642 - 1727).

Ces lois sont universelles et permettent de décrire n'importe quelle forme de mouvement.

Ces lois s'énoncent ainsi :

Principe d'inertie

« Une masse immobile sur laquelle n'agit aucune force, reste parfaitement immobile. »

« Une masse en mouvement sur laquelle n'agit aucune force, conserve intégralement sa vitesse. »

Le concept de force découle de ce principe.

Concept de force

« Une force désigne toute cause capable de faire varier la vitesse d'une masse. »

Principe de réciprocité

« Toute masse soumise à l'action d'une force, répond par une action réciproque d'égale intensité, mais de sens opposé. »

Comment ces lois s'appliquent-elles pour décrire le mouvement d'un véhicule terrestre, et comment définir le concept de force d'inertie ?

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com

* * *

II. FORCE D'INERTIE : LA VÉRITABLE DÉFINITION

La *force d'inertie* est, avec la force centrifuge et la force de Coriolis, l'une des trois forces fictives utilisées par les physiciens dans le cadre de descriptions imaginaires.

Qu'est-ce qu'une description imaginaire ? Qu'est-ce qu'une force fictive ? Qu'appelle-t-on force d'inertie ? D'où provient-elle et comment agit-elle ? Voici quelques éléments de réponses.

Rappel

Un *référentiel* désigne un système de repères grâce auxquels on peut mesurer les caractéristiques du mouvement d'une masse, telles que la distance parcourue, la vitesse, le rayon de sa trajectoire ou une variation d'altitude ⁽¹⁾. Un référentiel peut être absolu ou relatif.

Conformément au *principe d'inertie* d'Isaac Newton, une masse sur laquelle ne s'exerce aucune force reste immobile ou garde une vitesse constante. D'où cette définition : une *force* désigne toute cause capable d'accélérer ou décélérer une masse. On distingue deux types de forces : les forces réelles et les forces imaginaires.

Précision

Inertie vient de "*inerte*". La force d'inertie se définit comme la force délivrée par un objet inerte. Comment un objet inerte pourrait-il délivrer la moindre force ? Cette définition semble paradoxale... En réalité, tout s'explique quand on sait que la force d'inertie est une force imaginaire, ainsi que nous allons le voir.

Un phénomène facile à observer

Considérons un camion immobile, stationné sur un terrain plat, avec un ballon posé au milieu de la benne. Mettons le camion en mouvement et observons la scène du haut d'une fenêtre ou d'un balcon par exemple : dès que le camion démarre, le ballon donne l'impression de rouler vers l'arrière de la benne, comme s'il était animé d'une force apparente.

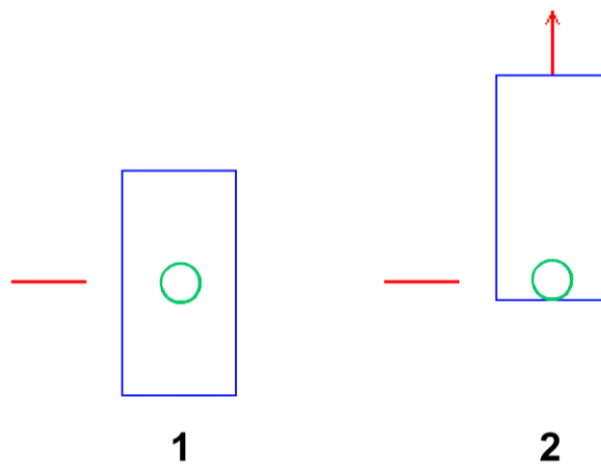
Cette force apparente, c'est la *force d'inertie*. Mais attention : le mouvement du ballon relève d'une illusion d'optique. En effet, un repère au sol permet de vérifier qu'en réalité le ballon ne s'est pas déplacé, il a simplement été rattrapé puis heurté par la ridelle arrière.

Explication : la seule force sollicitée dans cette expérience est la force de traction provenant du moteur. Cette force s'exerce d'abord sur les pneumatiques des roues motrices au contact du sol. Elle se transmet ensuite au châssis, à la carrosserie et à la benne ainsi qu'à tout ce qu'elle contient, ballon compris.

Le point de contact entre la benne et le ballon étant une surface trop faible pour communiquer la force nécessaire à l'accélération du ballon, celui-ci reste immobile par rapport à la Terre tandis que le camion démarre⁽²⁾.

Et c'est justement parce que le ballon reste immobile, totalement insensible au mouvement du camion, donc complètement inerte, qu'il donne l'illusion de bouger, d'où le nom donné à cette force.

En réalité, dans cette expérience, la seule et unique cause de mouvement, la seule et unique force qui existe vraiment est la *force de traction* qui s'est exercée sur les roues motrices du camion au contact du sol. Il n'y a pas d'autre force à considérer dans cette description.



© association adilca reproduction interdite

Expérience vue de dessus :

1. Un ballon est posé au milieu de la benne d'un camion immobile.
2. Quand le camion démarre, on a l'impression que le ballon se déplace vers l'arrière de la benne. Un repère au sol (trait rouge) permet de vérifier qu'en réalité le ballon est resté sur place.

Les deux référentiels

Ces deux descriptions sont contradictoires parce qu'elles appartiennent à deux référentiels distincts :

1. Référentiel « Terre » : le mouvement du ballon est décrit à partir d'un référentiel lié au globe terrestre, qualifié ici de *référentiel absolu* puisque les véhicules terrestres se déplacent par rapport à la Terre⁽³⁾.
2. Référentiel « camion » : le mouvement du ballon est décrit à partir d'un référentiel lié à la benne du camion, qualifié ici de *référentiel relatif* puisque les repères extérieurs ont disparu. Le mouvement du ballon est alors appelé *mouvement apparent*⁽⁴⁾.

Rappelons cette règle : un référentiel relatif (ici le camion) est un système isolé et indépendant qui doit être considéré comme parfaitement immobile, même si, en réalité, il ne l'est pas⁽⁵⁾. Une règle qu'on peut résumer par cet aphorisme :

« Quand il y a un mouvement (du véhicule), il n'y a pas de force d'inertie. La force d'inertie n'apparaît qu'à condition d'ignorer le mouvement (du véhicule). »

Cette distinction va servir de modèle pour toutes les autres expériences censées prouver l'existence de la force d'inertie.

La mascotte suspendue au rétroviseur...

Installons-nous à bord d'une voiture et observons une mascotte suspendue au rétroviseur intérieur. En ligne droite et à vitesse constante, la mascotte indique la verticale.

Observons ce qu'il se passe lorsque la voiture accélère ou freine : de l'intérieur de l'habitacle (référentiel « voiture »), on constate que la mascotte s'incline, comme animée d'une force apparente qui agirait sur son centre de gravité. Cette force apparente, c'est la force d'inertie.



© association adilca reproduction interdite

La mascotte suspendue au rétroviseur...

En réalité, dans le référentiel « Terre », il n'y a pas de force d'inertie : la mascotte reste simplement inerte. De fait, la force de traction ou de freinage s'exerce d'abord sur les pneumatiques au contact du sol, 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 d'inertie qui, pour le passager, semble faire bouger la mascotte ne relève donc que d'une simple illusion d'optique.

Le mouvement des passagers...

Lors d'un freinage puissant, les passagers d'une voiture sont projetés en avant et plaqués contre la ceinture de sécurité, comme s'ils étaient animés d'une force apparente...

D'où vient ce mouvement ? S'agit-il d'une manifestation de la force d'inertie ?

Lorsque le conducteur sollicite les freins, la voiture est soumise à une force qui s'exerce à la périphérie des pneumatiques au contact du sol, c'est la force de freinage. 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 à l'intérieur de la voiture.

Mais ce n'est pas le cas des passagers qui, bien qu'assis dans leurs fauteuils, gardent tout de même une certaine liberté de mouvement : au moment où la voiture ralentit, les passagers conservent leur vitesse initiale, jusqu'à ce que les fauteuils et les ceintures de sécurité leur communiquent cette fameuse force.

Le mouvement des passagers n'est donc pas une manifestation de la force d'inertie, il est tout simplement dû à la force de freinage qui s'exerce, d'abord sur la voiture, et ensuite sur les passagers, par le biais des fauteuils et des ceintures de sécurité.

Le mouvement des bagages...

Examinons le mouvement des bagages placés dans le coffre ou des objets posés sur la tablette arrière.

L'explication est identique à celle qui concerne les passagers : lorsque la voiture accélère ou freine, 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 leur vitesse initiale tant qu'une partie quelconque de la carrosserie ne leur communique pas la moindre force de traction ou de freinage.

Conclusion : il n'y a pas de force d'inertie, ni dans l'habitacle, ni sur la tablette arrière, ni dans le coffre !

Force d'inertie : la véritable définition !

Ces différentes explications nous amènent à cette définition originale et inédite de la force d'inertie :

« Dans le référentiel « voiture », on appelle force d'inertie 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 traction ou de freinage. »

Insistons sur les trois exigences de cette définition :

1. L'immobilité de la voiture.

2. Le caractère hypothétique de cette fameuse force, clairement affirmé par l'emploi du conditionnel : “la force qu'il faudrait exercer...”

3. Le point d'application de cette force (le centre de gravité) et l'impossibilité d'y exercer directement la moindre force (cette exigence seule suffirait à prouver le caractère irréel de la force d'inertie)⁽⁶⁾.

Trois bonnes raisons pour affirmer de façon claire, nette et définitive que la force d'inertie n'existe pas.

Le mouvement de tangage...

Observons une Citroën 2 CV lors d'un freinage brusque. À cause de ses suspensions molles, la voiture s'écrase sur ses roues avant tandis que les roues arrière sont délestées. Ce phénomène, c'est le *tangage* qu'on attribue à tort à la force d'inertie.

Pourquoi la voiture se comporte-t-elle ainsi ? Pour faire varier la vitesse de la voiture, le conducteur a dû solliciter la force de freinage qui s'exerce sur les pneumatiques au contact du sol, mais pas sur le centre de gravité.

La distance entre le sol et le centre de gravité apparaît alors comme un *bras de levier* avec lequel la force de freinage forme un *couple*, au sens physique du terme : la voiture tourne sur elle-même autour d'un axe transversal, comme une personne déséquilibrée par un tapis qu'on tirerait sous ses pieds.

Si la force de freinage s'exerçait directement sur le centre de gravité, il n'y aurait pas de tangage. Le mouvement de tangage n'a donc strictement rien à voir avec la force d'inertie.

Statique ou dynamique ?

Poursuivons le raisonnement. L'observation du phénomène de tangage autorise deux descriptions possibles d'un même phénomène :

1. Une description réelle, dite “*dynamique*”, qui décrit la décélération de la voiture et son mouvement de tangage, grâce au concept de force de freinage.

2. Une description imaginaire, dite “*statique*” qui considère que la voiture est parfaitement immobile. Auquel cas il faudrait imaginer une force capable de créer un mouvement de tangage artificiel.

C'est là qu'intervient le concept de force d'inertie avec cette autre définition, tout aussi originale et inédite que la précédente :

« Dans le référentiel « Terre », on appelle force d'inertie la force imaginaire qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité d'une voiture immobile pour créer sur les suspensions et les pneumatiques un effet identique à celui observé dans la réalité lorsque la voiture est soumise à la force de traction ou de freinage. »

Les trois exigences précédemment énoncées restent évidemment valables :

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. Le point d'application de cette force (le centre de gravité de la voiture) et l'impossibilité physique d'y exercer directement la moindre force (cette exigence seule suffirait à prouver le caractère irréel de la force d'inertie).

... et l'aphorisme également :

« Là où il y a un mouvement, il n'y a pas de force d'inertie. La force d'inertie n'apparaît qu'à condition de supprimer le mouvement. »

Remarque de bon sens : la description de forces imaginaires qui, grâce à la pensée magique, pourraient s'exercer sur le centre de gravité de véhicules immobiles, ne présente strictement aucun intérêt, les voitures étant des machines conçues pour le mouvement et destinées à satisfaire des besoins de déplacement par rapport à la Terre.

Le troisième principe de Newton

Une erreur fréquente consiste à présenter la force d'inertie comme étant l'action réciproque de la force de traction ou de freinage, selon le principe de réciprocité énoncé par Newton⁽⁷⁾. Que dit ce fameux principe ?

« Toute masse soumise à l'action d'une force, répond par une action réciproque d'égale intensité mais de sens opposé. »

Ce principe est probablement le plus mal compris de tous ceux jamais énoncés par Isaac Newton ! En effet, l'action réciproque associée à une quelconque force ne peut exister et se manifester que dans le cadre d'une description unique, à partir d'un référentiel absolu.

Comment ce principe s'applique-t-il dans le cas qui nous occupe ? Les forces qui font varier le mouvement de la voiture s'exercent au contact du sol. Logiquement, l'action réciproque se manifeste également au niveau du sol.

De fait, quand un véhicule terrestre accélère ou freine, les pneumatiques prennent appui sur le sol et exercent une poussée horizontale, d'égale intensité à la force qui agit sur la voiture, mais de sens opposé. Cette poussée serait théoriquement capable de perturber la rotation du globe terrestre, si ce n'était la masse de la Terre elle-même, bien trop grande pour que son mouvement en soit affecté⁽⁸⁾.

Le principe de réciprocité s'applique donc mais n'a strictement rien à voir avec le concept de force imaginaire, et la force d'inertie n'est pas, ne peut pas être, n'est jamais l'action réciproque d'une quelconque force.

Les sensations des passagers...

Une littérature abondante a fait croire aux automobilistes qu'ils pouvaient ressentir les effets de la force d'inertie, cette pseudo-sensation apportant ainsi la preuve de son existence.

Détaillons le mécanisme du mouvement : la force de traction (ou de freinage) s'exerce sur les pneumatiques au contact du sol, elle se transmet ensuite aux passagers par l'intermédiaire du châssis, de la carrosserie et des fauteuils.

Le principe de réciprocité s'applique alors parfaitement : puisque les passagers sont soumis à la force de traction (ou de freinage) provenant de la carrosserie et des fauteuils, ils exercent une *action réciproque* sur les fauteuils et la carrosserie, d'égale intensité mais de sens opposé.

Par conséquent, ce que ressentent les passagers, c'est bien cette *action réciproque* et non la force d'inertie.

Tout cela est finalement très logique, car il est évidemment impossible d'observer ou de ressentir les effets d'une force imaginaire.

Calcul de la force d'inertie

Peut-on calculer l'intensité de la force d'inertie ? 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... Cependant, en ce qui concerne la force d'inertie, la démarche habituellement proposée 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 et comment elle a été obtenue. Un principe de traçabilité, en quelque sorte.

En effet, 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.

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.

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 traction ou de freinage peuvent parfaitement être étudiées seules et suffisent à tout expliquer, tandis que la force d'inertie est toujours obligatoirement tributaire d'une force de traction ou de freinage.

Dès lors, il n'est pas question de se jeter sur la première formule venue sans se préoccuper de savoir d'où elle vient, ce qu'elle exprime et comment elle a été obtenue. La traçabilité du raisonnement, c'est cela.

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

Un exemple concret

Prenons l'exemple d'une voiture de masse 1 500 kg qui accélère de 0 à 20 m.s⁻¹ en 10 secondes.

Cet énoncé repose sur des grandeurs physiques qu'il a fallu mesurer sur le terrain : la *masse* de la voiture, sa *vitesse* et le *temps*. Les calculs viennent ensuite, à commencer par l'intensité de l'accélération :

$$Y = V / T$$

$$Y = 20 / 10 = 2 \text{ m.s}^{-2}$$

La relation fondamentale de la dynamique permet alors de calculer l'intensité de la force de traction **F** qui s'est exercée sur les pneumatiques des roues motrices au contact du sol :

$$F = M Y$$

$$F = 1\,500 \times 2 = 3\,000 \text{ N}$$

Ce n'est qu'à partir de ce résultat qu'on peut enfin changer de description et calculer l'intensité de la force d'inertie **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 quand la voiture est soumise à la force de traction ou de freinage. On utilise alors cette formule :

$$\mathbf{F}' = - \mathbf{M} \mathbf{Y} = - \mathbf{F}$$

Le calcul est vite fait : à une force réelle de **3 000 N** dans une description dynamique correspond une force imaginaire de **- 3 000 N** dans une description statique. D'où la confusion.

En effet, les vecteurs "force réelle" et "force imaginaire" ont le même module, certes, mais tout les distingue :

- 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 d'inertie, si elle existait, devrait avoir une orientation spatiale contraire à celle de la force de traction ou de freinage).
- L'un de ces deux vecteurs s'applique sur une voiture en mouvement, l'autre sur une voiture immobile.

En résumé, ces deux vecteurs n'appartiennent pas à la même description. Et gare aux mélanges. Ainsi, la grandeur censée prouver l'existence de la force d'inertie résulte d'une confusion avec la force de traction ou de freinage !

Le capteur à inertie...

Un simple capteur à inertie (appareil également appelé dynamomètre, ou capteur d'accélération ou de décélération) permet-il de mesurer l'intensité de la force d'inertie ?

Détaillons le principe de fonctionnement de cet appareil : une masselotte pouvant 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 ou décélération, c'est le principe du dynamomètre. Le corps de l'appareil est solidement fixé à la carrosserie de la voiture.

Reprenons l'exemple de la voiture qui accélère de 0 à 20 m.s⁻¹ en 10 secondes. Dans ces conditions, si la masselotte a une masse de 10⁻² kg et si l'appareil est correctement étalonné, le curseur va indiquer une force de 2 x 10⁻² N, c'est la force qui agit sur la masselotte pour faire varier sa vitesse. La relation fondamentale de la dynamique permet ensuite de calculer l'accélération de la masselotte :

$$\mathbf{Y} = \mathbf{F} / \mathbf{M}$$

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

On remarque que la valeur de cette accélération est strictement égale à celle de la voiture, ce qui est logique puisque, le capteur étant solidement fixé à la carrosserie, il subit une variation de vitesse identique.

Comme il n'y a pas de mouvement sans cause, on en déduit que cette accélération provient de la force de traction qui s'est exercée sur la voiture pour faire varier la vitesse de l'ensemble.

Autrement dit, le capteur à inertie mesure l'intensité d'une force de traction ou de freinage, mais son principe de fonctionnement n'a strictement rien à voir avec le concept de force d'inertie.

Nous venons de le démontrer, la force d'inertie n'existe pas. Mais alors, d'où vient la méprise ? En réalité, les mécanismes de la confusion sont anciens, complexes, et culturels.

Newton et la force d'inertie

Commençons par le commencement. La plus ancienne mention de la *force d'inertie* en langue française est sans doute celle qui figure dans le dictionnaire de Pierre Richelet édité en 1732, avec cette définition :

« Monsieur Newton appelle force d'inertie, un principe passif par lequel les corps perdurent dans leur mouvement, ou dans leur repos. »

Force ou principe, ce n'est pas du tout le même concept, mais la définition de Richelet est suffisamment claire et précise pour lever toute ambiguïté : ce que l'on appelle communément *force d'inertie* désigne en réalité le *principe d'inertie*, principe qui décrit le comportement de toute matière livrée à elle-même, donc en l'absence de force.

Allons plus loin et remontons à la source, c'est-à-dire au texte même rédigé par Isaac Newton et publié à Londres en 1687 (« *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* »)⁽⁹⁾ :

« Materię vis insita est potentia resistendi, qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum. »

« Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum. »

Voici la traduction proposée par Émilie de Breteuil dans un ouvrage publié à Paris en 1759 (« *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* »)⁽¹⁰⁾ :

« La force qui réside dans la matière (vis insita) est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement en ligne droite. »

« La force imprimée (vis impressa) est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite. »

Notons qu'Émilie de Breteuil, présentant sans doute le risque de confusion, a pris soin d'insérer dans sa traduction les termes mêmes employés par Newton : « *vis insita* », « *vis impressa* », comme pour bien distinguer deux concepts : l'un est un *principe*, l'autre est une *force*.

Sage précaution en effet, car la difficulté du texte original réside précisément dans le sens à donner au mot « *vis* ». Comme c'est souvent le cas en latin, un même mot peut prendre plusieurs significations selon le contexte.

Effectivement, le dictionnaire Gaffiot de 1934 (la référence du genre) nous apprend que le mot latin « *vis* » peut se traduire, selon le cas, par « *force, vigueur, puissance, influence, violence, essence...* » Félix Gaffiot, brillant latiniste, s'est cantonné à l'étude des auteurs latins classiques. Nul doute que s'il s'était penché sur les écrits de Newton, il aurait traduit « *vis insita* » par « *principe d'inertie* », comme Richelet deux siècles auparavant.

Voilà sans doute l'origine du grand malentendu à propos de la force d'inertie : un seul mot latin mais deux sens possibles, puis une traduction littérale prise au pied de la lettre. Cependant, la conclusion reste toujours la même : il n'y a pas de force d'inertie dans l'œuvre de Newton, seulement un principe.

L'inventeur de la force d'inertie

L'expression « force d'inertie » a pris sa véritable signification avec l'avènement de la *Statique*, une branche de la physique théorisée par Jean Le Rond d'Alembert, mathématicien et physicien français (1717 - 1783). Se penchant sur l'œuvre de Newton et la jugeant incomplète, d'Alembert proposa de ramener les questions de dynamique à des questions de statique en postulant que tout système accéléré pouvait être décrit comme s'il était immobile, cette *inertie* (au vrai sens du terme) nécessitant l'introduction d'une *force fictive* pour expliquer un mouvement apparent. Cette force fictive, d'Alembert l'a baptisée *force d'inertie*.

Dans un ouvrage au titre paradoxal (« *Traité de dynamique* ») publié à Paris en 1743, d'Alembert livre ainsi la clé du raisonnement :

« *À chaque instant, il y aurait équilibre entre les forces agissant réellement sur un ensemble de points matériels en mouvement, et les forces d'inertie des divers points du système, si celles-ci venaient à agir.* »

Le mot « *équilibre* » a pu laisser croire que ces deux forces, égales et opposées, agissaient en même temps sur la même masse. Or, si c'était le cas, elles se neutraliseraient, d'Alembert aurait alors employé l'expression « *se détruisent* », puisque tel est le terme qu'il utilise par ailleurs. Par conséquent, sous la plume de D'Alembert, le mot « *équilibre* » doit être compris comme signifiant « *équivalence* ».

Dès lors, la phrase de D'Alembert est parfaitement claire : les deux forces sont égales et opposées mais n'agissent pas en même temps. Il y a les forces réelles d'un côté

(en *dynamique*) et les forces d'inertie de l'autre (en *statique*), les deux descriptions étant mathématiquement équivalentes mais physiquement distinctes. D'ailleurs l'emploi du conditionnel (« *il y aurait équivalence... si celles-ci venaient à agir* ») dissipe tout malentendu et prouve bien que les forces d'inertie n'existent pas dans la réalité : ce sont des *forces imaginaires*⁽¹¹⁾.

Le rôle des professeurs

Vers le milieu du XIX^{ème} siècle, le concept de force d'inertie, légitimé par les travaux de Gaspard Coriolis, ingénieur militaire français (1792 - 1843), inventeur de la force qui porte son nom, suscita un regain d'intérêt parmi les professeurs soucieux d'actualiser leur enseignement en période de guerre (voir le dossier ADILCA "*force de Coriolis*").

Quel rôle les enseignants ont-ils joué par la suite ? Il est bien évident qu'aucun professeur de physique digne de ce nom n'a jamais pu confondre la réalité et la fiction.

Malheureusement, la plupart des enseignants étant restés confinés dans des salles de cours, des amphithéâtres ou des laboratoires, ils ont axé leur enseignement sur ces fameux concepts imaginaires. Peu soucieux de pragmatisme, ils ont oublié d'en délivrer le mode d'emploi.

Le résultat est là : au fil du temps, des cours et des programmes scolaires, les descriptions fictives ont progressivement supplanté les descriptions réelles.

Conclusion

Le concept de force d'inertie, souvent confondu avec le *principe d'inertie* d'Isaac Newton, a été utilisé à tort et à travers, hélas, sans précaution quant à son mode d'emploi (voir le dossier ADILCA "*Isaac Newton*").

La force d'inertie est une force imaginaire qui n'apparaît qu'en statique ou dans un référentiel relatif, elle n'a pas d'existence réelle, pas plus que la force centrifuge et la force de Coriolis (voir les dossiers ADILCA "*force centrifuge*" et "*force de Coriolis*"). C'est donc à tort si ce concept a été utilisé pour décrire le mouvement des automobiles.

La réalité est celle-ci : c'est la force de traction qui permet d'accélérer une voiture, c'est la force de freinage qui permet de la ralentir (voir les dossiers ADILCA "*couple moteur & force de traction*" et "*force de freinage*").

La force de traction et la force de freinage s'exercent sur les pneumatiques de la voiture au contact du sol, selon que le conducteur appuie sur l'accélérateur ou sur le frein. Il n'y a rien d'autre à ajouter.

Tous les autres phénomènes observés en automobile ont des explications claires, logiques et rationnelles qui n'ont rien à voir avec le concept de force d'inertie.

Notes et remarques

(1) Un système de repères comprend trois axes orthogonaux (longueur, largeur, hauteur) liés par une origine commune (point zéro), auxquels on associe une mesure de temps (chronomètre).

(2) En réalité, le ballon ne glisse pas mais tourne sur lui-même, acquérant ainsi une énergie cinétique de rotation. Si le camion stoppe brutalement, cette énergie accumulée peut suffire pour entraîner le ballon vers la ridelle arrière. Dans le cadre de cette expérience, c'est ce qu'on appelle un artéfact.

(3) Attention : un même référentiel peut être tantôt absolu (on dit aussi : inertiel ou galiléen), tantôt relatif (on dit aussi : non inertiel ou non galiléen) selon l'objet de l'étude. Ainsi la Terre, référentiel absolu pour décrire le mouvement des véhicules terrestres puisque ceux-ci se déplacent par rapport à la Terre, devient un référentiel relatif pour décrire le mouvement des planètes du système solaire puisque celles-ci se déplacent par rapport au Soleil (voir le dossier ADILCA "système solaire"). Gare au mélange des descriptions !

(4) Par définition, un mouvement apparent est celui que perçoit un observateur posté dans un référentiel relatif, c'est à dire privé de tout repère extérieur et supposé immobile. Le Soleil, par exemple, est animé d'un mouvement apparent pour qui l'observe depuis la Terre en étant persuadé que le globe terrestre est immobile (voir le dossier ADILCA "référentiels").

(5) Par convention, tout référentiel, qu'il soit absolu ou relatif, doit être considéré comme parfaitement immobile, c'est son unique raison d'être et la clé de tout raisonnement.

(6) Du point de vue de la physique, le centre de gravité se définit comme le point d'application de la résultante de toutes les forces de gravitation qui agissent sur les différentes masses d'un ensemble non homogène (pour une voiture : moteur, boîte de vitesses, roues, châssis, carrosserie, passagers, chargement, etc.). Avec deux personnes à bord, le centre de gravité d'une voiture de tourisme est approximativement situé entre les deux sièges avant, à la hauteur de l'assise, c'est le centre d'équilibre de l'ensemble. L'exemple de la bicyclette montre que ce point est parfaitement immatériel, il est donc impossible d'y exercer la moindre force.

(7) Attention ! Le principe de réciprocité ne peut s'appliquer qu'à des forces réelles, jamais à des forces fictives. En effet, dans une description imaginaire, les interactions n'existent pas.

(8) L'égalité entre une force et son action réciproque ne signifie pas que leurs effets soient identiques : selon le principe fondamental de la dynamique (deuxième loi de Newton), l'accélération produite par une force est inversement proportionnelle à la masse sur laquelle elle s'exerce (relation $[Y = F / M]$). Dans notre exemple, la force de traction s'exerce sur le camion, l'action réciproque s'exerce sur le globe terrestre. Entre un camion de 10 tonnes et la Terre (6×10^{24} kg), le rapport des masses est de 1 pour 6×10^{20} , soit 1 pour 600 milliards de milliards, à l'avantage de la Terre, au détriment du camion. D'une manière plus générale, c'est le rapport des masses en interaction qui permet de faire la distinction entre une force et son action réciproque.

(9) Traduction du titre : « Principes mathématiques de philosophie naturelle » (le latin était la langue des érudits de l'époque). La philosophie naturelle désigne ce que l'on appelle aujourd'hui la physique.

(10) Émilie de Breteuil (1706-1749), de son nom complet : Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Chastellet, est une femme de lettres, érudite et polyglotte, mathématicienne et physicienne française.

(11) Ne pas confondre le concept de force d'inertie de D'Alembert (raisonnement "statique" faisant intervenir une force imaginaire) avec le principe d'inertie d'Isaac Newton (raisonnement "dynamique" duquel on déduit, soit l'absence de force, soit l'action d'une force réelle). Le principe d'inertie de Newton (premier principe de dynamique), énonce que : « Toute masse immobile sur laquelle ne s'exerce aucune force reste parfaitement immobile. Toute masse en mouvement sur laquelle ne s'exerce aucune force conserve intégralement sa vitesse. Toute masse en mouvement sur laquelle ne s'exerce aucune force décrit une trajectoire parfaitement rectiligne. » La notion de force se déduit de ce principe et peut se définir ainsi : « Une force désigne toute cause capable d'agir sur la trajectoire ou sur la vitesse d'une masse ».

III. FORCE D'INERTIE : LE MODE DE CALCUL

1. Calcul d'une accélération ou décélération :

$$Y = \Delta V / T$$

Y : accélération ou décélération, exprimée en **m.s⁻²**
V : variation de vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**
T : temps, exprimé en **s**
cohérence des unités : **Y = m.s⁻¹ . s⁻¹ = m.s⁻²**

Exemple : calculons l'accélération d'une voiture dont la vitesse varie de 0 à 30 mètres par seconde en 15 secondes :

$$Y = 30 / 15 = 2 \text{ m.s}^{-2}$$

2. Calcul de la force de traction ou de freinage :

$$F = M . Y$$

F : force de traction ou de freinage, exprimée en **N**
M : masse, exprimée en **kg**
Y : accélération ou décélération, exprimée en **m.s⁻²**
cohérence des unités : **F = kg . m.s⁻² = kg.m.s⁻² = N**

Exemple 1 : calculons la force de traction qui s'exerce sur les pneumatiques des roues motrices d'une voiture de masse 1 500 kilogrammes lorsque celle-ci est soumise à une accélération de 2 mètres par seconde carrée :

$$F = 1\,500 \times 2 = 3\,000 \text{ N}$$

Cette force s'exerce au contact du sol. En vertu du principe de réciprocité, les pneumatiques des roues motrices exercent une action réciproque sur le globe terrestre, d'égale intensité mais de sens opposé.

Exemple 2 : calculons la force de traction qui s'exerce sur un passager de masse 100 kilogrammes lorsque la voiture est soumise à une accélération de 2 mètres par seconde carrée :

$$F = 100 \times 2 = 200 \text{ N}$$

Cette force s'exerce sur le passager par l'intermédiaire du dossier du fauteuil. En vertu du principe de réciprocité, le passager exerce une action réciproque sur le dossier du fauteuil, d'égale intensité mais de sens opposé. Cette action réciproque est parfaitement ressentie par le passager, elle a été interprétée à tort comme étant une manifestation de la force d'inertie.

3. Calcul de l'action réciproque :

$$A = - F$$

A : action réciproque, exprimée en **N**

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

(le signe [-] précise l'orientation spatiale de l'action réciproque)

Exemple 1 : calculons l'action réciproque que les pneumatiques des roues motrices d'une voiture de masse 1 500 kilogrammes exercent sur le globe terrestre lorsque la force de traction est égale à 3 000 N :

$$A = - 3\,000\text{ N}$$

Le globe terrestre est insensible à cette action en raison du rapport des masses en interaction. Calculons ce rapport : globe terrestre (6×10^{24} kg) *versus* voiture ($1,5 \times 10^3$ kg) = 4×10^{21} .

Exemple 2 : calculons l'action réciproque qu'un passager de masse 100 kilogrammes exerce sur le fauteuil et la carrosserie d'une voiture lorsque la force de traction à laquelle il est soumis est égale à 200 N :

$$A = - 200\text{ N}$$

Le passager ressent parfaitement cette action réciproque qui lui donne l'impression de peser sur le dossier du fauteuil. C'est pourquoi la carrosserie doit être parfaitement rigide et le fauteuil suffisamment bien fixé. La voiture reste insensible à cette action en raison du rapport des masses en interaction. Calculons ce rapport : voiture (1 500 kg) *versus* passager (100 kg) = 15.

4. Calcul de la force d'inertie :

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

F' : force d'inertie, exprimée en **N**

M : masse, exprimée en **kg**

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

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

(le signe [-] précise l'orientation spatiale, contraire à la logique du mouvement)

Exemple 1 : calculons la force, dite "*force d'inertie*", qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité d'une voiture immobile, tous freins bloqués, pour créer, sur les suspensions et les pneumatiques, un effet comparable à celui observé dans la réalité lorsque l'accélération est égale à 2 mètres par seconde carrée :

$$F' = - 1\,500 \times 2 = - 3\,000 \text{ N}$$

Exemple 2 : calculons la force, dite “*force d’inertie*”, qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité d’un passager de masse 100 kg installé à bord d’une voiture immobile afin de lui communiquer une sensation identique à celle qu’il éprouve dans la réalité lorsque l’accélération est égale à 2 mètres par seconde carrée :

$$F' = - 100 \times 2 = - 200 \text{ N}$$

Remarque 1 : la *traçabilité du raisonnement* impose d’effectuer les différents calculs dans l’ordre indiqué. Il est en effet impossible de calculer directement la valeur de la force d’inertie sans passer par les étapes intermédiaires détaillées ci-dessus.

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

Remarque 3 : cette force, dite “*force d’inertie*”, est une force purement imaginaire puisque la voiture est immobile et le reste. Pour lever toute ambiguïté, il est préférable de la qualifier de force fictive, force apparente, force imaginaire ou pseudo-force.

Remarque 4 : attention à ne pas confondre la *force d’inertie* avec l’*action réciproque* : ces deux forces sont bien égales, mais la ressemblance s’arrête là :

- L’action réciproque est la force réelle que le passager exerce par contact avec le dossier du fauteuil, en réponse à la force de traction que lui communique le fauteuil quand la voiture accélère.
- La force d’inertie est une force imaginaire qu’il est impossible de ressentir : c’est la force qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité du passager, si la voiture était immobile.

Insistons sur l’usage du conditionnel, qui prouve bien le caractère hypothétique de cette force (“*la force qu’il faudrait exercer...*”). Ajoutons que le centre de gravité n’est qu’un centre d’équilibre, il n’est le siège d’aucune interaction, exceptée gravitationnelle. Concrètement, cela signifie qu’il est impossible d’y exercer la moindre force.

Remarque 5 : toute démarche scientifique doit passer par quatre étapes :

- 1) observer un *phénomène* (ici, une voiture qui accélère ou qui ralentit) ;
- 2) mesurer des *grandeurs* (ici : la masse de la voiture et la variation de sa vitesse couplée au temps) ;
- 3) effectuer des *calculs* (ici : le calcul de la force de traction ou de freinage) ;
- 4) éventuellement, transposer un *raisonnement* (ici : une question de dynamique ramenée à une question de statique avec la suppression des forces réelles et l’introduction du concept de force d’inertie).

La dernière étape, facultative, n’apporte rien, si ce n’est un risque de confusion.

IV. FORCE D'INERTIE : LES MANUELS SCOLAIRES

La *force d'inertie* est, avec la force centrifuge et la force de Coriolis, l'une des trois forces fictives utilisées par les physiciens dans le cadre de descriptions imaginaires. Apparemment distinctes, ces trois forces sont issues d'une seule et même théorie :

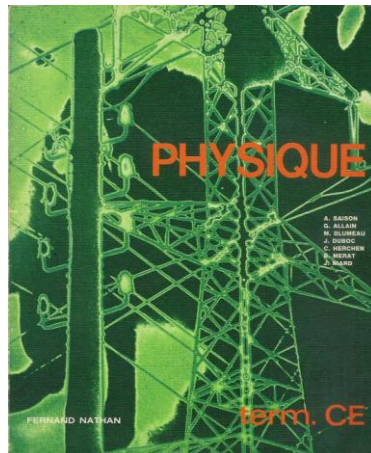
- La *force centrifuge*, dite aussi « *force d'inertie centrifuge* » procède d'un raisonnement statique appliqué au mouvement circulaire (voir le dossier ADILCA "*force centrifuge*").

- La *force de Coriolis*, dite aussi « *force d'inertie de Coriolis* » procède d'un raisonnement statique appliqué à l'observation d'un mouvement depuis la surface de la Terre. La force de Coriolis ne figurant pas au programme de l'enseignement secondaire, nous ne l'aborderons pas ici (voir le dossier ADILCA "*force de Coriolis*").

Comment les manuels scolaires ont-ils traité le concept de force imaginaire ?

1. LA FORCE D'INERTIE

L'un des ouvrages les plus dogmatiques dans le genre est sans doute le "SAISON, ALLAIN, BLUMEAU, DUBOC, HERCHEN, MÉRAT & NIARD", livre de physique pour classes terminales C et E paru aux éditions Fernand Nathan en 1980.



"SAISON, ALLAIN, BLUMEAU, DUBOC, HERCHEN, MÉRAT & NIARD"
Physique, classes terminales C et E (Éditions Fernand Nathan).

Qui sont les auteurs ? Jean DUBOC était maître de recherche au CNRS. Micheline BLUMEAU et Claude HERCHEN enseignaient dans des lycées expérimentaux. Jean NIARD enseignait dans un lycée technique. Gilbert ALLAIN et Robert MÉRAT étaient inspecteurs pédagogiques et André SAISON, inspecteur général de l'éducation nationale.

Les phrases litigieuses

Voici comment ce livre, écrit à sept mains, évoque la force d'inertie :

- Page 81, à propos du passager d'une voiture qui accélère : *« Il ressent la force d'inertie puisqu'elle l'applique contre le dossier. »*

- Page 82 : *« Cette force d'inertie est d'ailleurs ressentie par le passager puisqu'elle l'applique contre le dossier du fauteuil. »*

- Page 83, à propos du passager d'une voiture qui freine : *« Il ressent la force d'inertie puisqu'elle le propulse vers le pare-brise. »*

Répétée trois fois, cette phrase a forcément été écrite, relue, validée et cautionnée par les auteurs qui, rappelons-le, étaient au nombre de sept...

Plus surprenant encore, parmi ces sept professeurs, il y avait trois inspecteurs de l'enseignement dont on peut penser qu'ils étaient rompus à la traque des fautes pédagogiques...

Il ne faut donc pas s'étonner si cette série d'affirmations a pu convaincre les jeunes lycéens de l'existence d'une force imaginaire.

Des affirmations erronées

Circuler en voiture est une situation banale. En associant une expérience vécue à un concept imaginaire, nos sept éminents professeurs ont réalisé un véritable tour de passe-passe digne d'un camelot de foire.

Une faute pédagogique, car il n'y avait pas de phrase plus perverse pour convaincre les jeunes lycéens de l'existence d'une force imaginaire.

C'est exactement comme si, évoquant le système solaire, les auteurs du livre avaient écrit :

« Levez les yeux vers le ciel, jeunes gens ! Vous voyez bien que le Soleil tourne autour de la Terre ! »

L'étude des phénomènes naturels consiste justement à relativiser les perceptions et les sensations pour leur substituer un esprit de logique et de raisonnement. C'est ainsi que l'humanité est passée de l'obscurantisme à la science.

Pourquoi ces affirmations sont-elles erronées ? La force d'inertie est une force imaginaire, par conséquent il est absolument impossible d'en observer ou d'en ressentir les effets.

Les sensations du passager ont donc une tout autre explication.

Le raisonnement correct

D'où viennent ces sensations éprouvées par le passager quand la voiture accélère, décélère ou décrit une trajectoire circulaire ?

Un passager ne peut ressentir que des forces réelles qui s'exercent sur la voiture, à savoir : la *force de traction*, la *force de retenue*, la *force de freinage* ou la *force de guidage*. Car il n'y en a que quatre, il n'en existe pas d'autre !

Ces forces naissent à la périphérie des pneumatiques au contact du sol, elles se transmettent ensuite au châssis, à la carrosserie et à tout ce que contient la voiture, elles parviennent enfin au passager par l'intermédiaire du fauteuil.

C'est donc le dossier du fauteuil qui vient s'appliquer sur le passager pour lui communiquer une force de traction, et non le contraire !

En réponse, le passager exerce une *action réciproque* sur le dossier du fauteuil, un phénomène qui n'a absolument rien à voir avec la force d'inertie. De quoi s'agit-il ?

Le principe de réciprocité

Le troisième principe de Newton, ou *principe de réciprocité*, s'énonce ainsi :

« Toute masse soumise à l'action d'une force, répond par une action réciproque d'égale intensité, mais de sens opposé. »

Comment ce principe s'applique-t-il dans le cas qui nous occupe ?

Nous venons de le voir, le dossier du fauteuil exerce une *force de traction* sur le passager. Cela signifie qu'en retour, le passager exerce une *action réciproque* sur le dossier du fauteuil, d'égale intensité mais de sens opposé. C'est cette action réciproque que le passager ressent, et non la force d'inertie. Un raisonnement identique s'applique en cas de freinage, d'où l'intérêt de la ceinture de sécurité et du coussin gonflable (airbag).

Notons que le principe de réciprocité est rigoureusement inapplicable dans le cas d'une description imaginaire, étant donné que les interactions y sont absentes.

Autre confusion à éviter : la force qui fait varier la vitesse et son action réciproque sont bien égales mais leurs effets ne le sont pas, puisque l'action du passager s'efface devant celle des roues, de la carrosserie et du fauteuil ^(*). C'est là tout l'intérêt de l'automobile, avec des moteurs et des freins plus puissants que le corps humain, ainsi que des fauteuils et des ceintures solidement fixés aux carrosseries. Essayons d'imaginer ce qu'il se passerait si ce n'était pas le cas...

En résumé : en seulement trois petites phrases assassines, nos sept éminents professeurs ont introduit une lamentable confusion entre force d'inertie et action réciproque. Un exploit qui laissera des traces.

Force d'inertie : la véritable définition !

La réalité du mouvement est donc celle-ci : la force de traction se transmet au passager par l'intermédiaire du fauteuil. Le passager exerce alors une action réciproque sur le fauteuil. Tout est dit.

Et la force d'inertie dans tout ça ? Voici la définition correcte :

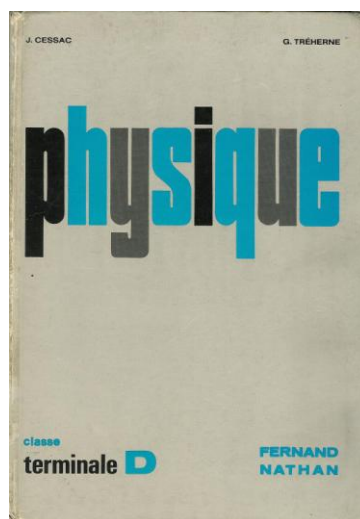
« On appelle force d'inertie la force imaginaire qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité du passager d'une voiture immobile pour le voir s'animer d'un mouvement identique à celui observé dans la réalité lorsque la voiture accélère ou freine. »

Bilan

Triste bilan d'un manuel scolaire pourtant destiné à faire autorité en matière de pédagogie : nos sept éminents professeurs bardés de titres et de diplômes ont tout simplement confondu la force d'inertie avec l'action réciproque ! Ont-ils jamais eu conscience de la bourde ainsi commise ? Eux seuls pourraient le dire...

2. LA FORCE D'INERTIE CENTRIFUGE

Le concept de « *force d'inertie centrifuge* » a été introduit en 1966 dans le "CESSAC & TRÉHERNE", livre de physique pour classe terminale D paru aux éditions Fernand Nathan, ouvrage officiel de l'éducation nationale jusqu'à l'aube des années quatre-vingts.



“CESSAC & TRÉHERNE”

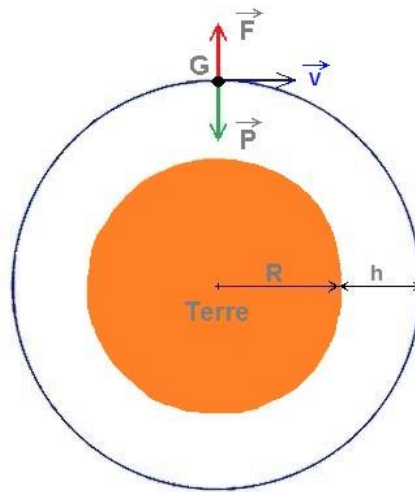
Physique, classe terminale D (Éditions Fernand Nathan).

Qui sont les auteurs ?

Jean CESSAC, professeur agrégé de physique en 1933, publia son premier manuel scolaire en 1939. Devenu inspecteur général de l'instruction publique, il collabora avec Georges TRÉHERNE, professeur agrégé de physique au lycée JANSON DE SAILLY de Paris, à la rédaction d'un nouveau manuel de physique destiné aux classes terminales. Le premier opus d'une longue série parut en 1947, édité par Fernand Nathan.

Un dessin incohérent

La « *force d'inertie centrifuge* » apparaît à la page 62 dans un dessin en noir et blanc, unique et sans légende, illustrant le mouvement d'un satellite en orbite autour de la Terre. Ce dessin, le voici reproduit avec l'autorisation de l'éditeur (la couleur en plus) :



Dessin "CESSAC & TRÉHERNE" (© Éditions Fernand Nathan, Paris 1977).

Détaillons ce dessin : le centre de gravité (G) du satellite est animé d'une vitesse (V) et d'une trajectoire circulaire (cercle noir) imposée par l'attraction de la Terre. Cette attraction, c'est le poids (P) du satellite.

Jusqu'ici, tout est normal et si la description en restait là, le mouvement du satellite serait parfaitement logique.

Hélas, nos deux éminents professeurs ont cru bon d'affubler le dessin d'une force supplémentaire (F), dénommée « *force d'inertie centrifuge* », dont on se demande ce qu'elle vient faire là, sinon compliquer le dessin et le rendre incompréhensible.

Deux interprétations possibles

Pourquoi ce dessin est-il incohérent ? Envisageons deux interprétations possibles :

1. Première interprétation : les deux forces (P) et (F) sont d'égale intensité mais de sens opposé, autrement dit, ces deux forces se neutralisent. Dans ce cas, c'est comme si le satellite n'était plus soumis à la moindre force, il devrait donc décrire une trajectoire rectiligne. Autrement dit, le satellite devrait alors quitter l'orbite terrestre pour s'éloigner de la Terre dans la direction indiquée par (V). Mais dans ce cas, comment expliquer cette trajectoire circulaire qui figure sur le dessin (cercle noir) ?

2. Seconde interprétation : le satellite décrit la fameuse trajectoire circulaire figurant sur le dessin (cercle noir), mais dans ce cas, l'une de ces deux forces (P) ou (F) est de trop. Une force en trop, oui mais laquelle ? Comme il n'est pas question d'ignorer le phénomène de gravitation, on en déduit que c'est cette fameuse « *force d'inertie centrifuge* » (F) qu'il faudrait supprimer. Une preuve supplémentaire que cette force n'existe pas. Et la preuve est dans le dessin !

De toute évidence, ces deux interprétations sont contradictoires, elles s'excluent mutuellement, il n'est pas possible de les faire cohabiter. Le dessin unique et sans légende présenté tel quel dans le fameux "CESSAC & TRÉHERNE" est donc bien complètement incohérent.

Réflexion faite, il aurait fallu deux dessins bien distincts, accompagnés de deux légendes parfaitement explicites, pour éviter toute confusion dans l'esprit des jeunes lecteurs, comme d'ailleurs dans celui des futurs professeurs (voir le dossier ADILCA "*manuels scolaires de physique*").

Conclusion

Les manuels scolaires ont été rédigés par d'éminents professeurs auxquels les lecteurs ont accordé une confiance aveugle. Mais ces ouvrages ne sont pas irréprochables quand il s'agit de la force d'inertie.

En effet, certains de ces ouvrages contiennent des aberrations qui ont pu contaminer les esprits et court-circuiter tout raisonnement logique.

Conclusion : méfiez-vous de ce que vous lisez ici ou là. Méfiez-vous des affirmations péremptoires. Méfiez-vous du raisonnement et des dessins de vos professeurs, aussi sympathiques et compétents soient-ils !

(*) *Deuxième principe de Newton déjà évoqué* : « L'accélération produite par une force est inversement proportionnelle à la masse sur laquelle elle s'exerce. » *Relation fondamentale* $[F = M Y]$ d'où $[Y = F / M]$.

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

V. BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION ADILCA (ouvrage collectif édité à compte d'auteurs) : *Guide des Lois Physiques de l'Automobile*, Paris 2010.
- CESSAC (Jean) & TRÉHERNE (Georges) : *Physique Terminale D*, éditions Fernand Nathan, Paris 1977.
- GAFFIOT (Félix) : *Dictionnaire latin-français*, éditions Hachette, Paris 1934.
- LE ROND D'ALEMBERT (Jean) : *Traité de dynamique*, Paris 1743.
- LE TONNELIER DE BRETEUIL, marquise du Chastellet (Gabrielle Émilie) : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, Paris 1759 (traduction intégrale en français de l'ouvrage d'Isaac Newton).
- NEWTON (Isaac) : *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Londres 1687.
- RICHELET (César-Pierre) : *Dictionnaire de la langue françoise ancienne et moderne*, Amsterdam 1732.
- SAISON (André), ALLAIN (Gilbert), BLUMEAU (Micheline), DUBOC (Jean), HERCHEN (Claude), MÉRAT (Robert) & NIARD (Jean) : *Physique terminale CE*, éditions Fernand Nathan, Paris 1980.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *