

STATIQUE ET DYNAMIQUE

Les dérivées vectorielles et la transformation d'une base en rotation en une base fixe (dite "base de Frenet") apportent-elles la preuve mathématique de l'existence de la force centrifuge ? C'est à voir !...

Quelques précisions utiles...

- Un référentiel désigne un ensemble de repères à partir desquels se mesurent les caractéristiques du mouvement d'une masse. On distingue deux types de référentiels : le référentiel général pour décrire un mouvement réel et le référentiel restreint pour décrire un mouvement apparent.

La Terre est le référentiel général adapté à la description du mouvement des voitures et de tout ce qu'elles contiennent (passagers, bagages) car, comme leur nom l'indique, les véhicules terrestres se déplacent par rapport à la Terre. En revanche, une voiture ne peut constituer qu'un référentiel restreint ne permettant pas d'autre description que celle du mouvement des passagers et des bagages. Cette distinction a été détaillée dans un dossier à lire par ailleurs (voir dossier ADILCA "*les référentiels*").

- Une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse. On distingue deux types de forces : les forces réelles et les forces imaginaires.

Les forces réelles s'exercent à distance ou par contact, elles sont à l'origine du mouvement réel observé dans un référentiel général. Il n'existe que deux forces agissant à distance : la force de gravitation et la force électromagnétique. Par contre, il existe une multitude de forces de contact dont celles qui régissent le mouvement des véhicules terrestres et qui s'exercent sur les pneumatiques au contact du sol (force de traction, force de retenue, force de freinage et force de guidage). Les forces imaginaires (également appelées forces apparentes, forces fictives ou pseudo-forces) sont d'une toute autre nature : elles servent à expliquer un mouvement ou un équilibre apparents, elles sont supposées s'exercer sur le centre de gravité mais ne peuvent apparaître que dans un référentiel restreint ou en statique. La physique ne connaît que trois forces imaginaires : la force d'inertie, la force centrifuge et la force de Coriolis (voir dossiers ADILCA).

De la réalité à la fiction...

En quoi consiste la transformation d'une base en rotation en une base fixe ? Les mathématiques et la physique sont certes complémentaires mais il faut se garder d'aligner des calculs sans s'interroger sur leur signification réelle. En l'occurrence, le passage d'une base en rotation à une base fixe est une transformation qui fait abstraction du mouvement réel. C'est donc une projection purement imaginaire. En d'autres termes, la base en rotation est alors considérée comme immobile et il est ensuite nécessaire d'avoir recours à des forces fictives pour expliquer un mouvement ou un équilibre devenus apparents.

Du présent au conditionnel...

Comment distinguer la réalité de la fiction ? Voici un exemple :

- **Phrase 1** : j'ai gagné 300 € au loto et ma grand-mère m'a légué 700 €, je dispose de 1000 €.

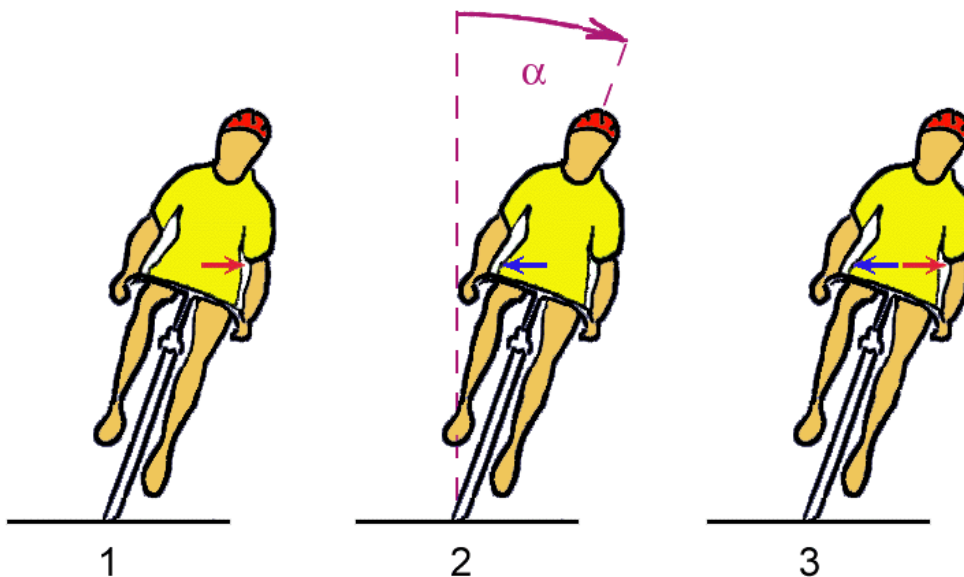
- **Phrase 2** : si je gagnais 300 € au loto, et si ma grand-mère me léguait 700 €, je disposerais de 1000 €.

On voit que les deux calculs sont parfaitement exacts dans les deux cas, à cette nuance près toutefois : la somme d'argent n'est réelle que dans la première phrase, elle est complètement fictive dans la seconde ! Ce sont les modes de conjugaison qui permettent de faire la distinction et il n'est pas question de mélange, ni du point de vue grammatical, c'est la règle de la concordance des temps, ni du point de vue comptable...

De la dynamique à la statique...

La même transformation existe en maths et en physique ! Passer d'une base en rotation à une base fixe est comme passer du présent au conditionnel, le conditionnel supposant ici que le mouvement réel est figé. La première description est nommée "*dynamique*", c'est la description réelle. La seconde est dite "*statique*", c'est une description fictive. Mais, mieux qu'un long discours, voici l'exemple du cycliste en équilibre pour illustrer cette distinction.

Trois dessins valent mieux qu'un long discours...



- **Dessin 1** : c'est la description réelle, dite "*dynamique*". La base en rotation est constituée d'un cycliste sur sa bicyclette. Traduction concrète : le cycliste est en mouvement et décrit une trajectoire circulaire. Selon la loi de Newton, ce cycliste a été dévié de sa trajectoire initialement rectiligne grâce à une force de contact, unique et bien réelle, qui provoque l'accélération transversale de son centre de gravité, c'est la force de guidage (flèche rouge sur le dessin 1). En réalité cette force s'exerce au contact du sol mais, pour une meilleure lisibilité du dessin, nous l'avons "transportée" au centre de gravité du cycliste, ainsi que le permet une des règles de calcul vectoriel.

La formule appropriée à cette description est $F = MV^2/R$. Une application numérique montre que si la masse du cycliste (bicyclette comprise avec " g " = 10 m.s^{-2}) est 100 kilogrammes, sa vitesse 10 mètres par seconde et le rayon de sa trajectoire 100 mètres, l'intensité de la force de guidage nécessaire au maintien de cette trajectoire est 100 newtons. Par ailleurs, une mesure précise de l'angle d'inclinaison du cycliste par rapport à la verticale (à partir d'une photo par exemple) montre que, dans ces conditions, cet angle est très exactement égal à 5,7 degrés...

- **Dessin 2** : c'est une description imaginaire, dite "*statique*". La base en rotation a été transformée en base fixe. Traduction concrète : le cycliste est désormais immobile, il n'avance plus. Mais il penche d'un côté ! Pour éviter une chute, la condition d'équilibre nécessite la présence d'une force imaginaire qu'on appelle couramment force centrifuge (flèche bleue sur le dessin 2).

Cette force n'a pas d'existence réelle car, qui a jamais vu un cycliste à la fois immobile, penché et en équilibre dans une telle position ? Et ce qualificatif de centrifuge qui signifie "qui éloigne du centre", parlons-en ! Il ne peut convenir ici en l'absence de trajectoire, donc de rayon, donc de centre, puisque le cycliste est immobile. Le nom correct de cette force est "force apparente", "force fictive" ou "pseudo-force", nous l'avons déjà dit.

Autre confusion regrettable, celle des relations entre grandeurs. En effet, contrairement à une idée reçue, la formule $F = MV^2/R$ ne peut jamais s'appliquer à cette description dans laquelle la vitesse est toujours nulle ! D'ailleurs une tentative d'application numérique le confirme :

$$\forall M, \forall R \neq 0, \text{ pour } V = 0, F = MV^2/R = 0/R = 0 ! \dots$$

La voilà, cette fameuse preuve mathématique ! Mais ce n'est pas tout... Quelle valeur donner à R ? Et comment mesurer le rayon de la trajectoire d'un objet immobile ? On le voit bien : rien ne marche ici, absolument rien, l'impasse est totale !...

Pour être complet, précisons une bonne fois pour toutes que la seule et unique formule qui convient à cette description est $F = P \times \tan \alpha$, où P est le poids et α l'angle d'inclinaison par rapport à la verticale. Une application numérique montre que pour retenir un cycliste immobile de masse 100 kilogrammes (bicyclette comprise avec " g " = 10 m.s^{-2}) en position inclinée de 5,7 degrés par rapport à la verticale, il faudrait disposer d'une force apparente de... 100 newtons !

Une force de 100 newtons ? Oui ! Quel curieux hasard, quelle étrange coïncidence ! Ou plutôt : quelle extraordinaire correspondance des valeurs, quelle merveilleuse précision de la physique, car le hasard et les coïncidences n'ont évidemment pas leur place ici !

Ces calculs montrent en effet que, pour une inclinaison identique, la force de guidage en dynamique et la force apparente en statique ont la même intensité !... D'où la confusion. Mais attention ! L'exactitude du calcul ne prouve pas la réalité du concept. L'une de ces deux forces seulement est bien réelle, c'est la force de guidage, l'autre est purement imaginaire, répétons-le, c'est la force apparente.

Et nous allons démontrer maintenant que ces deux forces, et donc les deux descriptions auxquelles elles se rapportent, ne peuvent ni se compléter, ni se superposer.

- **Dessin 3** : c'est une fusion, un mélange des deux descriptions précédentes, une sorte de manipulation contre nature suivie d'un raisonnement par l'absurde destiné à apporter la preuve nette et définitive que les deux représentations sont totalement incompatibles.

Totalement absurde, cette description l'est en effet puisque les deux forces, opposées et d'égale intensité, s'annulent ! $100 - 100 = 0$! Si on raisonne en dynamique, le cycliste livré à lui-même conserve alors une trajectoire rectiligne, il ne peut plus décrire la moindre trajectoire circulaire. Si on raisonne en statique, le cycliste immobile tombe alors immédiatement, il ne peut plus rester en même temps immobile et penché ! Mais en tout état de cause, il faut choisir l'une des deux descriptions et oublier l'autre ! CQFD !

C'est désormais une règle absolue : on ne mélange jamais une base en rotation avec une base fixe, une description dynamique avec une description statique, pas plus qu'on ne mélange le présent et le conditionnel ou la réalité et la fiction !

Statique ou dynamique : la vraie définition !

Ce qui précède nous amène à cette distinction :

“On appelle statique une description imaginaire dans laquelle une base en mouvement est considérée comme immobile.”

“On appelle dynamique la description réelle du mouvement et ses causes.”

Attention danger ! Gare au mode d'emploi ! La physique a horreur du mélange des genres. Insistons encore une fois sur l'interdiction formelle et absolue de fusionner les deux descriptions, interdiction qui va jusqu'aux formules ! Et signalons au passage une autre erreur fréquente : la confusion entre description statique et référentiel restreint (voir dossier ADILCA “*les référentiels*”).

Que d'incompréhensions, que de déboires, que de dérapages pour ceux qui, étudiants ou professeurs, ne respecteraient pas ces précautions !...

Force centrifuge : la vraie définition !

Ce qui précède nous amène à cette définition de la force centrifuge :

“On appelle force centrifuge la force transversale qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité d’un cycliste immobile (on néglige la masse de la bicyclette) pour le maintenir aussi incliné que lorsqu’il décrit une trajectoire circulaire. Cette définition, valable uniquement en statique, devient caduque si le cycliste est en mouvement.”

Pour une voiture, cette définition devient :

“On appelle force centrifuge la force transversale qu’il faudrait exercer sur le centre de gravité d’une voiture immobile pour créer sur les pneumatiques et les suspensions un effet comparable à ce que ces éléments subissent lorsque la voiture décrit une trajectoire circulaire. Cette définition, valable uniquement en statique, devient caduque si la voiture est en mouvement.”

Une force purement imaginaire !

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

Et comme personne n’a jamais vu, de ses yeux vu, une telle force se manifester spontanément, on en déduit que la force centrifuge est bien une force imaginaire qui n’a pas d’existence réelle.

La seule force qui existe vraiment est une force qui s’exerce au contact du sol, c’est la force de guidage. C’est elle qui est capable de dévier un véhicule terrestre d’une trajectoire rectiligne, c’est elle qui le maintient sur une trajectoire circulaire, et elle seule. Il n’y a pas d’autre force mise en jeu à cette occasion.

La preuve par la bouteille d’eau...

Avez-vous déjà fait l’expérience dite “de la bouteille d’eau” ?

Elle consiste à remplir partiellement une bouteille d’eau en plastique, de préférence avec du sirop (menthe, grenadine...) pour en colorer le contenu, puis à installer le récipient à plat et en travers sur le guidon ou sur le réservoir d’une moto.

Il suffit ensuite de partir faire un tour et d’observer les mouvements du liquide lors des variations de trajectoires : sauf chute, la surface du liquide reste toujours perpendiculaire à l’axe de symétrie de la moto. Il n’en irait évidemment pas de même pour une inclinaison en statique !

Cette expérience est très utile : lorsqu'un professeur s'échine à dessiner des forces au tableau, demandez-lui donc comment se comporterait un liquide à l'intérieur d'une bouteille... Vous saurez tout de suite si le professeur raisonne en statique, en dynamique, ou s'il se trompe !...

A quoi sert une description fictive ?

Au-delà de la polémique aussi amusante que stérile, la vraie question à se poser est plutôt celle-ci : pourquoi les physiciens ont-ils éprouvé le besoin d'inventer des descriptions fictives ?

Accessoirement, cet exercice d'acrobatie intellectuelle auquel beaucoup de professeurs ont recours constitue une sorte de "*pont aux ânes*" destiné à faire le tri entre les pseudos-scientifiques (ainsi nomme-t-on ceux qui confondent les pseudo-forces avec les forces réelles !) et les autres...

Mais la véritable explication n'est pas là. Pour le physicien, cette construction intellectuelle se justifie dans un souci de cohérence de toutes les descriptions, aussi théoriques et fictives soient-elles.

C'est ainsi : la physique a horreur du vide et le physicien projette sa rigoureuse logique partout, y compris dans l'abstraction ! Les forces fictives sont des concepts qui ne servent qu'à satisfaire le besoin de cohérence propre à la théorie. Il n'en demeure pas moins que ces forces restent purement imaginaires, elles n'ont aucune existence réelle. Affirmer le contraire relève de l'escroquerie ou de l'incompétence.

Conclusion

L'imposture n'est pas le concept de force centrifuge ! La seule véritable imposture intellectuelle, c'est la confusion entre la réalité et la fiction, le présent et le conditionnel, la dynamique et la statique. La véritable imposture intellectuelle, c'est croire ou faire croire que la force centrifuge existe réellement !

La moindre des politesses scientifiques et pédagogiques que l'on doit au grand public est de toujours préciser la nature de la description proposée et d'ajouter que, dans le cas d'une description statique, il ne peut s'agir que de forces imaginaires qui n'ont pas d'existence réelle.

association ADILCA

www.ifrance.com/adilca

* * *