STATIQUE, DYNAMIQUE ET FORCE CENTRIFUGE

I. LES LOIS DE NEWTON…….**2**

II. STATIQUE ET DYNAMIQUE : LES DEUX DESCRIPTIONS…..**3**

III. DYNAMIQUE ET STATIQUE : LES MODES DE CALCUL……**12**

IV. BIBLIOGRAPHIE……**14**

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.

S'agissant d'un mouvement circulaire, ces lois s'énoncent ainsi :

Principe d'inertie rectiligne

« *Une masse en mouvement sur laquelle n'agit aucune force, décrit une trajectoire parfaitement rectiligne.* »

Le concept de force découle de ce principe.

Concept de force

« *Une force désigne toute cause capable de dévier la trajectoire 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 concilier ces lois avec la statique et le concept de force centrifuge ?

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

II. STATIQUE ET DYNAMIQUE : LES DEUX DESCRIPTIONS

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 ce que nous allons voir.

Qu'est-ce qu'un référentiel ?

Un référentiel désigne un système de trois axes perpendiculaires ayant une origine commune, grâce auxquels on peut mesurer les caractéristiques du mouvement d'une masse (distance parcourue, rayon de trajectoire, variation d'altitude). Un référentiel peut être absolu, pour décrire un mouvement réel, ou relatif, pour décrire un mouvement apparent :

- La Terre est le *référentiel absolu* qui autorise 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.

- Une voiture est un *référentiel relatif* n'autorisant pas d'autre description que celle du mouvement des passagers et des bagages à l'intérieur de l'habitacle. Ce mouvement est appelé *mouvement apparent.*

La règle des référentiels (souvent bafouée) a été détaillée dans un dossier à lire par ailleurs (voir le dossier ADILCA ''*référentiels*'').

Qu'est-ce qu'une force ?

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 fictives :

- Les *forces réelles* s'exercent à distance ou par contact, elles sont à l'origine du mouvement observé dans un référentiel absolu. Il n'existe que deux forces agissant à distance : la force électromagnétique et la force de gravitation, sans intérêt ici.

Par contre, il existe une multitude de forces de contact, dont celles qui régissent le mouvement des véhicules terrestres. Ces dernières sont au nombre de quatre, elles s'exercent sur les pneumatiques au contact du sol : la force de traction, la force de retenue, la force de freinage et la force de guidage (voir les dossiers ADILCA ''*couple moteur''*, ''*force de freinage''* et ''*force de guidage''*).

- Les *forces fictives*, dites aussi *forces d'inertie*, sont d'une nature complètement différente : elles sont supposées s'exercer sur le centre de gravité d'une masse immobile pour expliquer un équilibre apparent, à condition de raisonner dans les limites d'une description *statique* [(1)]. La physique connaît trois forces fictives : la force d'inertie, la force d'inertie centrifuge (plus couramment : *force centrifuge*), et la force d'inertie de Coriolis [(2)].

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 complémentaires, mais une erreur fréquente consiste à aligner des calculs sans s'interroger sur leur signification réelle.

En l'occurrence, le passage d'une base en rotation à une base fixe (dite ''base de Frenet'') 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 parfaitement immobile, et il faut ensuite recourir à des forces fictives, dites forces d'inertie, pour expliquer un équilibre apparent.

Du présent au conditionnel...

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

- Phrase 1 : j'ai gagné 500 € au loto, je peux dépenser 500 €.

- Phrase 2 : si je gagnais 500 € au loto, je pourrais dépenser 500 €.

On voit que les deux calculs sont parfaitement identiques, à cette nuance près toutefois : la somme d'argent n'est réelle que dans la première phrase, elle est complètement fictive dans la seconde.

Ici, 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 mathématiques et en physique.

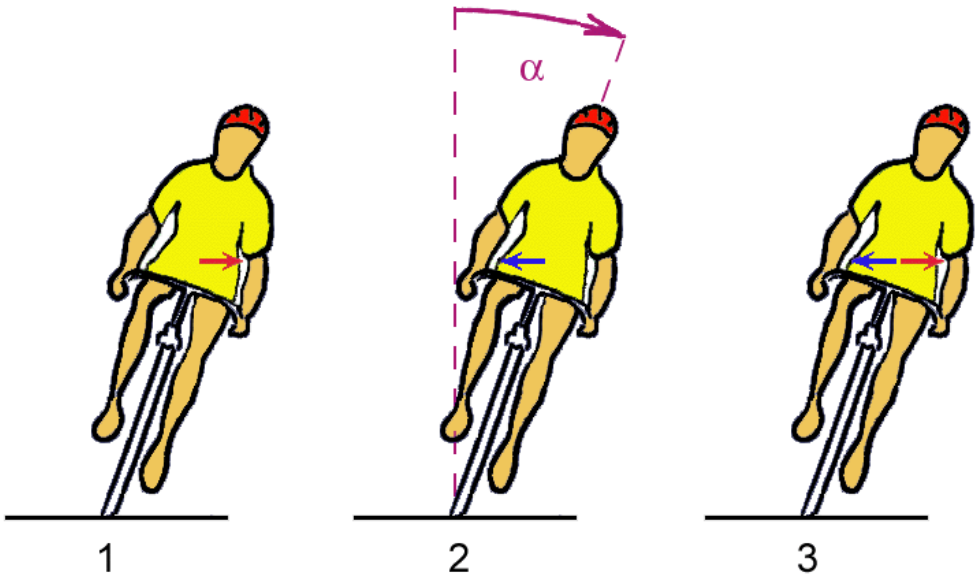
Transformer une base en rotation en une base fixe est comme passer du présent au conditionnel, le conditionnel supposant ici que le mouvement est supprimé.

La première description est nommée ''*dynamique*'', c'est la description réelle.

La seconde est dite ''*statique*'', c'est une description purement imaginaire.

Mais, mieux qu'un long discours, voici l'exemple du cycliste en équilibre pour illustrer cette transformation.

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



© association adilca reproduction interdite

- **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. Conformément au principe de Newton, ce cycliste a été dévié de sa trajectoire initialement rectiligne grâce à une force de contact **F**, 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 [(3)].

Dans cette description, la relation appropriée est :

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

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) montrerait 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 : tout mouvement a été supprimé, le cycliste est désormais immobile, il n'avance plus. Mais il penche d'un côté ! Pour éviter la chute, la condition d'équilibre exige la présence d'une force **F'** appelée "*force centrifuge*" (flèche bleue sur le dessin 2).

Cette force est censée s'exercer sur le centre de gravité du cycliste (si on néglige la masse de la bicyclette). Cette fameuse force existe-t-elle vraiment ? Non évidemment car, a-t-on déjà vu un cycliste à la fois immobile et penché, gardant malgré tout son équilibre dans une telle position ?

Cette force est qualifiée de "*centrifuge*", un terme qui signifie "*qui éloigne du centre*". Ce terme est-il approprié ? Non plus, car le cycliste étant immobile, il ne s'éloigne pas. D'ailleurs, il n'y a pas la moindre trajectoire, donc pas de rayon, et donc pas de centre d'où s'éloigner. L'appellation correcte de cette force est "*force d'inertie*", "*force fictive*", "*force imaginaire*", "*force apparente*" ou "*pseudo-force*", tous ces termes étant parfaitement synonymes. Leur emploi éviterait bien des confusions.

Autre erreur regrettable, celle des relations entre grandeurs. En effet et contrairement à une idée reçue, la célèbre formule magique $\mathbf{F = MV^2/R}$ ne peut pas s'appliquer à cette description puisque la vitesse y est toujours nulle. D'ailleurs, une tentative d'application numérique le démontre :

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

La voilà, cette fameuse preuve mathématique. Mais ce n'est pas tout. Quelle valeur donner à **R** ? Comment mesurer le rayon de trajectoire d'un objet parfaitement immobile ? La tentative tourne à l'absurde. C'est clair, net et définitif : cette formule ne marche pas ici, elle ne peut pas marcher, elle ne mène qu'à une impasse.

Alors comment calculer l'intensité de la force centrifuge ? En vérité, la seule et unique relation qui convient à cette description est celle-ci :

$$\mathbf{F'} = \mathbf{-\ P\ .\ tangente}\ \alpha$$

Dans cette relation, **P** est le poids de l'ensemble et α son angle d'inclinaison par rapport à la verticale. Ici, le signe [–] est déterminant, il précise l'orientation spatiale de cette force qui, bien évidemment, devrait s'exercer du côté opposé à l'inclinaison. On verra plus loin pourquoi ce signe, souvent oublié, est si important.

L'application numérique de cette relation montre que, pour retenir un cycliste immobile de masse 100 kilogrammes (bicyclette comprise, avec "**g**" = 10 $m.s^{-2}$) en équilibre en position inclinée de 5,7 degrés par rapport à la verticale, il faudrait disposer d'une force 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 leurs places ici.

Ces calculs montrent en effet que, pour une inclinaison identique, la force de guidage (en dynamique) et la force centrifuge (en statique) ont la même intensité. D'où la confusion [(4)].

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 centrifuge.

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 confondre, ni se superposer.

- Dessin 3 : c'est un mélange des deux descriptions précédentes, une sorte de fusion contre nature destinée à apporter la preuve nette et définitive que les deux raisonnements sont totalement incompatibles.

Dans cette description, les deux forces coexistent, mais le calcul vectoriel nous montre que ces deux forces, d'égale intensité mais de sens opposé, se neutralisent :

$$\mathbf{F} + \mathbf{F'} = \mathbf{100 - 100} = \mathbf{0}$$

Comment interpréter ce résultat ? Une somme vectorielle égale à zéro signifie que tout se passe comme si aucune de ces deux forces n'agissait plus : le cycliste est désormais livré à lui-même.

Autrement dit, si on raisonne en dynamique, le cycliste (qui est en mouvement) reste penché tout en conservant une trajectoire rectiligne : il ne peut donc pas décrire la moindre trajectoire circulaire. Et si on raisonne en statique, le cycliste (qui est immobile) tombe immédiatement : il ne peut pas rester à la fois immobile et penché.

Ce raisonnement par l'absurde doit nous convaincre une bonne fois pour toutes que la force centrifuge n'existe pas, et qu'il faut impérativement choisir l'une de ces deux descriptions au détriment de l'autre. CQFD ! De là découle une règle absolue : on ne mélange jamais une base en rotation avec une base fixe, une description dynamique avec une description statique, le présent avec le conditionnel, la réalité avec la fiction.

Statique ou dynamique : la véritable définition !

Ce qui précède nous amène à ces deux définitions :

« On appelle statique une description imaginaire dans laquelle une base en rotation est considérée comme fixe, une base en mouvement est considérée comme immobile. »

« On appelle dynamique la description réelle d'un mouvement de rotation ou de translation. »

Attention ! La physique a horreur du mélange des genres. Insistons une fois encore sur l'interdiction formelle de fusionner les deux descriptions, une interdiction qui s'applique également aux formules. Que de malentendus, que de confusions, que d'erreurs pour ceux qui, étudiants ou professeurs, ne respecteraient pas ces précautions !…

Le principe de réciprocité

La distinction entre statique et dynamique implique une conséquence de taille qui concerne l'application du troisième principe de Newton, ou principe de réciprocité, un principe souvent oublié ou mal compris.

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.* »

Comment ce principe s'applique-t-il dans le cadre d'une description dynamique ?

Réponse : ainsi que nous venons de le voir, la force de guidage est une force qui s'exerce sur la masse du cycliste (on néglige celle de la bicyclette) par l'intermédiaire des pneumatiques de la machine au contact du sol.

On en déduit que la masse du cycliste exerce une poussée horizontale sur le globe terrestre par l'intermédiaire des pneumatiques de la bicyclette, une poussée d'égale intensité, mais de sens opposé [(5)].

Cette action réciproque ne perturbe pas la rotation du globe terrestre, étant donné le rapport des masses en jeu [(6)].

Comment ce principe s'applique-t-il dans le cadre d'une description statique ?

Réponse : il ne s'applique pas car, la force centrifuge relevant de la pensée magique, il n'y a pas d'interaction. Point final.

Force centrifuge : la véritable définition

La distinction entre statique et dynamique nous amène à ces deux définitions originales et inédites 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 en équilibre avec une inclinaison identique à celle que l'on peut observer 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 celui que l'on peut observer 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

Insistons sur la première exigence de cette définition : l'absence de mouvement, autrement dit, l'immobilité. Soulignons ensuite le caractère hypothétique de cette force, clairement affirmé par l'emploi du conditionnel : ''*la force qu'il faudrait exercer…*'' Et enfin, l'impossibilité technique d'exercer directement la moindre force sur le centre de gravité d'une quelconque masse…

D'ailleurs personne n'a jamais vu une telle force se manifester spontanément. On en déduit donc que la force centrifuge est bien une force imaginaire. C'est ce qu'on appelle une force d'inertie, une force fictive, une force apparente, une ''pseudo-force'', c'est-à-dire une force qui n'existe pas.

La seule force capable de dévier la trajectoire des véhicules terrestres s'exerce au contact du sol, c'est la force de guidage, c'est la seule force qui existe vraiment. Répétons-le, il n'y a pas d'autre force mise en jeu dans le mécanisme de la trajectoire circulaire.

La preuve par la bouteille d'eau…

Comment distinguer une description statique d'une description dynamique ? L'expérience dite ''de la bouteille d'eau'' peut donner la réponse.

Cette expérience consiste à remplir partiellement une bouteille en plastique, de préférence avec du sirop (menthe, grenadine…) pour en colorer le contenu, puis à installer le récipient à plat sur le guidon ou le réservoir d'une motocyclette.

© association adilca reproduction interdite

L'expérience dite ''de la bouteille d'eau'' permet de révéler la vraie nature de la description : en statique, le liquide tombe du côté où la machine s'incline ; en dynamique, la surface du liquide reste perpendiculaire au plan de symétrie de la motocyclette.

Une fois en route, il suffit d'observer les mouvements du liquide lors des variations de trajectoires : sauf conduite brutale, vibrations de la machine ou secousses engendrées par la nature du sol, la surface du liquide reste perpendiculaire à l'axe de symétrie de la motocyclette. En statique, le liquide tombe du côté où penche la machine.

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 imaginaire ?

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 imaginaires ? La réalité ne suffit-elle pas ?

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 ne savent raisonner qu'avec des pseudo-forces) 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 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 sont purement imaginaires, elles n'ont pas d'existence réelle. Affirmer le contraire relève de l'escroquerie ou de l'incompétence.

Conclusion

La dynamique consiste à décrire un mouvement réel et ses causes. La statique est une projection imaginaire dans laquelle le mouvement réel, propre à la dynamique, a disparu. En statique, tout est immobile, rien ne bouge.

La suite coule de source : tout mélange de statique et de dynamique est évidemment proscrit.

La statique décrit un équilibre apparent à l'aide de forces imaginaires, appelées également forces d'inertie, forces apparentes, forces fictives ou pseudo-forces.

La plus célèbre de toutes ces forces imaginaires est la force d'inertie centrifuge, plus couramment appelée force centrifuge, la bien mal nommée.

L'imposture n'est pas le concept de force d'inertie ou celui de force centrifuge. L'imposture intellectuelle, c'est la confusion entre le présent et le conditionnel, entre la réalité et la fiction, entre la dynamique et la statique. L'imposture intellectuelle, c'est croire ou faire croire que la force centrifuge existe vraiment.

Comment pourrait-on dissiper tous ces malentendus ? Il suffirait de préciser clairement la nature de la description et d'ajouter que, dans le cas d'une description statique, il ne peut s'agir que d'une description imaginaire. Tout simplement.

Notes et remarques

(1) *La statique comme substitut à la dynamique est l'œuvre de Jean Le Rond d'Alembert, mathématicien et physicien français (1717-1783). Le raisonnement consiste à étudier un équilibre apparent et non plus un mouvement.*

(2) *Le mot « inertie » vient de « inerte » qui doit être compris comme signifiant « immobile ». Autrement dit, les forces d'inertie sont des forces supposées s'exercer sur des objets immobiles.*

(3) *Un vecteur est une représentation graphique d'une grandeur quelconque (poids, force, accélération, vitesse...). Il est toujours possible de déplacer le point d'application d'un vecteur, à condition de ne modifier ni son sens, ni son orientation, ni sa longueur, c'est l'une des règles de base du calcul vectoriel. Mais attention : le déplacement d'un vecteur ne permet pas de changer son nom, et gare à ne jamais combiner des vecteurs de natures différentes.*

(4) *C'est le principe d'équivalence entre statique et dynamique, découvert et formulé par Jean Le Rond d'Alembert et qu'il résume en une phrase : «* À chaque instant, il y aurait équilibre entre les forces réelles […] et les forces d'inertie […], si celles-ci venaient à agir. *». Sous la plume de D'Alembert, le mot «* équilibre *» doit être compris comme signifiant « équivalence », et le mot «* inertie *» signifie « absence de mouvement. » Noter que, dans l'énoncé de son principe, d'Alembert emploie le conditionnel pour bien spécifier le caractère irréel des forces d'inertie. Par ailleurs, ne pas confondre le concept d'inertie de D'Alembert avec le principe d'inertie de Newton (voir le dossier ADILCA "force d'inertie").*

(5) *Le cycliste ressent parfaitement cette action réciproque, autrement dit, cette poussée que les pneumatiques de la bicyclette exercent sur le sol.*

(6) *Masse de l'ensemble cycliste + bicyclette : 100 kg ; masse du globe terrestre : 6 x 10^{24} kg, soit un rapport de 1 pour 6 x 10^{22} (autrement dit, un nombre égal à 6 suivi de 22 zéros). Attention : la force de guidage et son action réciproque sont égales, mais leurs effets dépendent des masses sur lesquelles elles s'exercent. C'est une application concrète du principe de dynamique d'Isaac Newton qui s'exprime grâce à la relation [**F = M Y**], d'où [**Y = F / M**]. En examinant les limites de cette fonction pour une force donnée, on constate que si la masse tend, sinon vers l'infini, du moins vers un nombre très grand, l'accélération tend, sinon vers zéro, du moins vers un nombre très petit. C'est ce qui explique que le globe terrestre reste insensible à la trajectoire circulaire du cycliste.*

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

III. DYNAMIQUE ET STATIQUE : LES MODES DE CALCUL

1. Dynamique : 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 **$m.s^{-1}$**
R : rayon de trajectoire, exprimé en **m**

cohérence des unités : **F** = $kg \cdot (m.s^{-1})^2 \cdot m^{-1} = kg \cdot (m^2.s^{-2} \cdot m^{-1}) = kg.m.s^{-2}$ = **N**

Exemple : calculons la force de guidage qui s'exerce au contact du sol et qui maintient un ensemble bicyclette + cycliste de masse totale 100 kilogrammes sur une trajectoire circulaire de 100 mètres de rayon à la vitesse de 10 mètres par seconde :

F = $100 \times 10^2 / 100 = 100 \times 100 / 100 = 100$ **N**

2. Dynamique : l'angle d'inclinaison d'un cycliste

$$\text{Tangente } \alpha = F / P$$

α : angle d'inclinaison du cycliste par rapport à la verticale, grandeur sans dimension ;
F : force de guidage, exprimée en **N**
P : poids, exprimée en **N**

cohérence des unités : N / N = grandeur sans dimension.

Exemple : calculons l'angle d'inclinaison du cycliste quand une force de guidage de 100 N s'exerce sur un ensemble bicyclette + cycliste de 1 000 N :

Tangente α = 100 / 1 000 = 0,1

α = 5,7°

3. Statique : la force d'inertie centrifuge

$$F' = -P \cdot \text{tangente } \alpha$$

F' : force d'inertie centrifuge, exprimée en **N**
P : poids, exprimée en **N**
α : angle d'inclinaison du cycliste par rapport à la verticale, grandeur sans dimension ;

cohérence des unités : **F'** = **$kg.m.s^{-2}$**

Exemple : calculons la force d'inertie, dite *centrifuge*, qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité d'un cycliste immobile pesant 1 000 N (bicyclette comprise), ceci afin de le maintenir en équilibre malgré une inclinaison de 5,7 degrés par rapport à la verticale :

F' = – 1 000 x tangente 5,7° = – 1 000 x 0,1 = – 100 **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 centrifuge sans passer par la dynamique et 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 est couramment appelée ''*force centrifuge*'', un qualificatif incorrect puisqu'il n'y a ni trajectoire, ni rayon, ni centre (le cycliste est immobile et le reste). Le vrai nom de cette force est : force d'inertie, force fictive, force imaginaire, force apparente ou pseudo-force.

Remarque 4 : attention aux interprétations erronées, l'égalité numérique des résultats n'autorisant pas l'interchangeabilité des concepts et des descriptions :

- La force centrifuge est une force imaginaire : c'est la force qu'il faudrait exercer sur le centre de gravité d'un cycliste immobile.
- L'action réciproque est la force réelle que le cycliste exerce par contact des pneumatiques avec le sol, en réponse à la force de guidage qui s'exerce sur les pneumatiques.

Insistons sur l'usage du conditionnel, qui prouve le caractère hypothétique de la force centrifuge (''*la force qu'il faudrait exercer…*''), et l'impossibilité d'exercer la moindre force sur le centre de gravité d'un cycliste ou d'une bicyclette.

Remarque 5 : toute démarche scientifique exige de franchir quatre étapes dans l'ordre :

1) observer un *phénomène* (ici : un cycliste qui décrit une trajectoire circulaire) ;

2) mesurer des *grandeurs* (ici : la masse de l'ensemble cycliste + bicyclette, sa vitesse et le rayon de sa trajectoire) ;

3) effectuer des *calculs* (ici : le calcul de la force de guidage et de l'angle d'inclinaison correspondant) ;

4) éventuellement, transposer un *raisonnement* (ici : le passage d'une description réelle, dite *dynamique*, à une description imaginaire, dite *statique*, avec l'introduction du concept de *force centrifuge*).

La quatrième étape, facultative, n'apporte rien si ce n'est un risque de confusion, d'où les méprises au sujet de la force centrifuge.

IV. BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION ADILCA (ouvrage collectif édité à compte d'auteurs) : *Guide des Lois Physiques de l'Automobile*, Paris 2002.

- 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* (traduction intégrale en français de l'œuvre d'Isaac Newton), Paris 1759.

- NEWTON (Isaac) : *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Londres 1687.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***