LA PHYSIQUE D'ISAAC NEWTON

I. ISAAC NEWTON……...2

II. LES PRINCIPES DE NEWTON……...5

III. RELATIONS ENTRE GRANDEURS……6

1. Dynamique appliquée……...…… ….6

2. Principe de réciprocité……7

3. Attraction universelle…….....7

4. Accélération gravitationnelle……8

IV. BIBLIOGRAPHIE……10

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

I. ISAAC NEWTON

Le mathématicien et physicien anglais Isaac Newton (1642-1727) est considéré à juste titre comme l'un des plus illustres personnages de l'histoire des sciences. C'est, de fait, le fondateur de la physique moderne. Qui était Isaac Newton ? Qu'a-t-il découvert de si important ? Pourquoi son œuvre marque-t-elle un tournant dans l'histoire de l'humanité ? Qu'a-t-elle de si moderne ?

Une période troublée…

Isaac Newton est né le jour de Noël 1642 à Woolsthorpe, petite commune du Lincolnshire située à environ deux cents kilomètres au nord-est de Londres.

Le milieu du XVIIe siècle est une période particulièrement troublée, en Angleterre comme ailleurs : l'instabilité politique règne, la peste fait des ravages, les universités sont fermées, Londres est presque complètement détruite par un incendie.

Orphelin de père et abandonné par sa mère, Isaac Newton est contraint de s'adonner aux travaux des champs pour survivre. Quotidiennement, il observe la nature qui l'entoure et en particulier le mouvement des astres. Il s'interroge aussi sur l'étrange phénomène qui fait tomber les objets au sol. La légende retiendra que c'est en méditant sous un pommier que naîtra son intuition géniale.

La science au milieu du XVIIe siècle

Que savait-on de l'Univers au milieu du XVIIe siècle ?

Pendant longtemps les hommes avaient cru que la Terre était immobile et constituait le centre de l'univers. Tous les phénomènes naturels étaient donc interprétés à partir de ce postulat, en particulier les mouvements apparents du Soleil et des planètes observés depuis l'Antiquité mais auxquels personne ne pouvait trouver d'explication logique.

Nicolas Copernic (astronome polonais, 1473-1543) fut le premier à émettre une hypothèse complètement révolutionnaire : et si le centre de l'univers n'était pas la Terre mais le Soleil ?

Galileo Galilei (dit Galilée, physicien italien, 1564-1642) fut séduit par l'hypothèse mais encore fallait-il cerner les lois de la gravitation pour expliquer enfin de manière incontestable l'équilibre du système solaire…

L'hypothèse d'Isaac Newton

C'est là qu'intervint la perspicacité d'Isaac Newton. Convaincu d'emblée par les théories de Copernic et Galilée, Newton fit la relation entre un objet qui tombe à la surface de la Terre et la course de la Lune autour de la Terre.

Il émit alors l'hypothèse qu'il s'agissait-là d'une loi générale s'appliquant partout et pour tous les corps, qu'il s'agisse d'une pomme, de la Lune, de la Terre ou de n'importe quelle planète du système solaire.

Il transposa ensuite son raisonnement au mouvement de la Terre autour du Soleil : si la Terre tourne ainsi, c'est parce qu'elle est attirée en permanence par une force qui émane du Soleil.

Cette force est de la même nature que celle qui fait tomber les objets au sol, elle agit à distance entre les deux masses et les deux phénomènes obéissent aux mêmes lois.

Le génie d'Isaac Newton

Une facette du génie de Newton est donc d'avoir été le premier à donner une explication logique au mouvement de la Terre et des planètes autour du Soleil. Grâce à lui, la théorie héliocentrique s'imposait définitivement et la science triomphait enfin de l'obscurantisme.

L'autre facette de son génie est d'avoir généralisé le fameux principe de l'attraction universelle qui est l'attirance réciproque entre deux masses.

Ce principe mystérieux constitue le fondement de la physique moderne : l'attraction universelle est en effet l'une des quatre forces physiques fondamentales qui permettent de comprendre le fonctionnement de l'Univers et son évolution.

Les lois de Newton

Fort de ses observations et de son raisonnement, Isaac Newton publia un recueil intitulé « *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* » [(*)] qui parut à Londres en 1687, ouvrage dans lequel il formule plusieurs lois fondamentales.

Bien que d'une simplicité confondante, ces lois sont d'une incroyable modernité, elles nous aident aujourd'hui encore à comprendre le monde qui nous entoure et permettent d'expliquer nombre de phénomènes observés au quotidien.

Plus précisément, retenons que ces trois principes sont à la base du raisonnement scientifique et de la physique moderne.

Hommages à un homme exceptionnel

Considéré de son vivant comme un bienfaiteur de l'humanité, anobli, sir Isaac Newton repose aux côtés des rois d'Angleterre dans l'abbaye de Westminster à Londres.

En 1952, Albert Einstein lui rendit un hommage particulier car, confia-t-il : "*Il n'y avait qu'un seul Univers à expliquer, Isaac Newton l'a fait !…*".

Enfin, reconnaissance suprême, le Système International d'Unités élaboré en 1954 a tout naturellement donné le nom de *Newton* (symbole **N**) à l'unité internationale de force.

(*) *L'ouvrage a été rédigé en latin, langue des érudits de l'époque, et traduit en français par Émilie de Breteuil, (de son nom complet : Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Chastellet [1706-1749], femme de lettres, érudite et polyglotte, mathématicienne et physicienne française), dans un ouvrage posthume publié en 1759 sous le titre «* Principes mathématiques de la philosophie naturelle *». La philosophie naturelle était le terme utilisé jusqu'au début du XVIIIème siècle pour désigner ce que l'on nomme aujourd'hui la physique.*

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***

II. LES PRINCIPES DE NEWTON

1. Principe d'inertie [1] :

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

« Une masse en mouvement sur laquelle n'agit aucune force, garde une vitesse constante. »

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

Le concept de force découle du principe précédent :

« Une force désigne toute cause capable d'agir sur la vitesse ou sur la trajectoire d'une masse. »

2. Principe de dynamique [2] :

« L'accélération (ou la décélération) d'une masse, est proportionnelle à la force qui agit sur cette masse. »

3. Principe de réciprocité [3] :

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

4. Principe d'attraction universelle [4] :

« Toutes les masses s'attirent entre elles. »

(1) *Le principe d'inertie ou "principe de la conservation du mouvement". Ne pas confondre le principe d'inertie avec le concept de force d'inertie : le principe d'inertie s'applique dans n'importe quelle description, tandis que le concept de force d'inertie ne doit être utilisé que dans le cadre d'une description imaginaire (dite "statique"), ou pour expliquer un mouvement apparent dans le cadre d'un référentiel relatif. Voir dossiers ADILCA "référentiels", "force d'inertie", "force centrifuge" et "force de Coriolis".*

(2) *La notion de masse découle du principe de dynamique et se définit comme une quantité de matière. La notion de force se déduit du principe d'inertie et se définit ainsi : «* Une force désigne toute cause capable d'agir sur la vitesse ou sur la trajectoire d'une masse. *» L'accélération se définit comme une variation de vitesse par unité de temps.*

(3) *Le principe de réciprocité est à l'origine de deux confusions fréquentes :*

- confusion entre action réciproque et force d'inertie : l'action réciproque relève d'une description réelle ("dynamique"), la force d'inertie relève d'une description imaginaire ("statique").

- confusion entre égalité des causes et inégalité des conséquences : une force et son action réciproque, bien qu'égales, n'entraînent pas pour autant des effets identiques, ceux-ci étant inversement proportionnels aux masses sur lesquelles elles s'exercent (deuxième principe de Newton).

(4) *Par exemple, deux objets quelconques posés à proximité l'un de l'autre s'attirent mutuellement, une attraction trop faible pour vaincre un frottement.*

III. RELATIONS ENTRE GRANDEURS

1. Dynamique appliquée

$$Y = F / M$$

Y : accélération, exprimée en mètres par seconde carrée (symbole **m.s^{-2}**)
F : force, exprimée en newtons (symbole **N**)
M : masse, exprimée en kilogrammes (symbole **kg**)

cohérence des unités : **Y** = kg^{+1}.m.s^{-2} . kg^{-1} = kg^{0}.m.s^{-2} = **m.s^{-2}**

Exemple : calculons l'accélération d'une voiture de masse 1 500 kg soumise à une force de traction, supposée constante, de 3 000 N :

Y = 3 000 / 1 500 = 2 **m.s^{-2}**

Cette valeur signifie que la vitesse de la voiture varie de 2 mètres par seconde pour chaque seconde écoulée, ce que résume le tableau suivant :

temps (s)	0	1	2	3	4	5
vitesse (m.s^{-1})	0	2	4	6	8	10

Remarque : l'intensité d'une force est rarement constante et souvent impossible à mesurer directement, tandis qu'il est assez facile de connaître la vitesse acquise ainsi que le temps écoulé pendant une accélération. C'est pourquoi, en inversant les termes de la relation précédente, on peut calculer l'intensité de la force de traction à partir des valeurs de masse et d'accélération, selon le principe fondamental de la dynamique :

$$F = M . Y$$

F : force de traction, exprimée en newtons (symbole **N**)
M : masse, exprimée en kilogrammes (symbole **kg**)
Y : accélération, exprimée en mètres par seconde carrée (symbole **m.s^{-2}**)

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

Exemple : calculons la force de traction qui permet à une voiture de masse 1 500 kg de réaliser une accélération de 2 mètres par seconde carrée :

F = 1 500 x 2 = 3 000 **N**

Cette force s'exerce sur les pneumatiques des roues motrices, dans la surface de contact avec le sol.

2. Principe de réciprocité

$$\mathbf{A} = -\mathbf{F}$$

A : action réciproque, exprimée en newtons (symbole **N**)
F : force, exprimée en newtons (symbole **N**)
cohérence des unités : **A** = **N**

Exemple : calculons l'action réciproque qu'une force de traction de 3 000 N génère au contact du sol :

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

La force de traction s'exerce sur la voiture, dans la surface de contact au sol des pneumatiques des roues motrices.

L'action réciproque, d'égale intensité mais de sens opposé, s'exerce sur le globe terrestre.

Selon le principe de dynamique (2ème principe de Newton), le mouvement de rotation du globe terrestre n'est pas perturbé par cette action réciproque, du fait de sa masse, à comparer avec celle de la voiture (6×10^{24} kg *versus* $1{,}5 \times 10^{3}$ kg).

3. Attraction universelle

Isaac Newton émit l'hypothèse que toutes les masses s'attirent mutuellement en fonction inverse du carré de la distance qui les sépare, selon la relation :

$$F = G \cdot M_1 \cdot M_2 / D^2$$

F : force d'attraction, exprimée en **N**
G : constante de Newton (**G** = $6{,}7 \times 10^{-11}$ $m^{+3}.kg^{-1}.s^{-2}$)
M_1 : masse 1, exprimée en **kg**
M_2 : masse 2, exprimée en **kg**
D : distance séparant les deux centres de gravité, exprimée en **m**

cohérence des unités :

$$\mathbf{F} = (m^{+3}.kg^{-1}.s^{-2}) \,.\, kg^{+1} \,.\, kg^{+1} \,.\, m^{-2}$$

$$F = m^{+3} \,.\, kg^{-1} \,.\, s^{-2} \,.\, kg^{+2} \,.\, m^{-2}$$

$$\mathbf{F} = m^{+3-2} \,.\, kg^{+2-1} \,.\, s^{-2} = \mathbf{kg.m.s^{-2}}$$

Exemple : Calculons l'attraction que la Terre exerce sur la Lune (Terre : 6×10^{24} kg ; Lune : $7{,}4 \times 10^{22}$ kg ; distance Terre-Lune : 4×10^{8} m) :

$$\mathbf{F} = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 6^{+1} \times 10^{+24} \times 7{,}4^{+1} \times 10^{+22} \times (4^{+1} \times 10^{+8})^{-2}$$

$$\mathbf{F} = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 6^{+1} \times 10^{+24} \times 7{,}4^{+1} \times 10^{+22} \times 4^{-2} \times 10^{-16}$$

$$\mathbf{F} = 6{,}7^{+1} \times 6^{+1} \times 7{,}4^{+1} \times 4^{-2} \times 10^{-11} \times 10^{+24} \times 10^{+22} \times 10^{-16}$$

$$\mathbf{F} = 18{,}6 \times 10^{(-11+24+22-16)}$$

$$\mathbf{F} = 18{,}6 \times 10^{19}\ \mathbf{N}$$

Cette attraction s'exerce entre le centre de gravité de la Terre et celui de la Lune, comme si toute la matière qui compose chacune de ces deux planètes était concentrée en un seul point. Synonyme : *centre de masse*, *centre d'équilibre*.

Cette attraction est dite ''*universelle*'' car elle s'exerce entre toutes les masses, partout dans l'univers. Synonymes : *force de gravitation*, *force centripète, poids*.

Cette attraction a pour effet de maintenir la Lune sur une orbite circulaire.

Conformément au principe de réciprocité, la Terre subit une attraction identique qui provoque une légère oscillation du globe terrestre appelée *nutation*. Cependant, cette attraction est insuffisante pour perturber la trajectoire de la Terre, le rapport des masses étant en sa faveur.

Calculons ce rapport :

Terre : 6×10^{24} kg ; Lune : $7{,}4 \times 10^{22}$ kg

$6^{+1} \times 10^{24}$ versus $7{,}4^{+1} \times 10^{+22}$

Rapport : $6^{+1} \times 7{,}4^{-1} \times 10^{+24} \times 10^{-22}$

Rapport : $0{,}81 \times 10^{2}$

Ce résultat signifie que la Lune est quatre-vingt-une fois moins massique que la Terre.

4. Accélération gravitationnelle

$$\Upsilon = G \,.\, M / D^2$$

Υ : accélération gravitationnelle, exprimée en $m.s^{-2}$
G : constante de Newton (**G** = $6{,}7 \times 10^{-11}$ $m^{+3}.kg^{-1}.s^{-2}$)
M : masse, exprimée en **kg**
D : distance séparant deux centres de gravité, exprimé en **m**
V : vitesse orbitale, exprimée en $m.s^{-1}$

cohérence des unités :

$$\Upsilon = (m^{+3}.kg^{-1}.s^{-2}) \,.\, kg^{+1} \,.\, m^{-2} = m^{+3} \,.\, kg^{-1} \,.\, s^{-2} \,.\, kg^{+1} \,.\, m^{-2} = \mathbf{m.s^{-2}}$$

Exemple 1 : calculons l'accélération gravitationnelle que la Terre exerce sur la Lune (Terre : 6×10^{24} kg ; distance Terre-Lune : 4×10^{8} m) :

$$\Upsilon = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 6^{+1} \times 10^{+24} \times (4^{+1} \times 10^{+8})^{-2}$$

$$\Upsilon = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 6^{+1} \times 10^{+24} \times 16^{-1} \times 10^{-16}$$

$$\Upsilon = 40^{+1} \times 16^{-1} \times 10^{(-11+24-16)}$$

$$\Upsilon = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathbf{m.s^{-2}}$$

Exemple 2 : selon le principe de réciprocité, calculons l'accélération gravitationnelle que la Lune exerce sur la Terre (Lune : $7{,}4 \times 10^{22}$ kg ; distance Terre-Lune : 4×10^{8} m) :

$$\Upsilon = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 7{,}4^{+1} \times 10^{+22} \times (4^{+1} \times 10^{+8})^{-2}$$

$$\Upsilon = 6{,}7^{+1} \times 10^{-11} \times 7{,}4^{+1} \times 10^{+22} \times 16^{-1} \times 10^{-16}$$

$$\Upsilon = 49{,}6^{+1} \times 16^{-1} \times 10^{(-11+22-16)}$$

$$\Upsilon = 3{,}1 \times 10^{-5}\ \mathbf{m.s^{-2}}$$

Le rapport des masses étant en faveur de la Terre (environ 80 pour 1), le globe terrestre ne subit qu'une faible perturbation (*nutation*) tandis que la Lune se voit imposer une trajectoire circulaire.

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

IV. BIBLIOGRAPHIE

- LE TONNELIER DE BRETEUIL, marquise du Chastellet (Gabrielle Émilie) : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (traduction française de l'œuvre d'Isaac Newton), Paris 1759.

- MITTON (Simon) et AUDOUZE (Jean) : *Encyclopédie d'Astronomie de Cambridge*, Éditions du Fanal, Paris 1980.

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

- VIGOUREUX (Jean-Marie) : *Les Pommes de Newton*, Éditions DIDEROT, Paris 1997.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *