

## SYSTÈME SOLAIRE ET RÉVOLUTION COPERNICIENNE

Le Système solaire désigne l'ensemble formé par le Soleil et les neuf planètes qui gravitent autour de lui. Par ordre d'éloignement du Soleil, ce sont Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton.

### Le Soleil au centre d'un système

Pendant des millénaires, les mouvements apparents du Soleil et des planètes ont semblé incompréhensibles aux observateurs car ils supposaient que la Terre était immobile et placée au centre de l'Univers.

Nicolas Copernic (astronome polonais, 1473-1543) eut le premier l'intuition que cet ensemble devait être étudié, non pas par rapport à la Terre, mais rapport au Soleil. Restait à en expliquer la cohésion, ce que fit Isaac Newton (physicien anglais, 1642-1727) avec la loi de l'attraction universelle.

Selon cette loi, les planètes s'attirent entre elles en raison de leur masse et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

Le Soleil concentrant à lui seul plus de 99 % de la masse totale du Système solaire (environ  $2 \times 10^{30}$  kg), il dicte sa loi aux autres planètes en leur imposant des orbites circulaires. D'où la notion de système pour désigner cet ensemble.

### Les caractéristiques du Système solaire

Les principales caractéristiques du Système solaire et des planètes qui le composent sont résumées dans le tableau suivant :

	<b>MASSE</b> (M = $6 \times 10^{24}$ kg)	<b>VITESSE ORBITALE</b> (km.s <sup>-1</sup> )	<b>RAYON ORBITAL</b> (R = $150 \times 10^9$ m)	<b>DURÉE DE RÉVOLUTION</b> (années)
MERCURE	0,06 M	48	0,4 R	0,24
VÉNUS	0,8 M	35	0,7 R	0,70
<b>TERRE</b>	<b><math>6 \times 10^{24}</math> kg</b>	<b>30</b>	<b><math>150 \times 10^9</math> m</b>	<b>1</b>
MARS	0,1 M	24	1,5 R	2
JUPITER	318 M	13	5,2 R	12
SATURNE	95 M	9,6	9,5 R	29
URANUS	14,5 M	6,8	19,3 R	84
NEPTUNE	17 M	5,4	30 R	165
PLUTON	0,1 M	4,7	40 R	248

© association adilca reproduction interdite

## Le mouvement de la Terre

Intéressons-nous à la Terre. Celle-ci est animée d'un double mouvement de rotation : elle tourne sur elle-même au rythme d'une rotation par 24 heures, tout en tournant autour du Soleil à la vitesse de  $30 \text{ km.s}^{-1}$  sur une orbite d'environ 150 millions de kilomètres de rayon <sup>(1)</sup>.

Depuis Newton, on sait que cette trajectoire est due à la force de gravitation qui provient de la masse du Soleil (333 330 fois celle de la Terre). Cette force agit à distance et est de la même nature que celle qui, sur Terre, fait tomber les objets au sol.

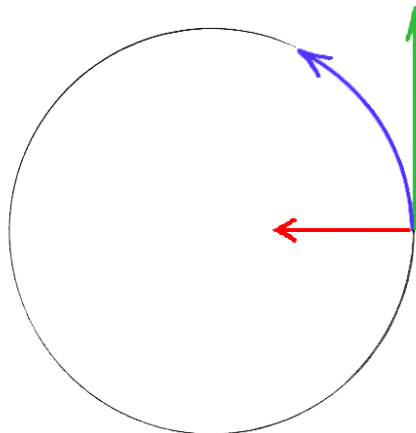
## La cohésion du système solaire

Imaginons que les lois de l'Univers soient complètement modifiées. Que se passerait-il si la Terre avait une vitesse nulle ou cessait brusquement d'obéir à l'attraction du Soleil ?

- avec une vitesse nulle mais soumise à la force de gravitation, la Terre prendrait immédiatement la direction du Soleil pour venir s'y fondre <sup>(2)</sup>.

- insensible à la gravitation mais conservant sa vitesse, la Terre adopterait immédiatement une trajectoire rectiligne et s'éloignerait du Soleil <sup>(3)</sup>.

Ces deux hypothèses catastrophe nous rappellent que la trajectoire de la Terre relève d'un subtil équilibre entre sa masse, sa vitesse et la distance qui la sépare du Soleil, la force de gravitation étant l'unique facteur de cohésion de ce système.



© association adilca reproduction interdite

### Représentation schématique du mouvement de la Terre

La Terre décrit une trajectoire circulaire (flèche bleue) à cause de la force de gravitation (flèche rouge) qui l'attire vers le Soleil. Si cette force n'existait pas, la Terre adopterait une trajectoire rectiligne (flèche verte). Attention à ne pas mélanger force et trajectoire !

## Une véritable révolution !

L'observation du Système solaire a joué un rôle capital dans l'histoire de la physique, c'est d'ailleurs ce qui a permis à l'humanité de passer de la logique des apparences à celle du raisonnement, bref, de l'obscurantisme à la science.

Un changement aussi important, aussi profond, aussi lourd de conséquences, c'est ce qu'on appelle une "*révolution copernicienne*".

En réalité, cette révolution ne s'est pas faite en un jour. Pour qu'une idée nouvelle soit *validée* par la communauté scientifique, puis *assimilée* (ou pas) par le *vulgum pecus*, il faut du temps, de la patience et une sacrée dose de pédagogie... Ce cheminement n'est pas un long fleuve tranquille !

Plus d'un siècle sépare en effet l'intuition géniale de Nicolas Copernic (astronome polonais, 1473-1543) des équations d'Isaac Newton (mathématicien anglais, 1642-1727). Entre-temps, Galileo Galilei (dit "Galilée", physicien italien, 1564-1642) et Johannes Kepler (physicien allemand, 1571-1630) ont apporté une indispensable contribution à l'élaboration de la théorie définitive.

Et plus de trois-cents ans se sont écoulés depuis, mais il est possible qu'il y ait encore, de par le monde, quelques individus qui ne font confiance qu'à leurs sens et persistent à croire que c'est le Soleil qui tourne autour de la Terre...

## Gare aux référentiels !

Cette révolution copernicienne, en quoi a-t-elle consisté ? Que nous a-t-elle apporté ? Pourquoi a-t-elle changé notre façon de raisonner ?

Avant Copernic, faute de moyens d'observations et de calculs appropriés, la Terre était considérée comme le centre de l'Univers. C'était même le postulat dont dépendaient toutes les autres formes de raisonnements, scientifiques, philosophiques ou religieux.

Depuis Copernic, l'homme a appris à se méfier de ses sensations, de ses croyances, de ses déductions hâtives...

Cette révolution a laissé des traces en physique, avec la théorie des référentiels :

- dans le système pré-copernicien, la Terre est l'unique repère à partir duquel on décrit le mouvement du Soleil et des planètes tel qu'il apparaît vu de la surface du globe.

Mais cela suppose que la Terre cesse tout à la fois de tourner sur elle-même et autour du Soleil, ce double mouvement étant inconnu à l'époque. Bref, la Terre est alors considérée comme complètement immobile ! Elle est au centre de l'Univers !

En physique, c'est ce qu'on appelle une description du mouvement à partir d'un référentiel relatif. En terme savant, on dit qu'il s'agit, dans ce cas, d'un référentiel non inertielle ou non galiléen<sup>(4)</sup>.

- dans le système copernicien, le Soleil devient l'unique repère à partir duquel on décrit à la fois le mouvement de la Terre et celui des autres planètes.

En physique, c'est ce qu'on appelle une description du mouvement à partir d'un référentiel absolu. En terme savant, on dit qu'il s'agit, dans ce cas, d'un référentiel inertielle, galiléen<sup>(5)</sup> ou copernicien<sup>(6)</sup>, le seul qui autorise une description complète, logique et cohérente du mouvement de la Terre et des planètes du Système solaire<sup>(7)</sup>.

Doit-on rappeler une fois de plus qu'il est strictement interdit de confondre ou de mélanger les deux descriptions ?

### **Le rapport avec l'automobile...**

Cette nécessaire distinction entre deux époques, deux référentiels et deux modes de raisonnements, s'applique tout aussi parfaitement à la description du mouvement d'une automobile, elle évite pas mal d'ambiguïtés, de confusions, et même d'erreurs, y compris de la part de professeurs émérites !

Pour bien saisir la nuance fondamentale qui sépare ces deux descriptions appliquées à l'automobile, il faut :

1. Garder d'abord à l'esprit que la voiture est un véhicule terrestre ne servant, comme son nom l'indique, qu'à satisfaire un besoin de déplacement par rapport à la Terre. Étudier son mouvement par rapport au Soleil n'aurait aucun sens.
2. Transposer ensuite le raisonnement ci-dessus en adoptant la Terre comme référentiel absolu, et la voiture comme référentiel relatif !

Deux précautions absolument indispensables !

Enfin, si tout n'est pas parfaitement et définitivement clair, vérifiez la validité de votre raisonnement en consultant les dossiers ADILCA "*force centrifuge*", "*force de guidage*", "*référentiels*", "*statique et dynamique*", etc. Bonne lecture !

### **Conclusion**

La véritable révolution copernicienne, celle des esprits, n'est-elle pas à venir ?

(1) Ce double mouvement de rotation est une caractéristique commune à toutes les planètes du système solaire.

(2) Dans cette hypothèse, le "voyage" durerait environ deux mois. Dans un premier temps, les habitants de la Terre n'auraient aucune perception directe de ce mouvement, sauf en observant la taille apparente du Soleil. Le rayonnement solaire atteindrait vite un niveau insupportable, comparable à celui qui a condamné les victimes d'une explosion nucléaire. L'accélération, d'une intensité très faible au départ (environ  $0,006 \text{ m.s}^{-2}$ ), augmenterait sans cesse jusqu'à atteindre la valeur de  $275 \text{ m.s}^{-2}$  à proximité du Soleil. De ce fait, la vitesse de la Terre, par définition nulle au départ, atteindrait environ  $600 \text{ km.s}^{-1}$  au moment de plonger dans le Soleil.

(3) Selon cette hypothèse, les Terriens verraient le Soleil s'éloigner lentement pour ne plus former qu'un point à l'horizon. Progressivement privé de rayonnement solaire, le globe terrestre serait plongé dans l'obscurité et se refroidirait jusqu'à rendre toute vie impossible. En conservant sa vitesse sur une trajectoire rectiligne, la Terre croiserait l'orbite de Pluton au bout de six ans et finirait ensuite par quitter définitivement le Système solaire.

(4) Un référentiel est qualifié de "relatif", "non inertiel" ou "non galiléen" quand il n'obéit plus aux lois de Newton, autrement dit quand on n'a pas à expliquer ni à décrire son mouvement propre, bref, quand on raisonne comme s'il était complètement immobile ! C'est pour pallier cette incohérence qu'ont été inventées les forces imaginaires, dites aussi "forces fictives" ou "forces d'inertie" (en automobile il n'y en a que trois : la force d'inertie, la force centrifuge et la force de Coriolis).

(5) En hommage aux travaux de Galilée sur les référentiels ("Dialogue sur les deux grands systèmes du monde", paru en 1632 et condamné par la censure un an plus tard). Attention à une erreur fréquente, car un même référentiel peut être tantôt galiléen, tantôt non galiléen, selon l'objet de l'étude : la Terre, par exemple, est un référentiel parfaitement galiléen (inertiel) pour décrire le mouvement des véhicules terrestres (à l'effet Coriolis près !), mais non galiléen (non inertiel) pour décrire le mouvement du Soleil et des planètes du système solaire. Pour faire le bon choix, pas besoin de lourde théorie, il suffit d'un peu de bon sens :

- les passagers d'une voiture se déplacent par rapport à la Terre, pas par rapport à la voiture ;
- les voitures se déplacent par rapport à la Terre, pas par rapport au Soleil ;
- les planètes se déplacent par rapport au Soleil, pas par rapport à la Terre, etc.

(6) En hommage à Nicolas Copernic, le premier à placer le Soleil au centre du système planétaire.

(7) Le référentiel copernicien n'est galiléen que dans les limites du système solaire. L'étude du mouvement dans notre galaxie (la Voie lactée) impose de changer de référentiel, et ainsi de suite jusqu'à l'infini (ou presque), car il y a des milliards de galaxies... Par suite, les distances et les vitesses sont à reconsidérer à chaque changement de référentiel. Exemples :

- la vitesse du système solaire, évidemment nulle dans le référentiel copernicien, est d'environ 250 kilomètres par seconde dans le référentiel de la Voie lactée ;
- le système solaire ressemble à un disque plat d'environ 12 milliards de kilomètres de diamètre ( $12 \times 10^9$  kilomètres, soit 0,0013 année-lumière), une taille minuscule comparée à celle de la Voie lactée qui a la forme d'une toupie d'environ  $950 \times 10^{15}$  kilomètres de diamètre (100 000 années-lumière) et  $47,5 \times 10^{15}$  kilomètres d'épaisseur (5 000 années-lumière) ;
- la lumière n'a besoin que d'une douzaine d'heures pour traverser le système solaire, alors qu'il lui faut environ 100 000 ans pour traverser la Voie lactée, etc.

## ASSOCIATION ADILCA

[www.adilca.com](http://www.adilca.com)

\* \* \*

## QUELQUES RELATIONS ENTRE GRANDEURS

### 1. Force centripète :

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

**F** : force centripète, exprimée en **N**

**M** : masse, exprimée en **kg**

**V** : vitesse orbitale, exprimée en **m.s<sup>-1</sup>**

**R** : rayon de l'orbite, exprimé en **m**

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

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

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

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

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

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

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

Remarque 2 : selon le principe d'action réaction d'Isaac Newton, une force de même intensité mais de sens opposé s'exerce sur le centre de gravité du Soleil, mais sans conséquence quant à son mouvement propre, du fait de sa masse.

### 2. Accélération :

$$Y = F / M$$

**Y** : accélération, exprimée en **m.s<sup>-2</sup>**

**F** : force, exprimée en **N**

**M** : masse, exprimée en **kg**

cohérence des unités :  $Y = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Exemple 1 : calculons l'accélération transversale qui maintient la Terre en orbite autour du Soleil. Caractéristiques de la Terre : masse  $6 \times 10^{24}$  kg ; force centripète exercée par le Soleil  $36 \times 10^{21}$  N.

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

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

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

Exemple 2 : calculons l'accélération que la Terre exerce sur le Soleil.  
Caractéristiques du Soleil : masse  $2 \times 10^{30}$  kg ; réaction exercée par la Terre  $36 \times 10^{21}$  N.

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

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

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

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

### 3. Force centrifuge :

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

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

**M** : masse, exprimée en **kg**

**Y** : accélération, exprimée en **m.s<sup>-2</sup>**

cohérence des unités : **F'** = kg . m.s<sup>-2</sup> = **N**

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

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

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

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

Remarque 1 : cette force est couramment appelée "force centrifuge" ce qui est un qualificatif incorrect puisqu'il n'y a ni vitesse orbitale, ni rayon orbital, ni centre (la Terre est immobile et reste en équilibre dans l'espace). Le vrai nom de cette force est : force imaginaire, force fictive, ou pseudo-force.

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

Remarque 3 : attention aux interprétations erronées, l'égalité numérique des résultats n'autorisant pas l'interchangeabilité des descriptions, des concepts ou des raisonnements.

Remarque 4 : les différents calculs doivent s'effectuer dans l'ordre indiqué. Il est en effet impossible de calculer directement la force centrifuge sans passer par les étapes intermédiaires détaillées ci-dessus, sauf à se tromper de description et de concept.

Remarque 5 : toute démarche scientifique repose sur un principe immuable : à partir d'*observations* et de *mesures* viennent des *calculs* qui, en dernier lieu, vont aboutir à un *raisonnement* (ici : le concept de force centrifuge). Ce passage du concret à l'abstrait, du réel à l'imaginaire a souvent été court-circuité, d'où les nombreuses confusions et méprises au sujet de la force centrifuge.

## ASSOCIATION ADILCA

[www.adilca.com](http://www.adilca.com)

\* \* \*