

# Introduction aux Géosciences (Terre et Planètes)

## Plan du cours : 1<sup>er</sup> semestre (GL111)

### I - Introduction

1°) La Terre dans l'Univers

2°) La Terre Active

3°) Pression et Température

## II – Phénomènes physiques mis en jeu

4°) Convection Thermique

5°) Déformation

6°) Fusion - Cristallisation

7°) Erosion - Sédimentation

# III – Phénomènes Géologiques (combinaison de phénomènes physico- chimiques)

## Grande Echelle

- 4°) Expansion des Fonds Océaniques  
(dérive des continents)
- 5°) Collision Continentale
- 6°) Subduction
- 7°) Extension  
(Rifts et zones diffuses)

# III – Phénomènes Géologiques

## Méso Echelle

8°) Volcanisme

9°) Magmatisme

10°) Métamorphisme



# Ouvrages conseillés

**Claude Allègre:  
De la Pierre à l'étoile  
(Fayard, 1992, 2001)**

**Ouvrage collectif (sous la direction de H.-C. Nataf et J. Sommeria)  
La Physique et la Terre  
(Belin, 2000)**

**Agnès Dewaele et Chrystèle Sanloup  
L'intérieur de la Terre et des Planètes  
Belin, 2005**

**Frank Press et Raymond Siever  
Understanding Earth  
(Freeman, 1997)**

**Jean Yves Daniel et co-auteurs  
Sciences de la Terre et de l'Univers  
(Vuibert, 1999)**

# Organisation du cours

Cours le Jeudi:  
8 séances

Présence aux TD  
Colles (avis des moniteurs = 10% note)

Examen  
Janvier 2006

- TD assurés par  
Frédéric Fluteau et Anne Mangeney

- Colles par moniteurs





# La Terre



Age  $\approx$  4.55 milliards d'années

Rayon moyen = 6371 km

Masse =  $5.975 \cdot 10^{24}$  kg

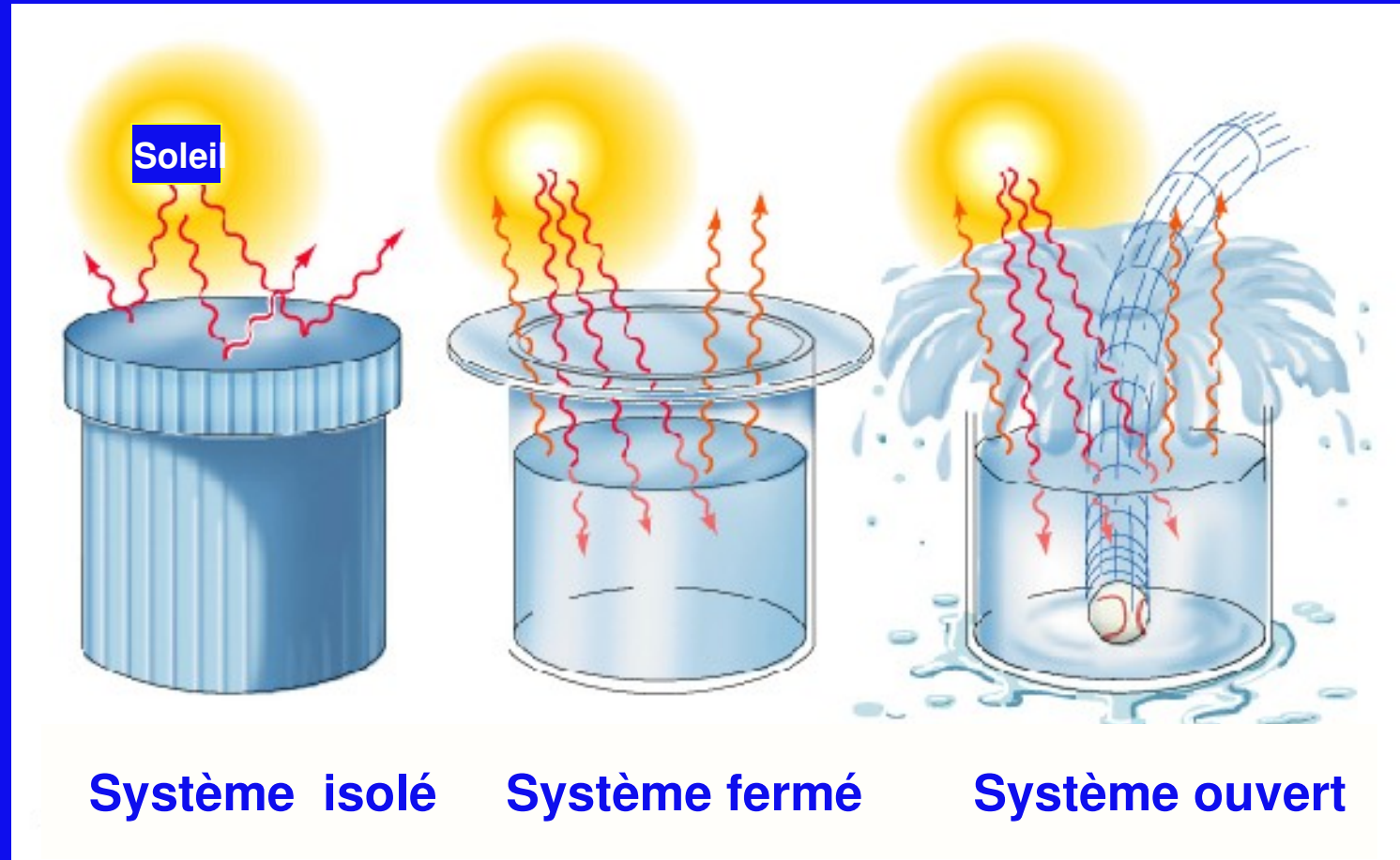
Densité moyenne = 5.515

Planète active  
(interne et externe)

Seule planète connue qui  
permet la vie

**SYSTEME FERME**

# Le système fermé



Systeme fermé: échange de l'énergie,  
mais n'échange pas de masse avec l'extérieur.

Le problème de  
l'expérimentation  
Les échelles sont très grandes  
dans l'espace ( $10^5$  m)  
et dans le temps ( $10^{13}$  s):  
on ne peut les reproduire  
expérimentalement.

L'observation nous renseigne sur les  
expériences déjà conduites par la  
Nature.

L'

uniformitarisme  
“Le présent est la clef du passé”  
(Hutton)

La **nature** des lois ne change pas mais la **vitesse** et l'**intensité** des processus peuvent changer.

**MAIS**

Certains phénomènes sont limités à certaines périodes particulières.

# Le temps



Certaines  
structures  
demandent des  
millions  
d'années (Ma)  
pour se  
former...



D'autres,  
beaucoup  
plus rares,  
seulement  
quelques  
secondes!



# Chapitre 1

## La Terre dans l'Univers

### 1-1 Description du système solaire

- Le Soleil et les planètes
  - Les lois de Képler et de Titus-Bode

# L'héritage Grec

- 600 Thalès prédit les éclipses de Lune; sait que la Lune est illuminée par le Soleil**
- 550 Pythagore réalise que Terre, Soleil, Lune sont des sphères**
- 350 Aristote comprend que les phases de la Lune sont dues à l'illumination du Soleil; que le Soleil est plus loin que Lune; que la Terre est sphérique (arguments)**

- 300 Aristarque pense que la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil; détermine distance Terre-Soleil (à un facteur 20)**
- 250 Eratosthène mesure le rayon de la Terre; mesures du diamètre et de la distance de la Lune**
- 100 Hipparque découvre la précession des équinoxes, les lois du mouvement de la Terre et du Soleil; invente la trigonométrie (précision qq minutes d'arc)**
- +150 Ptolémée propose les épicycles**

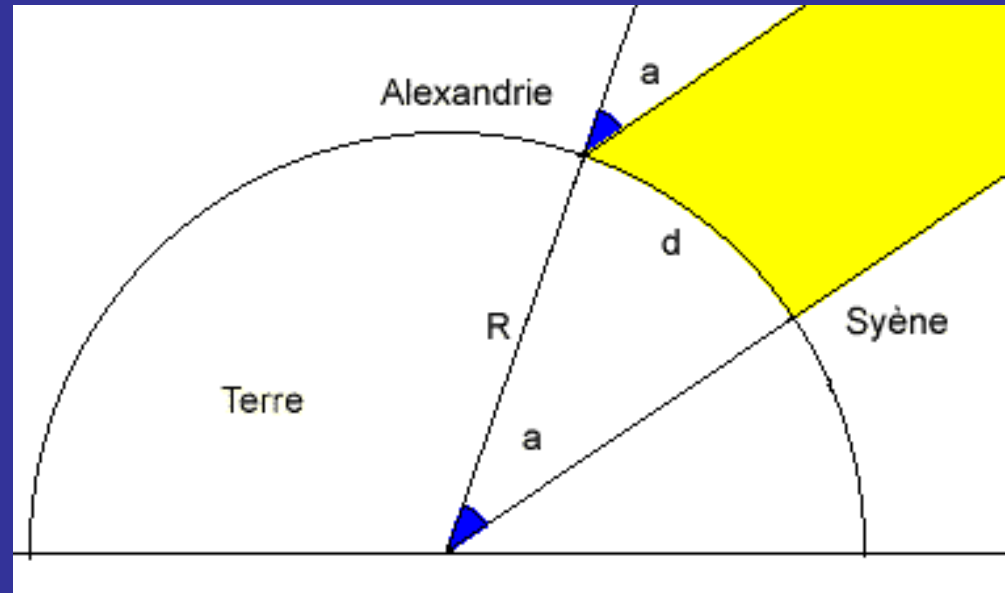
# Détermination du rayon de la Terre (Eratosthène, -250)

$$R = d / a \quad \text{avec } a = 7^\circ$$
$$= 7 * 3.14 / 180 \text{ radians}$$

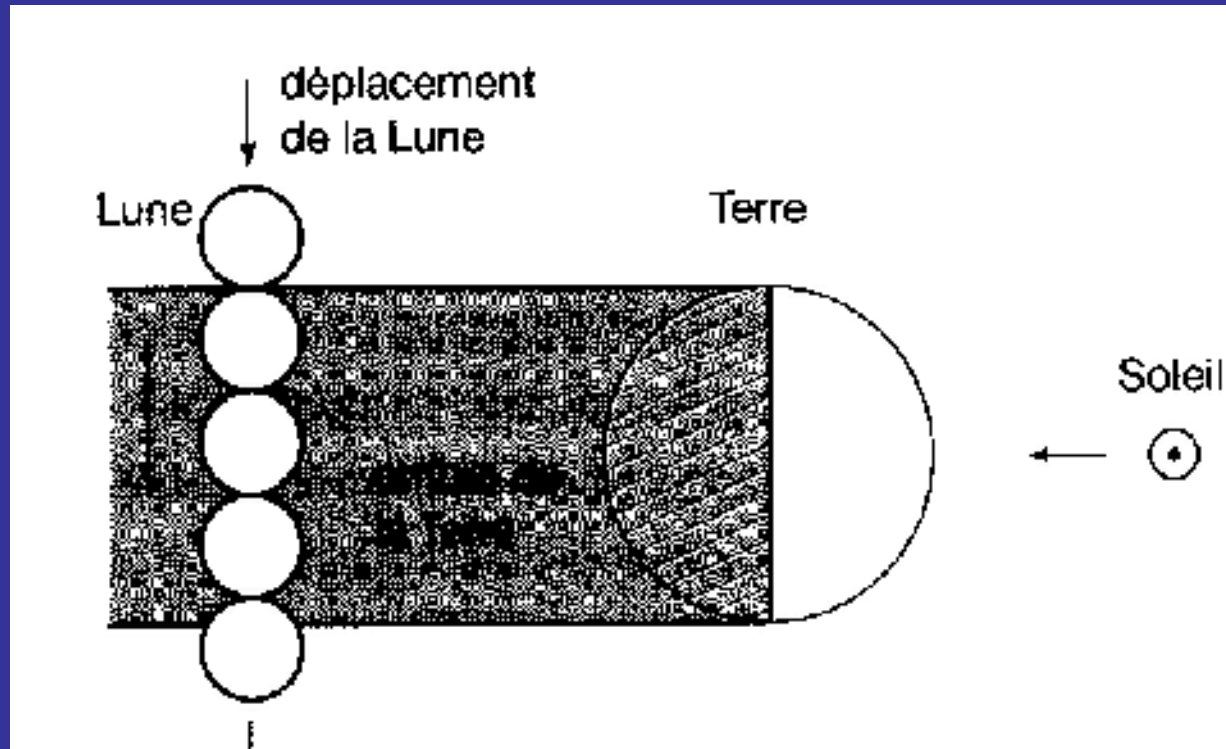
Ici,  $R = 800 / (7 * 3.14 / 180)$

$$= 6551 \text{ km}$$

Ce résultat est très proche de la valeur connue actuellement (6378 km en moyenne)

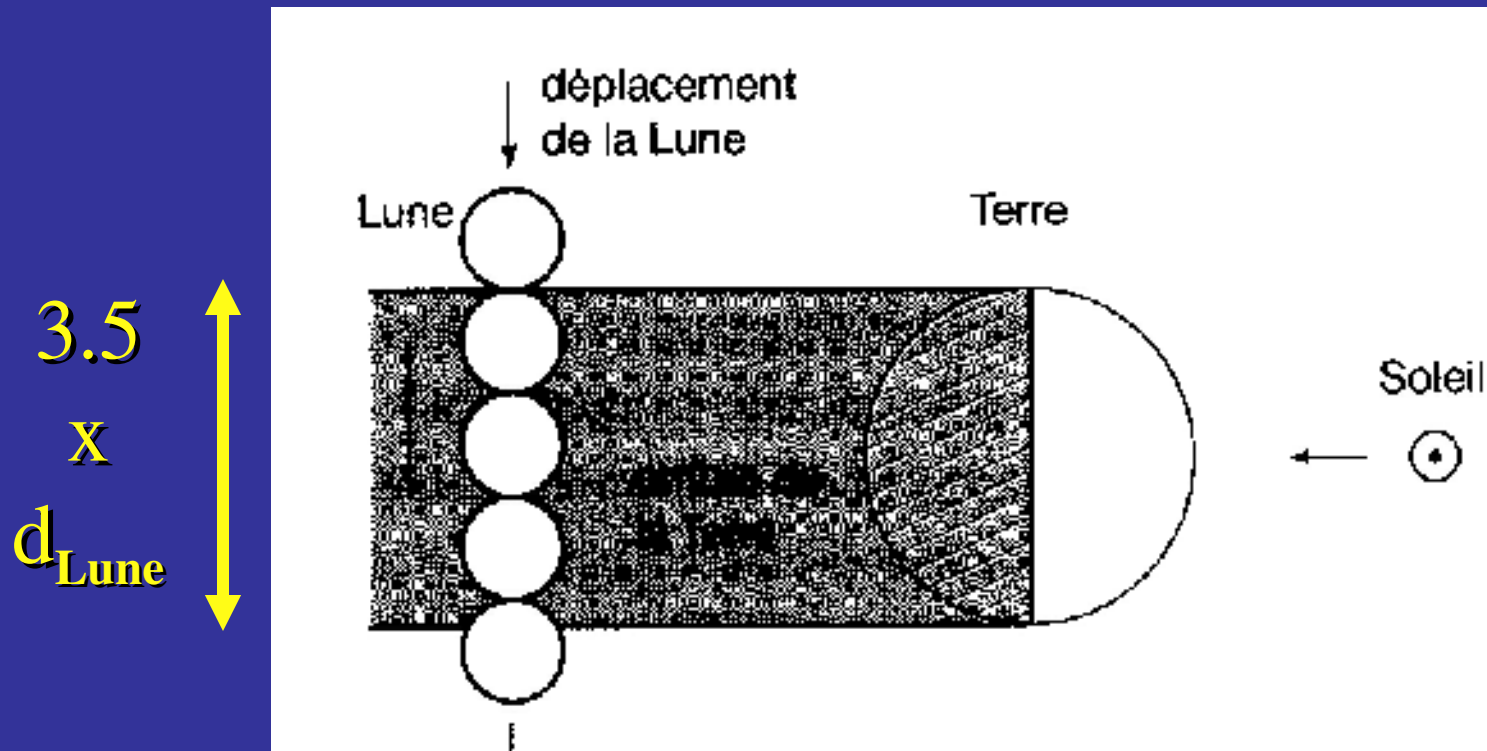


# Les premières mesures de la taille et de la distance de la Lune



**Zone d'ombre**

# Les premières mesures de la taille et de la distance de la Lune

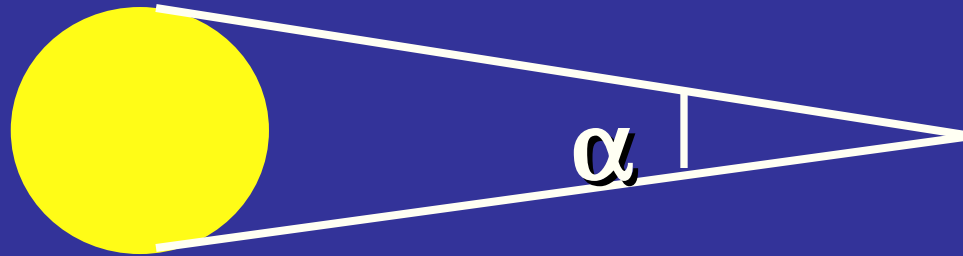


$$d_{\text{Lune}} = (1/3.5) d_{\text{Terre}}$$

**Diamètre angulaire Lune ( $0.5^\circ$ )**

$$\rightarrow D = 60 R_T$$

# Les premières mesures de la taille et de la distance de la Lune



**Diamètre angulaire Lune**

$$\alpha = d_{\text{Lune}} / D_{\text{Terre-Lune}}$$

$$\alpha = 0.5^\circ$$

$$\rightarrow D = 60 R_T$$

# L'héritage de la Renaissance

- Copernic (1473-1543) propose système héliocentrique avec orbites circulaires
- Tycho Brahé (1546-1601) crée l'observatoire d'Uraniborg
- Képler (1571-1630) utilise ces mesures (Mars) et propose ses trois lois
- Galilée (1564-1643): chute des corps, mvt du pendule,... lunette: découvertes nombreuses
- Newton (1643-1727) fonde mécanique, optique, invente télescope, analyse spectrale,... théorie de la gravitation universelle



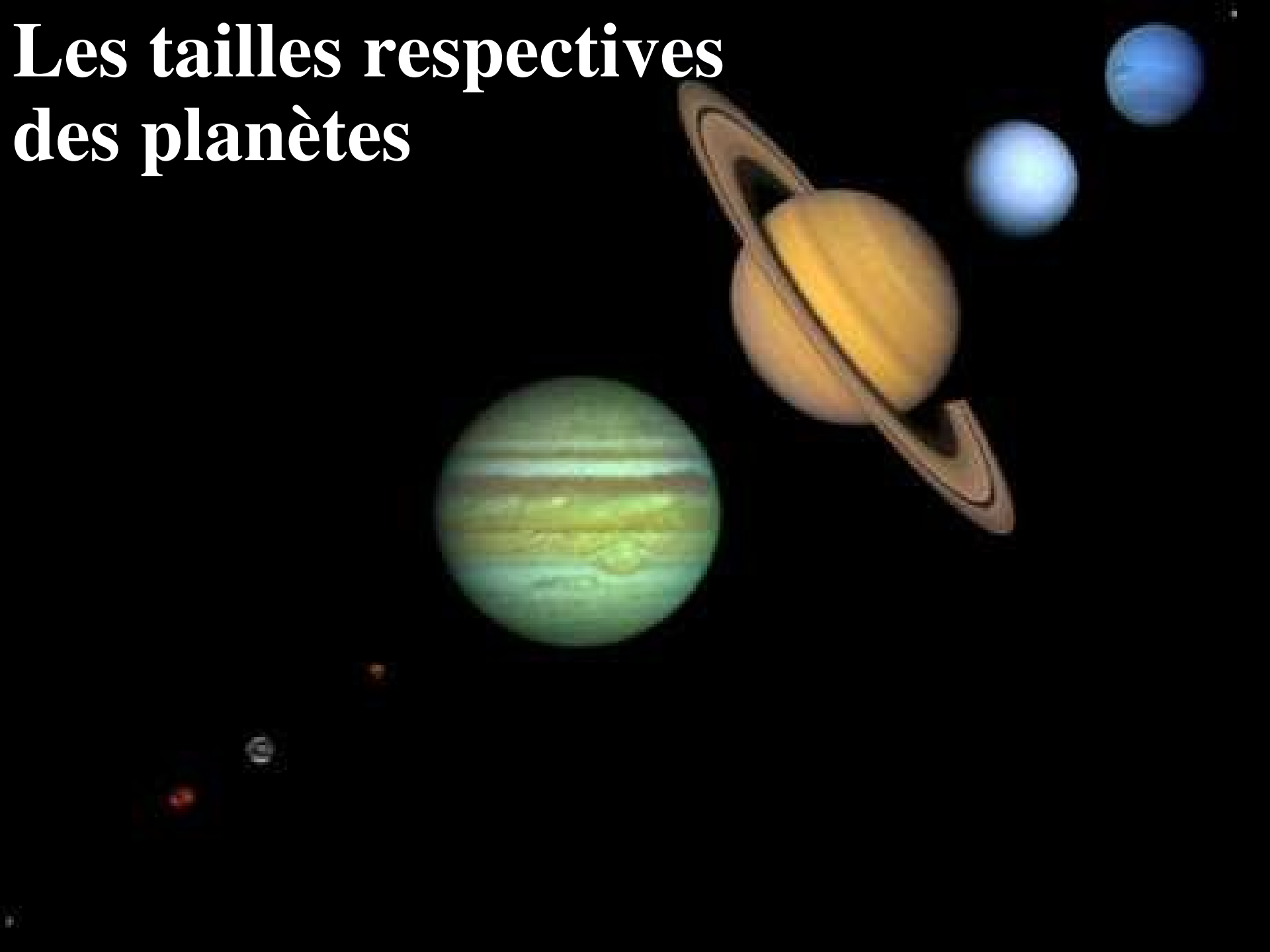
# Le XIX<sup>ème</sup> siècle

- Découvertes de la photographie, photométrie, spectrométrie en astronomie
- Age de la Terre discuté
- Découverte de la radioactivité naturelle
- Premières études du phénomène de convection naturelle

# Le XX<sup>ème</sup> siècle

- 1920 galaxies
- 1930 fuite des galaxies et expansion de l'univers (Hubble)
- 1950 physique (nucléaire) des étoiles
- 1950 exploration des océans
- 1960,... radioastronomie, satellites, grands observatoires « propres », planétologie:
  - > l'essor des géosciences

# Les tailles respectives des planètes

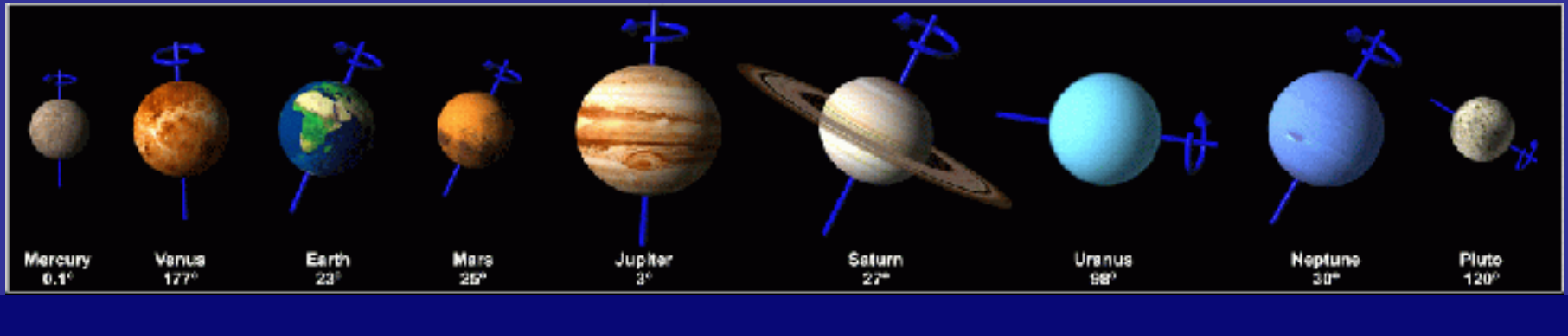


# Caractéristiques du système solaire (1)

Toute théorie doit expliquer les observations suivantes:

- 1) Les planètes tournent toutes dans le même sens autour du Soleil avec des orbites quasi-circulaires.
- 2) L'angle entre l'axe de rotation et la perpendiculaire au plan de l'orbite est en général faible (sauf Uranus).
- 3) Toutes les planètes (sauf Vénus et Uranus) tournent sur elles mêmes dans le même sens que leur révolution; leurs lunes aussi.

# Obliquité des axes de rotation des planètes

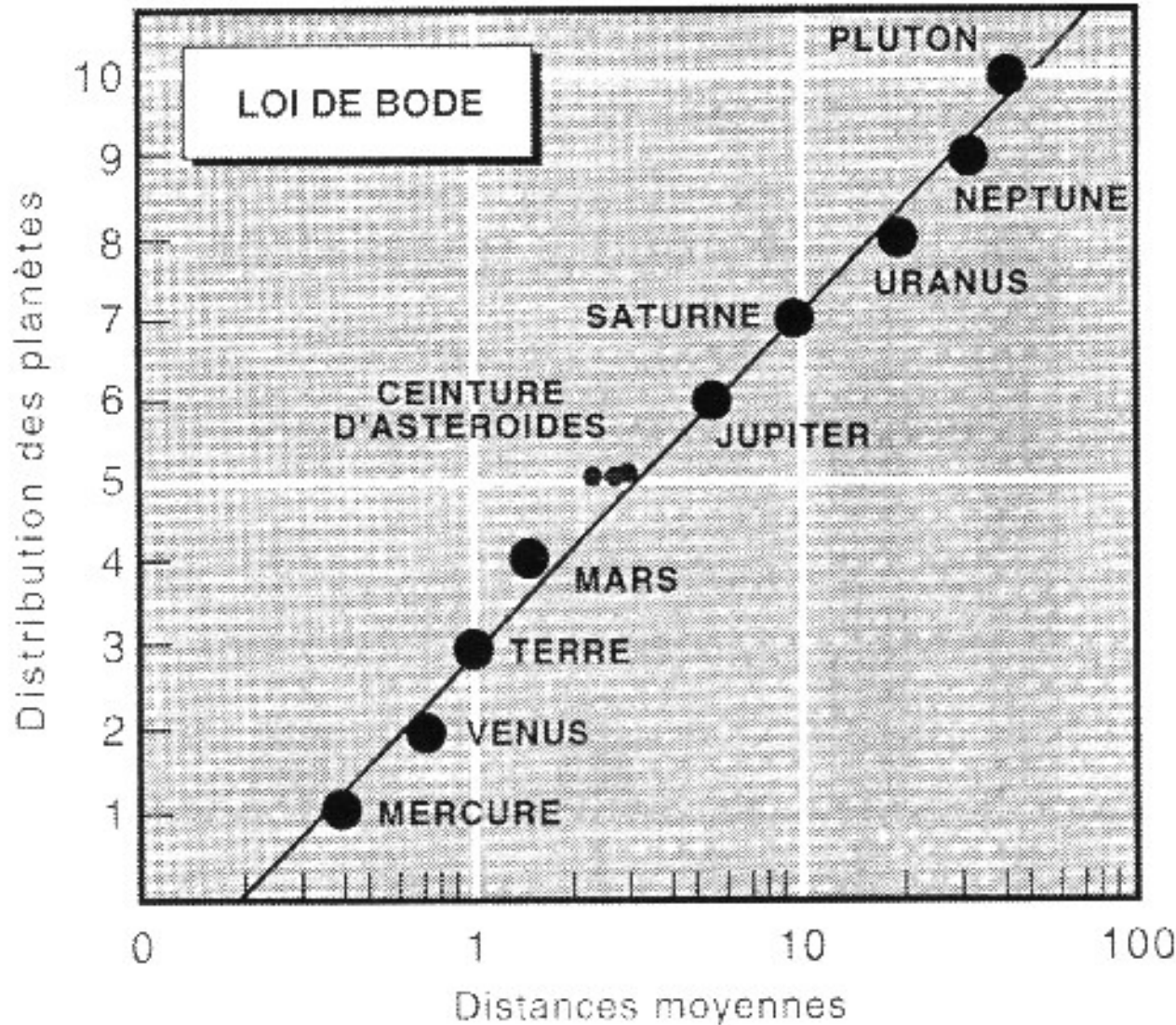


(n.b. les tailles relatives des planètes ne sont pas respectées)

# Caractéristiques du système solaire (2)

- 4) Chaque planète est en gros deux fois plus loin du Soleil que la précédente (loi de Titus-Bode).
- 5) 99.9 % de la masse totale du système solaire est dans le Soleil; 99 % du moment cinétique est dans les planètes.

n



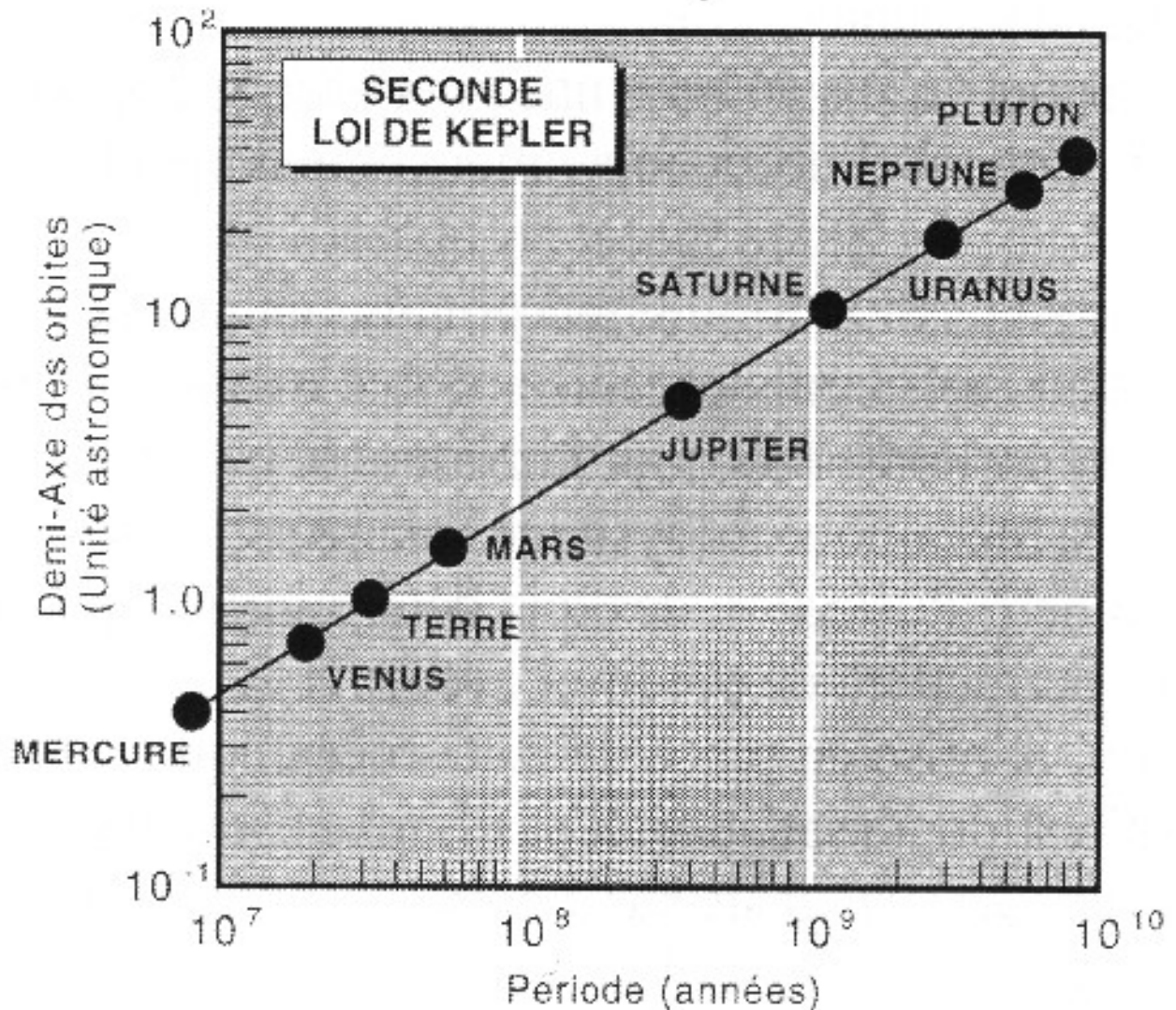
Loi  
de Bode  
 $D \sim 10^{n/4}$

Distance D



**Demi-axe  
A**

**2ème loi  
de Kepler  
 $A^3 \sim T^2$**



**Période de révolution T**



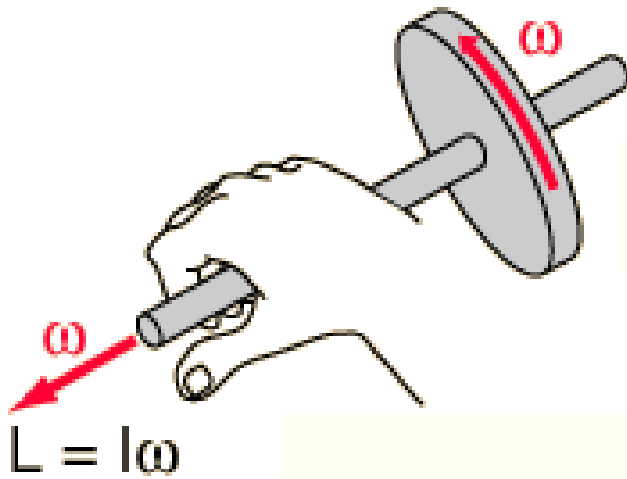
# Moment cinétique L et Moment d'inertie I (TD)

Parallélisme entre force, vitesse, quantité de mouvement et couple, vitesse angulaire et moment cinétique:

$$F = (d/dt)(mv) = dp/dt \quad p = mv$$

$$C = r \times F = (d/dt)(I \omega) = dL/dt \quad L = I \omega$$

# Règle de la main droite

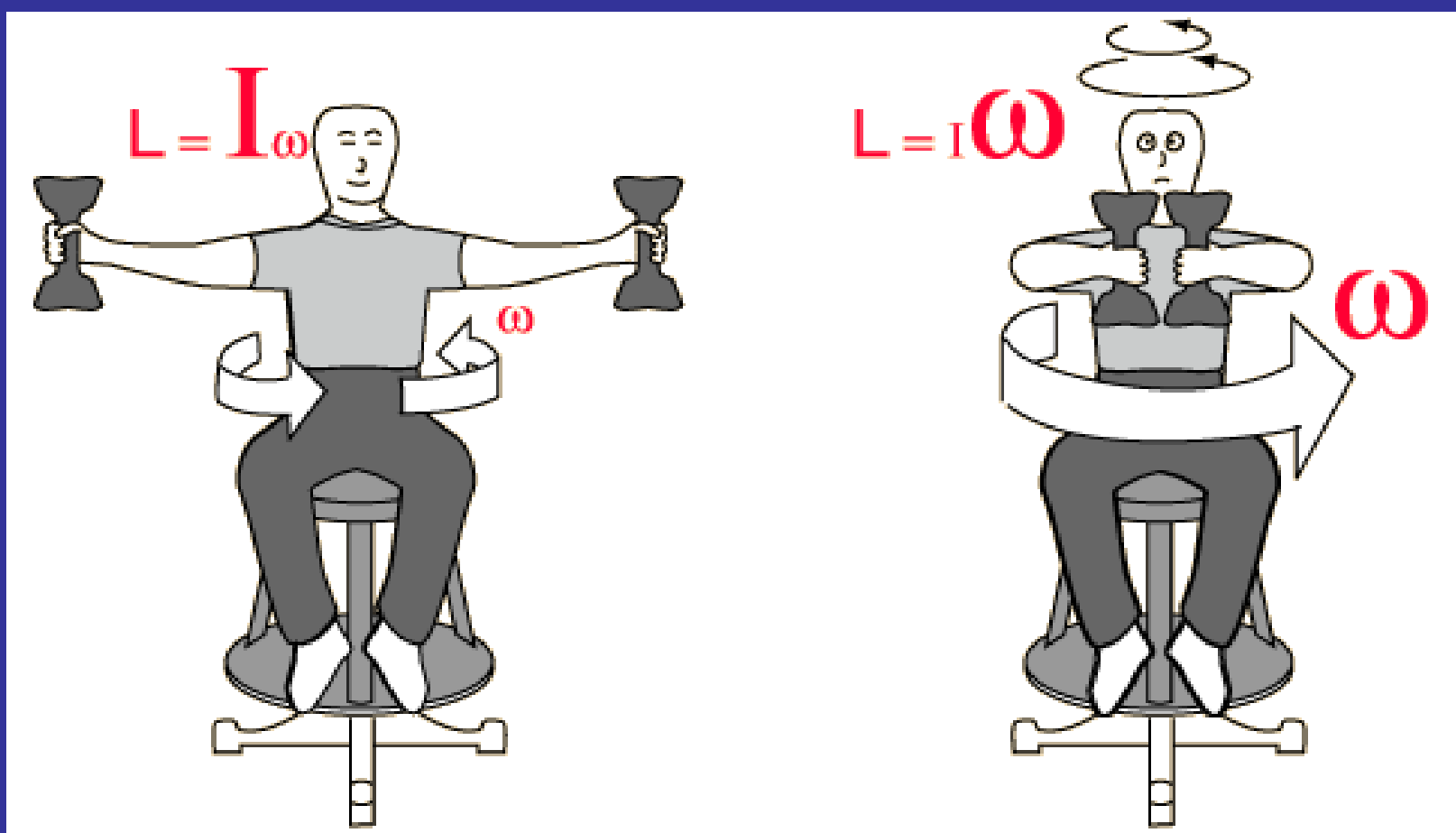


$$L = I \times \omega$$

Si le couple C appliqué est nul, L est constant:

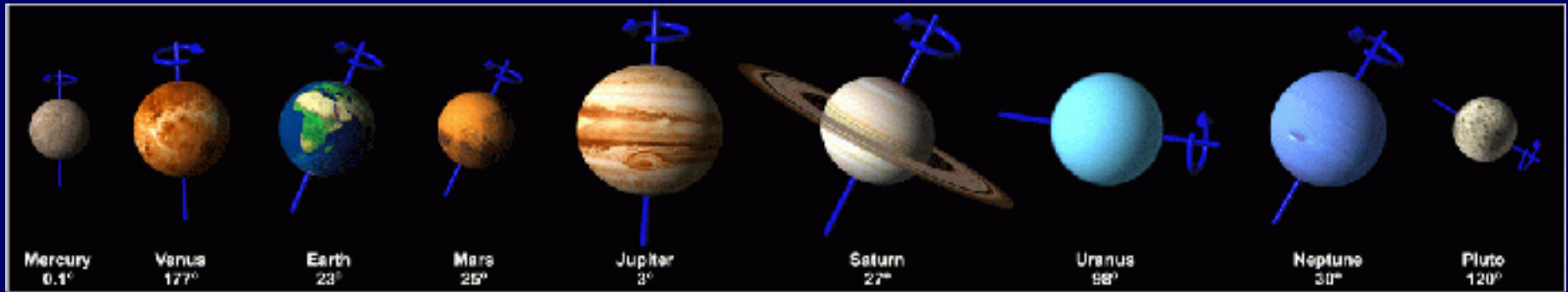
## Loi de conservation du moment cinétique

La masse m ne change pas, mais  $I = \sum (m_i \cdot r_i^2)$  peut changer si le corps est déformable, donc:  $I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$



# Bombardement par des “objets”

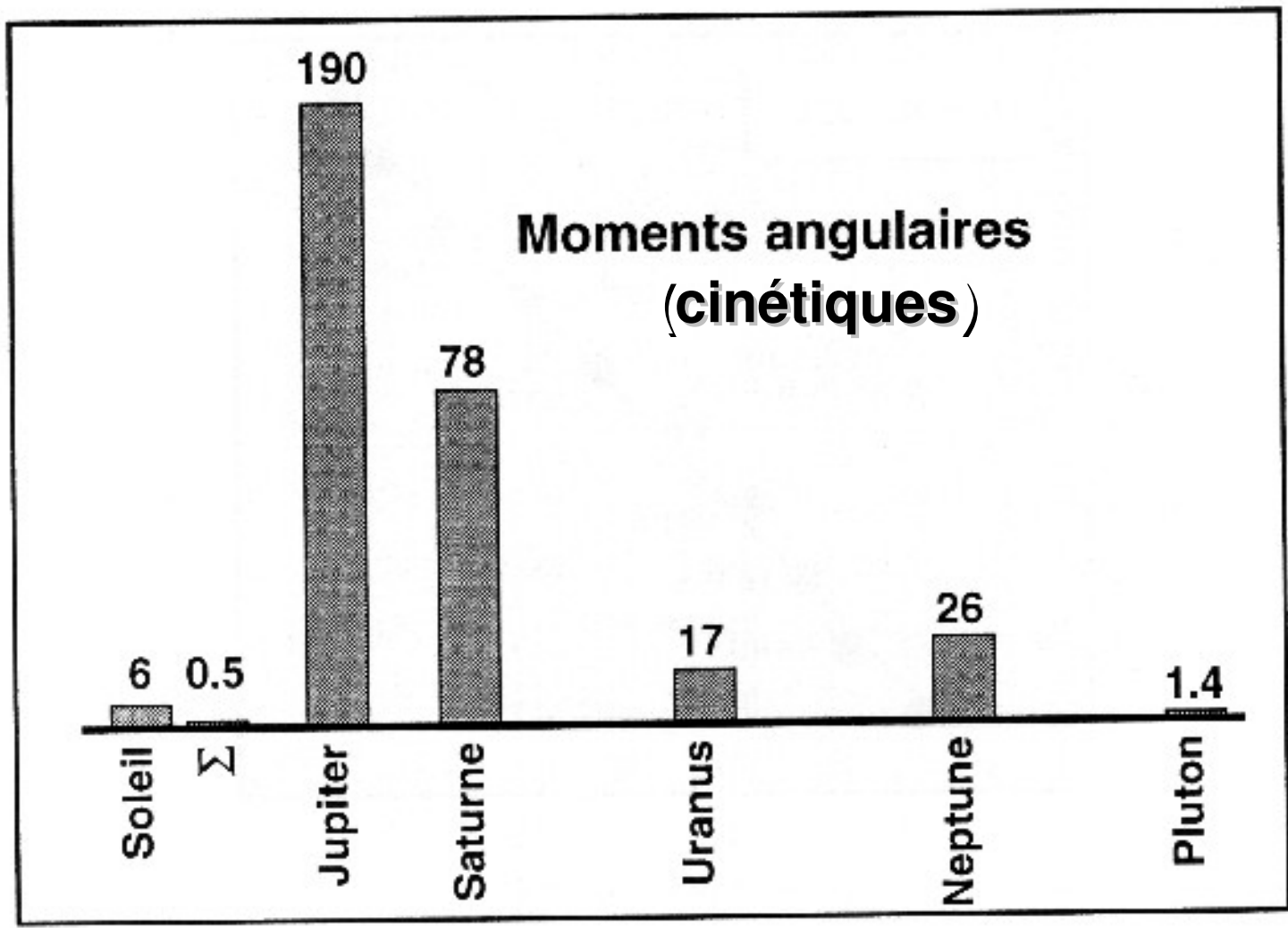
## *Obliquité de l'axe de rotation*



Vénus “renversée”

Uranus “couché sur le côté”

← Toutes les planètes sont “inclinaées” →



**Masse: 99.8 0.04 0.10 (%)**

**Moment: 1.9 0.15 59.9 24.9 5.9 8.0 (%)**

# Caractéristiques du système solaire (3)

6) Les planètes sont divisées en deux groupes:

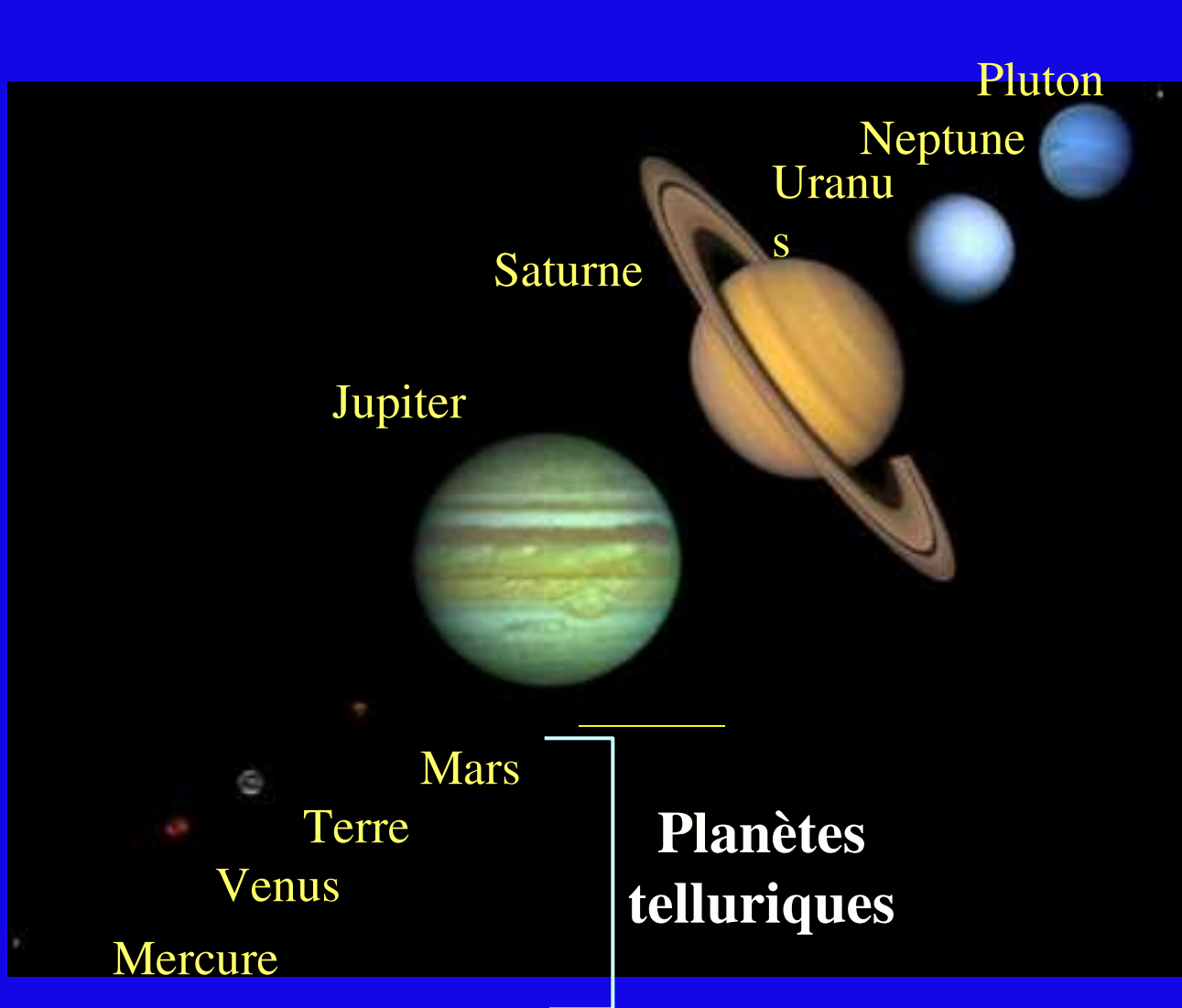
- *Telluriques (internes)*: Mercure, Vénus, Terre, Mars
- *Gazeuses ou géantes (externes)*: Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.

La composition chimique (et isotopique) du système:

Les planètes terrestres contiennent surtout O, Si, Fe, Mg.

Le Soleil est presque entièrement fait de H et He

# Les neuf Planètes



**Planètes  
gazeuses**

**Planètes  
telluriques**

# Une éruption sur le Soleil

