

# Pourquoi les planètes sont-elles rondes ?

Jean-Marc Lévy-Leblond  
Université de Nice



Avertissement : à cette version PDF des diapositives d'une conférence donnée au Festival d'astronomie de Fleurance (août 2011) manquent les animations et surtout l'exposé verbal sans lequel les images sont bien insuffisantes.

# Quelques réponses 1

<http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20080816182138AAa4EQ7> (et autres...)

— Hmmmmm, elles ont probablement pris cette forme après avoir été si longtemps dans l'espace à tourner en rond de sorte qu'elles sont devenues rondes aussi.

— La Terre et les planètes sont des sphéroïdes aplatis à cause de la conservation du moment angulaire qui indique que lorsqu'un objet tourne sur lui-même, la matière est conservée autour du centre.

— Parce que tout morceau qui dépasserait serait raboté par les comètes et les météorites. Les nombreuses collisions depuis très longtemps ont forcé la planète à s'arrondir. [Source : mon cerveau.]

— Pasque Dieu les a fait comme ça pasque c'est logique. J'veux dire, quoi, une planète cubique ? Mais on ne pourrait pas tenir dessus et on tomberait.

— Parce qu'elle a commencé comme un énorme roc irrégulier mais que, comme elle tourne sur elle-même, elle est devenue lisse et ronde comme quand vous faites une boulette de pain dans votre main. [Source : ma tête me dit que c'est raisonnable.]

# Quelques réponses 2

<http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20080816182138AAa4EQ7> (et autres...)

- Les planètes commencent avec un petit morceau de matière, qui est un centre de gravité. Ce point central attire le reste de la matière dans toutes les directions et le résultat final est un corps sphérique
- Puisque la gravité tire également dans toutes les directions, comment pourrait-elle former des cubes ? La sphère est la forme la moins énergétique de l'Univers.
- Regardez les cailloux dans les torrents, c'est le même principe dans l'espace, les vents cosmiques arrondissent les planètes comme l'eau arrondit les pierres.
- Certains disent que c'est la gravité, mais l'espace n'a pas de gravité ! Regardez une goutte d'huile dans un verre d'eau. Elle forme une sphère parce que la force est la même de tous les côtés.
- Si vous faites tourner quelque chose sur soi-même dans l'air, ça prend une forme sphérique. C'est la même chose pour les planètes, parce qu'elles tournent sur elles-mêmes.

# Comment faire une sphère ?



# Comment faire une planète sphérique ?

- par polissage?
- par rotation ?
- par croissance ?
- par gravité ?

...mais tous les  
astres sont-ils  
sphériques ?

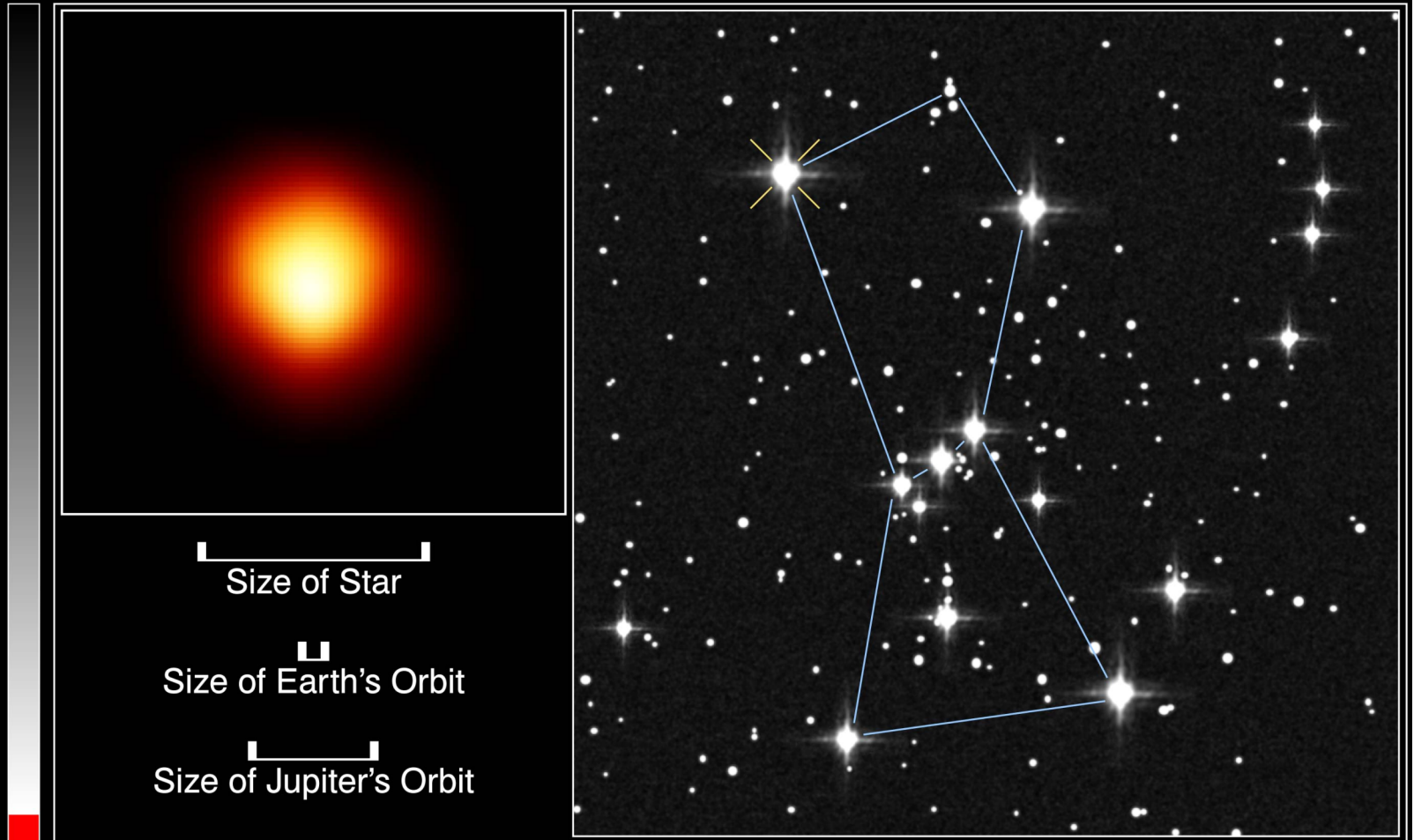
# Etoile(s)

Le Soleil



# Etoile(s)

## Bételgeuse



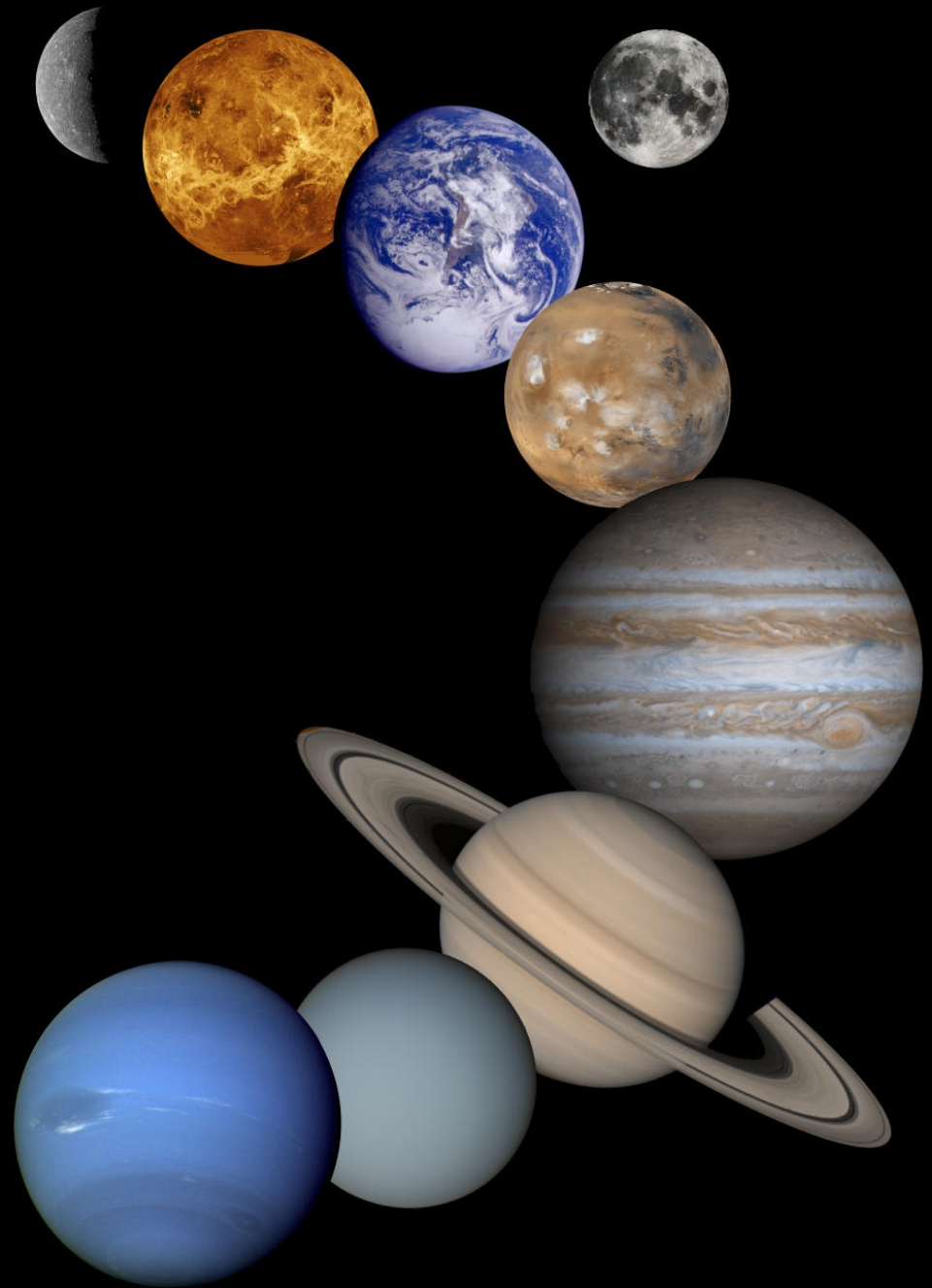
**Atmosphere of Betelgeuse · Alpha Orionis**

Hubble Space Telescope · Faint Object Camera

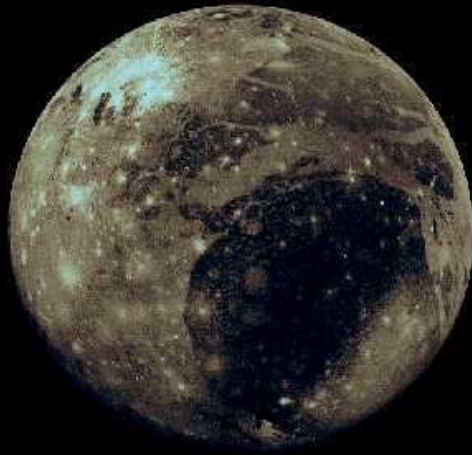




# Planètes

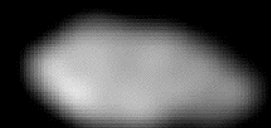
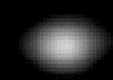
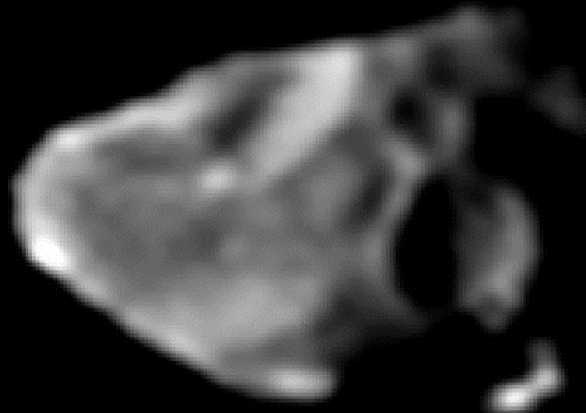
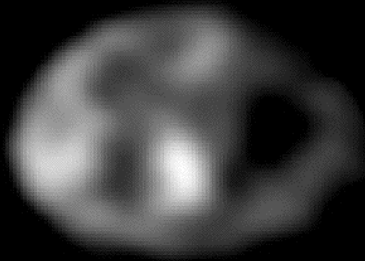


# Satellites galiléens (Jupiter)



# Petits satellites (Jupiter)

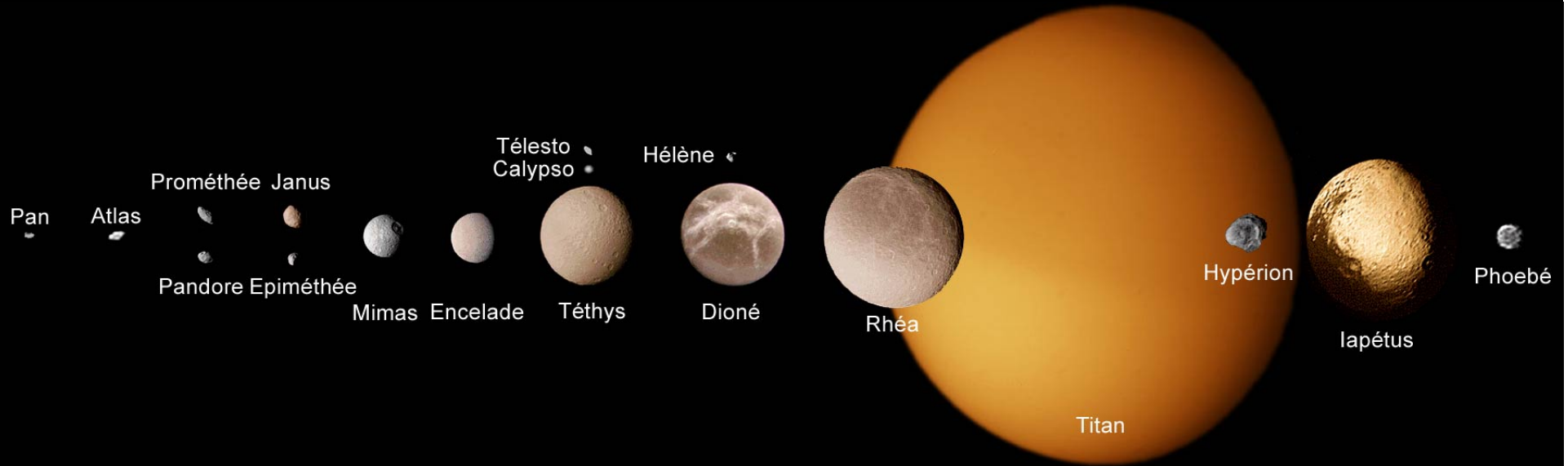
100 km



Thebe Amalthea Adrastea Metis

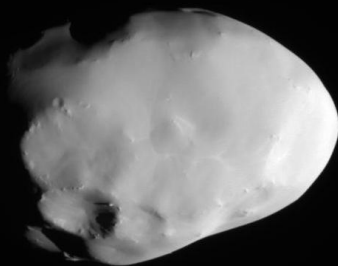


# Satellites (Saturne)



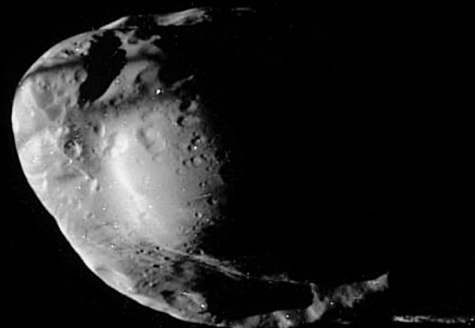
Télesto

(31x24x21 km)



Prométhée

(119x87x61 km)



Hypérion

(370x225x225 km)



# Astéroïdes 1

Gaspra  
(19x12x11 km)



Lutetia  
(120x100x80 km)



Itokawa  
(607x287x264 m)



# Astéroïdes 2



253 Mathilde - 66 × 48 × 44 km  
NEAR, 1997



243 Ida - 58.8 × 25.4 × 18.6 km  
Galileo, 1993



433 Eros - 33 × 13 km  
NEAR, 2000



951 Gaspra  
18.2 × 10.5 × 8.9 km  
Galileo, 1991



5535 Annefrank  
6.6 × 5.0 × 3.4 km  
Stardust, 2002



2867 Steins  
5.9 × 4.0 km  
Rosetta, 2008

25143 Itokawa  
0.5 × 0.3 × 0.2 km  
Hayabusa, 2005

9969 Braille  
2.1 × 1 × 1 km  
Deep Space 1, 1999

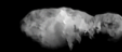
Dactyl  
[(243) Ida I]  
1.6 × 1.2 km  
Galileo, 1993



1P/Halley - 16 × 8 × 8 km  
Vega 2, 1986



9P/Tempel 1  
7.6 × 4.9 km  
Deep Impact, 2005



19P/Borrelly  
8 × 4 km  
Deep Space 1, 2001



81P/Wild 2  
5.5 × 4.0 × 3.3 km  
Stardust, 2004

# Rochers



HPSTM 269

HPs



10 cm

# Cailloux

269

HPSTM 269



1 cm



0,1 cm



# Les deux régimes de la matière condensée

Plus de quelques centaines de kilomètres :  
**forme sphérique**



Moins de quelques centaines de kilomètres :  
**forme irrégulière**



# Orange ou patate ?

La zone de transition dépend de la composition des objets (roches ? glaces ?) et de l'histoire de leur formation

Satellites de glace :

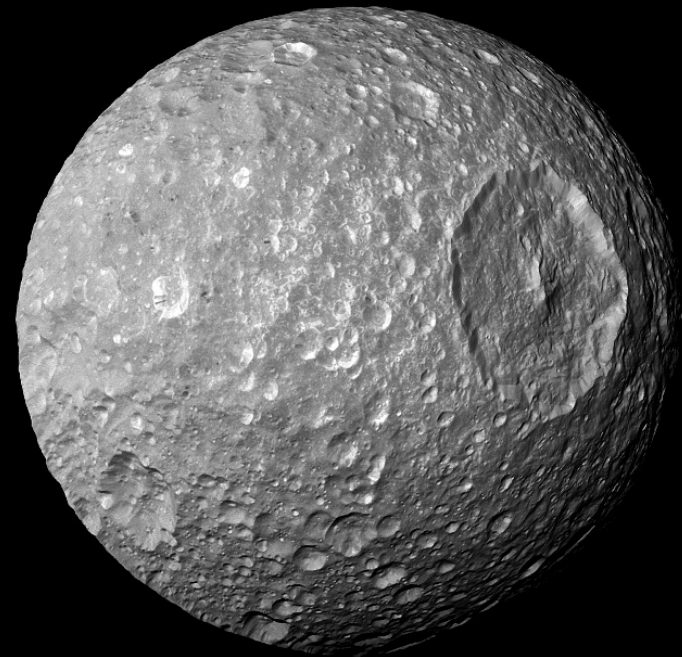
Phoebé

230x220x210 km



Mimas

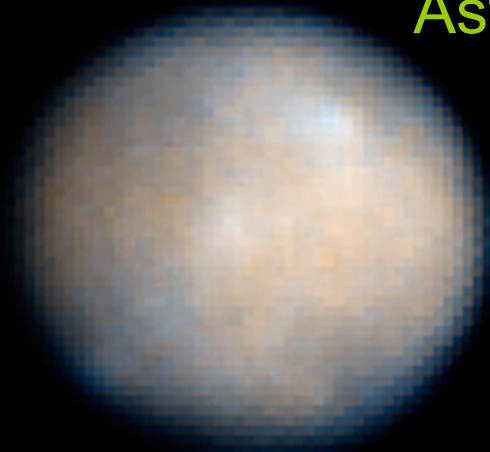
420x400x380 km



# Orange ou patate ?

La zone de transition dépend de la composition des objets (roches ? glaces ?) et de l'histoire de leur formation

Astéroïdes rocheux :



950 km

Ceres • January 24, 2004

*HST ACS/HRC*



580x540x450 km

Vesta • May 14, 2007

*HST WFPC2*

# Dernières nouvelles de Vesta ! (sonde Dawn, juillet-août 2011)



# Des astres aux atomes

La matière condensée est gouvernée par deux types de forces, toutes deux universelles :

— les forces électriques, dominantes de l'échelle atomique à l'échelle macroscopique,

— les forces gravifiques, dominantes de l'échelle planétaire à l'échelle cosmique.

# Les forces

## La force gravifique

— s'exerce entre les masses

— toujours attractive

— loi de Newton :

$$F = G m_1 m_2 / d^2$$

## La force électrique

— s'exerce entre les charges

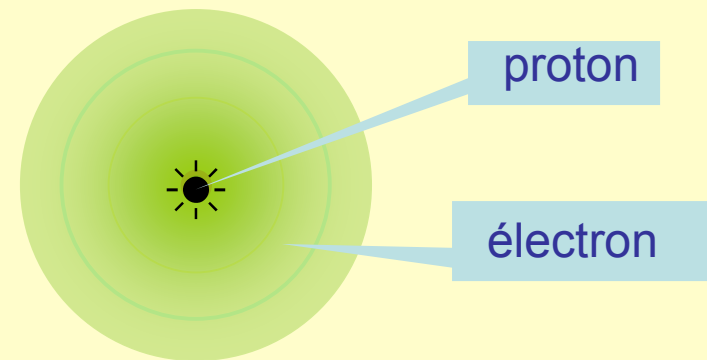
— répulsive entre charges de même signe  
attractive entre charges de signes opposés

— loi de Coulomb :

$$F = K q_1 q_2 / d^2$$

# Au niveau atomique

Atome d'hydrogène



Force électrique attractive

$$F_{\text{élec}} = K q_e^2 / r^2$$

Force gravifique répulsive

$$F_{\text{grav}} = G m_{\text{pr}} m_{\text{el}} / r^2$$

$$F_{\text{grav}} / F_{\text{élec}} \approx 10^{-40}$$

La force gravifique est  
totalement négligeable  
au niveau atomique et  
moléculaire

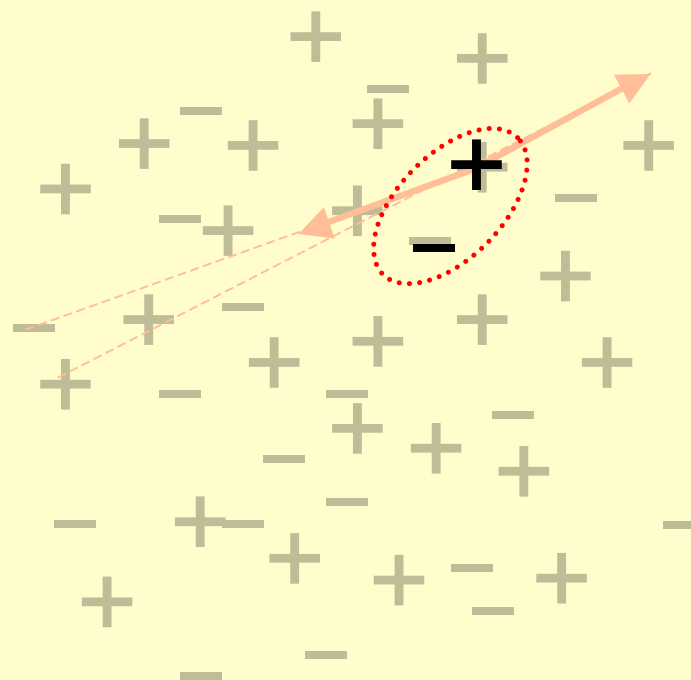
# La matière “électrique”. 1

Mixture homogène et neutre de particules positives (noyaux atomiques) et négatives (électrons).

Compensation des forces attractives et répulsives à longue distance.

“Effet d’écran” : interactions effectives entre plus proches voisins seulement.

Energie de liaison de chaque particule indépendante de la taille globale du système.





# La matière “électrique”. 2

Même coût énergétique pour arracher une molécule de silice à un caillou ou à une montagne.

(aussi difficile de scier un tronc ou un rondin, aussi difficile de couper un morceau de ficelle quel que soit sa longueur, etc.)

En gros, l'énergie de cohésion de la matière “électrique” est de l'ordre de quelques électron-volts par molécule.

L'énergie de cohésion électrique d'un morceau de matière solide croît comme le nombre de molécules.

$$E_{\text{élec}} \approx \text{nombre de molécules}$$

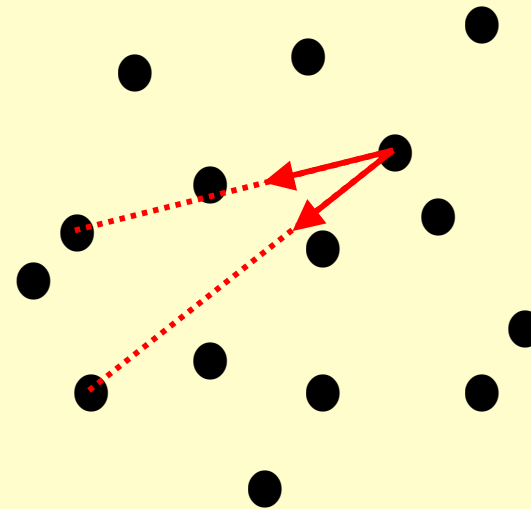
# La matière “gravifique”. 1

Mixture de particules massives en attraction mutuelle.

Pas de compensation des forces à longue distance.

Pas d'effet d'écran.

Energie de liaison de chaque particule dépend de la taille et de la forme globales du système.



# La matière “gravifique”. 2

Pour atteindre son état d'énergie minimale (stabilité maximale), le système “a intérêt” à minimiser les distances entre ses particules les plus lointaines.

Donc à adopter une forme sphérique !

Energie de cohésion gravifique d'un morceau de matière solide croît *beaucoup* plus vite que le nombre de molécules.

$$E_{\text{grav}} \approx (\text{nombre de molécules})^{5/3}$$

# La matière “électrique” et “gravifique”

Pour un faible nombre de particules, les forces électriques sont les plus importantes, et la forme du système n'influe pas sur son énergie de cohésion.

Pour un grand nombre de particules, les forces gravifiques sont les plus importantes, et le système minimise son énergie en assumant une forme sphérique.

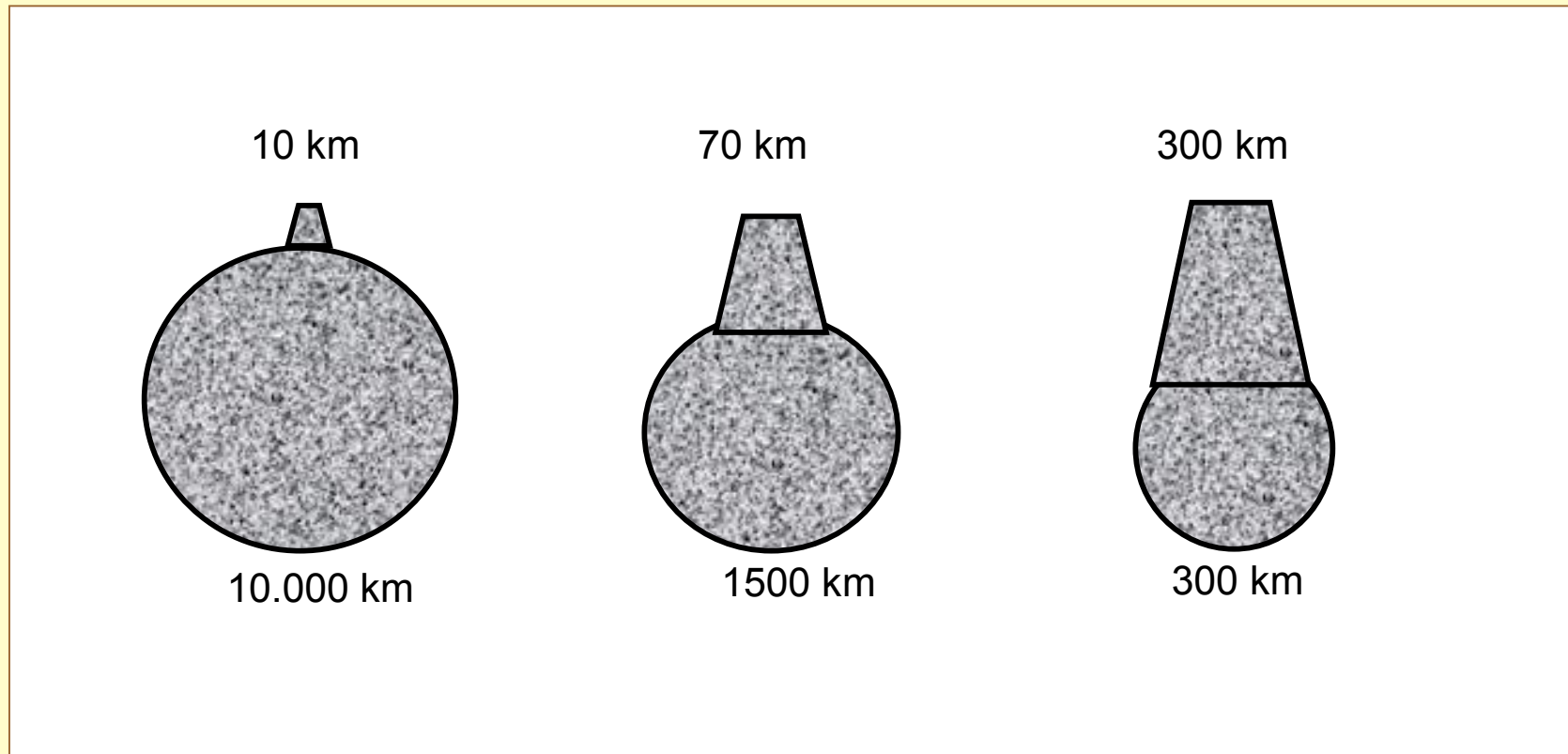
Pour la matière minérale ordinaire, les forces gravifiques prennent progressivement le dessus sur les forces électriques pour des tailles de quelques centaines de kilomètres.  
CQFD.

(La raison du plus fort n'est pas toujours la plus forte)

# La hauteur des montagnes 1

- Pour arracher une molécule de masse  $m$  au sommet d'une montagne de hauteur  $h$ , il faut dépenser une énergie  $\varepsilon$  (qqes eV)
- En tombant au pied de la montagne, elle regagne une énergie potentielle de gravitation  $mgh$  où  $g$  est l'accélération de la pesanteur,
- La montagne ne sera stable que si  $mgh < \varepsilon$
- Or  $g = GM/R^2$  (Newton), où  $M$  est la masse de la planète. Si sa masse volumique est  $\rho$ , on peut écrire  $M = (4\pi/3)\rho R^3$   
soit  $g = GM/R^2 = (4\pi/3)G\rho R$
- D'où finalement  $h < (3\varepsilon/4\pi Gm\rho)(1/R)$
- **La hauteur maximale des montagnes est inversement proportionnelle à la taille de la planète !**

# La hauteur des montagnes 2



# Qu'est-ce qu'une planète ?

Une planète est sphérique par construction...  
...et maintenant, par définition :

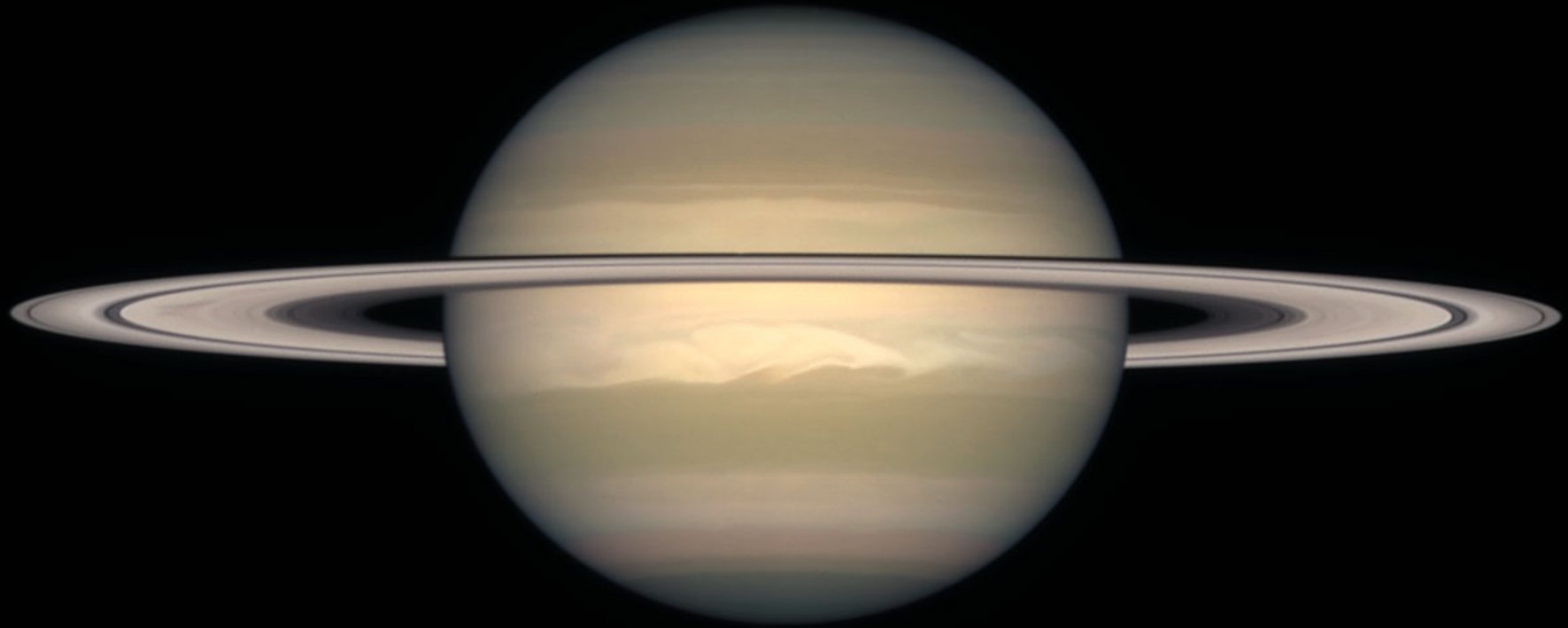
« Une planète est un corps céleste orbitant autour du Soleil ou d'une autre étoile et possédant une masse suffisante pour que sa gravité la maintienne sous une forme presque sphérique. »

Union astronomique internationale, 2006

N. B. *presque* sphérique ?

# L'aplatissement centrifuge

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
0	0	0	1/300	1/150	1/15	1/10	1/40	1/60

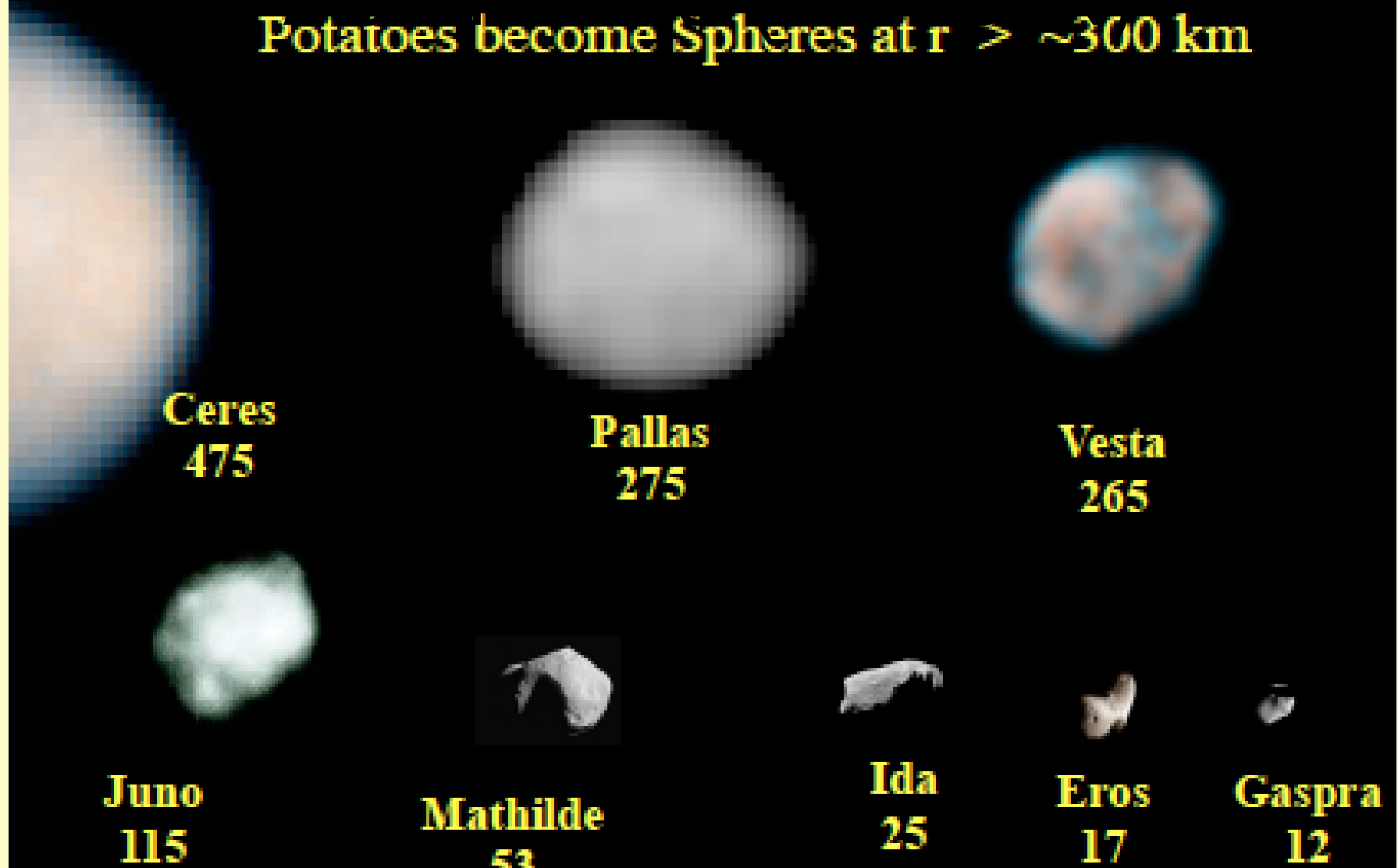




**(a)**

## Asteroids

Potatoes become Spheres at  $r > \sim 300$  km



(b)

## Icy Moons

Potatoes become Spheres at  $r > \sim 200$  km



**Enceladus**  
251



**Miranda**  
235



**Mimas**  
198



**Hyperion**  
140



**Janus**  
95



**Thebe**  
50



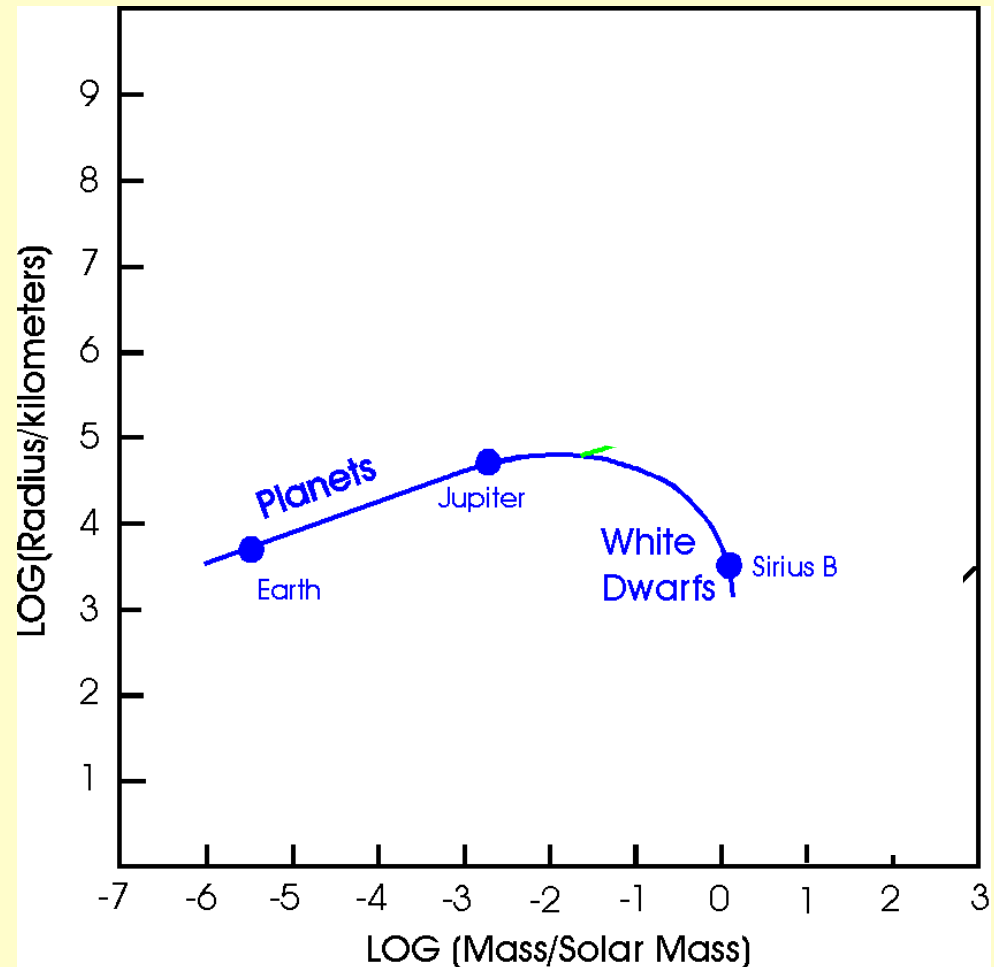
**Metis**  
25



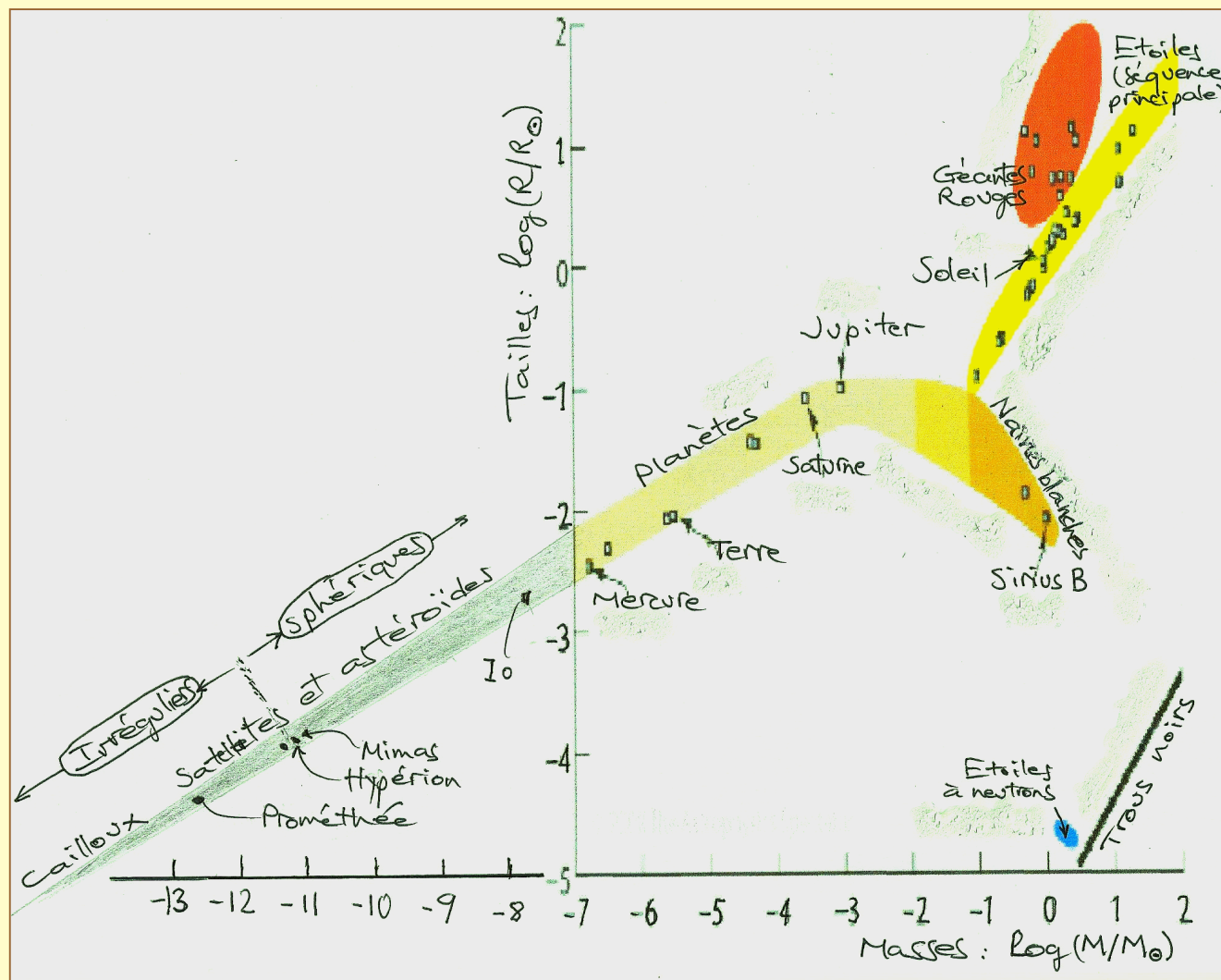
**Calypso**  
11

# Des planètes aux naines blanches

Au-delà d'une masse comparable à celle de Jupiter (un rayon de la centaine de milliers de kilomètres), l'influence de la gravité devient si prépondérante qu'elle oblige l'objet à se contracter



# Des cailloux aux étoiles



Et maintenant,  
cherchez les erreurs...  
(mais sans oublier la poésie)

