

APLATISSEMENT DES OBJETS ASTROPHYSIQUES

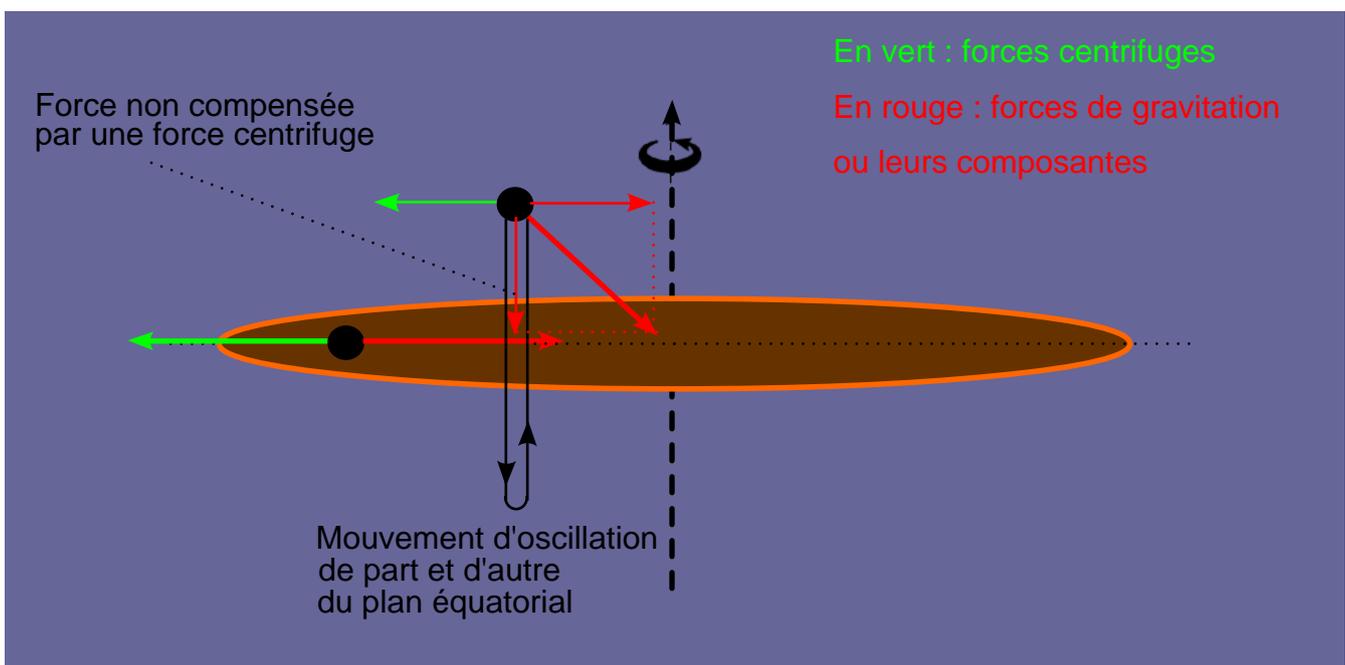
1- Physique du phénomène

En astronomie, beaucoup d'objets sont plans. On peut citer : le système solaire, les anneaux de Saturnes, les galaxies spirales. Tous ces objets sont constitués de petites particules ou de gaz, en interactions gravitationnelles. Le fait qu'on ait affaire à des petites particules ou à du gaz entraîne que les multiples chocs aléatoires entre ces particules ou les molécules du gaz provoquent des forces de frottement. Ce sont ces forces de frottement, associées à une rotation d'ensemble, qui font que l'objet devient plan. Les galaxies elliptiques, qui ont perdu leur gaz, dépourvues ainsi de forces de frottement, ne deviennent pas planes.

Soit l'objet n'a aucune rotation d'ensemble au départ. Dans ce cas, au bout d'un temps plus ou moins long, toute la matière tombera au centre de gravité pour y former une planète, une étoile ou un trou noir. Soit la matière a un mouvement de rotation d'ensemble, initialisé par exemple par l'effet de marée provoqué par des objets voisins.

Dans ce cas, une particule proche du plan équatorial, finira, à cause des forces de frottement, par prendre une vitesse qui correspond à ce mouvement d'ensemble de rotation autour de l'axe de rotation commun. Dans une telle situation, soutenue par la force centrifuge, elle finira par avoir une trajectoire à peu près circulaire autour de cet axe. Comme toutes les particules dans son voisinage proche auront le même mouvement, il n'y aura aucune vitesse relative par rapport aux molécules voisines, donc aucune force de frottement. Ce mouvement sera perpétuel.

Une particule éloignée du plan équatorial, soumise à la gravité, aura tendance, en plus de son mouvement éventuel de rotation autour de l'axe, à avoir un mouvement d'oscillation de part et d'autre du plan équatorial. La composante de l'attraction gravitationnelle vers le centre de gravité de l'ensemble, dans la direction parallèle à l'axe, contrairement à la composante parallèle au plan équatorial, n'est pas en effet compensée par une force centrifuge. La particule pourra rencontrer sur son passage, soit des particules qui n'ont pas ce mouvement d'oscillation (les particules du plan équatorial), soit qui l'ont mais en sens inverse d'elle. Le choc avec ces particules développera une force de frottement qui tendra à diminuer pour finir par annuler ce mouvement d'oscillation. La particule sera alors stabilisée dans le plan équatorial en ayant gardé un mouvement de rotation autour de cet axe la maintenant à une distance à peu près constante de cet axe. Ainsi, l'objet sera devenu plan.



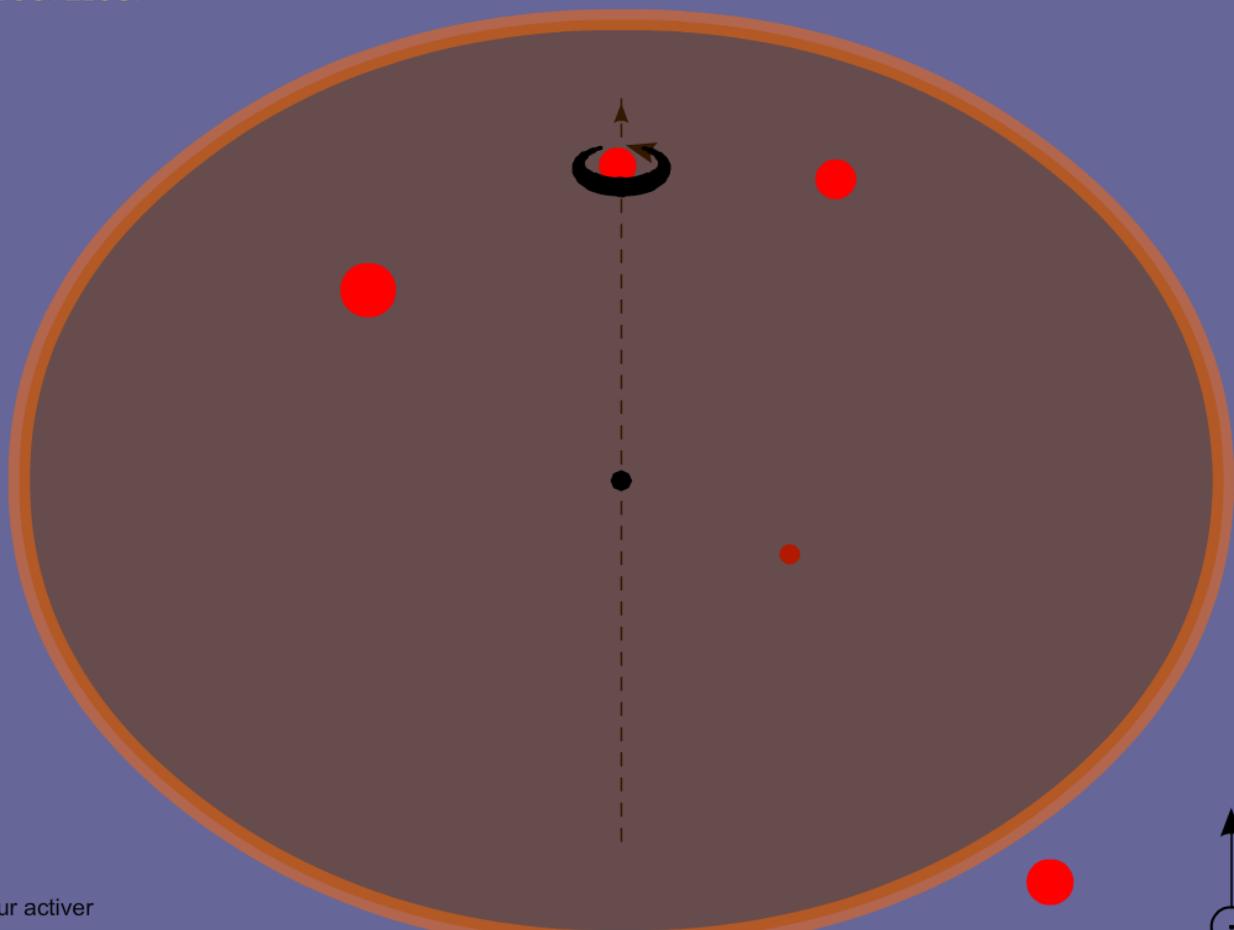
On étudie le mouvement de 5 particules attirées vers le centre par une force de type : $\vec{F}_G = -k \overrightarrow{OM}$.

Cette force est bien la force gravitationnelle qui agit à l'intérieur d'une boule homogène avec la densité volumique de masse ρ uniforme. Au départ, les particules sont placées au hasard, et lancées avec leurs composantes des vitesses parallèles au plan équatorial, correspondant à une rotation autour de l'axe avec la vitesse angulaire $\vec{\Omega}$ la même pour toutes les particules. Les composantes des vitesses selon l'axe, au départ, sont variables suivant les particules. En plus de la force gravitationnelle précédente, elles sont soumises à une force de frottement de type $\vec{F}_{fi} = -f \vec{V}_{ri}$, \vec{V}_{ri} étant la vitesse relative de la particule i par rapport au nuage qui tourne en bloc à la vitesse angulaire $\vec{\Omega}$.

Cette vitesse angulaire est recalculée à chaque pas de temps. Pour chaque particule, on recalcule sa vitesse angulaire par rapport à l'axe par : $\vec{\Omega}_i = \frac{\overrightarrow{OM}_i \wedge \vec{V}_i}{OM_i^2}$ puis on fait $\vec{\Omega} = \frac{\vec{\Omega}_1 + \vec{\Omega}_2 + \vec{\Omega}_3 + \vec{\Omega}_4 + \vec{\Omega}_5}{5}$.

Sur la figure, les dimensions verticales (selon z) et horizontales (selon y) du nuage de poussière représenté par une ellipse, sont prises respectivement égales à 1,5 fois l'écart type de la distance à l'axe et au plan équatorial pour les 5 particules. La dimension z est verticale, x vers nous, la particule grossissant d'autant plus que $x > 0$, et diminuant en devenant pâle, d'autant plus que $x < 0$. L'axe des y est vers la droite.

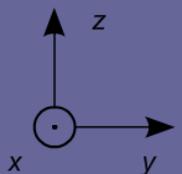
Pierre BOUTELOUP

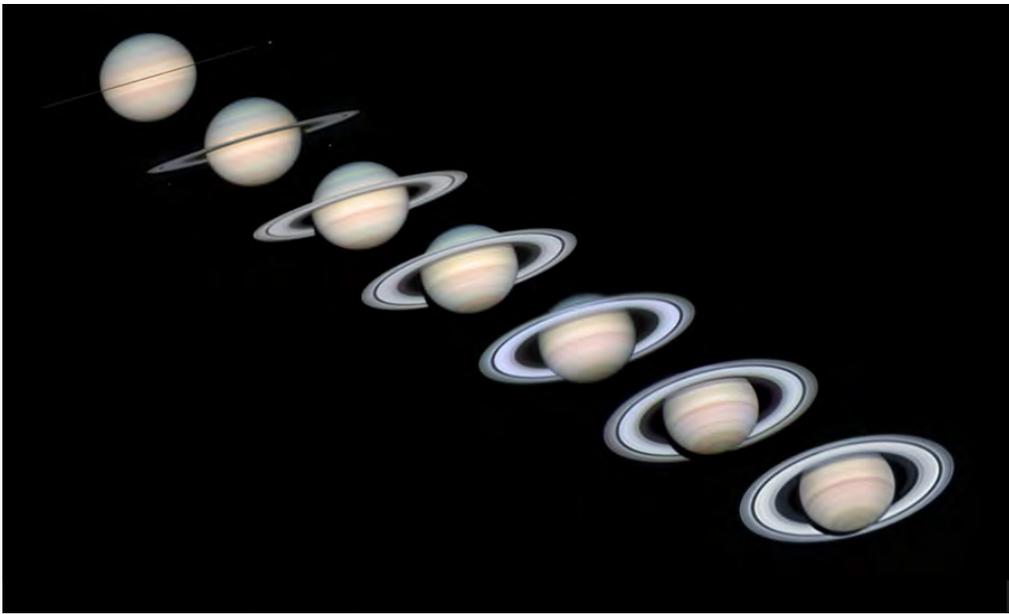


Cliquer pour activer

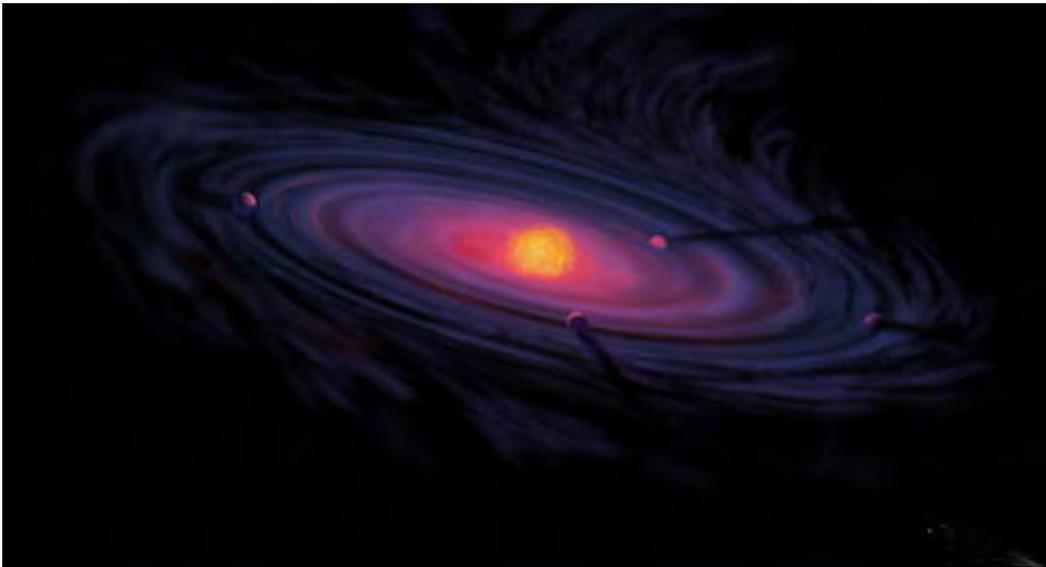


Aplatissement d'une boule de gaz en rotation





Saturne vue sous différents angles au fil des années depuis la Terre



Vue d'artiste de la formation du système solaire



Photo de la galaxie M104 par Hubble