

# Évolution des conceptions de l'Univers

## Phys137

### TD : Formation planétaire

#### Exercice 1 : Masse critique de Jeans

Soit un nuage interstellaire de masse totale  $M$ , supposé sphérique de rayon  $R$ , composé d'un gaz d'hydrogène à l'équilibre thermodynamique. On admettra que l'énergie cinétique totale du nuage peut alors s'écrire :  $E_C = (3k_B T / 2) * (M / \mu_H)$  avec  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$  la constante de Boltzmann,  $T$  la température moyenne du nuage et  $\mu_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  la masse d'un atome d'hydrogène. [On rappelle la valeur de la constante de la gravitation universelle  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ SI.}$ ]

1. Rappelez l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_p$  en fonction de  $G$ ,  $M$  et  $R$ .
2. À quelle condition sur ces deux énergies, potentielle et cinétique, correspond le déclenchement de l'effondrement ? On notera alors  $M_J$  la masse de Jeans vérifiant cette condition.
3. En déduire l'expression de  $M_J$  en fonction de  $R$  et des constantes appropriées.
4. On note  $\mu$  la masse volumique du nuage, que l'on supposera constante. Exprimez alors  $R$  en fonction de  $M_J$  et de  $\mu$ . Donnez la nouvelle expression de la masse critique.
5. Faites une application numérique pour des valeurs typiques des nuages moléculaires froids, soit  $T = 20 \text{ °K}$  et  $\mu = 1,67 \cdot 10^{-17} \text{ kg.m}^{-3}$ . Que pensez-vous du résultat ? [Pour comparaison, la masse totale du Système Solaire est aujourd'hui d'environ  $2 \cdot 10^{30} \text{ kg.}$ ]

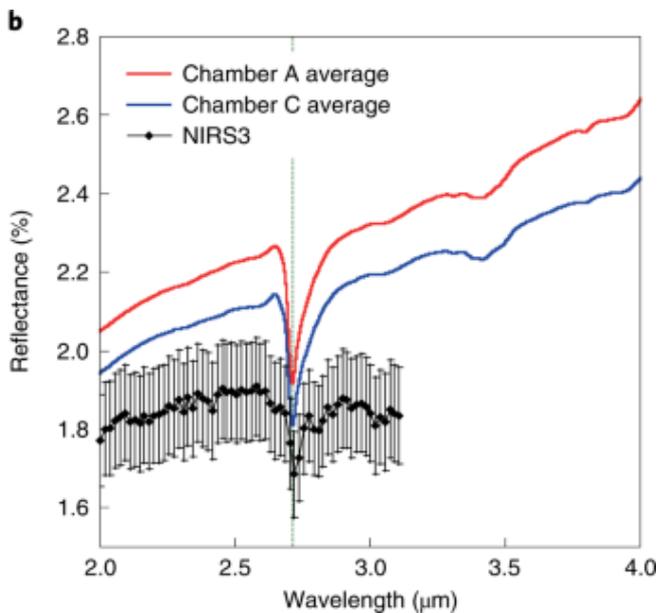
#### Exercice 2 : Loi de Titius-Bode

On rappelle l'expression de la loi empirique de Titius-Bode :  $r = 0.4 + 0.3 * 2^{n-1}$ . Dans cette formule,  $r$  est la distance moyenne de la planète à son étoile en Unités Astronomiques (UA) et  $n$  est le numéro de la planète en comptant depuis Vénus à  $n=1$  ( $n=-\infty$  pour Mercure). On rappelle que  $1 \text{ UA} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ .

1. Calculez la distance à laquelle se trouve Mars d'après cette loi.
2. Une ceinture d'astéroïdes se trouve à 420 millions de kilomètre du Soleil, quel est son numéro  $n$  dans le Système solaire ? Qu'en pensez-vous ?
3. Que se passe-t-il pour Uranus ? et Neptune ? [NB : son demi-grand axe est  $\sim 30 \text{ UA.}$ ]
4. Un objet Transneptunien nommé Sedna a son périhélie situé à 76 UA. Peut-on retrouver cette valeur ? Que pouvez-vous en dire ?

#### Exercice 3 : Lien entre mesures depuis l'orbite et mesures en laboratoire : le cas de Hayabusa 2

En décembre 2022, la mission Hayabusa 2 a ramené sur Terre des échantillons récoltés sur l'astéroïde Ryugu permettant de lier les études faites depuis l'orbite de l'astéroïde à des mesures à plus petite échelle en laboratoire. Les mesures dans la gamme de l'infrarouge sont utiles car elles peuvent être faite à la télédétection et en laboratoire, permettant de relier les objets étudiés en laboratoires et les mesures faites sur les petits corps du Système Solaire.



À bord de la sonde Hayabusa 2, l'instrument NIRS3 était chargé de récolter des spectres en réflectance dans le visible et proche infrarouge (de 1800 à 3200 nm) (cf figure 1). Dans le domaine du proche infrarouge, deux bandes d'absorption sont particulièrement étudiées par la communauté scientifique : la bande à 2.7  $\mu\text{m}$  qui va sonder la présence de silicate hydratés et la bande à 3.4  $\mu\text{m}$  indicatrice de la présence potentielle de matière organique.

Figure 1 : Mesure du spectre de Ryugu depuis l'orbite grâce à NIRS3 (en noir) et en laboratoire (en rouge et bleue). Extrait de Yada et al. 2022

1) Basé seulement sur les mesures depuis la sonde, que peut-on en conclure sur l'hydratation et la présence de matière organique dans l'astéroïde Ryugu ?

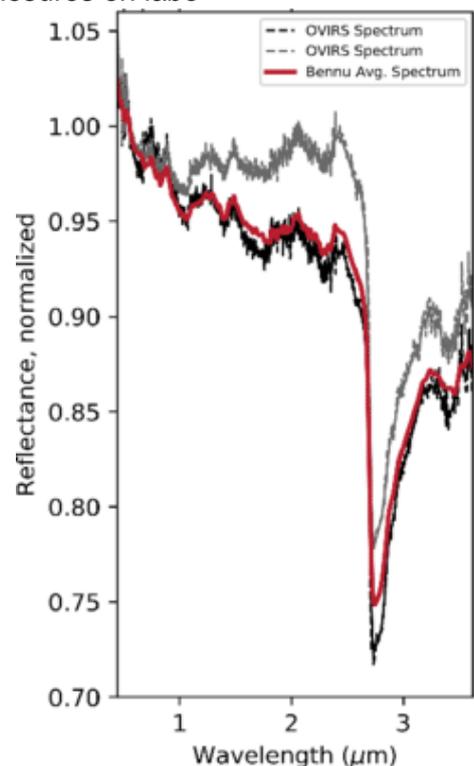
2) Donner deux avantages des mesures en laboratoire par rapport aux mesures depuis l'espace faite avec NIRS3 ? A l'inverse quel est le biais principal des mesures en labo

Une autre mission a pour but d'aller étudier un astéroïde et de ramener des échantillons sur Terre. Il s'agit de la mission OSIRIS-REx, qui a pour cible l'astéroïde Bennu et pour laquelle un retour sur Terre est prévu en 2024. À bord de la sonde, se trouve l'instrument OVIRS qui mesure les spectres proche infrarouge (cf figure 2).

Figure 2 : Spectre de OVIRS observé à deux endroits différents de l'orbite de Bennu, extrait de Kaplan et al. 2021.

3) L'instrument OVIRS a mesuré le spectre suivant depuis la sonde d'OSIRIS REX. S'attend-on à ramener sur Terre des échantillons hydratés ? contenant de la matière organique ?

4) On a de plus étudié les spectres dans le moyen IR (cf figure 3). Dans cette gamme, les larges bandes autour de 10  $\mu\text{m}$  et de 20  $\mu\text{m}$  donnent des indications sur la matière minérale présente dans les phases étudiées. La forme ainsi que la largeur et la position de ces bandes donnent des informations sur la composition et la structuration de la matière minérale. En comparant les deux spectres de Bennu et Ryugu. Peut-on toujours conclure que les grains de Ryugu et Bennu seront identiques lors des analyses en laboratoire ?



5) On place sur ce graphe des spectres de météorites (Orgueil, Alais, Tagish Lake et Murchison). Orgueil et Alais sont classées comme des échantillons de type CI alors que Murchison est classé comme un échantillon de type CM. Identifié quelles météorites sont des meilleurs analogues pour Ryugu ? et pour Bennu ? En sachant que les météorites sont classées suivant leur histoire (formation puis altération au sein de l'astéroïde parent), faites une hypothèse sur Ryugu et Bennu ?

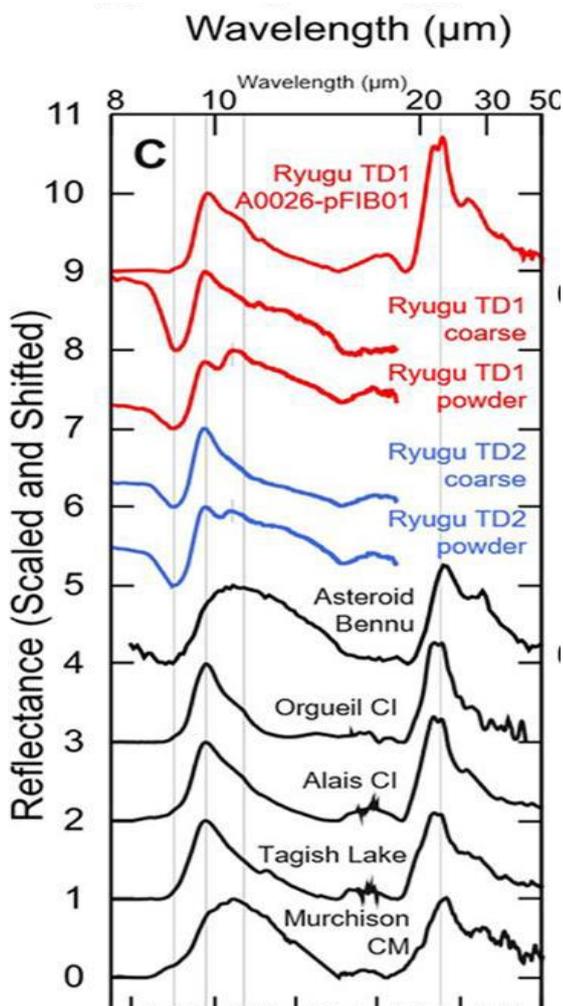


Figure 3: Spectre dans l'infrarouge moyen de l'astéroïde Bennu mesuré par et spectres de l'astéroïde Ryugu ainsi que de diverses météorites mesurées en laboratoire (IAS @Paris Saclay). Extrait de Nakamura et al. 2022