

# Pression de radiation

Tout rayonnement exerce une pression : c'est la pression de radiation

La pression de radiation solaire :

⇒ sur Terre : pression de radiation  $\sim 10^{-5}$  Pa ⇒ très faible !!!

⇒ dans l'espace, pour des objets de taille  $< 1 \mu\text{m}$  :  
force de pression de radiation  $>$  attraction gravitationnelle exercée par le Soleil

# Origine de la queue des comètes

Comète : petit astre de diamètre  $<10\text{km}$  composé de glace et de poussières

Quand la comète s'approche du Soleil :

elle s'échauffe et libère gaz et poussières formant

- ⇒ une queue blanche, large et courbe
- ⇒ une queue bleue, fine et rectiligne



Comète Hale-Bopp, 1997

# Origine de la queue des comètes

la queue blanche :

- poussières **poussées la pression de radiation solaire**
- courbe car faible poussée
- blanche car les poussières réfléchissent la lux solaire

la queue **bleue** :

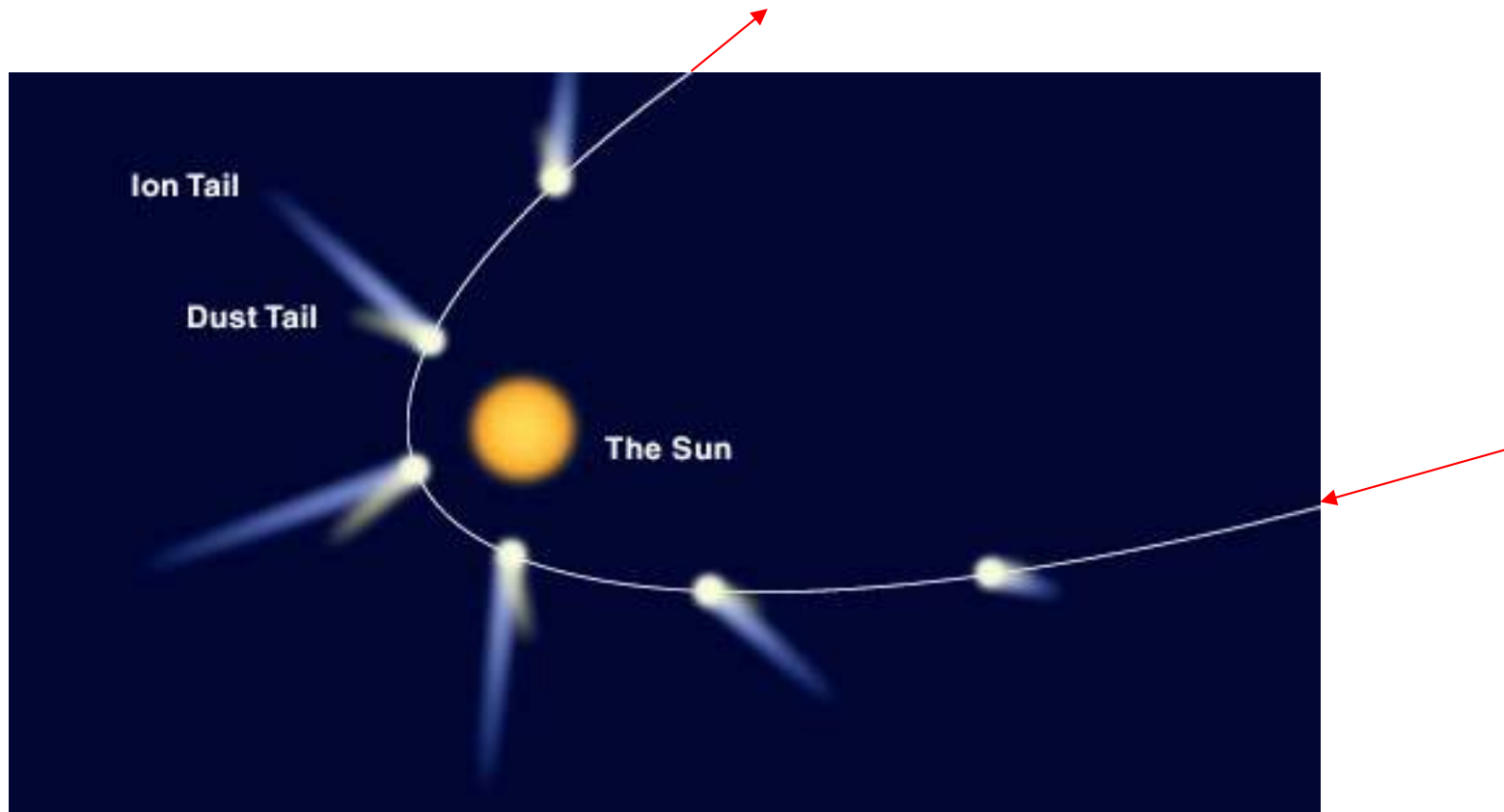
- particules ionisées et **poussées par le vent solaire** (flux de protons et électrons éjectés du Soleil)
- rectiligne car forte poussée
- bleue car émise par les ions  $\text{CO}^+$  lors de leur désexcitation



⇒ les queues pointent toujours à l'opposé du Soleil !

# Origine de la queue des comètes

Les 2 queues pointent toujours à l'opposé du Soleil



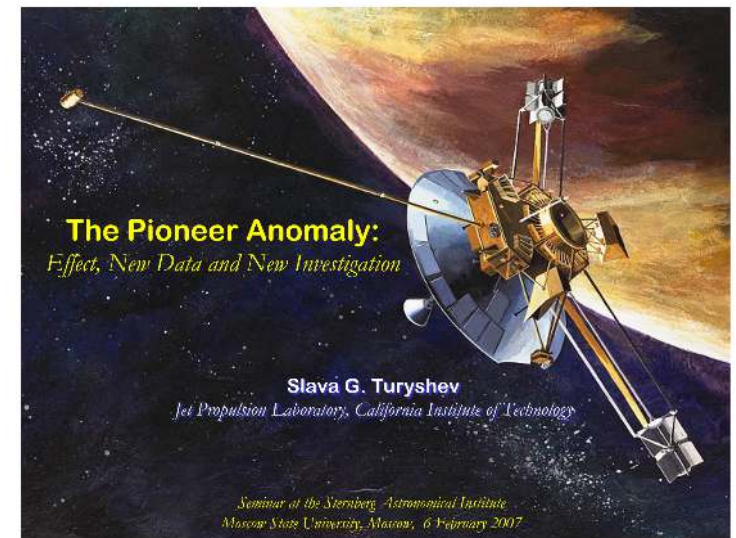
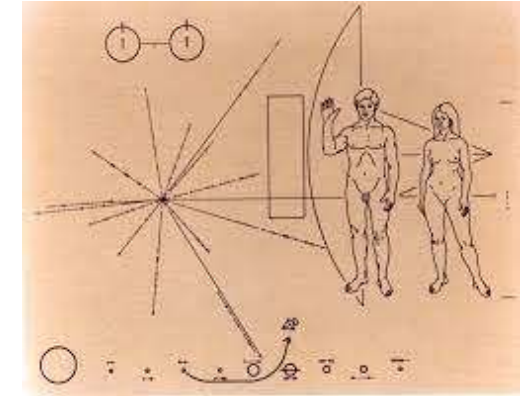
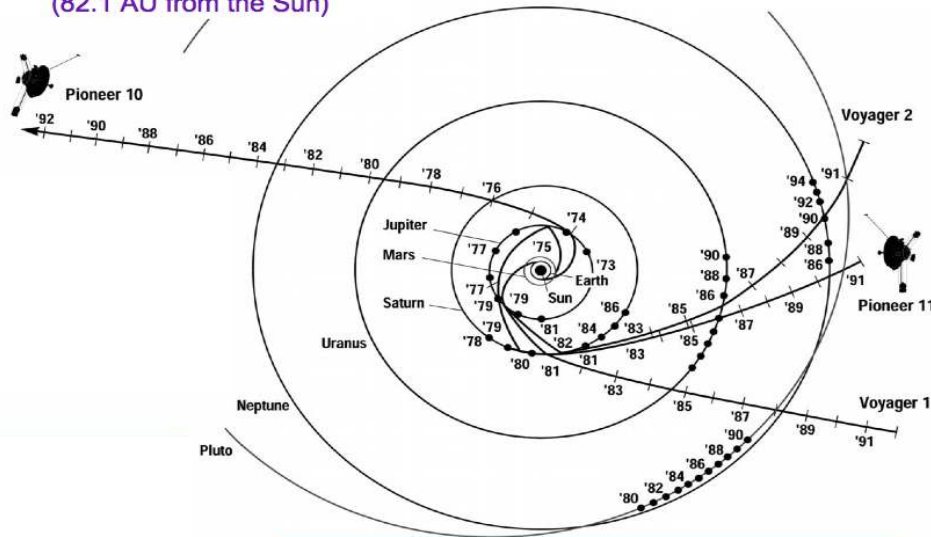
⇒ c'est pourquoi **quand la comète s'éloigne du Soleil, ses queues la devancent !**

Cela avait intrigué Képler en 1607 : les queues ne résultent pas du déplacement de la comète (comme par ex. : fumée d'une locomotive à vapeur), car dans ce cas elles seraient toujours situées derrière la comète ...

# L'anomalie Pioneer

1972-73 : sondes Pioneer 10 et 11 lancées par la NASA pour observer Jupiter et Saturne

Last signal from Pioneer 10 was received on 23 January 2003 (82.1 AU from the Sun)



1980 : en retard sur leurs positions prédites par la théorie de la gravitation

⇒ ralentissent plus que prévu ! (retard de 400 000 km sur + de 12 milliards parcourus ...)

2012 : le retard serait dû à la pression de radiation

⇒ les photons émis par les générateurs nucléaires des sondes frappent la grande antenne centrale et ralentissent les sondes ...

# Voile solaire

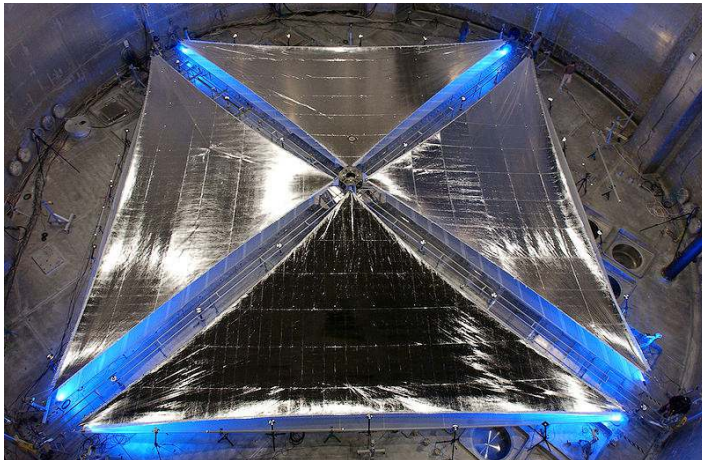
## Propulsion basée sur la pression de radiation solaire

- ⇒ pour une voile de  $\sim 100\text{m}^2$ , la poussée est de  $\sim 1\text{ mN}$
- ⇒ accélération faible mais continue : peut mener à de gdes vitesses!

Intérêt : ne nécessite pas de carburant !

## Inconvénients

- ⇒ le déploiement de la voile
- ⇒ ne peut embarquer que de faibles poids
- ⇒ les débris dans l'espace peuvent endommager la voile
- ⇒ ne marche plus loin des étoiles ...

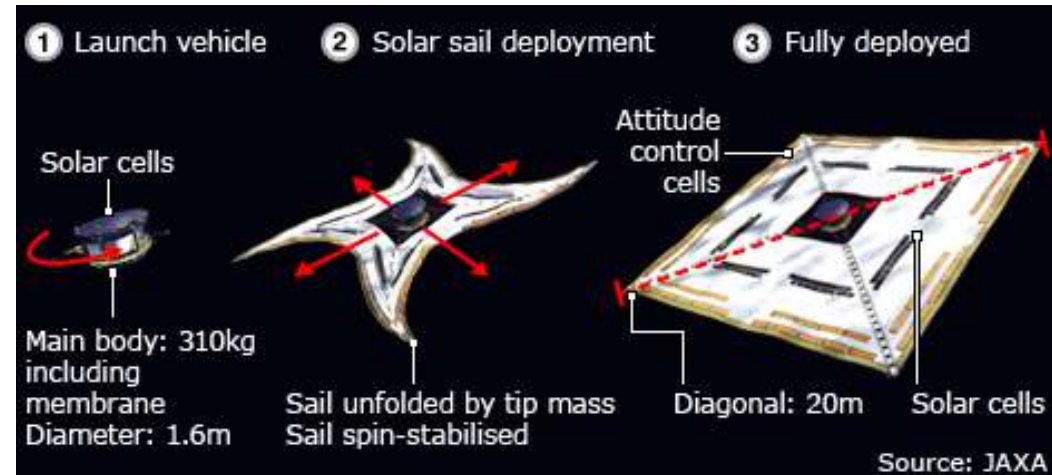


# Voile solaire

2010 : mission IKAROS (Jaxa, Japon) ⇒ 1ère voile solaire déployée dans l'espace

⇒ voile de **173m<sup>2</sup>**, 15kg, épaisseur 7,5 μm, poids total 315 kg

⇒ a atteint Vénus en 6 mois



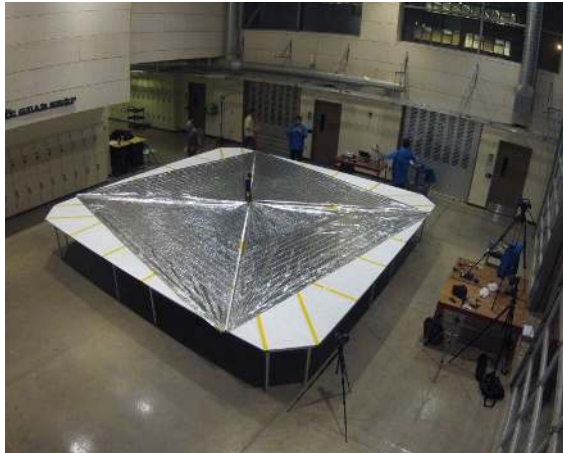
2011 : projet NanoSail-D ⇒ 1er essai de la NASA avec une voile de **9.2m<sup>2</sup>** pdt 240 jours



# Voile solaire

2014 : projet Sunjammer (NASA)  $\Rightarrow$  la + gde voile solaire de  $1207\text{m}^2$  - projet abandonné

2019 : projet LightSail 2 (The Planetary Society, financé par particuliers)  $\Rightarrow$  voile de  $32\text{m}^2$   
en orbite à 720km d'alt



2023 : prototype Gama Alpha (start-up française)  $\Rightarrow$  voile de  $73\text{m}^2$ ,  $2.5\ \mu\text{m}$ , 400g  
12kg embarqués, envoyée sur orbite basse en janvier, déploiement en avril ??





# Refroidissement laser

Utilise la force de pression de radiation pour ralentir et refroidir un jet d'atomes

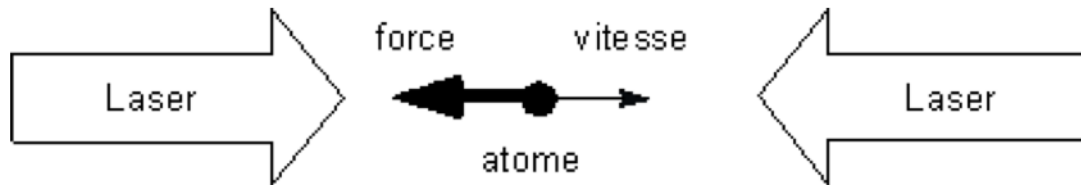
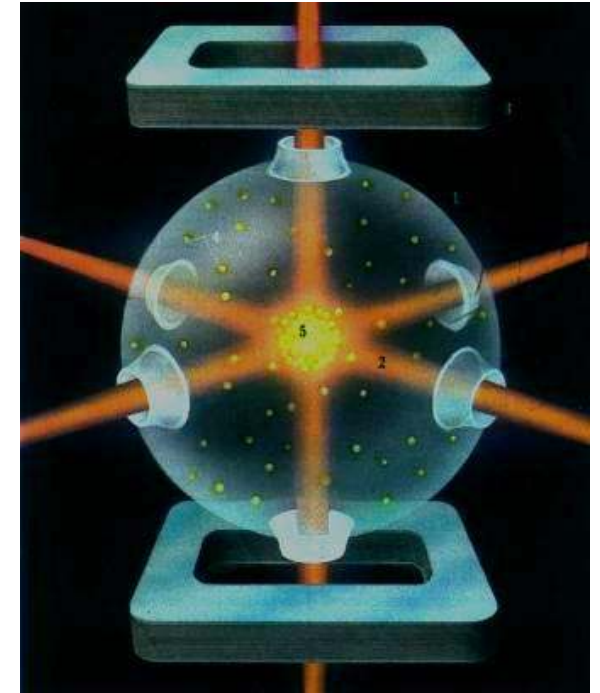


Figure 3 : principe du refroidissement laser ; une paire d'ondes lumineuses crée sur un atome en mouvement une force opposée à sa vitesse.



- ⇒ permet d'atteindre des vitesses  $\sim 1 \text{ mm/s}$  soit des  $t^\circ \sim 1 \mu\text{K}$   
pour atteindre des  $t^\circ \sim 1 \text{ nK}$ , il faut refroidir encore par évaporation ...
- ⇒ applications : **amélioration des performances des horloges atomiques**  
en ralentissant les atomes, on peut les observer + longtemps  
⇒ on mesure la fréquence de transition de l'horloge avec + gde précision  
⇒ gain d'un facteur 100, soit précision relative de  $10^{-16}$   
soit une dérive d'1s tous les 300 millions d'années !