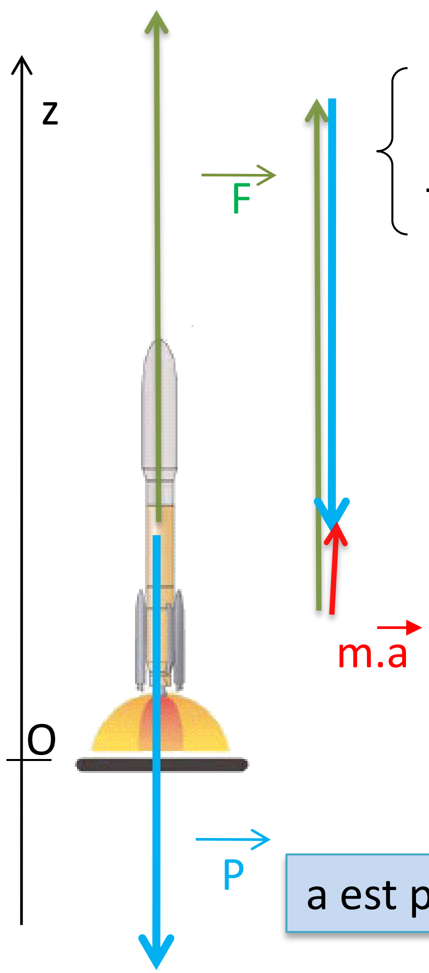
EXERCICE I : NEW HORIZONS(11 pts)

Décollage le 19 janvier 2006

1.1- En considérant la masse de la fusée à peu près constante pendant les premières seconde du décollage, Montrer que l'action des boosters est suffisante pour faire décoller la fusée et trouver la valeur de l'accélération communiquée à la fusée.



Système : « fusée Atlas V »

Référentiel terrestre (considéré comme galiléen)

Forces appliquées :

P : (poids) = action de la Terre

F : = poussée des gaz

1pt

2eme loi de NEWTON :

$$\Sigma\, \overrightarrow{forces} = m.\vec{a}$$

$$\vec{P} + \vec{F} = m.\vec{a}$$

Projection sur un axe vertical Oz orienté vers le haut:

$$-P + F = m.a1$$

$$-m.g + F = m.a$$

$$\Longrightarrow a = \frac{F}{m} - g \qquad a = \frac{10906194}{575000} - 9.81 \qquad = \mathbf{9.17\ m/s^2}$$

a est positive donc orientée vers le haut donc la fusée décolle effectivement

1.2- Au bout de 1 min 48 s, les 5 boosters ont consommés chacun leur 47 tonnes de combustibles. Trouver la valeur de la vitesse d'expulsion des gaz v_E sachant que la force de poussée s'exprime de la façon suivante :

$F = q \times v_E$ avec q= débit des gaz en kg/s.

$$\text{Débit } q = \frac{\text{Masse de gaz expulsée par les 5 boosters (kg)}}{\text{Durée(s)}} = \frac{5 \times 47000}{(60+48)} = \mathbf{2180\ kg/s}$$

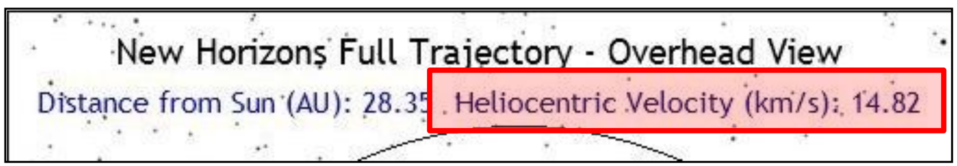
$$F = q \times v_E \Longrightarrow v_E = \frac{F}{q} = \frac{10906194}{2180} = \mathbf{5000\ m/s}$$

0.5pt

2- Le voyage de la sonde New Horizons

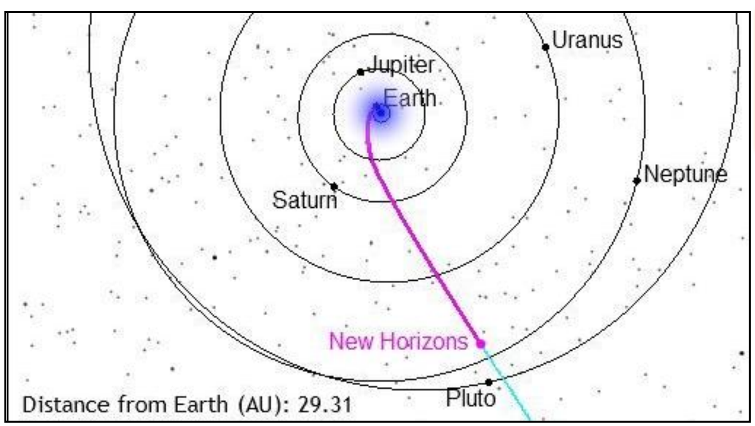
En janvier 2014, la sonde est en hibernation depuis Jupiter qu'elle a croisé en 2007 (voir document 1) Sa vitesse est constante depuis cette date et vaut 14.82 km/s.

2.1- Dans quel référentiel cette vitesse est-elle mesurée ?



Dans le **référentiel héliocentrique** (centre du Soleil)

0.25pt



2.2- Montrer que cette sonde parcourt plus d'un million de km par jour.

Mouvement rectiligne uniforme : $x = v \times t$

En 1 jour $t = 24 \times 60 \times 60 = 86400$ s

0.5pt

Distance parcourue $x = 14.82 \times 86400 = \mathbf{1{,}28 \times 10^6\ km}$

Donc un peu supérieur à 1 million de km par jour

3- correction de trajectoire

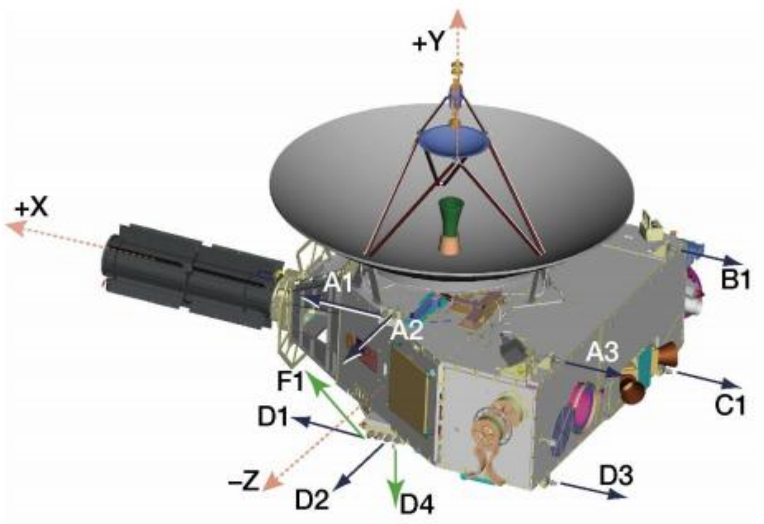
Le 30 janvier 2006 une correction de vitesse a été effectuée pour obtenir une augmentation de vitesse $\Delta v1$ de 12.5 m/s à l'aide des propulseurs consommant une masse Δm= 2.8 kg d'hydrazine. Avant cette opération la masse de la sonde et de son carburant était m= 478 kg.

3.1- La sonde étant au moment de la correction en mouvement rectiligne uniforme, montrer, à l'aide de la deuxième loi de Newton que la quantité de mouvement du système {sonde + carburant} se conserve.

2eme loi de NEWTON $\boxed{\sum \overrightarrow{Forces}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$ (avec $\vec{p} = m \times \vec{v}$: quantité de mouvement)

La sonde est en mouvement rectiligne uniforme $\Longrightarrow \sum \overrightarrow{Forces}_{ext} = \vec{0}$

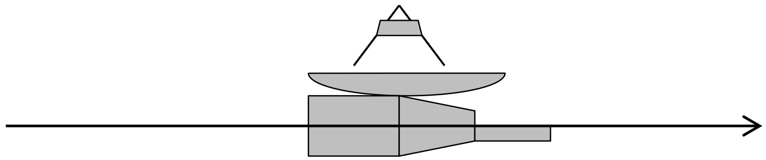
donc $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$ $\Longrightarrow$ La quantité de mouvement reste donc constante



0. 5pt

3.2- En considérant la sonde comme immobile au moment de cette correction de vitesse, faire un schéma de la situation permettant ensuite de trouver la vitesse d’expulsion v2 des gaz de propulsion.

AVANT

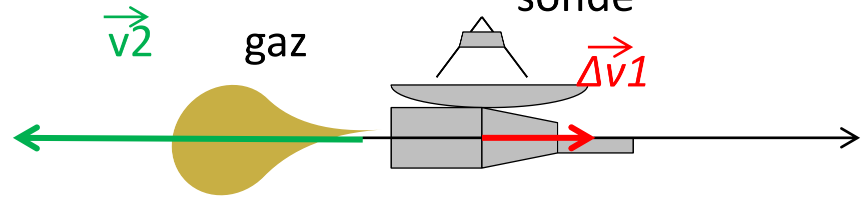


$m = 478$ kg

$V = 0$

$\vec{p} = m \times \vec{V} = \vec{0}$

APRES



$\Delta m = 2.8$ kg

$v2 = ?$

$m - \Delta m = 478\text{kg} - 2.8\text{kg}$

$\Delta v1 = 12.5$ m/s

$\vec{p}' = (m - \Delta m) \times \vec{\Delta v1} + \Delta m \times \vec{v2}$

Conservation de la quantité de mouvement : $\vec{p} = \vec{p}'$

1.25 pt

$\Longrightarrow \quad (m - \Delta m) \times \vec{\Delta v1} + \Delta m \times \vec{v2} = 0$

<u>Projection sur un axe orienté dans le sens du mouvement de la sonde</u> :

$(m - \Delta m) \times \Delta v1 - \Delta m \times v2 = 0 \quad \Longrightarrow \quad v2 = \dfrac{(m - \Delta m) \times \Delta v1}{\Delta m}$

$v2 = \dfrac{(478 - 2.8) \times 12.5}{2.8} = \mathbf{2120\ m/s}$

4- L'Hydrazine

4.1- La réaction de décomposition de l'hydrazine (voir document 2) est-elle le résultat d'une catalyse hétérogène ou d'une catalyse homogène ? Qu'entend-t-on par réaction exothermique.

….décomposition catalytique de l'**hydrazine liquide** sous pression …… sur un catalyseur dont le composant actif est l'**iridium métallique** déposé sur une grande surface d'alumine …..

Le catalyseur et le réactifs ne sont pas dans la même phase (liquide et solide). Donc **catalyse hétérogène**

0.5pt

…réaction très exothermique (800°C)….

Une réaction exothermique est une réaction qui **dégage de la chaleur**

4.2- Faire le bilan global des 3 réactions qui se produisent simultanément et identifier les gaz chauds expulsés.

$$3\ N_2H_4 \rightarrow 4\ NH_3 + N_2$$
$$N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2\ H_2$$
$$4\ NH_3 + N_2H_4 \rightarrow 3\ N_2 + 8\ H_2$$

0.25pt

$$3\ N_2H_4 + N_2H_4 + 4\ NH_3 + N_2H_4 \rightarrow 4\ NH_3 + N_2 + N_2 + 2\ H_2 + 3\ N_2 + 8\ H_2$$
$$5\ N_2H_4 + 4\ \cancel{NH_3} \rightarrow 4\ \cancel{NH_3} + 5N_2 + 10\ H_2$$
$$5\ N_2H_4 \rightarrow 5N_2 + 10\ H_2$$
$$\boxed{N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2\ H_2}$$

Le booster dégage donc du **diazote** et du **dihydrogène** à haute température

4.3- *L'hydrazine possède également des propriétés acide base (voir les réactions document 2)*

4.3.1- Rappeler la définition d'un acide et d'une base selon Bronsted.

Un acide est une espèce chimique susceptibles de céder des ions H^+

Une base est une espèce chimique susceptible de capturer des ions H^+

0.25pt

4.3.2- L'hydrazine est-elle une base ou un acide, justifier. Calculer le Ka1 de ce couple.

$$H_2NNH_2 + H_2O(l) \rightleftarrows H_2NNH_3^+(aq) + OH^-(aq)$$

0.5pt

$H_2N\text{-}NH_2 + H^+ \rightarrow H_2N\text{-}NH_3^+$

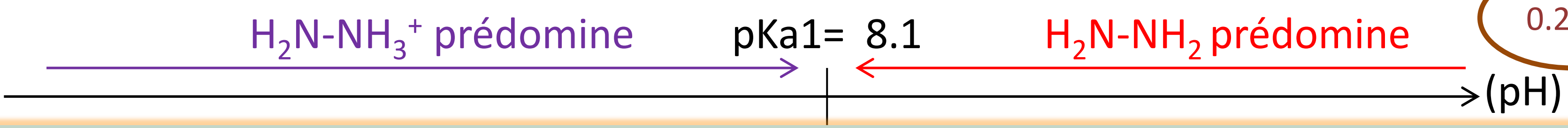
L'hydrazine est donc une **base**

Couple ($H_2N\text{-}NH_3^+$ / $H_2N\text{-}NH_2$)

pKa1= 8.1 $\Longrightarrow$ $Ka1 = 10^{-pKa1} = 10^{-8.1} = \mathbf{7{,}9 \times 10^{-9}}$

4.3.3- Représenter sur un axe de pH les zones de prédominance des 2 éléments de ce couple acide-base

0.25pt

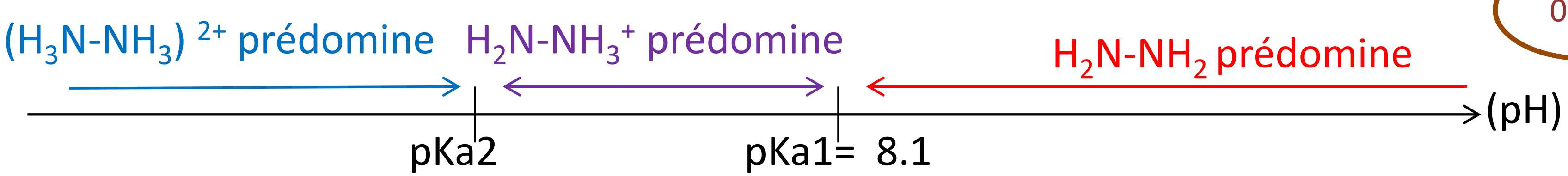


4.3.4-le pKa2 du deuxième couple présenté sera-t-il plus grand ou plus petit. Placer ce pKa2 relativement au Pka1 sur un nouveau schéma et compléter les zones de prédominance.

$$H_2NNH_3^+(aq) + H_2O(l) \rightleftarrows H_3NNH_3^{2+}(aq) + OH^-(aq)$$

Couple ($(H_3N\text{-}NH_3)^{2+}$ / $H_2N\text{-}NH_3^+$)

0.5pt



5- Communication avec la Terre

La sonde utilise les fréquences suivantes :

•Liaison montante (Terre vers sonde) : 7 182,043 000 MHz

•Liaison descendante (sonde vers Terre) : 8 437,894 737 MHz ; 8 438,181 818 MHz et 8 438,243 000 MHz

Ces fréquences ne tiennent pas compte de l'effet Doppler.

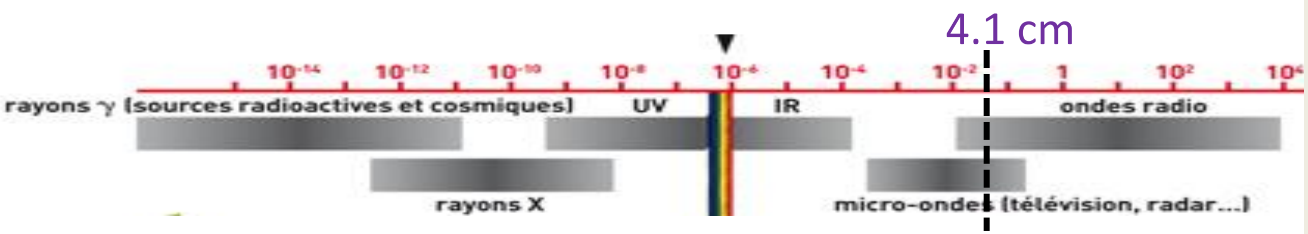
5.1- Ces ondes font-elle partie du domaine des micro-ondes (vitesse de la lumière dans le vide $c = 3 \times 10^8$ m/s)

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

Pour $f = 7\,182{,}043\,000$ MHz $= 7.18 \times 10^9$ Hz

0.5pt

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{7.18 \times 10^9} = 0.041 \text{ m} = \mathbf{4.1\ cm}$$



Ce sont donc des ondes radio centimétriques faisant partie des micro-ondes.

5.2- Pourquoi précise-t-on que les valeurs de ces fréquences ne tiennent pas comptes de l'effet Doppler.

La sonde s'**éloigne de la Terre** à grande vitesse, elle émet des ondes radios vers la Terre de fréquence f.

La fréquence observée sur Terre, f_{obs} sera donc légèrement inférieur à f

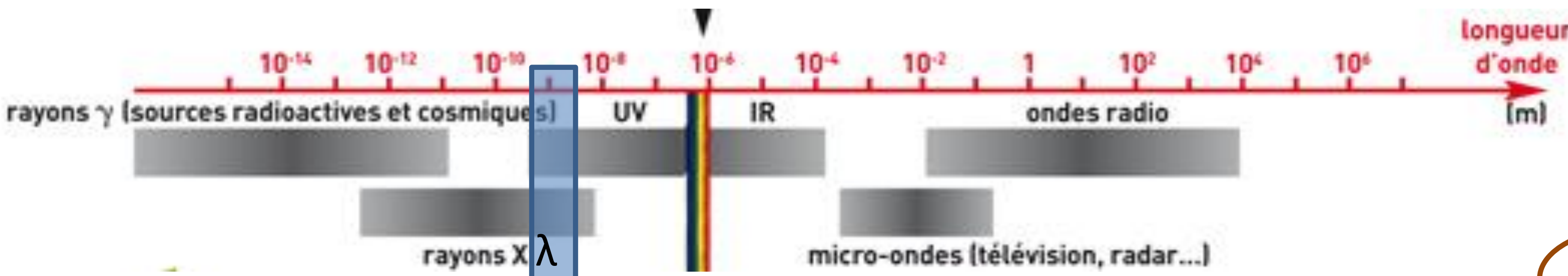
0.5pt

(Si la sonde se rapprochait la fréquence reçue serait supérieure à la fréquence émise)

6- Instruments embarqués

Parmi les nombreux instruments embarqués, il y a un spectrographe ALICE pour étudier l'atmosphère de Pluton et de Charon fonctionnant entre 52nm et 187 nm.

6.1- Ce spectrographe travaille-t-il dans le domaine des ultraviolets proches ou lointains?



5.2×10^{-10} m<λ< 1.87×10^{-9} m

0.25pt

52 nm = 52 x10^{-9} m = 5.2×10^{-10} m

187 nm = 187 x10^{-9} m = 1.87×10^{-9} m

Donc UV lointains

6.2- Le rayonnement capté par le spectrographe passe par un réseau de diffraction. Celui-ci sert : à concentrer la lumière ? à disperser les longueurs d'ondes ? ou à tenir compte de l'effet Doppler ?

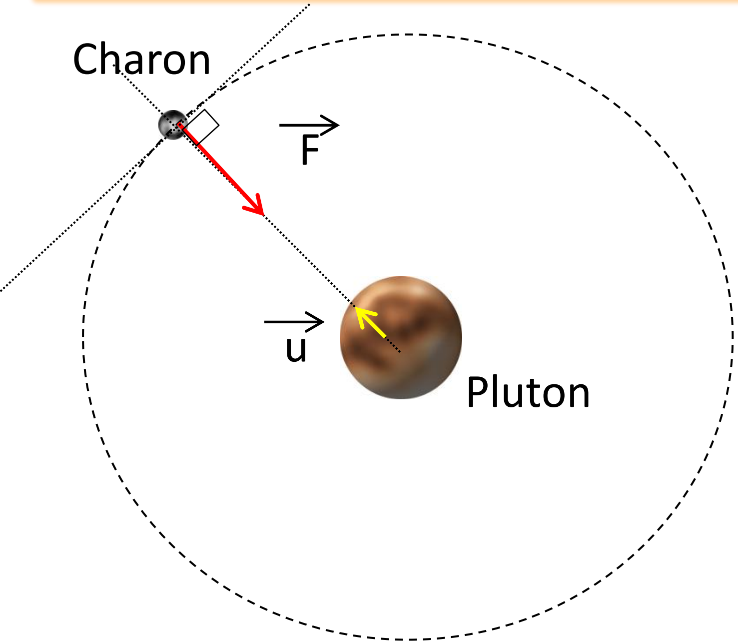
un réseau de diffraction sert à disperser la lumière comme dans un prisme donc il sert à **disperser les longueur d'ondes**

0.25pt

7- Le système de Pluton

La sonde New Horizons passera près de Pluton le 14 juillet 2015 pour collecter un grand nombre d'informations et d'images de Pluton et de ses 5 satellites connus. Pour la suite, on considère que les orbites des satellites autour de Pluton sont circulaires de rayon R.

7.1- Représenter sur un schéma : Pluton et le satellite Charon – un vecteur unitaire orienté du centre de Pluton vers Charon – La force d'interaction gravitationnelle exercée par Pluton sur Charon. Peut-on déduire de ce schéma que le mouvement de Charon est circulaire uniforme ? Donner ensuite l'expression vectorielle de la force en fonction du choix du vecteur unitaire . Dans quel référentiel étudie-t-on le mouvement des satellites de Pluton ?



$\Sigma \overrightarrow{forces} = m.\vec{a} = \vec{F}$ $\vec{a}$ même sens et direction que $\vec{F}$

$\vec{a}$ est donc toujours normale à la trajectoire, il n'y a donc pas d'accélération tangentielle et donc la vitesse de rotation reste constante et le mouvement est circulaire et uniforme.

$$\vec{F} = - G \times \frac{M_{(Charon)} \times m_{(Pluton)}}{R^2} \times \vec{u}$$

1 pt

Le référentiel utilisé est le référentiel « plutocentrique »

7.2- Montrer que la vitesse d'un satellite de Pluton peut s'exprimer sous la forme $v=\sqrt{\dfrac{G.Mp}{R}}$

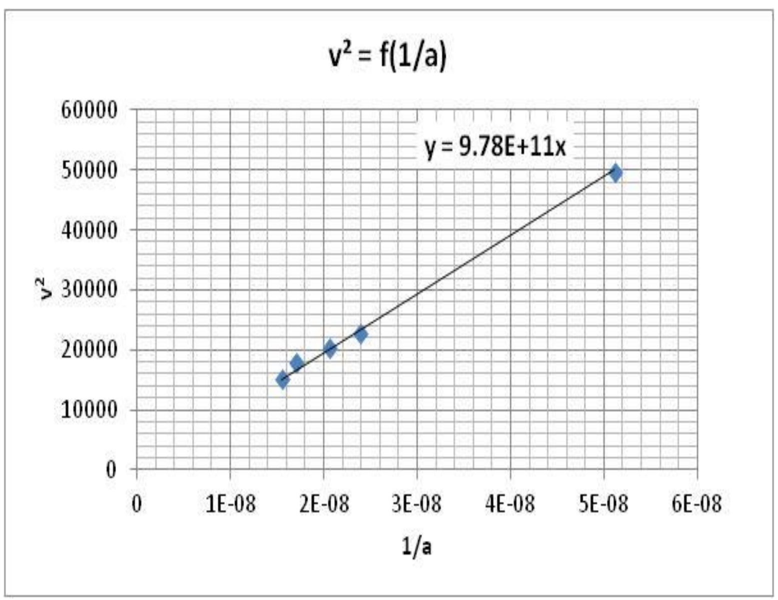
$$\left.\begin{array}{l} \sum \overrightarrow{forces} = m_{(Charon)}.\vec{a} = \vec{F} \\ \vec{F} = -\,G \times \dfrac{m_{(Charon)} \times M_{(P)}}{R^2} \times \vec{u} \end{array}\right\} \Longrightarrow a = G \times \dfrac{M_{(P)}}{R^2}$$

$a = \dfrac{v^2}{R}$ (mouvement circulaire uniforme)

$$\Longrightarrow \frac{v^2}{R} = G \times \frac{M_{(P)}}{R^2} \Longrightarrow v^2 = G \times \frac{M_{(P)}}{R} \Longrightarrow \boxed{v=\sqrt{\frac{G.M_{(p)}}{R}}}$$

0.5pt

7.3- Montrer que le graphe $v^2 = f(1/R)$ est obligatoirement une droite comme on peut le voir sur le document 3. Retrouver ensuite à l'aide de ce graphe la masse de Pluton.



$$v^2 = G \times \frac{M_{(P)}}{R}$$

$$V^2 = G \,.\, M_{(P)} \,.\, \frac{1}{R}$$

$$Y = k \,.\, x$$

0.75pt

Fonction linéaire avec k = G. Mp = constante

Graphe $\Longrightarrow G \,.\, M_{(P)} = 9.78\,.10^{11}$

$$M_{(P)} = \frac{9.78\,.10^{11}}{G} = \frac{9.78\,.10^{11}}{6,67\times10^{-11}} \boxed{= 1,47\,.\,10^{22}\text{ kg}}$$

(proche de $1,31\,.\,10^{22}$ kg)

7.4- Montrer que $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G.Mp}$. Puis trouver le rayon R de l'orbite du satellite Styx manquant dans le tableau du document 3.

Vitesse de Styx $v = \frac{2\pi.R}{T}$ ← (distance parcourue pendant une révolution) ← (durée d'une révolution)

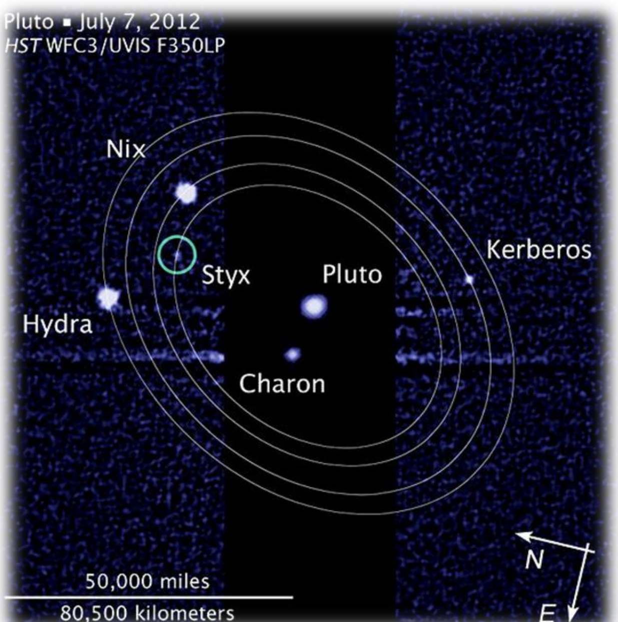
$\Rightarrow V^2 = \frac{4\pi^2.R^2}{T^2}$

Or $v^2 = G \times \frac{M_{(P)}}{R}$

$\Rightarrow \frac{4\pi^2.R^2}{T^2} = \frac{G.M_{(P)}}{R} \Rightarrow \frac{R^3}{T^2} = \frac{G.M_{(P)}}{4\pi^2}$

$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_{(P)}}$

1 pt



$R^3 = \frac{G.M_{(P)}}{4\pi^2}.T^2 \Rightarrow \boxed{R = \left(\frac{G.M_{(P)}}{4\pi^2}.T^2\right)^{1/3}}$

$R = \frac{6,67\times10^{-11}.\ 1,31\ .\ 10^{22}}{4\pi^2}.(\ 1,9.10^6)^2$

$(T = 22\ j = 22 \times 24 \times 3600 = 1,9.10^6\ s)$

$R = 4.31\ .\ 10^7\ m \boxed{= 43100\ km}$