

Etude de la dynamique d'une protubérance solaire.

Le programme de Terminale-S des Lycées comporte l'étude du mouvement de chute libre avec vitesse initiale dans le champ de pesanteur uniforme (mouvement sous l'action d'une force constante).

Cette activité s'inscrit dans ce cadre.

Elle permettra de s'interroger sur l'intérêt et sur les limites de la modélisation.

On ne perdra pas de vue que cette étude est évidemment très simplifiée.

On peut exploiter les documents, soit à partir d'un logiciel d'images (par exemple Paint Shop Pro), dans ce cas il suffit de copier les images en passant par le presse-papier, cela si on dispose de suffisamment d'ordinateurs ; soit de mesures sur papier (photocopies), dans ce cas il conviendra de modifier le texte en conséquence.

Problématique :

On a observé une protubérance solaire en forme d'arche (documents) :

Quelle est la vitesse d'éjection de la matière solaire au moment où elle quitte la surface solaire ?

Document 1 : Qu'est ce qu'une protubérance solaire ?

(Informations tirées du "Dictionnaire Cosmographique" :

<http://www.cosmovisions.com/protuberance.htm>)

« **Protubérance** (ou **Filament**). - Jet de gaz au-dessus de la surface du Soleil associé à son activité magnétique. Nées dans la chromosphère, les protubérances se développent dans la couronne sous l'effet de champs magnétiques puissants.

Encycl : Comme les taches, du reste, les protubérances avaient été remarquées, à l'oeil nu, depuis longtemps, mais sans qu'on y attachât une bien grande importance. Ce fut à la suite de l'éclipse de 1842 qu'elles retinrent pour la première fois l'attention des astronomes. Les progrès de la photographie et de la spectroscopie permirent bientôt de les soumettre à une étude sérieuse....

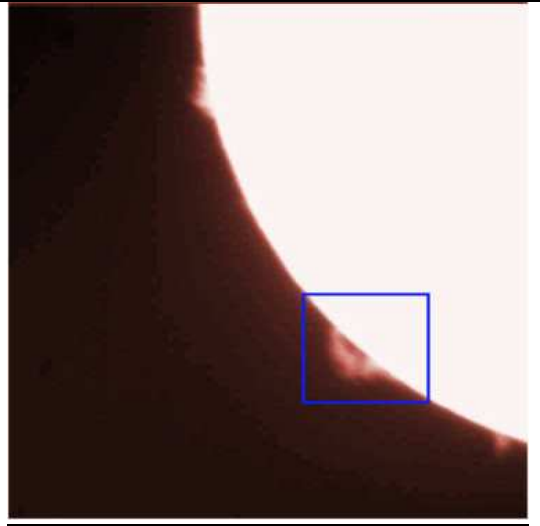
...Les astronomes ont ainsi pris conscience de leur gigantisme. Lockyer et Respighi en ont ainsi observé qui s'étendaient jusqu'à 300 000 km de la surface du Soleil, soit la moitié de son rayon. On a perçu la complexité des phénomènes dans lesquels elles s'inscrivent. Et l'on pourrait faire remonter à une observation publiée en 1883 par Young, qui a vu un fragment se détacher et s'élever dans l'espace pendant douze minutes avec, une vitesse d'environ 200 km par seconde, la première éjection coronale répertoriée. »

Document 2:

L' image ci contre est une photographie d'une protubérance solaire en arche, prise à Nantes Jeudi 17 Mars vers 15h à l'aide d'une lunette Coronado + Webcam modifiée Noir et blanc, le capteur CCD de celle-ci est au foyer de l'objectif.

Cette lunette est munie par construction d'un filtre "H-alpha", qui ne transmet que la longueur d'onde rouge $\lambda = 656,3 \text{ nm}$ de l'hydrogène (raie $H\alpha$).

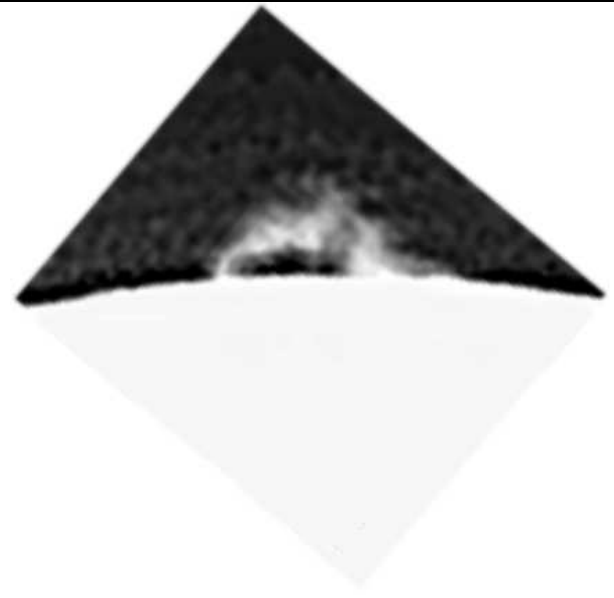
NB : La photographie extraite d'un film (avi), à l'origine en noir et blanc, a été colorisée avec Paint Shop Pro.



Document 3 :

Une partie de l'image précédente, a été traitée par informatique

- pour faire ressortir les détails
- présenter la surface du Soleil "horizontale"
- pour que le mouvement s'effectue de gauche à droite (probablement)



Document 4

On a tracé à l'aide d'un programme informatique de traitement d'image, le cercle qui se confond avec la surface solaire : ceci permet de trouver la position du centre Ω du Soleil



Hypothèses définissant le cadre du problème : (modélisation)

- On considère que le matériau de l'arche n'est soumis qu'à son « poids solaire », dû à l'attraction gravitationnelle du Soleil
- On néglige donc toute autre force y compris magnétique.
- On suppose le référentiel solaire galiléen : on néglige donc les effets dus à sa rotation
- On suppose que la photo correspond à une arche dans un plan perpendiculaire à la direction de visée.

On donne :

- la masse du Soleil $M_s = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg
- le rayon du Soleil $R_s = 6,95 \cdot 10^5$ km
- la constante de gravitation $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I.

Une méthode pour estimer la vitesse d'éjection :

Les hypothèses formulées plus haut, conduisent à étudier le mouvement d'une masse m considérée comme ponctuelle dans le champ de pesanteur uniforme du Soleil.

Dans ce cas le mouvement est parabolique, de la mesure de la portée du « tir » et de la flèche, c'est-à-dire la hauteur maximale atteinte, on peut déduire l'angle de tir (celui de la vitesse initiale V_0 avec l'horizontale locale) ainsi que la valeur de la vitesse initiale.

Exemple de progression détaillée :

1. Calculer valeur de la gravité g à la surface du soleil, à partir de la loi de gravitation universelle de Newton
2. Sur l'image du document 2, la matière est éjectée de la surface du Soleil, d'un point O avec une vitesse V_0 , faisant un angle α avec l'horizontale, à la date $t=0$.
 - Mesurer la portée du tir et la flèche y_s en pixels
 - Mesurez également en pixels le rayon solaire
3. Interprétation :

Par une analyse dynamique* du mouvement d'un point matériel P, appartenant à l'arche et de masse m , montrez que :

$$x(t) = V_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + V_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t$$

*bilan des forces, et application de la seconde loi de Newton.

4. En éliminant le temps t , retrouvez l'équation de la trajectoire :

$$y = -\frac{g}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2(\alpha)} \cdot x^2 + \tan(\alpha) \cdot x$$

5. La portée du tir correspond à l'abscisse x_p , non nulle, telle que $y(x_p) = 0$

- Déterminez l'expression littérale de x_p en fonction de α , g , V_0
- Déterminez de même l'expression littérale de la hauteur maximale atteinte y_s , (la flèche)
- En déduire que $y_s/x_p = \frac{1}{4} \tan(\alpha)$

Applications numériques :

- 1- Calculez la valeur de α en radians, puis en degrés
- 2- On rappelle que le rayon solaire est de $6,95 \cdot 10^5$ km (= 695 000 km,)

Quelle est en km la portée x_p de ce « tir » ?

Connaissant la valeur de α et x_p , quelle est la valeur de V_0 ?

Conclusion : dire si la valeur trouvée vous paraît satisfaisante, justifiez par une comparaison avec une valeur tirée de cette page.

- 3- Calculez la hauteur maximale atteinte y_s , au dessus de la surface solaire et commentez la phrase, tirée du texte ci-dessus : ... « Les astronomes ont ainsi pris conscience de leur gigantisme... »

Donnée complémentaire : diamètre terrestre $d=12800$ km

Réponses :

- $g = 275 \text{ m.s}^{-2}$
- $x_p = 112$ pixels ; $y_s = 35$ pixels
 $\alpha = 0,896 \text{ rad} \approx 51^\circ$
- rayon solaire $R = 325$ pixels sur cette image la portée du tir est 36 pixels - attention aux échelles !
donc $x_p = 36 \cdot 692000 / 325 \approx 76600$ km
- $y_s = 35 \cdot 76600 / 112 \approx 24000$ km
- $V_0 \approx 145$ km/s
- Valeur du même ordre de grandeur que celle donnée dans le texte (200 km/s) ; cette vitesse dépend évidemment de la taille de la protubérance étudiée.
- On peut qualifier les protubérances de gigantesques puisque la hauteur atteinte est voisine de deux fois le rayon terrestre.

La matériel , le jour ou les photographies ont été prises

