



12. Exoplanètes

Lycée

OBJECTIFS

- Le premier exercice permet de modéliser la baisse de luminosité d'une étoile lors d'un transit planétaire. C'est un sujet d'actualité qui permet de travailler à partir d'une question simple. L'énoncé détaille les étapes mais on pourrait laisser les élèves travailler sans aide à partir de l'introduction.
- Le deuxième exercice permet de montrer comment on détermine la masse d'une exoplanète mais il demande davantage de connaissances en physique.
- Enfin la troisième partie permet de faire des statistiques sur des découvertes actuelles. Ici, le choix de l'échantillon est imposé par les contraintes techniques des astronomes.

INTRODUCTION

La première exoplanète tournant autour d'une autre étoile que le Soleil a été découverte en 1995. Au 15 juin 2012, près de 800 exoplanètes étaient recensées. Les deux principales techniques utilisées sont la mesure de la vitesse radiale de l'étoile et sa baisse de luminosité lors d'un transit planétaire.

Avec le développement des techniques (satellites dédiés à ces découvertes, développement de spectrographes ultrasensibles), le nombre d'exoplanètes connues doit rapidement passer à plusieurs milliers. On estime leur nombre total dans la Galaxie à plusieurs milliards.

EXERCICES

1	Lycée 1 ^{ère} S	Aires, al Kashi, fonction définie par parties.
2	Lycée T	Gravitation, centre de masse, approximations.
3	Lycée 2 ^{nde} 1 ^{ère} S	Statistiques (moyenne, quartiles, écart-type, classes...).

SUPPLÉMENTS

Vous trouverez en plus sur le CD les solutions avec des commentaires, des feuilles de calcul, des animations, un fichier GeoGebra pour l'exercice 1...

1^{ère} partie. Transit planétaire et courbe de lumière

Lorsqu'une planète passe devant une étoile, on voit la luminosité de cette dernière baisser. Le but de l'exercice est de tracer la courbe représentant la luminosité de l'étoile en fonction du temps. Suivant la taille de la planète et le type de passage (au centre ou sur le bord de l'étoile), l'aspect de la courbe sera différent.



Fig. 1. Passage d'une planète devant une étoile. Les étoiles sont si lointaines que les plus gros de nos télescopes ne sont pas capables de voir le phénomène comme sur ces dessins. Par contre, des mesures précises peuvent enregistrer la baisse de luminosité de l'étoile.

On suppose que :

- l'étoile et la planète apparaissent chacune comme un disque ;
- on voit la planète se déplacer en ligne droite à vitesse constante ;
- la luminosité du disque stellaire est uniforme (la luminosité de l'étoile est dans ce cas proportionnelle à l'aire de la partie visible du disque).

1. Un cas particulier

On imagine que l'on observe un passage de Jupiter devant notre Soleil depuis une étoile lointaine. Calculer la baisse de luminosité du Soleil sachant que le rayon de Jupiter vaut le dixième du rayon solaire.

2. Calculs d'aire

On cherche maintenant à modéliser la baisse de luminosité de l'étoile à un moment donné du passage de l'exoplanète devant son étoile.

Données : R = rayon de l'étoile.

r = rayon de la planète.

d = distance du centre E de l'étoile au centre P de la planète.

On veut calculer l'aire de la surface de l'étoile occultée par la planète (c'est-à-dire l'aire hachurée de la figure 2).

On partage la surface hachurée en deux parties d'aires respectives S_1 et S_2 .

(la surface hachurée est une « lentille » partagée en deux « segments circulaires »).

L'aire S_1 est égale à l'aire du secteur de disque AEB diminuée de celle du triangle AEB (figure 3).

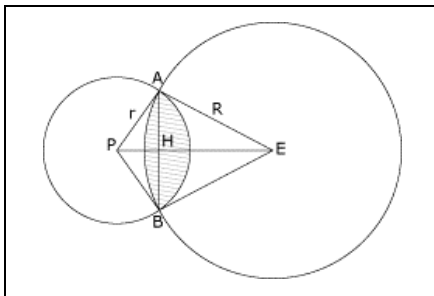
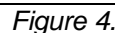


Figure 2.



- g.** Écrire l'aire totale de la partie hachurée en fonction de R , r , d , \widehat{AEP} , \widehat{APE} .

c. Calculer S_v quand $d \leq R-r$



4. Tracer la courbe sur une durée de 20 unités de temps (sur tableur, GeoGebra...). On prendra : $R = 6$; $r = 2$; $h = 3$; $v = 1$ (les unités sont arbitraires. On peut imaginer que l'unité de longueur vaut 100 000 km et que l'unité de temps est l'heure).

Exemple des colonnes à créer sur tableur :

Si $d \geq R-r$, la surface cachée vaut S_1+S_2 , sinon elle vaut πr^2 .

2^e partie. Vitesse radiale et masse d'une exoplanète

En 1995, Michel Mayor et Didier Queloz ont pu détecter la première exoplanète tournant autour d'une autre étoile que le Soleil, l'étoile 51 Peg, grâce à des mesures de vitesses radiales : l'étoile et la planète tournant autour de leur centre de masse, on voit depuis la Terre l'étoile s'approcher puis s'éloigner, ce qui se traduit par un décalage périodique des raies spectrales de la lumière de l'étoile. La mesure de ce décalage Doppler nous renseigne sur la vitesse d'approche puis d'éloignement de l'étoile. La période est donnée par l'observation. Si on connaît en plus la masse de l'étoile (les astronomes savent la déterminer à partir du type de l'étoile et de sa luminosité), il est alors possible de calculer la masse de l'exoplanète. Ce calcul fait appel à de nombreuses notions de physique. Vous le trouverez sur le CD accompagnant ce livret.

3^e partie. Exoplanètes et statistiques

Le site **l'encyclopédie des exoplanètes** (<http://exoplanet.eu/>) fournit un catalogue des exoplanètes qui ont été découvertes.

Vous pouvez utiliser les données au 15 juin 2012 disponibles sur le CD. Si vous préférez des données plus récentes, vous pouvez les exporter depuis le site dans un format *.csv (attention au séparateur) mais vous n'aurez pas les dates des découvertes. Pour les obtenir, il suffit de copier le tableau **sauf la première ligne de titre** et de le coller dans une feuille de tableur d'Open Office par exemple. On pourra ensuite supprimer les colonnes inutiles.

En première ligne, les titres des colonnes sont :

Planète	Masse (M_{Jup})	Rayon (R_{Jup})	Période (jours)	Demi-gd axe (UA)	Excen- tricité	inclinai- son (°)	Statut	Découv. (année)	MàJ
---------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------	---------------------	-------------------	----------------------	--------	--------------------	-----

A. Exoplanètes découvertes par la méthode des transits

Nous allons nous intéresser au catalogue des exoplanètes découvertes par la méthode des transits (<http://exoplanet.eu/catalog-transit.php>) : 205 systèmes planétaires, 238 planètes et 18 systèmes planétaires multiples disponibles au 15 juin 2012. Parmi les différentes données proposées, nous avons retenu :

Nom de la planète	Masse (en M de Jupiter)	Rayon (en rayon de Jup)	Période (en jours)	demi grand axe (en UA)	Année de la découverte.
-------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------	------------------------	-------------------------

Vous pouvez utiliser les données du CD ou les exporter depuis le site (voir ci-dessus) On doit obtenir un tableau comme ci-dessous :

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Planète	Masse (en M_{Jup})	Rayon (en R_{Jup})	Période (en jours)	demi grand axe (en UA)	Année de découverte
3	HD 209458 b	0.71	1.38	3.52	0.05	1999
4	HD 80606 b	3.94	0.92	111.44	0.45	2001
5	OGLE-TR-56 b	1.3	1.2	1.21	0.02	2002

I. Étude des données jusqu'en 2011

1. Évolution du nombre de découvertes.

a. Quelle a été l'année de la première découverte de planète par la méthode des transits ?

b. En colonne H, en H2, taper année ; en I2, taper nombre de découvertes.

c. En H3, taper 1999 ; en H4, taper =H2+1.

Étendre vers le bas jusqu'à obtenir 2011.

d. En I3, taper =NB.SI(F\$3:F\$240;H3), étendre vers le bas. Vérifier que l'on trouve au total 194.

2. Représentation graphique :

a. Construire un histogramme à partir des deux colonnes H et I.

b. Commenter.

II. Étude du rayon des planètes découvertes

1. Étude de la dispersion des données.

a. En C242, taper =MIN(C\$3:C\$240).

b. Toujours en colonne C, déterminer le maximum, la médiane, l'étendue, le premier quartile (=QUARTILE(C\$3:C\$240;1)) et le troisième quartile (=QUARTILE(C\$3:C\$240;3)).

c. Calculer moyenne (=MOYENNE(C\$3:C\$240)) et écart-type (=ECARTYPE(C\$3:C\$240)).

d. Dans un article de magazine on trouve les commentaires suivants :

- Un quart des exoplanètes découvertes à ce jour ont un rayon qui dépasse celui de Jupiter d'au moins 29 %.

- Moins de la moitié des exoplanètes découvertes à ce jour ont un rayon inférieur à celui de Jupiter.

Vrai ou Faux ? Justifier.

2. Moyenne pondérée.

a. Calculer en colonne J pour chaque année le rayon moyen des planètes découvertes.

b. En déduire le rayon moyen des planètes découvertes jusqu'en 2011.

c. À partir des colonnes H et J, représenter l'évolution des rayons annuels moyens.

III. Étude de la période de la planète

Reprendre les questions du II pour les données sur la période de révolution de la planète.

IV. Étude en regroupement par classes

On va procéder à un regroupement par classes des rayons des planètes. Copier les colonnes A et C et les coller dans la feuille feuil(2) en colonnes A et B. On choisit de faire un regroupement en intervalles d'amplitude 0,1 rayon de Jupiter.

1. Trier les données de la colonne B par ordre croissant.
2. En colonne D, on écrit les centres des classes : en D3, on tape $=0.05$ et en D4, on tape $=D3+0.1$ et on copie vers le bas jusqu'à dépasser le rayon maximal.
3. En colonne E, on écrit les classes.
4. En colonne F, on détermine les effectifs de chaque intervalle.
5. Construire une représentation graphique de cette répartition.
6. En colonne G, en G3, calculer $=D3 * F3$ et copier jusqu'en ligne 23.
En F24, taper $=SOMME(F3:F23)$ et coller à droite en G24.
En G25, taper $G24/F24$.

Variante 1 : on peut faire calculer à l'ordinateur la somme des $n_i x_i$, puis diviser le résultat par l'effectif total.

Pour cela , en cellule F25, calculer $=SOMMEPROD(D3:D23;F3:F23)/F24$.

Variante 2 : le regroupement par classes d'amplitude 0,1 peut se faire automatiquement (voir fichier sur le CD).

1. Trier les données de la colonne B par ordre croissant (facultatif...mais plus facile pour contrôler).
2. En ligne 2, on écrit les centres des classes :
en C2, on tape $=0.05$, en D2 $=C2+0.1$ et on copie vers la droite jusqu'à dépasser le rayon maximal.
3. En colonne C, on compte les valeurs qui sont dans la première classe : $[0;0,1[$
En C3, taper $=SI(ET(\$B3 >= C\$2 - 0.05; \$B3 < C\$2 + 0.05); 1; 0)$
Copier vers le bas pour traiter les 238 données.
En C241, taper $=SOMME(C3:C240)$
4. En colonne D, on compte les valeurs qui sont dans la classe $[0,1;0,2[$. Pour cela il suffit de copier les cellules de la colonne C.
On copie ainsi vers la droite pour compter le nombre de valeurs dans chacune des classes.
5. En X2, on tape « centre de la classe », en Y2 « classe », en Z2 « effectifs »
6. Copier de C241 à W241 et coller avec « collage spécial/valeurs/transposer » à partir de Z3.
En Z24, taper $=SOMME(Z3:Z23)$.
7. Construire une représentation graphique de cette répartition.
8. En cellule Z25, taper $=SOMMEPROD(X3:X23;Z3:Z23)/Z24$, pour obtenir le rayon moyen des exoplanètes découvertes jusqu'en 2011.

B. Exoplanètes découvertes par la mesure de la vitesse radiale.

On peut dans le même catalogue étudier les statistiques sur les exoplanètes découvertes par astrométrie ou par la méthode des vitesses radiales.

