

## Toutatis et le choc possible avec la Terre

G. Paturel, Observatoire de Lyon  
Stage DAFAP de Janvier 2004



Crédits : Steve Ostro, JPL

*Le petit astéroïde Toutatis, vu sous différents angles, à partir de mesures en radio.*

Toutatis, ce petit astéroïde, identifié en 1989 par Christian Pollas, depuis l'observatoire du CERGA, a une trajectoire très elliptique. Il y a quelques années, il est passé très près de la Terre, à 2,3 fois la distance Terre-Lune et, en 1989, il est passé à quatre fois la distance Terre-Lune. Sa période orbitale est de 3,98 ans. Tous les quatre ans, il passe à l'intérieur de l'orbite de la Terre. C'est un corps susceptible un jour d'entrer en collision avec notre Terre, mais cette possibilité n'est pas pour un avenir proche. Nous allons calculer quelle serait l'énergie de l'impact si un tel phénomène se produisait.

### Enoncé du problème :

Les dimensions de Toutatis en kilomètres sont les suivantes :  $4,6 \times 1,92 \times 2,29$ . Sa densité est environ deux fois celle de l'eau (i.e.  $d=2$ ). Calculer la masse de Toutatis en kilogrammes en l'assimilant à un parallélépipède rectangle. Le demi-grand axe de son orbite est  $a=2,51$  UA (l'unité astronomique est égale au demi-grand axe de l'orbite terrestre). On rappelle que la vitesse  $V$  d'un petit corps orbitant autour d'une masse  $M$  est donnée par :

$$V^2 = G.M \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right), \text{ où } r \text{ est la distance entre le}$$

corps et la masse attractive et  $G$  la constante de gravitation universelle. On négligera l'excentricité de l'orbite terrestre et on prendra pour l'unité astronomique la valeur  $a_T=150 \cdot 10^6$  km. Calculer la vitesse (en mètres par seconde) qu'aurait Toutatis au moment de l'impact avec la Terre. Calculer alors l'énergie cinétique minimum de la collision.

On rappelle que l'échelle des magnitudes sismiques de l'échelle de Richter est donnée par une loi linéaire du logarithme de l'énergie libérée. Sachant que l'énergie d'un séisme de magnitude 7 est trente fois plus forte que celle d'un séisme de magnitude 6 et que celle d'un séisme de magnitude 5 est environ l'énergie d'une bombe semblable à celle d'Hiroshima ( $8,36 \cdot 10^{13}$  joules), trouver la relation liant la magnitude sismique dans l'échelle de Richter et l'énergie en joules du séisme correspondant.

Calculer la magnitude sismique minimum que provoquerait un impact de la Terre avec Toutatis. Quel serait le résultat si la vitesse au moment de l'impact était augmentée de la vitesse orbitale de la Terre (choc frontal)?

## Correction du problème sur l'impact de Toutatis avec la Terre

Le volume de Toutatis est approximativement de  $2 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$ . Pour une masse volumique de  $2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , la masse est  $m=4,0 \cdot 10^{13} \text{ kg}$ . Au moment de l'impact avec la Terre le rayon vecteur  $r$  serait d'une unité astronomique ( $a_T$ ) et sa vitesse serait donnée par ( $M$  est alors la masse du Soleil) :

$$V^2 = G.M \left( \frac{2}{a_T} - \frac{1}{a} \right),$$

La vitesse orbitale de la Terre est donnée avec la même relation (en négligeant l'excentricité de l'orbite terrestre,  $a \equiv a_T$ ) :

$$V_T^2 = G.M \left( \frac{2}{a_T} - \frac{1}{a_T} \right),$$

( $V_T$  se calcule aisément sachant que  $a_T$  est de 150 millions de kilomètres et que la Terre met un an pour faire un tour complet autour du Soleil. On trouve alors  $V_T = 30 \text{ km/s}$ ).

En faisant le rapport de ces deux relations on trouve :  $V^2 = 1,6 V_T^2$ , sans avoir à connaître  $G$  et  $M$ . D'où  $V=38 \text{ km/s}$ . C'est la vitesse relative minimale en cas de choc. L'énergie cinétique minimale est donc :

$$E = \frac{1}{2} m.V^2$$

Soit :

$$E = 2,9 \cdot 10^{22} \text{ joules}$$

(plus de 350 millions de fois l'énergie de la bombe atomique d'Hiroshima).

La relation entre magnitude sismique et énergie est de la forme (analogue à la relation définissant la magnitude apparente d'une étoile ou tout autre phénomène découlant de la loi de Fechner) :

$$m = k \log E + C$$

Soit  $E_6$  l'énergie libérée par un séisme de magnitude 6. La relation entre les magnitudes 7 et 6 s'écrit alors simplement :

$$7 = k \log 30E_6 + C$$

$$6 = k \log E_6 + C$$

En soustrayant ces deux relations on tire :

$$1 = k \log 30$$

d'où :

$$k=0,68.$$

La dernière condition donnée dans l'énoncé (calibration) conduit à la relation :

$$5 = 0,68 \log(8,36 \cdot 10^{13}) + C, \text{ d'où } C = -4,47.$$

Donc finalement la relation cherchée est :

$$m = 0,68 \log(E) - 4,47$$

D'après cette relation approchée, la magnitude sismique minimale d'un impact de Toutatis sur la Terre serait de 10.8 sur l'échelle de Richter. En cas de choc frontal, la vitesse de Toutatis par rapport à la Terre serait augmentée de la vitesse orbitale de la Terre et l'énergie cinétique serait de  $9,2 \cdot 10^{22}$  joules. La magnitude sismique atteindrait la valeur  $m=11.1$ . Par comparaison, le séisme de décembre 2004 en Asie avait une magnitude un peu supérieure à 9.

### Deux conférences sur les sujets vus ci-dessus

L'Association du Planétarium du Collège Valéri, de la ville de Nice, organise un cycle de conférences. Les deux dernières conférences porteront sur les sujets évoqués dans le cours élémentaire (les exoplanètes) et dans l'exercice ci-dessus, C. Pollas étant le découvreur de l'astéroïde Toutatis. Renseignements : 04.92.09.09.24

**Vendredi 8 avril 2005 à 20 heures : "A LA RECHERCHE DES EXOPLANETES"**

Par M. Yves RABBIA, Astrophysicien à l'Observatoire de la Côte d'Azur.

**Vendredi 20 mai 2005 à 20 heures : "QUOI DE NEUF DANS LA CHASSE AUX ETOILES ?"**

Par M. Christian POLLAS, Ingénieur