



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Physique 6 (2005) 279–281



COMPTES RENDUS

PHYSIQUE

<http://france.elsevier.com/direct/COMREN/>

The Near Earth Objects: possible impactors of the Earth/Les astéroïdes géocroiseurs : impacteurs potentiels de la Terre

Foreword

Asteroids are small rocky objects, ranging in size from a few meters to a few hundreds of kilometers. The majority lies in the transition zone between the terrestrial and the giant planets, i.e. between 2.1 and 3.3 AU. As the primitive, remnant building blocks of the solar system formation, comets and asteroids offer clues to the chemical mixture from which the planets formed some 4.6 billion years ago. The profound investigation of the chemical constituents of the leftover debris from the formation processes will allow us to understand the primordial mixture from which the planets formed. Even if the asteroids have undergone a substantial collisional evolution during their lifetime, most of them did not suffer a significant geological thermal or orbital evolution. In this consideration resides the interest of studying the asteroids: due to their small sizes these bodies have been able to evacuate quickly the original heat of the proto-solar nebula, freezing its initial composition. The study of these small bodies provides us with the environment where the planets formed: in particular, meteorites, which are asteroid fragments, are the fossil records of the physical and chemical processes governing the primordial phases of the solar system formation.

It is generally accepted that the perturbations engendered by the young Jupiter prevented the accretion of a planet in the asteroid region. In this scenario the formation and the evolution of the asteroid belt are closely connected to the still open problems of planet formation and the time scale of the accretion of Jupiter and the other giant planets.

The population of Near Earth Objects (NEOs) consists of asteroids and comets in orbits with perihelion $q < 1.3$ AU and aphelion $Q > 0.983$ AU. About 3000 objects with reasonably well determined orbits appear as ‘asteroidal’ (star-like with no apparent coma and tail) and about 50 short period comets satisfy the NEO definition. Lifetimes for NEOs are typically about 10^7 years before crashing into the Sun, being ejected from the solar system, or impacting a terrestrial world. With such short lifetimes, the presently observed NEOs cannot be residual bodies that have remained orbiting among the inner planets since the beginning of the Solar System. Instead, the NEO population must have some source of re-supply, while a fraction comes from the asteroid belt. A small fraction is composed by extinct or dormant comet nuclei which does not display coma and tail.

Moreover NEOs include potential Earth-impactors and there is widespread interest in identifying and characterizing objects that could potentially impact Earth. Since collisions of NEOs with the Earth pose a finite hazard to life, the exploration of these objects is particularly important: a mission toward a NEO will enable us to predict the effects of break-up during penetration of the Earth’s atmosphere, to develop potential mitigation techniques, and if necessary to design devices to deflect potentially hazardous objects.

The threat represented by NEOs has been recognized by several international institutions (Europe Council in 1996, UN General Assembly in 1999, British Government in 2000, Global Science Forum of the Organization for Economic Cooperation and Development in 2002, International Council of Scientific Unions in 2003) which recommended to the governments of the more developed Nations and to the international research organizations (NASA, ESA, ESO, ...) to support and to finance an international research project on Earth crossers.

The French Ministry of Research, in the framework of its Project “Natural Risks and climatic changes”, financed a project aimed at federating French research groups having knowledge of different problems connected with (i) NEO nature, (ii) the risks associated with a possible collision with the Earth, and (iii) risk mitigation strategies. The first results of this gathering have been presented during an international meeting organized in September 2004 at the Center for international workshops of the Paris Observatory. The main conclusions of the meeting have been summarized in this special issue of the Comptes Rendus de l’Académie des Sciences, which contains 10 articles with the participation of 28 authors and covers different aspects: NEO origin and physical characteristics, their link with meteorites, close encounters and collisions with the Earth, impact consequence and mitigation strategies.

The aim of this special issue is to put together different specialists in different fields to have the state of art of the physical knowledge of the NEO population, to define the possible risk and to underline the necessity of an international space mission to Near Earth Objects.

It is generally agreed that NEOs are among the most accessible bodies of the Solar System and that some of them could be more accessible than the Moon. The analogy with the Moon suggests that a in situ mission to a NEO could be realized with the present technological know-how. The energetics of reaching NEOs with spacecraft are technically less demanding than main belt asteroids, Mars, and in some cases, the Moon. Thus NEOs will be accessible in a short time with a big improvement on scientific return.

A space mission to NEOs can answer the following key questions:

- What were the processes occurring in the primitive solar system and accompanying planet formation?
- What is the internal nature of asteroids?
- How old are the NEOs?
- What are the organic components of primitive materials and how they can shed light on the origin of molecules necessary for life?
- How did asteroid and meteorite classes form and have their present properties?
- How do the elemental, mineralogical and isotopic properties of the asteroid samples vary with geological context on the surface?
- What processes can be identified as happening on the surface of these small, airless bodies as a result of exposure to the space environment?

Avant-propos

Les astéroïdes sont des petits objets rocheux dont la taille varie de quelques mètres jusqu'à quelques centaines de kilomètres. La plupart de ces objets se trouve dans la zone séparant les planètes telluriques des planètes géantes, typiquement entre 2.1 et 3.3 UA. En tant que témoins primitifs restés intact depuis la formation du système solaire, comètes et astéroïdes nous donnent une indication sur le mélange chimique à partir duquel les planètes se sont formées, il y a 4,6 milliards d'années. L'investigation des composants chimiques des résidus laissés intact par le processus de formation va nous permettre de comprendre la composition chimique primordiale à partir de laquelle les planètes se sont formées. Malgré le fait que les astéroïdes aient subi de nombreuses collisions au cours de leur existence, la plupart d'entre eux n'a pas subi d'évolution géologique, thermique et orbitale significative. L'intérêt d'étudier les astéroïdes se trouve dans ces considérations : en raison de leur petite taille ces corps ont pu évacuer rapidement la chaleur originelle de la nébuleuse proto-solaire conservant ainsi leur composition initiale. L'étude des petits corps nous apporte également des informations sur l'environnement dans lequel les planètes se sont formées : en particulier les météorites, qui sont des fragments d'astéroïdes, sont les témoins fossiles des processus physiques et chimiques gouvernant les phases primordiales de la formation du système solaire.

Il est communément admis que les perturbations engendrée par le « jeune » Jupiter ont empêché les astéroïdes de s'accréter et de former une planète. Dans ce scénario, la formation et l'évolution de la ceinture d'astéroïdes sont étroitement connectées aux problèmes encore non-résolus de formation planétaire et d'échelle de temps d'accrétion de Jupiter et des autres planètes géantes.

La population des géocroiseurs (NEOs) est composée d'astéroïdes et de comètes ayant des orbites avec un périhélie $q < 1,3$ UA et une aphélie $Q > 0,983$ UA. Environ 3000 objets avec des orbites relativement bien connues apparaissent comme des astéroïdes (sans queue cométaire apparente) ainsi que 50 comètes à courtes périodes satisfont la définition de géocroiseur (NEO). La durée de vie pour les NEOs est d'environ 10^7 ans avant qu'ils ne s'écrasent sur le Soleil, qu'ils soient éjectés du système solaire ou qu'ils impactent une planète. Avec des durées de vie aussi courtes, les NEOs observés à l'heure actuelle ne peuvent être des corps ayant orbités parmi les planètes telluriques depuis la formation du système solaire. En fait, la population des NEOs doit avoir une ou des source(s) de réapprovisionnement, dont une partie vient de la ceinture d'astéroïdes. Une petite fraction de la population est constituée de noyaux de comètes dormantes ou éteintes qui ne possèdent pas de coma et de queue.

Les NEOs sont des impacteurs potentiels de notre planète et par conséquent, il existe un intérêt vaste pour identifier et caractériser les objets qui pourraient impacter la Terre. Les collisions des NEOs avec la Terre constituent une menace réelle pour la vie sur Terre, ce qui rend l'étude de ces objets particulièrement importante : une mission vers un géocroiseur va nous permettre de prédire les effets de la fragmentation du corps pendant son passage à travers l'atmosphère terrestre, de développer des techniques pour réduire les risques et si nécessaire, de concevoir des dispositifs afin de dévier les objets potentiellement dangereux.

La menace représentée par les NEOs a été reconnue par de nombreuses institutions internationales (Europe Council in 1996, UN General Assembly in 1999, British Government in 2000, Global Science Forum of the Organization for Economic

Cooperation and Development in 2002, International Council of Scientific Unions in 2003) qui ont recommandé aux gouvernements des pays les plus développés et aux organisations de recherches internationales (NASA, ESA, ESO, ...) de soutenir et de financer un projet de recherche international sur les géocroiseurs.

En France, le Ministère de la Recherche, dans le cadre de son projet « Risques Naturels et Changement climatiques », a financé un projet destiné à fédérer les équipes de recherches françaises ayant une connaissance des différents problèmes connectés avec : (i) la nature des NEOs, (ii) les risques associés avec une éventuelle collision avec la Terre, et (iii) les stratégies de réduction de risque. Les premiers résultats de cette action fédérative ont été présentés pendant un colloque international organisé en septembre 2004 au Centre International des Ateliers Scientifique de l'Observatoire de Paris. Les conclusions principales ont été résumées dans ce dossier des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, qui contient 10 articles avec la participation de 28 auteurs et couvre différents aspects : les NEOs et leurs caractéristiques physiques, leur liens avec les météorites, les passages proches et collisions avec la Terre, les conséquences d'un impact et les stratégies d'atténuation des risques.

Le but de ce dossier est de réunir différents spécialistes dans des domaines différents pour statuer de l'état des connaissances physiques sur la population des NEOs, définir les risques possibles et de souligner la nécessité d'une mission spatiale internationale vers les NEOs.

Il est généralement admis que les NEOs sont parmi les objets du système solaire les plus faciles à atteindre et que certains d'entre eux seraient même plus faciles d'accès que la Lune. L'analogie avec la Lune suggère qu'une mission in-situ vers un NEO pourrait être réalisée avec les compétences technologiques actuelles. L'énergie nécessaire pour rejoindre les NEOs avec une sonde spatiale est inférieure à celle qu'il faudrait pour rejoindre les astéroïdes de la ceinture principale, Mars, et dans certains cas, la Lune. Ainsi, les NEOs sont accessibles rapidement avec un retour scientifique important à court terme.

Une mission spatiale vers des NEOs peut répondre à plusieurs questions clés :

- *Quels sont les processus qui ont eu lieu dans le système solaire primitif et qui ont accompagnés la formation des planètes ?*
- *Quelle est la structure interne des astéroïdes ?*
- *Quel est la distribution d'âges des NEOs ?*
- *Quels sont les composants de la matière primitive et comment ces derniers peuvent ils nous éclairer sur l'apparition de molécules nécessaires à la vie sur Terre ?*
- *Comment les astéroïdes et les météorites se sont formés avec les propriétés qu'ils ont aujourd'hui ?*
- *Comment varient les propriétés élémentaires, minéralogiques et isotopiques d'échantillons d'astéroïdes avec divers contextes géologiques de surface ?*
- *Quel processus peut être reconnu comme se développant à la surface des astéroïdes, résultat d'une exposition à l'environnement spatial ?*

Maria Antonietta Barucci
LESIA, Observatoire de Paris
92195 Meudon Principal cedex
France

E-mail address: antonella.barucci@obspm.fr (M. Barucci)

Marcello Fulchignoni
Paris 7 et LESIA, Observatoire de Paris
92195 Meudon Principal cedex
France

E-mail address: marcello.fulchignoni@obspm.fr (M. Fulchignoni)

Available online 22 February 2005