

**Assemblée générale**Distr.: Générale
7 janvier 2005Français
Original: Anglais

**Comité des utilisations pacifiques
de l'espace extra-atmosphérique**
Sous-Comité scientifique et technique
Quarante-deuxième session
Vienne, 21 février-4 mars 2004
Point 10 de l'ordre du jour provisoire*
Objets géocroiseurs

**Informations sur les activités de recherche menées par des
organisations internationales et par d'autres organismes sur
les objets géocroiseurs**

Note du Secrétariat

Table des matières

	<i>Page</i>
I. Introduction	2
II. Réponses reçues d'organisations internationales et d'autres organismes	2
Agence spatiale européenne	2
La Spaceguard Foundation	18

* A/AC.105/C.1/L.277.



I. Introduction

Conformément à l'accord conclu à la quarante et unième session du Sous-Comité scientifique et technique (A/AC.105/823, annexe II, par. 18) et approuvé par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa quarante-septième session (A/59/20, par. 140), le Secrétariat a invité les organisations internationales, les organismes régionaux et d'autres organes qui mènent des recherches sur les objets géocroiseurs à soumettre au Sous-Comité pour examen des rapports sur leurs activités dans ce domaine. On trouvera dans le présent document les rapports qui avaient été reçus au 17 décembre 2004.

II. Réponses reçues d'organisations internationales et d'autres organismes

Agence spatiale européenne (ESA)

Présentation générale des activités de recherche de l'ESA sur les objets géocroiseurs: prévention des risques

Résumé

1. Les objets géocroiseurs posent un risque au niveau mondial. Des preuves irréfutables indiquent que des collisions entre notre planète et des objets dont les dimensions étaient de l'ordre de quelques kilomètres ont eu des conséquences catastrophiques par le passé. Même si de telles collisions sont très rares, des objets de tailles diverses mais plus petits s'écrasant sur Terre à des intervalles aléatoires de quelques centaines ou milliers d'années peuvent toutefois provoquer des dégâts importants.
2. Par le passé, l'ESA a soutenu des activités de recherche industrielle ou universitaire sur les objets géocroiseurs dans le cadre du Programme d'études générales en coopération étroite avec son programme de science spatiale. Toutes ces activités permettent à l'ESA de définir la meilleure façon pour l'Europe d'apporter une contribution importante mais cependant réaliste aux efforts internationaux visant à évaluer les risques que posent les objets géocroiseurs.
3. Plusieurs études de faisabilité ont été menées en parallèle dans le cadre de l'activité relative à la préparation de missions spatiales sur les objets géocroiseurs menée dans le cadre du Programme d'études générales¹. Le résultat de ces études a été évalué par le Groupe consultatif pour les missions spatiales sur les objets géocroiseurs, un groupe indépendant de spécialistes reconnus des divers aspects de la question des géocroiseurs. Comme suite à la présentation des recommandations du groupe en juillet 2004, on fait maintenant porter les efforts sur le projet de mission "Don Quijote". Ce projet a été privilégié, surtout pour des raisons techniques, car c'est celui qui a les meilleures chances de produire des résultats importants. Il a également été choisi pour des raisons scientifiques. Son architecture modulaire pourrait faciliter sa mise en œuvre dans le cadre d'un projet de coopération et le fait qu'il a suscité un grand intérêt auprès des médias et du grand public constitue un atout supplémentaire. Il a servi de scénario de référence lors de

discussions qui ont eu lieu récemment avec des experts techniques et scientifiques de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale (qui travaillent actuellement à la mission Hayabusa sur les astéroïdes), au sujet de leur éventuelle participation aux évaluations internes de l'ESA. Ces discussions, qu'il était prévu de poursuivre en décembre 2004 et janvier 2005 à l'Installation de conception pluridisciplinaire du Centre européen de recherche et de technologie spatiales (ESTEC) de l'ESA, ont confirmé le désir de ces experts de participer à ces évaluations et montré les avantages qu'une telle coopération pourrait présenter pour les deux parties, notamment en leur permettant de mettre en commun leur savoir-faire et d'évaluer d'éventuelles possibilités de coopérer à l'avenir dans les domaines de la science des surfaces planétaires et du développement des techniques spatiales.

4. L'intérêt de lancer des initiatives internationales pour mieux connaître les objets géocroiseurs n'est plus à démontrer. En raison de leur dimension mondiale et du fait qu'une large fraction du public y est sensibilisée, les risques que posent les objets géocroiseurs constituent un thème particulièrement adapté à la coopération internationale, même si le projet ou la mission spatiale susceptible d'en résulter pourrait être relativement modeste en termes financiers.

Introduction

5. Les objets géocroiseurs ne sont pas une simple curiosité scientifique. Dans la pratique, leur collision avec la Terre pourrait provoquer les pires catastrophes naturelles envisageables.

6. En Europe, le nombre d'activités menées dans le domaine de l'évaluation des risques de collision avec de tels objets est très élevé au niveau universitaire mais très faible au niveau institutionnel, où il reste en deçà des recommandations formulées dans la résolution 1080 du Conseil de l'Europe en date du 20 mars 1996 relative à la détection des astéroïdes et des comètes potentiellement dangereux pour l'humanité.

7. Dans sa résolution 1080, le Conseil de l'Europe a invité les Gouvernements des États membres, ceux qui bénéficient du statut d'observateur et l'Agence spatiale européenne à apporter tout le soutien nécessaire à un programme international qui permette de dresser un inventaire des objets géocroiseurs aussi complet que possible, concernant en priorité les objets d'une taille supérieure à 0,5 km; de faire progresser notre compréhension de la nature physique des objets géocroiseurs et d'évaluer les phénomènes associés à une éventuelle collision, en considérant des objets ayant divers niveaux d'énergie cinétique et différentes compositions; de participer à la conception de petits satellites peu coûteux grâce auxquels il serait possible d'observer des objets géocroiseurs qui ne peuvent être détectés depuis le sol, et d'effectuer certaines études produisant de meilleurs résultats lorsqu'elles sont faites dans l'espace; et de contribuer à l'élaboration d'une stratégie mondiale à long terme de réaction en cas de possibilité de collision.

8. L'importance d'initiatives internationales pour mieux connaître les objets géocroiseurs a été soulignée à de nombreuses occasions: dans la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain, adoptée par la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III)² et approuvée par l'Assemblée générale dans sa résolution 54/68 du 6 décembre 1999; dans la résolution 1080 du

Conseil de l'Europe en date du 20 mars 1996 relative à la détection des astéroïdes et des comètes potentiellement dangereux pour l'humanité; dans les conclusions du Forum mondial de la science de l'OCDE sur les objets géocroiseurs: risques, politiques et actions, tenu à Frascati (Italie) du 20 au 22 janvier 2003; et dans une communication intitulée "Protecting Earth from Asteroids and Comets" (Protéger la Terre des astéroïdes et des comètes), publiée par l'Institut américain d'aéronautique et d'astronautique (AIAA) en octobre 2004. L'ESA a également indiqué dans sa politique spatiale à long terme que la recherche sur les géocroiseurs était une tâche à laquelle il fallait s'employer activement³.

9. En raison de leur dimension mondiale et du fait qu'une large fraction du public y est sensibilisée, les risques que posent les géocroiseurs constituent un thème particulièrement adapté à la coopération internationale, et tout projet susceptible d'en résulter pourrait être modeste en termes financiers. Toutefois, les relations entre les pays ayant des activités spatiales sont par nature complexes et les marques d'intérêt pour la question des géocroiseurs ainsi que les façons possibles d'aborder cette question présentent une grande diversité. L'ESA a décidé de procéder par étapes en évaluant d'abord les intérêts et les moyens des pays européens, puis en définissant au niveau européen une stratégie constituant la phase préparatoire d'un cadre pour la coopération internationale future. Cette démarche s'appuie sur plusieurs études et diverses évaluations internes en cours qui permettent d'élaborer une stratégie européenne cohérente d'utilisation des missions spatiales pour évaluer tant les risques de collision avec des géocroiseurs que les moyens techniques dont on dispose actuellement pour y faire face.

Rôle des missions spatiales dans l'évaluation des risques que présentent les géocroiseurs

10. Les pays européens ont axé l'essentiel de leurs efforts sur la modélisation théorique de la population de géocroiseurs, la coordination et l'amélioration des programmes d'observation au sol, la distribution et l'analyse des données astrométriques, la détermination de l'orbite des géocroiseurs, leur caractérisation physique à distance et la modélisation de leurs propriétés physiques. Certaines de ces activités sont directement appuyées par l'ESA. Le Spaceguard Central Node (SCN), qui est hébergé par l'Institut européen de recherches spatiales (ESRIN) de l'ESA, conseille celle-ci sur toutes les questions relatives aux géocroiseurs.

11. Les études commandées par l'ESA ont montré qu'il existait de nombreuses possibilités d'utiliser des moyens spatiaux spécialisés pour mieux comprendre le danger que représentent les géocroiseurs (voir l'annexe II) et révélé ce que l'Europe pourrait faire pour y parer.

12. Ces études ont été organisées en partant du principe qu'une méthode progressive serait nécessaire pour évaluer la menace et élaborer des techniques efficaces de prévention. Deux grands types de missions spatiales ont été définis, les missions d'observation et les missions de "rendez-vous" qui, les unes comme les autres, seraient très complémentaires des activités actuellement menées au sol, voire supérieures dans certains cas.

13. Les missions d'observation portent sur la détection, le suivi (c'est-à-dire la détermination de l'orbite) et la caractérisation à distance (par exemple la détermination du type taxinomique et de l'albédo de surface). Leur objectif

principal est d'établir puis d'améliorer et d'étoffer un catalogue d'objets dangereux. Même si on ne peut pas faire en sorte qu'ils soient aussi grands et puissants que les télescopes terrestres, les télescopes spatiaux offrent, grâce à une géométrie de visualisation et des conditions d'observation supérieures, un meilleur accès à certains types de géocroiseurs tels que les Atens et les objets intérieurs à l'orbite terrestre, souvent difficiles à observer du fait de leur proximité du Soleil. Ces conditions favorables permettent de bonnes observations et des objets de seulement quelques centaines de mètres peuvent être détectés et répertoriés. Il est possible depuis l'espace de faire des observations dans une plus large gamme de longueurs d'ondes (par exemple dans l'infrarouge) et d'obtenir de meilleurs cycles d'utilisation. Tout ceci pourrait largement contribuer à améliorer les observations actuelles.

14. Les missions de caractérisation *in situ* ont pour objet de déterminer avec précision, entre autres propriétés physiques, la masse, le volume et la structure interne des objets. Les instruments spatiaux sont le meilleur, et souvent le seul moyen d'obtenir de telles données, qui sont essentielles pour évaluer les conséquences qu'aurait une collision et les mesures à prendre pour y parer.

15. Il a été déterminé que les missions d'essai visant à démontrer la capacité à dévier un astéroïde de sa trajectoire étaient le type de missions *in situ* sur les objets géocroiseurs qui présentaient le plus d'intérêt, tant du point de vue de la caractérisation de ces objets que d'un point de vue technologique.

Phase I de la préparation de missions spatiales sur les objets géocroiseurs: études des missions

16. Les études précédentes de l'ESA ayant montré l'utilité de missions spatiales sur les objets géocroiseurs, un appel à propositions de missions et/ou d'instruments a été lancé par le Bureau d'études et Prospective de l'ESA dans le but d'évaluer avec précision les avantages de tous les types possibles de missions dans le cadre de l'étude relative à la préparation de missions spatiales sur les objets géocroiseurs (voir annexe II). Six concepts de mission ont été sélectionnés sur les conseils d'un groupe de spécialistes reconnus des objets géocroiseurs. En février 2003, les six études parallèles de "préphase A" ont été menées à bien. Elles ont consisté en une évaluation des six concepts de mission, qui visaient tous à recueillir des informations sur plusieurs aspects des risques posés par les objets géocroiseurs afin de déterminer les parades les plus efficaces.

17. Ces études ont montré que les missions spatiales étaient susceptibles de compléter les observations faites depuis le sol et qu'elles constituaient donc un moyen crédible et intéressant pour évaluer le problème, y compris du point de vue des risques et des coûts. Elles prévoyaient toutes un budget indicatif de 150 millions d'euros.

18. Les six concepts de mission sont décrits ci-après:

a) Le concept EUNEOS (European Near-Earth Object Survey), qui a été proposé et étudié par Alcatel Espace, l'Observatoire de la Côte d'Azur et la Spaceguard Foundation, consisterait en une mission spatiale d'observation depuis une orbite héliocentrique intérieure à celle de Vénus permettant de déceler les objets géocroiseurs les plus dangereux (désignés sous le terme d'"objets potentiellement dangereux"), qui sont souvent les plus difficiles à détecter depuis le sol car ils

doivent être observés à proximité de l'horizon suivant de faibles angles d'élongation;

b) Le concept "Earthguard-I" a été proposé par la Kayser-Threde Company, le Centre aérospatial allemand (DLR), la Spaceguard Foundation et l'Université internationale de l'espace (ISU). Un télescope embarqué sur une future mission vers le système solaire interne (mission BepiColombo par exemple) ou sur une plateforme spatiale dédiée permettrait, comme la mission EUNEOS, de détecter et de suivre des objets géocroiseurs;

c) Le concept SISYPHOS (Spaceguard Integrated System for Potentially Hazardous Objects Survey) a été proposé par Alenia Spazio, Surrey Satellite Technology Ltd. et l'Observatoire astronomique de Turin. Un observatoire spatial permettrait de détecter des objets géocroiseurs, de les observer à distance et d'en déterminer les caractéristiques physiques (taille, composition, rugosité de surface, etc.);

d) Le concept SIMONE (Small Satellite Intercept Mission to Objects Near Earth), qui a été proposé par QinetiQ, le Planetary and Space Sciences Research Institute (PSSRI) de l'Open University (Royaume-Uni), Science Systems Ltd., Telespazio et l'Université polytechnique de Milan, mettrait en œuvre une constellation de petits satellites à faible coût qui survoleraient et/ou approcheraient un certain nombre d'astéroïdes potentiellement dangereux afin d'en caractériser la population ou d'obtenir des informations de première main à leur sujet;

e) Le concept ISHTAR (Internal High-Resolution Tomography by Asteroid Rendez-vous), qui a été proposé par EADS-Astrium, l'Observatoire de Paris-Meudon, l'Observatoire astronomique de Rome, le Laboratoire de planétologie de Grenoble, le PSSRI et l'Université de Cologne, mettrait en œuvre un véhicule orbital utilisant la tomographie radar (c'est-à-dire une technique permettant de produire des images de l'intérieur d'un corps solide au moyen d'un radar à pénétration de sol) pour sonder l'intérieur de l'objet ciblé, en étudier la structure (pour déterminer par exemple si elle est homogène, poreuse ou fracturée, ou s'il s'agit simplement d'un agrégat lâche de blocs séparés) et évaluer la gravité de la menace;

f) Le concept Don Quijote, qui a été proposé par Deimos Space, EADS-Astrium, l'Université de Pise et la Spaceguard Foundation, mettrait en œuvre deux engins spatiaux, Hidalgo et Sancho, pour étudier les astéroïdes. Le premier percuterait l'astéroïde cible avec une très grande vitesse relative, tandis que l'autre, en orbite autour de l'astéroïde, l'observerait avant, pendant et après l'impact afin de recueillir des informations sur sa structure interne et sur d'autres propriétés physiques. Don Quijote est le seul des six concepts proposés qui permettrait de démontrer de manière simple la façon dont l'orbite d'un astéroïde pourrait être modifiée.

**Phase II de la préparation de missions spatiales sur les objets géocroiseurs:
Groupe consultatif pour les missions spatiales sur les objets géocroiseurs
(NEOMAP)**

19. Les missions mentionnées dans le paragraphe précédent sont intéressantes et doivent être étudiées. Il convient toutefois dans la pratique de fixer des priorités.

20. L'étape suivante vers l'élaboration d'un plan d'action européen sur les géocroiseurs a consisté à créer un groupe consultatif pour les missions spatiales sur les objets géocroiseurs (NEOMAP), composé de six scientifiques provenant d'États membres de l'ESA, spécialistes de diverses questions relatives aux objets géocroiseurs (détection, détermination de l'orbite et caractérisation des propriétés physiques, par exemple) et des menaces de collision que ces objets représentent pour notre planète, auxquels il a été demandé d'examiner les résultats des études concernant ces missions et de faire des recommandations sur la suite à y donner.

21. Les six membres du Groupe consultatif sont:

- M. A. W. Harris, du Centre aérospatial allemand (Allemagne) (président);
- M. W. Benz, de l'Institut de physique de l'Université de Berne (Suisse);
- M. A. Fitzsimmons, de l'Astrophysics and Planetary Science Division de la Queen's University de Belfast (Royaume-Uni);
- M. S. F. Green, du PSSRI (Royaume-Uni);
- M. P. Michel, de l'Observatoire de la Côte d'Azur (France);
- M. G. Valsecchi, de l'Institut de physique cosmique et d'astrophysique spatiale (Italie).

22. Les premières tâches du Groupe consultatif étaient les suivantes:

a) Déterminer les avantages de l'utilisation de missions spatiales pour évaluer les risques de collision avec des objets géocroiseurs et définir un argumentaire solide en faveur de cette utilisation. Il ne s'agissait pas ici pour le groupe de recommencer les travaux qui avaient déjà été faits mais de fournir un résumé succinct de ses principales conclusions;

b) Déterminer, parmi les facilités liées à l'utilisation de systèmes spatiaux, celles qui permettraient de compléter les observations faites et les données obtenues depuis le sol. Les études pertinentes déjà effectuées ont été résumées et mises à jour;

c) Réviser et mettre à jour les priorités scientifiques assignées aux concepts de mission d'évaluation des risques posés par les géocroiseurs en fonction uniquement de l'intérêt de telles modifications pour la réduction du risque de collision et non de leur valeur purement scientifique;

d) Déterminer la valeur de chacun des concepts de mission et les avantages pouvant résulter de leur mise en œuvre, compte tenu des initiatives internationales en cours ou prévues, qu'il s'agisse d'observations au sol ou d'autres projets de missions spatiales;

e) Formuler un ensemble de recommandations classées par ordre de priorité pour chaque catégorie de mission (observation ou "rendez-vous") et proposer un ou plusieurs projets de missions spatiales internationales.

23. Le Groupe consultatif a été convoqué le 14 janvier 2004 à l'ESTEC (Pays-Bas) et au cours des cinq mois qui ont suivi, il a travaillé à l'élaboration d'un ensemble de recommandations qui ont été rendues publiques lors d'une manifestation tenue à l'ESRIN, à Frascati (Italie), le 9 juillet 2004.

24. Ces recommandations, qui ont ensuite été publiées dans un rapport sur les priorités assignées aux missions spatiales visant à évaluer et à réduire les risques que posent les objets géocroiseurs⁴, sont résumées ci-après:

a) Parmi les trois concepts d'observation examinés, EUNEOS et Earthguard-I étaient ceux qui répondaient le mieux aux critères et aux priorités susmentionnés. EUNEOS semblait être une mission faisable, efficace et largement autosuffisante dont l'objectif unique était de découvrir des objets géocroiseurs potentiellement dangereux et d'en déterminer l'orbite. Les experts ont toutefois conclu que le lancement d'une mission spatiale pour découvrir des objets géocroiseurs n'était pas prioritaire pour l'instant dans le cadre des missions considérées ici, compte tenu du fait que l'association des diverses activités d'observation au sol sera probablement fructueuse au cours de la prochaine décennie. Il a été recommandé de réexaminer ultérieurement l'intérêt d'une mission spatiale d'observation des objets géocroiseurs, une fois que le risque résiduel de collision avec des géocroiseurs hors de portée des moyens d'observation au sol sera mieux défini.

b) Parmi les trois concepts de mission de type "rendez-vous" qui ont été examinés, Don Quijote était celui qui répondait le mieux aux critères et aux priorités susmentionnés. Comme cette mission permettrait non seulement de révéler la structure interne d'un objet géocroiseur, mais également de montrer comment créer une interaction mécanique avec cet objet, c'est la seule susceptible de combler une lacune essentielle du processus d'identification et de prévention de la menace. Ayant examiné la question de la participation éventuelle de pays non européens, le Groupe consultatif a considéré que le concept Don Quijote était compatible avec les intérêts et les activités actuels d'autres régions et qu'il pourrait facilement attirer l'attention de partenaires potentiels.

c) Après examen des six propositions, le Groupe consultatif a recommandé à l'ESA de retenir en priorité le concept Don Quijote comme base de sa contribution à l'évaluation et à la prévention des risques de collision avec des objets géocroiseurs.

Perspectives en matière de coopération internationale

25. Le groupe consultatif continue d'appuyer l'étude du concept Don Quijote que l'ESA mène en interne. Les activités le concernant sont actuellement conduites par le Bureau Études et Prospective de l'ESA avec l'appui de l'Installation de conception pluridisciplinaire de l'ESTEC.

26. En décembre 2004 et janvier 2005, Don Quijote a servi de scénario de référence lors des discussions menées avec des experts techniques et scientifiques de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale sur leur éventuelle participation aux évaluations internes de l'ESA. Ces experts prennent actuellement part à la mission Hayabusa en cours (rendez-vous avec un astéroïde) et à la mission Lunar-A (orbiteur lunaire). Ils ont confirmé qu'ils souhaitaient participer au projet Don Quijote et les discussions ont montré les avantages d'une telle coopération pour les deux parties (mise en commun des savoir-faire et évaluation d'éventuelles possibilités de coopération future dans les domaines de la science des surfaces planétaires et du développement des techniques spatiales).

27. Lors d'une conférence sur les possibilités de défense face à une menace astéroïdes qui s'est tenue à Orange County en Californie (États-Unis d'Amérique) en février 2004, la mission Don Quijote a été présentée à la communauté internationale comme un exemple de mission précurseur sur les objets géocroiseurs préparant la voie à une véritable mission de modification d'orbite.

28. À cette conférence et toutes les autres fois que ce concept de mission a été présenté (par exemple, lors de l'Assemblée générale du Comité de la recherche spatiale en juillet 2004 ou lors du Congrès international d'astronautique en octobre 2004), il est apparu que:

a) Le concept de mission précurseur sur les objets géocroiseurs (par opposition à une véritable mission visant à modifier la trajectoire d'un objet géocroiseur qui serait onéreuse et très incertaine) avait suscité un grand intérêt chez les spécialistes des géocroiseurs. Cet intérêt s'est manifesté non seulement dans les recommandations du Groupe consultatif pour les missions sur les objets géocroiseurs, mais aussi dans d'autres rapports, tels que la communication de l'AIAA sur la protection de la Terre contre les astéroïdes et les comètes;

b) Compte tenu de la somme importante de données d'expérience complémentaires dont on dispose dans ce domaine et des avantages qu'en retireraient les participants, un projet de coopération internationale constituerait un cadre idéal pour une mission sur les objets géocroiseurs, en particulier si l'on donnait à cette mission une architecture modulaire avec des interfaces bien définies permettant aux partenaires d'apporter des contributions indépendantes;

c) Par conséquent, un engin spatial multiélément effectuant des études à proximité immédiate ou à la surface d'un objet géocroiseur serait envisageable, en particulier si les aspects liés à la réduction des risques technologiques étaient pris en compte;

d) Grâce à la qualité et au niveau de détail des études menées jusqu'à présent, l'ESA s'est fait une bonne idée des missions actuellement envisageables et elle est donc bien placée pour coordonner les travaux dans ce domaine. Le concept de mission Don Quijote constitue un excellent scénario de référence pour étudier les possibilités de coopération.

Conclusion

29. Le développement de systèmes spatiaux consacrés à l'évaluation des risques que présentent les objets géocroiseurs serait une excellente occasion de coopération internationale qui, pour un coût relativement modeste, procurerait des avantages à tous les participants sous la forme des retombées des missions et en termes de progrès techniques et de relations publiques. Il est donc nécessaire de nouer des contacts et d'étudier un modèle de cadre de coopération approprié avec les partenaires internationaux intéressés par une telle initiative.

Annexe I

La mission Don Quijote

1. Les conclusions de l'étude industrielle initiale effectuée à la demande de l'ESA sont résumées ci-dessous. L'ESA examine actuellement ces résultats en interne dans le cadre de son Installation de conception pluridisciplinaire, avec l'appui de son équipe prospective. La figure I montre les deux composantes de la mission Don Quijote, Sancho et Hidalgo, au-dessus de l'étage supérieur du lanceur Soyouz-Fregat.

Figure I

Mission Don Quijote: les engins spatiaux Sancho et Hidalgo au-dessus de l'étage supérieur du lanceur Soyouz-Fregat



I. Objectifs proposés pour la mission

2. La mission Don Quijote avait un double objectif:

a) Obtenir des renseignements sur la nature physique des astéroïdes. Bien qu'étant hautement prioritaire du point de vue scientifique, cet objectif ne peut pas être atteint avec la génération actuelle de missions concernant les astéroïdes; et

b) Obtenir des renseignements qui seraient cruciaux au cas où un astéroïde se trouverait sur une trajectoire de collision avec la Terre et devrait être dévié. Don Quijote permettrait de déterminer précisément pour la première fois la structure interne et les propriétés mécaniques d'un tel astéroïde ainsi que de mesurer directement sa réaction à un impact, et donnerait ainsi des indications précieuses

pour tous les travaux ultérieurs visant à élaborer des stratégies de prévention et notamment des modèles numériques.

3. Pour arriver à ces objectifs, l'étude prévoit le lancement de deux engins sur des trajectoires interplanétaires distinctes. Le premier, un engin spatial scientifique appelé Sancho, atteindrait le premier l'astéroïde visé et, après une manœuvre de rendez-vous, l'observerait et le mesurerait pendant plusieurs mois, y compris au moyen de techniques sismologiques. Le second engin, un impacteur appelé Hidalgo, frapperait ensuite l'astéroïde à une vitesse relative d'au moins 10 km s^{-1} . Sancho, placé en retrait à bonne distance avant l'impact, reviendrait ensuite sur une orbite proche pour déterminer les modifications de l'état de l'orbite et de la rotation de l'astéroïde, ainsi que de sa forme, et (éventuellement) pour recueillir des échantillons du sous-sol mis au jour du fait de la formation du cratère.

4. L'engin spatial scientifique Sancho effectuerait les opérations fondamentales suivantes:

a) Déterminer la déviation orbitale de l'astéroïde résultant de l'impact, avec une précision d'environ 10 %;

b) Déterminer les propriétés mécaniques de la matière constituant l'astéroïde;

c) Mesurer la masse de l'astéroïde, le ratio des moments d'inertie et les sous-harmoniques de son champ de gravité;

d) Modéliser la forme de l'astéroïde avant et après l'impact, afin de détecter les modifications;

e) Déterminer la structure interne de l'astéroïde, en particulier la taille des principaux fragments, la taille moyenne des particules et l'épaisseur du régolite et des couches de débris dans les espaces entre les principaux fragments;

f) Mesurer la rotation de l'astéroïde avant et immédiatement après l'impact avec une précision de l'ordre de 10 %. En outre, détecter, si possible, la dissipation de la rotation autour de l'axe non principal après l'impact afin de déterminer le facteur Q de dissipation interne;

g) Déterminer la composition minéralogique à grande échelle de l'astéroïde. Cela est important pour arriver à établir des corrélations entre les propriétés spectrales observées et la structure interne;

h) Fournir un modèle des forces non gravitationnelles, telles que l'effet Yarkovsky, agissant sur l'orbite de l'astéroïde et sur sa rotation. Cela exige un modèle thermique.

5. Il ressort des calculs effectués dans le cadre de l'étude industrielle Don Quijote pour un astéroïde type d'un diamètre de 500 mètres (m) et d'une densité de $2,6 \text{ gm par cm}^{-3}$ que la déviation due à l'impact serait de 1 400 m sur une période de quatre mois. L'angle de rotation de l'astéroïde pourrait être modifié d'environ $0,5^\circ$ par jour. Ces modifications devraient être facilement mesurables au moyen de l'engin spatial Sancho.

II. Charge utile

6. Il a été déterminé que les instruments suivants seraient nécessaires pour atteindre les objectifs de la mission:

a) Une caméra permettant d'obtenir des images à haute résolution de l'astéroïde en vue d'en établir un modèle tridimensionnel complet avant et après la collision avec Hidalgo;

b) Un spectromètre de cartographie infrarouge à faible résolution spatiale et haute résolution spectrale pour déterminer la minéralogie en surface. Pour établir le modèle thermique, des mesures dans le domaine de l'infrarouge seraient également nécessaires;

c) Une charge utile de radioscience comprenant des répéteurs en bandes X et K et un accéléromètre;

d) Des instrument de sismologie, à savoir:

i) Des pénétrromètres. Un réseau d'au moins quatre pénétrromètres devrait être disposé à la surface de l'astéroïde. Outre des instruments, les pénétrromètres comprennent les sous-systèmes requis pour les opérations en surface. Chaque pénétrromètre est équipé d'un sismomètre, d'un accéléromètre et d'une sonde de température;

ii) Des sismomètres. Des sismomètres à trois axes et courte période sont requis. Lors de l'impact, les sismomètres seront saturés en raison des fortes accélérations enregistrées. Il est donc envisagé d'utiliser un ensemble d'accéléromètres qui seraient exploités uniquement lors de l'impact. La figure II montre l'impact d'Hidalgo sur l'astéroïde 1989 ML, tel qu'il serait observé par Sancho;

iii) Un thermomètre. Il servira à appuyer les mesures dans le domaine de l'infrarouge thermique pour l'établissement du modèle thermique de l'astéroïde;

iv) Des sources sismiques. Petites charges explosives (équivalentes à quelques centaines de grammes de TNT et munies de détonateurs à déclenchement programmé), qui créeraient les signaux sismiques utilisés pour analyser la structure interne de l'astéroïde.

Figure II
L'impact de l'engin spatial Hidalgo sur l'astéroïde 1989 ML est observé par Sancho



III. Conception des engins spatiaux et de la mission

7. Conformément à l'étude industrielle initiale, actuellement examinée et mise à jour par l'Installation de conception pluridisciplinaire de l'ESA, la mission Don Quijote comprendrait plusieurs éléments distincts: la caméra, le spectromètre infrarouge, les pénétromètres/éléments de surface (P/SE) et les sources sismiques (SS) embarqués sur l'orbiteur Sancho. Les volets P/SE et SS sont considérés comme des éléments distincts car ils assureraient l'"atterrissage" et la réalisation des opérations à la surface de l'astéroïde, ce qui constituerait en soi une "sous-mission" complexe de Don Quijote. Un élément supplémentaire, l'engin spatial Hidalgo, servirait uniquement à produire l'impact. Sa tâche principale serait de heurter l'astéroïde en respectant une précision de position et une vitesse relative données.

8. L'engin spatial Sancho serait une structure parallélépipédique renfermant les différentes unités nécessaires à son exploitation et à celle de ses instruments. L'imageur et le spectromètre infrarouge, orientés vers le nadir seraient fixés sur le radiateur à l'extérieur de la structure afin d'assurer un contrôle thermique adéquat des détecteurs infrarouge.

9. Les mécanismes de lancement permettant le déploiement des pénétromètres seraient installés sur un côté de l'engin spatial. Le lancement serait réalisé grâce à un petit moteur-fusée à propergol solide. La vitesse d'impact devrait être comprise entre 50 et 100 m s⁻¹ afin de garantir une bonne profondeur de pénétration et un couplage approprié à l'astéroïde. Les sources sismiques seraient déployées de la même façon que les pénétromètres. On prévoit d'en placer au moins quatre avant et

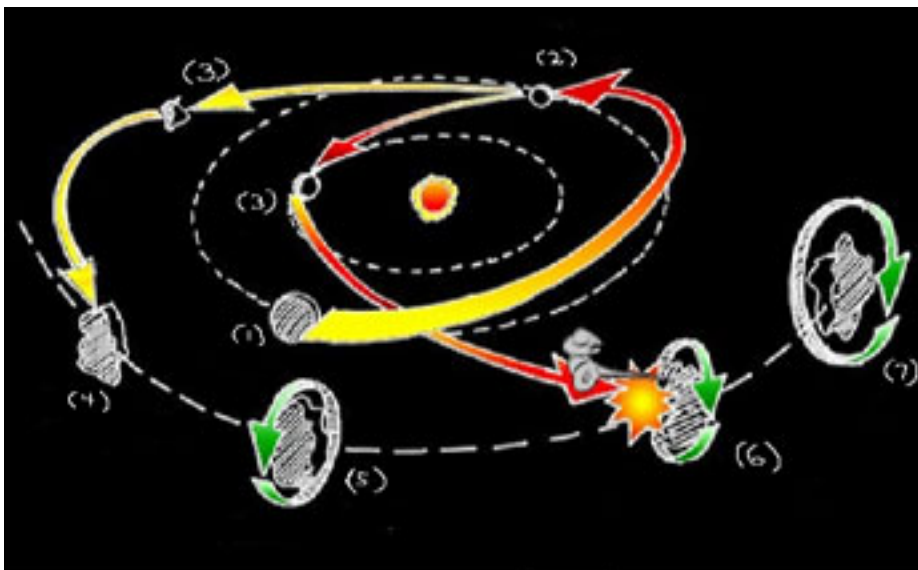
quatre après l'impact, de préférence aux mêmes endroits afin de mesurer les modifications induites par l'impact. La mise en place et l'utilisation de ce réseau sismique est considéré comme l'une des plus grandes difficultés de la mission Don Quijote.

10. Hidalgo pourrait en principe utiliser la même plate-forme spatiale que Sancho, mais comme sa charge utile consisterait seulement en une caméra de navigation et, le cas échéant, quelques petites expériences techniques, il devrait être plus léger et, de manière générale, plus simple que Sancho, à l'exception notable du système de visée qui devrait être précis et fortement autonome, même dans des situations non nominales (c'est-à-dire des situations où la cible n'a pas été spécifiée).

11. L'une des possibilités envisagées dans l'étude de conception de la mission est de trouver des trajectoires permettant, avec des dates de lancement identiques, de ne pas arriver en même temps au même objet, et ce avec des vitesses et une géométrie complètement différentes, tout en réduisant au minimum la variation totale de vitesse ΔV (c'est-à-dire les coûts). Le calendrier indiqué à titre d'exemple dans le Tableau 1 donne les caractéristiques de la mission de référence vers la cible nominale (10302) 1989 ML (diamètre estimé à 500 m).

Figure III

Présentation schématique du concept proposé pour la mission Don Quijote



- 1) Départ de la Terre
- 2) Survol de la Terre
- 3) Survol de Vénus/Survol de l'astéroïde
- 4) Arrivée sur cible de Sancho
- 5) Analyse de l'astéroïde
- 6) Impact d'Hidalgo sur l'astéroïde cible
- 7) Analyse après impact

Tableau 1
Mission de référence Don Quijote

Temps depuis le lancement	Engin spatial Sancho Masse de départ: 582,3 kg Masse à l'insertion: 394,0 kg	Engin spatial Hidalgo Masse de départ: 388,2 kg Masse à l'insertion: 379,1 kg
	Les deux engins spatiaux sont lancés ensemble sur des trajectoires pratiquement identiques croisant la Terre six mois (ou un multiple de six mois) plus tard	
~ 180 jours	Envoi vers l'astéroïde cible par gravidéviations due à la Terre	Envoi vers Vénus par gravidéviations due à la Terre
~ 909 jours (2,49 ans)		Envoi vers l'astéroïde cible par gravidéviations due à Vénus
~ 1 478 jours (4,05 ans)	Arrivée au niveau de l'astéroïde cible à la vitesse relative $\Delta V = 1,089 \text{ km s}^{-1}$. Cartographie d'ensemble depuis une distance égale à environ 10 fois le rayon de l'astéroïde, puis observations rapprochées de zones spécifiques depuis une distance égale à une fois le rayon de l'astéroïde. Réalisation d'expériences sismiques	
~ 1 706 jours (4,67 ans)	Avant l'impact, retrait sur une orbite de sécurité. Observation de l'impact. Reprise des mesures relatives à l'astéroïde afin de déterminer les modifications induites par l'impact (sur l'orbite, la rotation, etc.). Reprise des expériences sismiques	Impact sur l'astéroïde cible à une vitesse relative $\Delta V = 13,44 \text{ km s}^{-1}$. Fin de la mission
5 ans	Fin de la mission	

Note: ΔV = variation de vitesse.

Annexe II

Études et contrats de l'ESA relatifs aux objets géocroiseurs

<i>N° du contrat</i>	<i>Titre de l'étude</i>	<i>Maître d'œuvre et sous-traitants</i>	<i>Adresse Internet</i>
AO/12314/97/D/IM	Study of a Global Network for Research on Near-Earth Objects	Maître d'œuvre: Spaceguard Foundation (Italie)	Néant
AO/13265/98/D/IM	Spaceguard Integrated System for Potentially Hazardous Objects Survey (SISYPHOS)	Maître d'œuvre: Spaceguard Foundation (Italie) Sous-traitant: Alenia Spazio (Italie)	www.esa.int/gsp/completed/card_98_A15.html
AO/14018/00/F/TB	Understanding the distribution of NEO	Maître d'œuvre: Observatoire de la Côte d'Azur (France)	www.esa.int/gsp/completed/card_00_S92.html
RFQ/14472/00/D-HK	NEO hazard mitigation publication survey	Maître d'œuvre: Université technique de Dresde (Allemagne)	www.esa.int/gsp/completed/card_00_N94.html
AO/16257/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: European Near-Earth Object Survey (EUNEOS)	Maître d'œuvre: Alcatel Espace (France) Sous-traitants: Observatoire de la Côte d'Azur (France), Spaceguard Foundation (Italie)	www.esa.int/gsp/completed/neo/euneos.html
AO/16256/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: Earthguard-I	Maître d'œuvre: Kayser Threde (Allemagne) Sous-traitants: Centre aérospatial allemand (DLR) (Allemagne), Spaceguard Foundation (Italie), Université internationale de l'espace	www.esa.int/gsp/completed/neo/earthguard.htm
AO/16253/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: Remote Observation of NEOs from Space	Maître d'œuvre: Alenia Spazio (Italie) Sous-traitants: Surrey Satellite Technology Ltd. (Grande-Bretagne), Observatoire astronomique de Turin (Italie)	www.esa.int/gsp/completed/neo/remote.html
AO/16254/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: Small Satellite Intercept Mission to Objects Near Earth (SIMONE)	Maître d'œuvre: QinetiQ (Grande-Bretagne) Sous-traitants: PSSRI (Grande-Bretagne), Science Systems Ltd. (Grande-Bretagne), Telespazio (Italie), Université polytechnique de Milan (Italie)	www.esa.int/gsp/completed/neo/simone.html

<i>N° du contrat</i>	<i>Titre de l'étude</i>	<i>Maître d'œuvre et sous-traitants</i>	<i>Adresse Internet</i>
AO/16255/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: Internal High-Resolution Tomography by Asteroid Rendez-vous (ISHTAR) mission	Maître d'œuvre: Astrium Ltd. (Grande-Bretagne) Sous-traitants: Observatoire de Paris-Meudon (France), Observatoire astronomique de Rome (Italie), Laboratoire de Planétologie de Grenoble (France), PSSRI (Grande- Bretagne), Université de Cologne (Allemagne)	www.esa.int/gsp/completed/ neo/ishtar.htm
AO/16252/02/F/IZ	NEO Space Mission Preparation Study: Don Quijote	Maître d'œuvre: Deimos Space (Espagne) Sous-traitants: Astrium GmbH (Allemagne), Université de Pise (Italie), Spaceguard Foundation (Italie)	www.esa.int/gsp/completed/ neo/donquijote.html

La Spaceguard Foundation

Rapport sur les activités menées au cours de la période 1996-2004

Introduction

1. Les recherches en astronomie et en géopaléontologie ont montré que les collisions entre des objets géocroiseurs (astéroïdes et comètes) et la Terre avaient influé sur l'évolution de la vie dans le passé et constituaient toujours, comme d'autres catastrophes naturelles majeures, une menace considérable pour la population humaine.

2. La probabilité de collision dépend de la taille des objets, dont la répartition obéit à une loi exponentielle relativement bien connue. Des événements catastrophiques capables de mettre en péril la survie d'espèces vivantes se produisent à des intervalles allant de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années. Des événements de moins grande ampleur, mais néanmoins capables de menacer la civilisation et de causer des dommages considérables aux personnes et aux biens, se produisent à des intervalles beaucoup plus courts allant de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années. Le risque de tsunamis induits par de telles collisions constitue en particulier un motif de préoccupation qui suscite l'attention croissante de tous les pays dont le littoral s'étend sur de grandes distances.

3. Au cours des dix dernières années, plusieurs programmes d'observation des objets géocroiseurs ont été lancés aux États-Unis. Ces travaux, qui sont les premiers à être consacrés à l'étude de ce danger repéré depuis peu, ont pour objectif de découvrir avant 2008 la majorité des objets présentant un danger de collision avec la Terre dont la taille dépasse un kilomètre environ. Ce sont ces objets qui peuvent provoquer une catastrophe à l'échelle mondiale et on estime qu'à l'heure actuelle, 60 % d'entre eux ont été découverts. Il est cependant probable que l'objectif susmentionné ne sera pas atteint, le taux actuel de découverte étant quelque peu inférieur aux prévisions. Cela est dû surtout au fait que certains objets se trouvent dans des conditions dynamiques telles qu'ils ne peuvent être découverts que si on utilise des instruments suffisamment puissants. En outre, le risque que la chute de corps de taille moyenne (entre 100 et 300 mètres) déclenche des tsunamis importants a fait l'objet d'études approfondies qui montrent toutes que ce risque est suffisamment élevé pour que l'on prenne des mesures appropriées.

4. Diverses organisations internationales, dont le Conseil de l'Europe, l'Organisation des Nations Unies et l'Organisation de coopération et de développement économiques, ont invité tous les États à intensifier les recherches en cours et à les étendre aux objets dont la taille se situe entre 200 et 300 mètres. Il est clair que ces recherches, qui visent à détecter les objets de plus d'un kilomètre, ne permettent pas de découvrir une part substantielle des objets plus petits, et il est également clair que, pour compléter les recherches déjà menées dans l'hémisphère Nord, un programme de recherche approprié doit être mis en place dans l'hémisphère sud, où il n'y en a pas.

5. C'est dans ce contexte qu'a été créée en 1996 la Spaceguard Foundation, organisation sans but lucratif, dont l'objectif principal est de soutenir et de coordonner la recherche internationale sur les géocroiseurs.

La Spaceguard Foundation: historique et objectifs

6. L'idée de créer une organisation internationale chargée de coordonner l'observation des géocroiseurs avait été avancée à plusieurs reprises à la fin des années 1980. De fait, depuis la création par la NASA en 1991 de deux groupes de travail chargés d'analyser la menace constituée par les géocroiseurs (le Groupe de travail "Discovery", présidé par Dave Morrison, et le Groupe de travail "Interception", présidé par Jürgen Rahe et John Rather), il était largement admis que ce champ d'études nécessiterait une participation importante de la part de nombreux pays.

7. C'est principalement à ces fins que la Commission 20 de l'Union astronomique internationale (UAI) sur la position et le mouvement des astéroïdes, des comètes et des satellites a pris l'initiative de présenter une résolution sur le sujet à la vingt et unième Assemblée générale de l'UAI en 1991. Cinq autres commissions de l'UAI ont souscrit à cette résolution qui appelle à la création d'un groupe spécial intercommissions, chargé d'étudier la question des géocroiseurs et de faciliter une large participation internationale à cette étude.

8. Le Groupe de travail sur les objets proches de la Terre a établi un rapport pour la vingt et unième Assemblée générale de l'UAI en 1994, dans lequel il recommandait de placer les études et les initiatives relatives aux géocroiseurs sous l'égide d'une autorité internationale.

9. En septembre 1995, le Groupe de travail a organisé un atelier intitulé "Beginning the Spaceguard Survey", dans le but de souligner la nécessité de coordonner les efforts et de jeter les bases d'une collaboration internationale dans ce domaine. Au cours de cet atelier, qui a donné lieu à un débat riche et stimulant, les participants ont décidé de créer une organisation qui contribuerait à appuyer et à coordonner la recherche sur les géocroiseurs dans le monde entier. Le dernier jour de l'atelier, le Groupe de travail a formé un petit comité chargé d'étudier comment créer une telle organisation. Après plusieurs mois de délibérations, il a été décidé que la première étape serait de constituer une association italienne appelée "Spaceguard Foundation" avec la participation des membres du Groupe de travail. La Spaceguard Foundation a été officiellement créée le 26 mars 1996, à Rome.

10. La Spaceguard Foundation est une organisation internationale non gouvernementale formée de spécialistes. Ses trois objectifs principaux sont les suivants:

a) Promouvoir et coordonner au niveau international les activités relatives à la découverte et au suivi des géocroiseurs et au calcul de leurs paramètres orbitaux;

b) Promouvoir la réalisation de travaux théoriques, d'observations et d'expériences sur les propriétés physiques et minéralogiques des petits corps du système solaire, en accordant une attention particulière aux géocroiseurs;

c) Promouvoir et coordonner la mise en place d'un réseau au sol (spaceguard system), éventuellement appuyé par un réseau satellitaire, pour assurer des observations continues permettant la découverte des géocroiseurs ainsi que le suivi de leurs paramètres physiques et astrométriques.

11. À peu près au même moment où la nouvelle organisation a été créée, le problème de la menace constituée par les géocroiseurs a été porté à l'attention de la

commission de la science et de la technologie du Conseil de l'Europe. La Spaceguard Foundation a aidé les membres de la commission à préparer les débats et celle-ci a approuvé à l'unanimité une résolution qui a été présentée à l'Assemblée parlementaire et adoptée le 20 mars 1996 en tant que résolution 1080 du Conseil de l'Europe.

12. La question de l'observation des géocroiseurs a également été examinée par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Le rapport du sixième atelier ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales: astronomie au sol et dans l'espace, accueilli par l'Agence spatiale allemande au nom du Gouvernement allemand à l'Institut Max Planck de radioastronomie (A/AC.105/657) contenait des recommandations sur l'observation des géocroiseurs. La question des géocroiseurs a également été inscrite à l'ordre du jour d'UNISPACE III. La Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain adoptée par UNISPACE III évoquait la nécessité de mieux coordonner la recherche relative aux géocroiseurs.

13. La Spaceguard Foundation a aidé le groupe de travail du Royaume-Uni sur les géocroiseurs potentiellement dangereux à établir un rapport à l'intention du Gouvernement du Royaume-Uni. Après la publication de ce rapport, le représentant du Royaume-Uni au Forum mondial de la science de l'OCDE a proposé de créer un groupe de travail sur les géocroiseurs afin d'examiner les aspects sociaux du problème. Ce groupe de travail a organisé en 2003, à l'Institut européen de recherches spatiales, un atelier auquel il a invité des scientifiques ainsi que des responsables de la protection civile et des politiques en la matière. Le rapport de l'atelier a été distribué à tous les gouvernements des États membres de l'OCDE.

Spaceguard Central Node (SCN)

14. Afin de déterminer si un objet géocroiseur donné constitue une menace pour la Terre, il est nécessaire de bien connaître son orbite, grâce à des relevés astrométriques portant sur une longue durée. Pour en calculer l'orbite de manière fiable, il est nécessaire de suivre les géocroiseurs immédiatement après leur découverte, puis à nouveau lors de nouvelles apparitions propices, des années plus tard.

15. Les activités de découverte n'ayant pas été accompagnées d'efforts de suivi correspondants dans le passé, la Spaceguard Foundation, avec le soutien financier de l'ESA, a mis en place en 1999 le Spaceguard Central Node (SCN)⁵, dont l'objectif principal est de coordonner le suivi des observations de géocroiseurs dans le monde entier.

1. Activités du Spaceguard Central Node au cours de la période 1999-2004

16. Les contacts entre le SCN et les observateurs de géocroiseurs se font principalement par l'intermédiaire du site Web du SCN, où ceux-ci peuvent trouver un certain nombre de listes, dont certaines sont mises à jour quotidiennement. Les observateurs peuvent être contactés directement, lorsqu'il faut agir rapidement.

17. La plus importante de ces listes est la Priority List, dans laquelle les cibles sont classées en quatre catégories selon l'urgence avec laquelle elles doivent être réobservées. Elle est établie quotidiennement par un programme qui analyse la géométrie de chaque géocroiseur ainsi que le degré d'incertitude quant à sa position

dans le ciel au moment de sa découverte ainsi qu'à sa prochaine apparition. L'objectif est de réduire au minimum le degré d'incertitude pour la prochaine apparition afin d'avoir la quasi-certitude de retrouver le géocroiseur. Comme il est impossible pour la grande majorité (si ce n'est la totalité) des observateurs d'effectuer tous les calculs nécessaires, le fait que tous les résultats pertinents sont librement accessibles sur un site Web leur facilite beaucoup la tâche car cela maximise l'utilité de leurs observations astrométriques.

18. La plupart des autres listes du SCN sont statiques et mises à jour manuellement. Elles se rapportent à des questions telles que l'annonce et les résultats des campagnes d'observation et les plans d'observation des grands télescopes, utilisés pour étudier les objets de très faible luminosité.

19. Une activité particulièrement importante du SCN consiste en des observations visant à éliminer les "impacteurs virtuels". Dans certains cas, le risque de collision entre un géocroiseur et la Terre ne peut pas être exclu uniquement sur la base des observations astrométriques disponibles: on appelle "impacteurs virtuels" les trajectoires orbitales correspondant à ces cas. L'analyse orbitale nécessaire au repérage de ces "impacteurs virtuels" s'effectue dans deux centres: NEODys, créé en 1999 à Pise (Italie), et Sentry, créé en 2002 au Jet Propulsion Laboratory (États-Unis). Le SCN organise régulièrement des campagnes spécifiques visant à mieux connaître, grâce à de nouvelles observations astrométriques de haute qualité, les paramètres orbitaux des géocroiseurs présentant des "impacteurs virtuels". Il peut arriver que l'objet géocroiseur devienne inobservable avant que tous ses "impacteurs virtuels" n'aient été éliminés. Dans ce cas, la campagne d'observation devrait au moins permettre d'obtenir des données orbitales assez précises pour que l'on puisse retrouver cet objet à l'avenir.

20. Afin d'éliminer ou de réduire autant que possible le risque de perdre un objet géocroiseur ayant encore des impacteurs virtuels, le SCN a directement ou indirectement encouragé l'utilisation de télescopes plus grands: des instruments d'un diamètre pouvant atteindre 3,5 m sont occasionnellement utilisés depuis 2000, notamment aux observatoires de Mauna Kea et de Kitt Peak aux États-Unis. Cependant, ce n'est qu'au début de 2002 que l'on a commencé à utiliser dans le cadre du premier programme "Target of Opportunity" (ToO), le télescope Isaac Newton, de 2,5 m, et le télescope Jacobus Kapteyn, de 1 m installés à La Palma (Espagne). Le programme ToO présente l'avantage de donner accès à un grand télescope, lorsque l'on en a besoin. Au printemps 2003, ces activités de suivi ont été étendues aux géocroiseurs de luminosité extrêmement faible (magnitude 25-26) grâce à l'utilisation du Très Grand Télescope (VLT), de 8,2 m de diamètre, à l'Observatoire austral européen de Paranal (Chili). Ces initiatives viennent compléter le travail régulier accompli à l'aide de télescopes de petite et de moyenne taille.

21. Enfin, une autre activité importante du SCN consiste en la vulgarisation des sujets relatifs aux géocroiseurs grâce à une section importante de son site Web et à la revue en ligne "Tumbling Stone".

2. Résultats

22. En quatre années d'activité, le SCN a présenté plus de 2 000 géocroiseurs sur ses listes. Les principaux résultats scientifiques obtenus durant cette période sont décrits ci-dessous.

23. L'efficacité de la principale liste du SCN, la Priority List, est illustrée par une comparaison des statistiques orbitales des géocroiseurs nouvellement découverts pour la période de trois ans 1996-1998 avec celles de la période allant du début 2000 à 2003, pendant laquelle le SCN était opérationnel. Le pourcentage des objets géocroiseurs nouvellement découverts que le suivi a permis soit de retrouver lors de leur deuxième apparition, soit de redécouvrir dans les archives, est passé de 55 à 69 %. Ainsi, avant que le SCN ne débute ses opérations, pour près de la moitié des géocroiseurs nouvellement découverts, les données orbitales n'étaient pas fiables à la fin de la première apparition. Le travail de coordination du SCN a permis de réduire cette proportion à moins d'un tiers.

24. La figure I ci-dessous indique la fraction de géocroiseurs redécouvrables en fonction de leur magnitude absolue, tandis que la figure II indique ceux qui apparaissaient déjà dans les archives astronomiques (argentiques ou numériques) ou pour lesquels on a retrouvé des observations astrométriques préexistantes. Les deux autres figures indiquent les géocroiseurs "perdus" (fig. III) et "totalement perdus" (fig. IV). Les géocroiseurs perdus pourraient être redécouverts directement mais cela demanderait beaucoup d'efforts en raison du degré d'incertitude très élevé quant à leur position dans le ciel. Dans le cas des géocroiseurs totalement perdus, il ne serait pas rentable, étant donné l'importance des ressources télescopiques requises, de tenter de les redécouvrir directement. Dans les deux cas, on peut généralement noter une diminution de la magnitude.

25. Pour ce qui est de l'élimination des impacteurs virtuels, la plupart des campagnes d'observation ont été un succès. Là où elles ont échoué, ce n'était pas dû à un manque de coordination des activités de suivi. Par exemple, dans le cas de l'astéroïde 2002 MN, certains impacteurs virtuels n'ont pas pu être éliminés. À sa première apparition, l'objet avait une géométrie très étrange, de sorte que, bien qu'il ait été suivi le plus longtemps possible, les données astrométriques ainsi acquises n'ont pas contribué de manière significative à améliorer la connaissance de son orbite. En réalité, la majeure partie du temps, l'astéroïde 2002 MN s'éloignait de la Terre selon une trajectoire quasi radiale; lorsque cette phase s'est achevée et que des données transversales auraient pu être obtenues, la luminosité de l'objet était déjà trop faible.

Figure I
Géocroiseurs redécouvrables, en fonction de leur magnitude absolue (H)

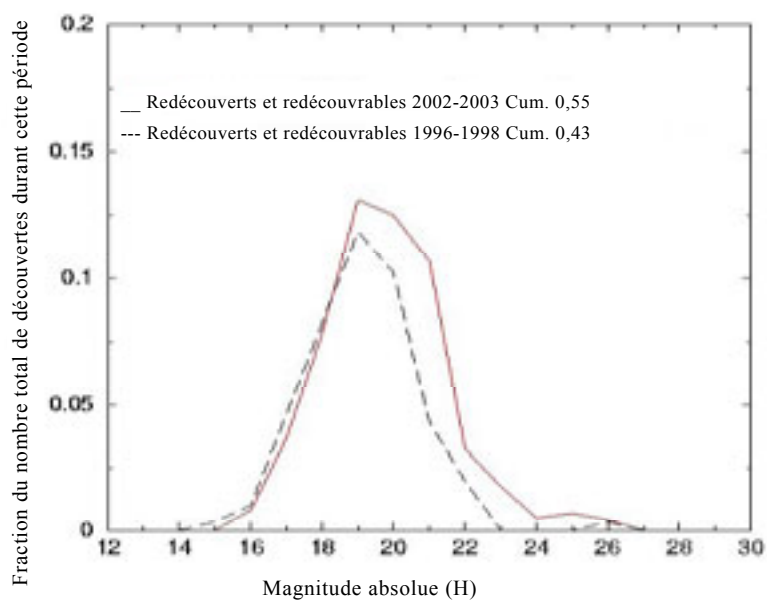


Figure II
Géocroiseurs identifiés à partir d'observations préexistantes ou découvertes dans les archives astronomiques, en fonction de leur magnitude absolue (H)

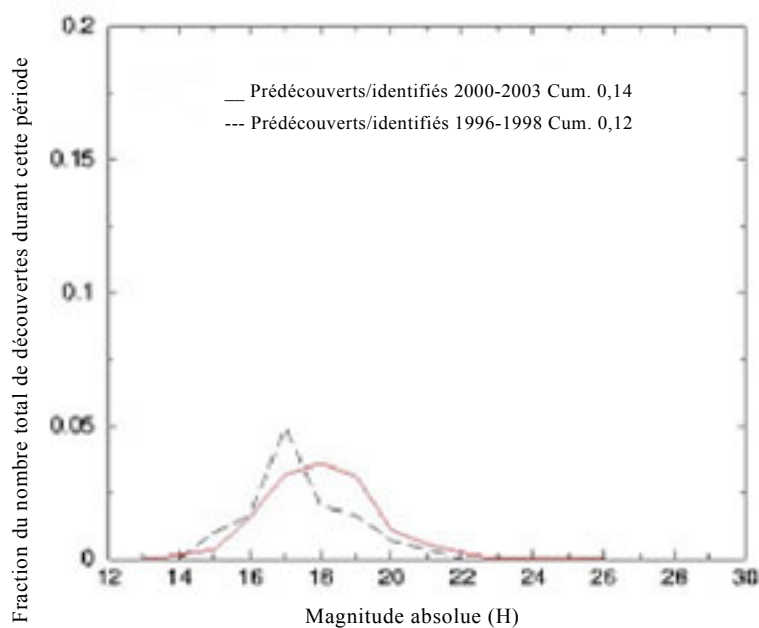


Figure III
Géocroiseurs perdus dont la redécouverte nécessiterait un effort considérable

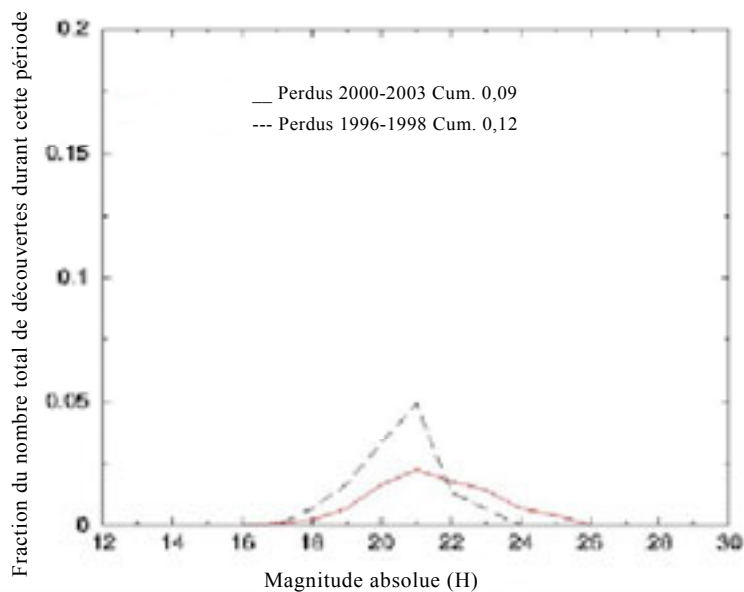
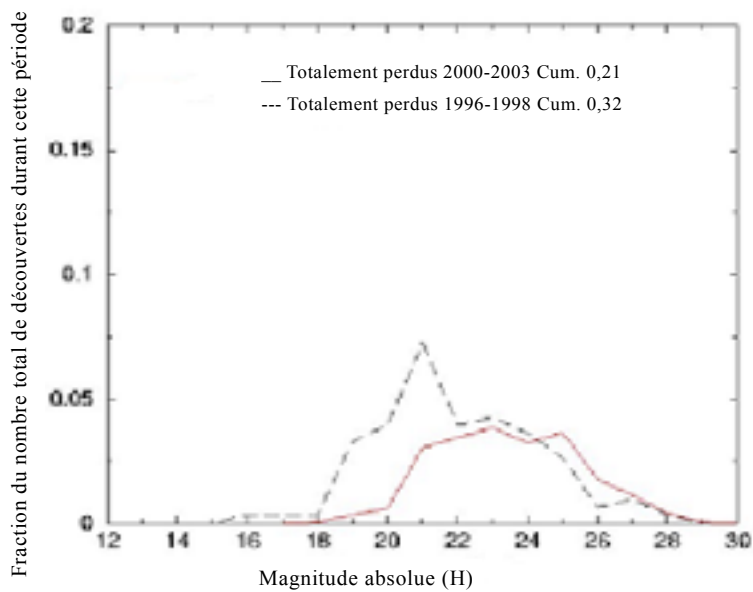


Figure IV
Géocroiseurs totalement perdus dont la redécouverte serait trop coûteuse



3. Conclusion

26. La coordination assurée par le SCN a permis de donner un maximum d'efficacité aux travaux de beaucoup d'observateurs, tant amateurs que professionnels, du monde entier en matière d'astrométrie des géocroiseurs. Grâce aux calculs effectués quotidiennement en coulisse dans le cadre du SCN pour établir les priorités, l'observateur n'a pas besoin de fixer des critères pour déterminer ce qu'il faut observer. Il lui suffit d'organiser un programme d'observation fondé sur ce qui est suggéré dans les listes du SCN. Ainsi, les opérations du SCN ont contribué à améliorer tant quantitativement que qualitativement la base de données dynamiques sur les géocroiseurs connus.

Autres activités de Spaceguard Foundation

27. Le SCN est la principale activité technique de la Spaceguard Foundation. Toutefois, pendant la période considérée, celle-ci a mené beaucoup d'autres projets, essentiellement dans le domaine des politiques scientifiques. Ces projets sont brièvement passés en revue dans la section ci-après.

1. Relations avec l'ESA

28. L'ESA a été la première organisation à appuyer le Spaceguard Foundation, et elle reste son principal soutien, en partie parce que le Conseil de l'Europe l'a invitée expressément, dans sa résolution 1080, à en favoriser la mise en place et le développement. Le soutien de l'ESA s'explique aussi par l'intérêt que porte cette organisation aux missions vers les petits corps célestes.

29. L'ESA a attribué deux contrats à la Spaceguard Foundation. Le premier, pour l'étude d'un réseau mondial de recherche sur les géocroiseurs (1999), a conduit à la mise en place du site du SCN. Le second, pour un système intégré de veille spatiale pour l'étude des objets potentiellement dangereux (2000), consistait à étudier un système composé d'un segment terrestre, d'un segment spatial (un observatoire au deuxième point de Lagrange) et d'un réseau mondial contrôlé par le SCN.

30. En 2003, l'ESA a décidé de promouvoir six études de mission sur les objets géocroiseurs. Trois d'entre elles avaient pour objet la mise en place d'observatoires dans des régions se prêtant à la découverte d'objets difficiles à observer depuis le sol. Les trois autres consistaient en des missions de survol ou de rendez-vous permettant d'effectuer une large gamme d'analyses *in situ*. La Spaceguard Foundation a été chargée de superviser toutes ces études sur le plan scientifique. L'une des missions étudiées, Don Quijote, qui a, entre autres, pour objet de tenter pour la première fois d'effectuer une manœuvre de déviation, a été retenue en 2004 en vue d'une étude plus poussée et d'une éventuelle mise en œuvre.

31. L'ESA, la Spaceguard Foundation et l'Institut de physique cosmique et d'astrophysique spatiale (Italie) ont signé un accord en vue de l'installation et de l'exploitation du SCN à l'Institut européen de recherches spatiales (ESRIN) de Frascati (Italie).

2. Relations avec la Fondation européenne de la science (FES)

32. La FES s'intéresse à la question des objets géocroiseurs depuis 1993, date à laquelle elle a lancé son programme "IMPACT" dans le but de comprendre les effets

des impacts de ces objets sur le développement et l'évolution de notre système planétaire. Ces impacts sont des événements importants et fréquents dans le système solaire. Ce programme a conduit à la formation, en 2001, d'un groupe de travail ad hoc chargé d'inscrire la question des objets géocroiseurs dans le cadre d'une éventuelle initiative au niveau européen. Il a été demandé à la Spaceguard Foundation de participer aux travaux de ce groupe, qui ont abouti à l'élaboration d'un rapport final en novembre 2001⁶.

3. Relations avec l'Observatoire austral européen

33. Les premiers contacts entre la Spaceguard Foundation et l'Observatoire austral européen remontent à février 2000, quand la première a fait une présentation sur les risques liés aux géocroiseurs au siège de l'Observatoire à Garching (Allemagne). L'objet de la présentation était d'examiner l'intérêt éventuel de l'Observatoire pour un programme de recherches européen et la contribution qu'il pourrait y apporter grâce aux excellentes installations dont il dispose au Chili.

34. Après ce contact initial, un projet a été étudié et présenté à la Commission européenne en 2003. Ce projet, dit European Deep-sky NEO Survey (EDENS), était une initiative commune de la Spaceguard Foundation, de l'Observatoire austral européen, de l'ESA, de la Nordic Optical Telescope Scientific Association et de sept pays européens. Bien que n'ayant pas été approuvé dans le cadre du projet NEST (New Emerging Science and Technology), il a suscité un grand intérêt.

4. Relations avec le Conseil international pour la science (CIUS)

35. La dernière initiative en date à laquelle ait été associée la Spaceguard Foundation est le programme parrainé par le CIUS. La proposition initiale, faite en 2002 par l'Union astronomique internationale (UAI), consistait à former un groupe de travail pour examiner le problème des objets géocroiseurs non seulement d'un point de vue astronomique, mais aussi sous l'angle de différentes disciplines scientifiques et sociales. La Spaceguard Foundation a aidé l'UAI à préparer la proposition, dont la mise en œuvre a été approuvée en 2003.

36. La première activité menée dans le cadre de ce programme a consisté à organiser à Ténériffe, en novembre et décembre 2004, un atelier au cours duquel une quarantaine de spécialistes de différentes disciplines scientifiques ont examiné les conséquences sociales et autres qu'aurait une collision avec une comète ou un astéroïde. Le document final de cet atelier est en préparation.

Conclusions

37. Le principal objectif de la Spaceguard Foundation, qui est de coordonner les observations visant à détecter et suivre les objets géocroiseurs, a été atteint avec la mise en place du SCN. Cela a été possible grâce à l'appui de l'ESA et à la participation volontaire des membres de la Spaceguard Foundation. Celle-ci constitue un cadre à l'intérieur duquel la communauté scientifique et technique internationale peut contribuer à évaluer et à résoudre un problème qui pourrait avoir des conséquences considérables pour l'humanité.

38. Les initiatives futures de la Spaceguard Foundation ne seront couronnées de succès qu'au prix d'un intérêt et d'un appui accrus de la part des gouvernements. Le

soutien du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique dans ce domaine serait le bienvenu.

Notes

- ¹ Initiative de l'ESA relative à la préparation de missions spatiales sur les objets géocroiseurs de l'ESA (www.esa.int/gsp/NEO).
 - ² *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 19-30 juillet 1999* (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.00.I.3), chap. I, résolution 1.
 - ³ Agence spatiale européenne, Comité de la politique spatiale à long terme, *Investir dans l'espace: le défi pour l'Europe* (ESA SP-2000, mai 1999).
 - ⁴ Les recommandations du Groupe consultatif peuvent être consultées sur la page Web: www.esa.int/gsp/NEO/other/NEOMAP_report_June23_wCover.pdf.
 - ⁵ L'adresse du site Web du SCN est la suivante: <http://spaceguard.esa.int>.
 - ⁶ *Future of Europe in Space Research: ESF Recommendations to Ministers of ESA Members States* (Fondation européenne de la science, octobre 2001), p. 7 (disponible à l'adresse Internet: www.esf.org/publication/122/Space.pdf).
-