

Doit-on et peut-on parer aux menaces venant de l'espace?

Jean-Pierre CONTZEN

SEII

25 septembre 2015

Les quatre grandes menaces (I)

- En ce début de XXIème siècle, il existe quatre menaces à prendre en compte:
 - Les *astéroïdes*, un phénomène naturel très ancien mais ayant fait l'actualité récemment
 - Les *débris spatiaux*, une menace créée par l'être humain depuis le lancement de Sputnik en octobre 1957
 - Les *tempêtes solaires*, un autre phénomène naturel, étudié à partir du milieu du XIXème siècle
 - La *Géo-ingénierie*, une menace potentielle venant de l'espace proche, si l'être humain décidait de se lancer dans le contrôle du climat



Les quatre grandes menaces (2)

- La présentation sera concentrée sur les deux premières, en raison de l'actualité récente créée par la météorite de Chelyabinsk, de l'acuité du problème des débris spatiaux mais aussi des développements technologiques qu'elles suscitent

Des menaces à prendre au sérieux?

- Deux évolutions fondamentales de notre monde militent en faveur d'une action:
 - L'accroissement de la population mondiale: de l'ordre de 5 milliards vers 10 000 ans à 7 milliards en 2012, avec concentration majoritaire de cette population dans les villes
 - Le foisonnement des technologies qui renforce l'impact des menaces naturelles et crée de nouvelles menaces: les débris spatiaux et la manipulation du climat

Que faire? (I)

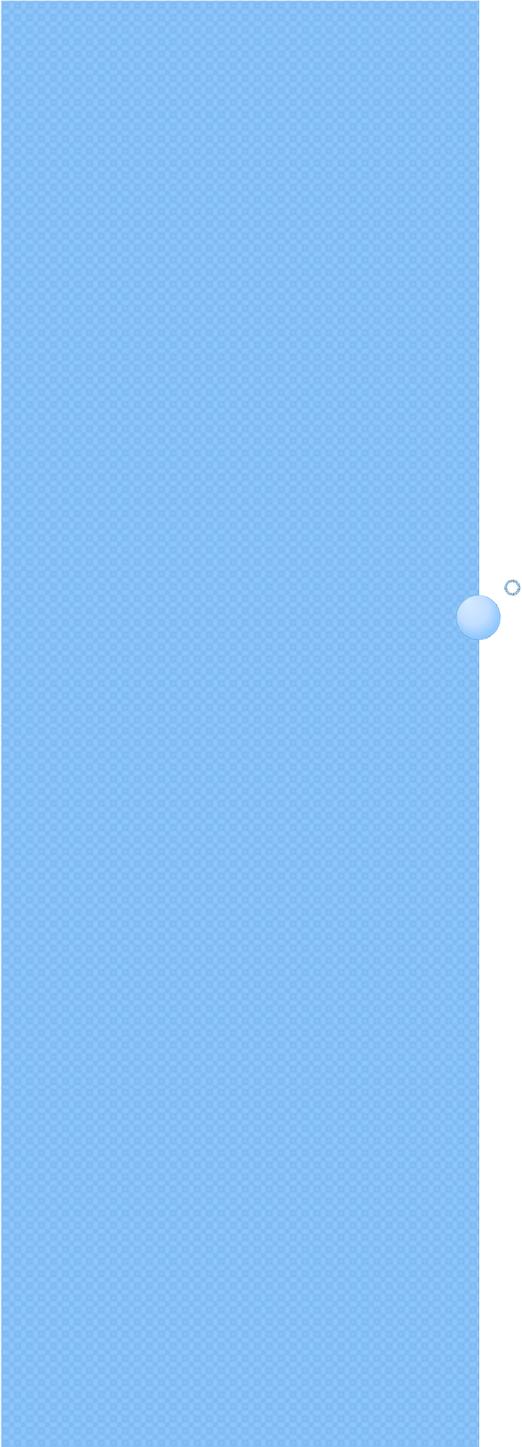
- Deux attitudes volontaristes face à la menace:
 - Organiser une réponse collective de la Société
 - Utiliser les technologies pour prévenir ou atténuer les effets

MAIS beaucoup de passivité:

- L'ignorance, le manque d'information sur la nature et les conséquences réelles de la menace; pas d'impact immédiat sur le mode de vie comme dans le cas du changement climatique
- L'incompréhension du risque liée à sa nature même: faible probabilité et impact très élevé

Que faire? (2)

- Le fatalisme, l'égoïsme (Acts of God)
- Une perception des risques naturels plus limitée que celle des risques créés par l'homme
- La pression d'autres priorités budgétaires: pauvreté, immigration, emploi (risque de chômage jusque 5 10 exp-1 dans certains pays)



ASTÉROÏDES

Probabilité de décès accidentel

Type	Probabilité	Type	Probabilité
Coeur	$4 \cdot 10^{-1}$	Baignoire	$1,4 \cdot 10^{-6}$
Cancer	$2 \cdot 10^{-1}$	Bicyclette	$7 \cdot 10^{-7}$
Suicide	$8 \cdot 10^{-3}$	Echelle	$4,3 \cdot 10^{-7}$
Route	$1,3 \cdot 10^{-4}$	Poison	$3,3 \cdot 10^{-7}$
Travail	$2,3 \cdot 10^{-5}$	Droitier/Gaucher	$3,2 \cdot 10^{-7}$
Train	$2 \cdot 10^{-6}$	Terrorisme	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Tsunami	$2 \cdot 10^{-6/-5}$	Éclair	$1 \cdot 10^{-7}$
Météorite	$1,5 \cdot 10^{-6}$	Avion	$1 \cdot 10^{-7}$

Astéroïdes (I)

- Le risque d'impact de notre planète par des météorites existe depuis toujours. La Terre porte les traces de tels impacts en dépit de la protection offerte par son atmosphère. Chaque jour, la masse de la Terre s'accroît de 100T en provenance de météorites de taille inférieure au mètre
- La menace encourue est liée à la taille du « géo-croiseur » se trouvant sur une trajectoire de collision avec notre planète. Le niveau de menace est détaillé dans le tableau suivant, montrant que le dommage causé peut être extrêmement élevé mais associé à une probabilité très faible



Dimension de l'astéroïde	Energie dégagée lors de la réentrée	Fréquence	Impact
Inférieure à 10m	Dans la gamme des kT de TNT	518 rentrées dans haute atmosphère observées entre 1972 et 2000	En très grande majorité, astéroïdes détruits dans l'atmosphère
Entre 10 et 100m	De l'ordre de 10 MT pour un diamètre de 50m	Une fois tous les quelques siècles	Onde de choc de forte intensité (Tunguska 1908), cratère >1km (Meteor Crater, 50 000 ans), raz de marée avec vagues de plus de 100m
Supérieure à 100m	Du million au milliard de MT (pour 10km de diamètre et vitesse de 20km/s, 1 milliard de MT)	Une collision par 10 à 100 millions d'années	Cratère >100km, matériau incandescent projeté sur toute la planète, "hiver nucléaire"



Astéroïdes (2)

- Comment déterminer la menace constituée par un « géo-croiseur »? La réponse se trouve dans les systèmes d'alerte, notamment ceux mis en place par l'ESA (NEODyS à Pise et Rome) et par la NASA (SENTRY au Jet Propulsion Laboratory en Californie). Il y a 10 709 corps célestes enregistrés dans la base de données NEODyS, 452 géo-croiseurs surveillés dans la base SENTRY
- A l'heure actuelle, la NASA estime à 1400 le nombre d'astéroïdes potentiellement dangereux

Que peut-on faire? (I)

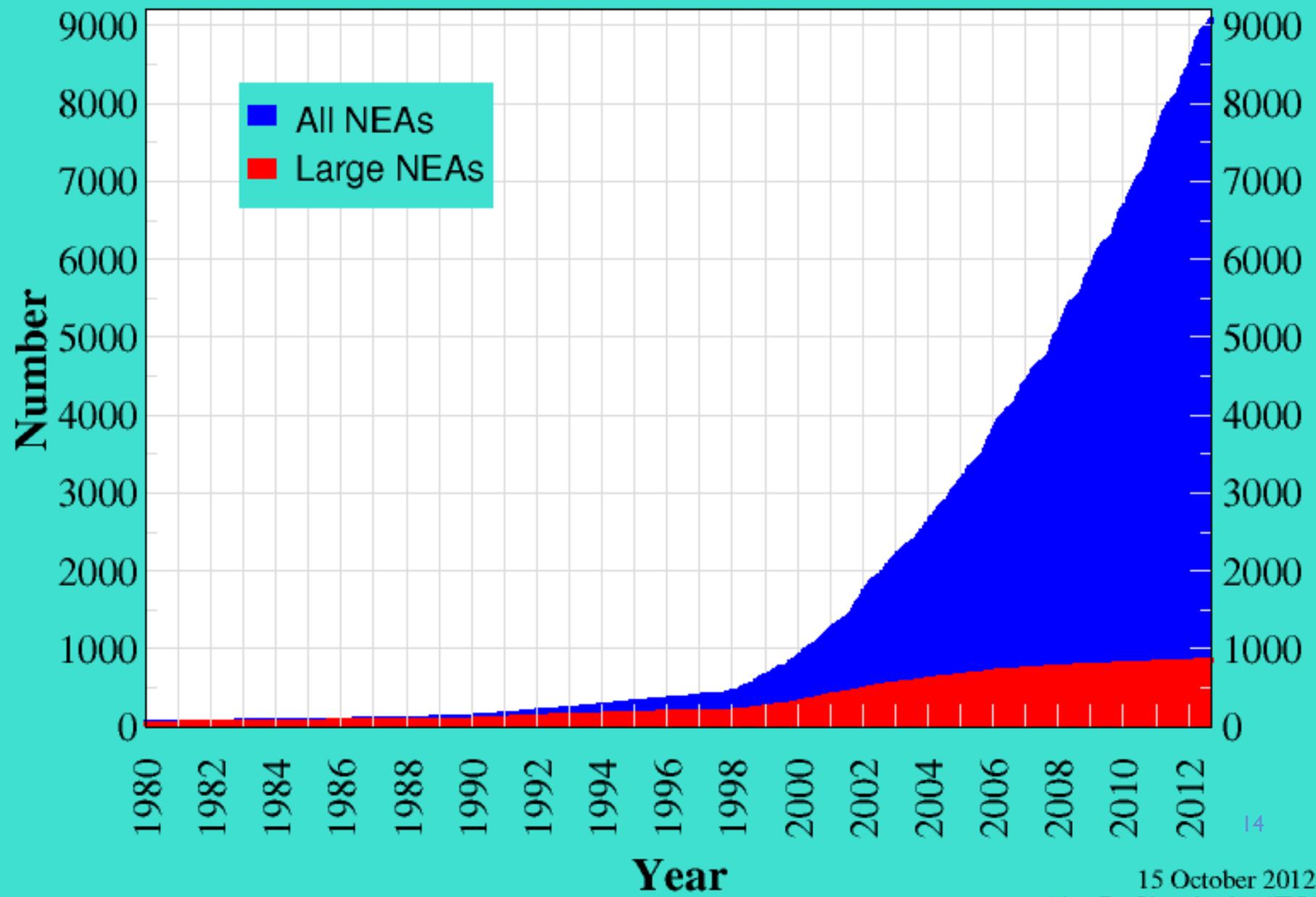
- La première mesure consiste dans le perfectionnement des systèmes d'alerte en renforçant le réseau de surveillance des corps célestes tant au **sol** par des radiotélescopes tels que celui d'Arecibo (305 m de diamètre) ou ceux du réseau DSN de la NASA, que dans l'**espace**, notamment le télescope spatial de la Fondation B612 et le satellite WISE de la NASA qui permet la détection des corps célestes dans l'infra-rouge, améliorant significativement la détermination de leur taille

Que peut-on faire? (2)

- La modification des listes d'objets menaçants représentent une connaissance améliorée de la menace, non pas une erreur commise antérieurement. Une meilleure observation, une modélisation plus précise ont conduit à un accroissement du nombre d'objet détectés, en particulier des objets de plus faible dimension, comme le montre le diagramme suivant

Known Near-Earth Asteroids

1980-Jan through 2012-Aug



Que peut-on faire? (3)

- La deuxième mesure est d'améliorer les modèles dynamiques, encore trop approximatifs, et réduire ainsi les erreurs de prévision. C'est le travail des astronomes, des spécialistes de mécanique céleste et des experts en physique des particules (effet Yarkovsky)
- Reste la troisième mesure, celle de l'étude et du développement de scénarios technologiques pour la correction de trajectoire du géo-croiseur

Aspects technologiques (I)

- La solution est d'arriver à dévier la trajectoire du corps céleste. Parmi les scénarios débattus:
 - Faire exploser l'objet céleste, le plus médiatique mais aussi le plus risqué
 - Vaporiser sa surface avec un laser de grande puissance à partir du sol ou avec un concentrateur solaire spatial
 - Exploder une bombe à neutrons dont l'intense bouffée de particules le dévie sans le fragmenter
 - Envoyer un véhicule spatial (impacteur cinétique) qui, par sa collision à très grande vitesse, dévie sa trajectoire
 - Attacher une grande voile solaire qui lentement modifie la trajectoire initiale

Aspects technologiques (2)

- Changer l'absorption du rayonnement solaire par la surface de l'astéroïde. Un changement de 0,5% suffirait dans le cas d'Apophis, pouvant être réalisé en peignant au bon endroit, en couleur blanche une surface de 40m sur 40 m pas trop ravinée (cfr. Philae). Ceci nécessiterait un rendez-vous avec intervention d'un astronaute, la peinture ne représentant qu'une charge utile de 8kg
- Amener un vaisseau spatial très lourd à la hauteur du géo-croiseur; par sa masse, il l'attire peu à peu et le fait sortir de sa trajectoire initiale (tracteur gravitationnel)
- Arrimer une fusée qui, par sa poussée, modifie la trajectoire initiale (remorqueur spatial)

Aspects technologiques (3)

- Finalement, capturer l'astéroïde et l'amener sur une orbite sûre, l'orbite lunaire étant la plus souvent citée (pour exploitation potentielle des minéraux qu'il contient). Le Président Obama a lancé une initiative dans ce sens en 2010, la NASA incluant la mission dans son programme d'exploration spatiale avec 2025 comme objectif. Un « lasso spatial » capturerait un astéroïde de faible taille (7 mètres) et l'amènerait en orbite lunaire où des astronautes en effectueraient l'inspection. Le « lasso spatial » envisagé est un système de propulsion solaire-électrique mettant 6 ans pour atteindre l'astéroïde et ensuite de 2 à 6 ans pour le ramener sur une orbite permettant à un véhicule habité ORION de s'en approcher.



Aspects technologiques (4)

- Dans toutes ces solutions, le facteur temps est essentiel comme illustré par le dernier cas, certaines des options décrites requérant plusieurs dizaines d'années de planification



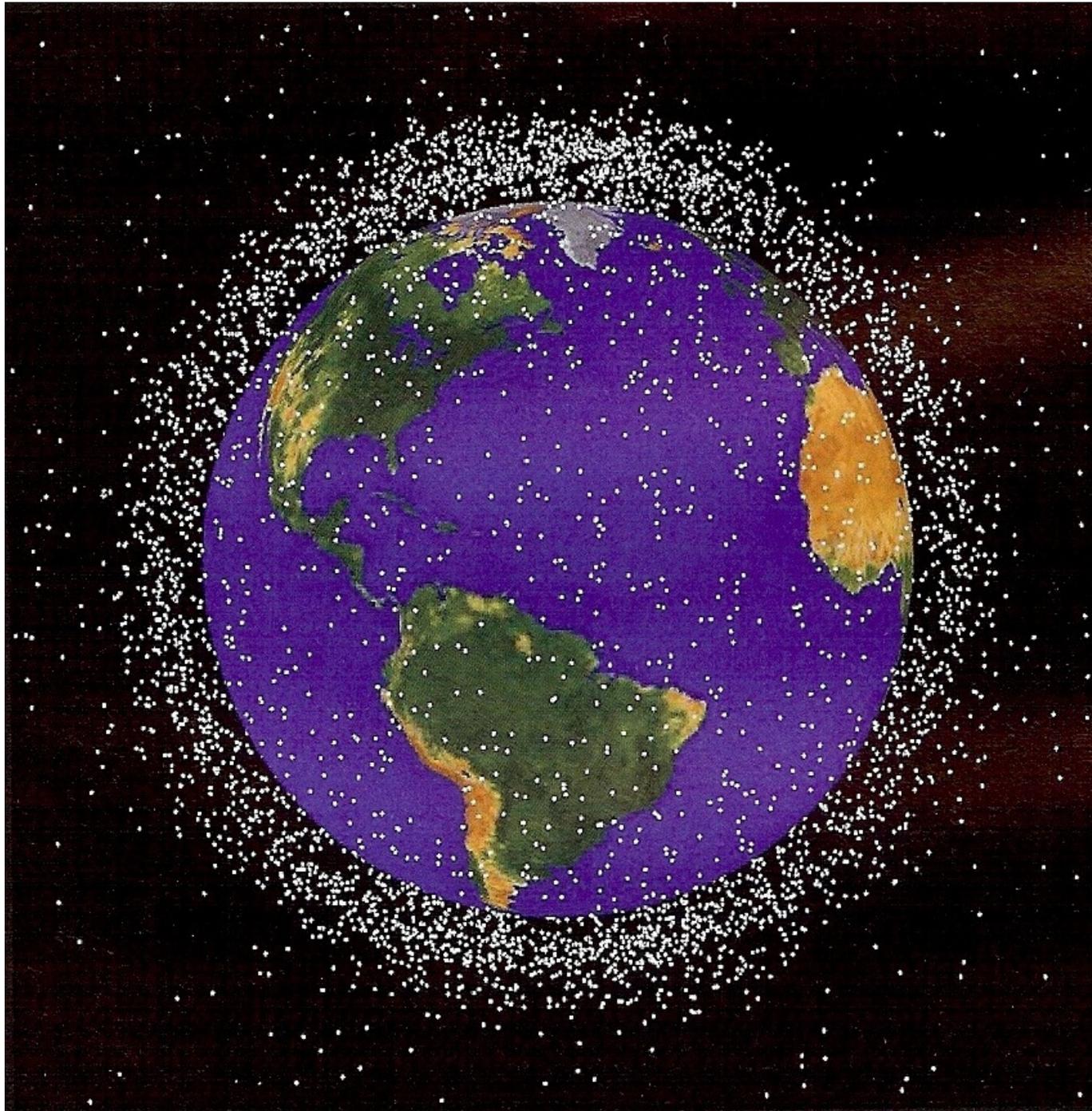
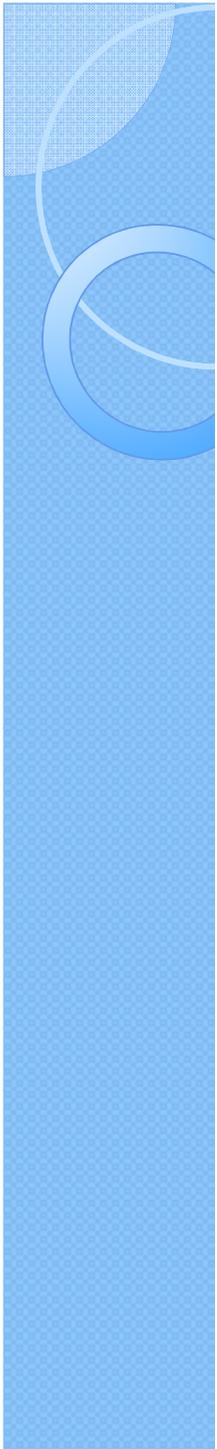
LES DÉBRIS SPATIAUX

Les Débris Spatiaux (I)

- Menace ayant fait la une des cinémas avec la sortie du film « *Gravity* » et les oscars qu'il a reçu. Cette menace n'existerait pas si l'être humain n'avait pas mis en orbite autour de la terre des objets de sa création. Le lancement de Sputnik I par l'Union Soviétique le 4 octobre 1957 a ouvert l'Espace à l'activité humaine avec d'immenses bénéfices mais aussi l'apparition d'une nouvelle menace liée à la présence de débris incontrôlés

Les Débris Spatiaux (2)

- Acuité accrue du problème avec l'annonce récente de nouvelles constellations de satellites et de la progression du changement climatique
- Il y a accumulation en orbite terrestre de débris variant en taille de l'éclat de peinture à des étages entiers de lanceurs et des satellites en fin de vie, incontrôlés de plusieurs tonnes ; cela correspond à plus d'un demi-million d'objets entre 1 cm et 10 cm et plus de 20 000 objets de plus de 10 cm



Les Débris Spatiaux (3)

- Deux types de menace sont à prendre en compte :
 - D'une part, ces débris peuvent causer, lors de collisions, des perforations significatives dans les vaisseaux spatiaux habités, menaçant la vie des astronautes ; ils peuvent aussi conduire à la destruction de satellites d'importance essentielle pour l'activité humaine (météorologie, positionnement, communications) ou, pour le moins, représentant une valeur élevée sur le plan scientifique ou commerciale



Les Débris Spatiaux (4)

- D'autre part, leur rentrée incontrôlée dans l'atmosphère pourrait entraîner au sol la perte de vies humaines ou la destruction de biens collectifs ou individuels. C'est la population de toutes les parties de la Terre qui se trouve ainsi menacée

Les Débris Spatiaux (5)

- La première menace, celle de collision dans l'Espace entre satellites errants et ceux sous contrôle est particulièrement préoccupante. Par exemple, en février 2009, la collision entre un satellite commercial Iridium en activité et Cosmos 2251, un satellite inopérant depuis 1995, a généré 1075 (382 + 693) débris décelés, créant une menace d'impact sur la station spatiale internationale et sur les astronautes en activité extravéhiculaire. L'arithmétique en matière de débris spatiaux est très particulière : $1 + 1 = 1075$.

COSMOS_2251

Time (UTCG): 10 Feb 2009 16:55:38

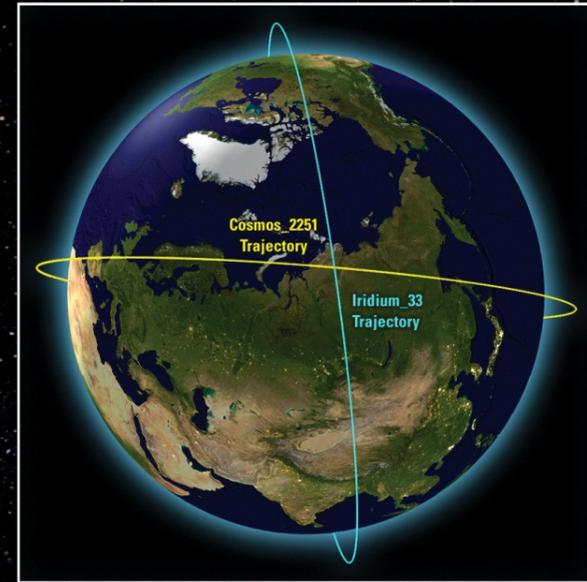
Radial (km): -4.138

In-Track (km): 193.932

Cross-Track (km): -154.963

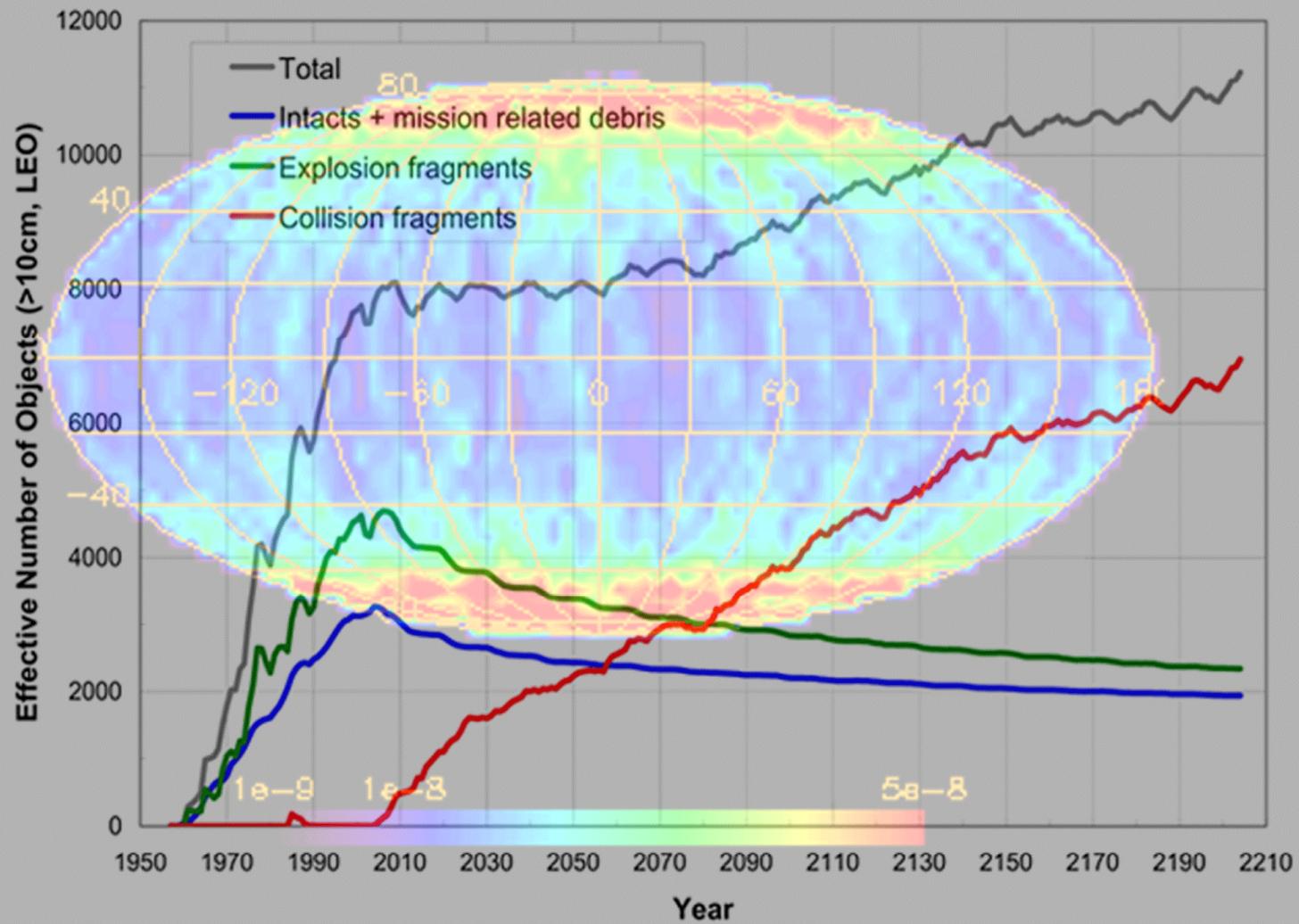
Range (km): 248.275

• Cosmos_2251



Les Débris Spatiaux (6)

- Le problème devient aigu, le nombre croissant de satellites en fin de vie devenus incontrôlables, renforçant cette acuité. Selon un rapport de l'*US National Research Council* paru en février 2013, le point de non-retour a sans doute été atteint. Une étude de la NASA menée en 2005 a montré que même si, à partir du 1^{er} janvier 2006, on n'avait plus rien lancé dans l'Espace, le nombre existant de débris spatiaux aurait été suffisant pour maintenir ou accroître le nombre de collisions, ce qui créerait toujours plus de débris, en dépit de ce que les forces naturelles seraient capables d'éliminer (Syndrome de Kessler). La Société doit intervenir



Les Réponses possibles (I)

- *Eviter les collisions en orbite*: il s'agit d'instaurer un véritable contrôle de trafic spatial, à l'instar de ce qui existe pour le secteur aérien, en améliorant les réseaux de surveillance des satellites en orbite et en renforçant le contact avec les différents propriétaires pour les avertir du risque d'une collision et leur permettre de conduire des manœuvres coordonnées d'évitement.

Les Réponses possibles (2)

- L'organisation privée *Space Data Association (SDA)*, regroupant de grands opérateurs de satellites comme Intelsat, Eutelsat, Inmarsat et SES, effectue ce type de veille. Il en est de même du *Joint Space Operations Center (JSpOC – US DoD)*; ce centre aux finalités duales, civiles et militaires, effectue de l'ordre de 400 000 observations chaque jour en utilisant des radars et des télescopes optiques, permettant de suivre plus de 16 000 objets en orbite autour de la Terre
- Nouveau grand radiotélescope US (81 T) en Australie

Les Réponses possibles (3)

- 5% des objets en orbite autour de la terre sont des satellites en fonctionnement, 8% sont des restes de fusées et les autres 87% sont constitués par des satellites inactifs et d'autres débris
- Offres de Lockheed Martin et Raytheon pour un nouveau réseau améliorant d'un facteur 10 la capacité de surveillance. Mise en service 2020, coût 3,5 milliards \$

Les Réponses possibles (4)

- *Nettoyage conduisant à une rentrée contrôlée dans l'atmosphère*: à nouveau la surveillance joue un rôle primaire. Le centre JSpOC annonce qu'il est capable de prédire une réentrée, 2 heures avant que l'événement ne se produise, avec une précision de l'ordre de 30 minutes ce qui correspond pour des orbites quasi circulaires à une zone d'impact de plus de 10 000 km d'étendue

Les Réponses possibles (5)

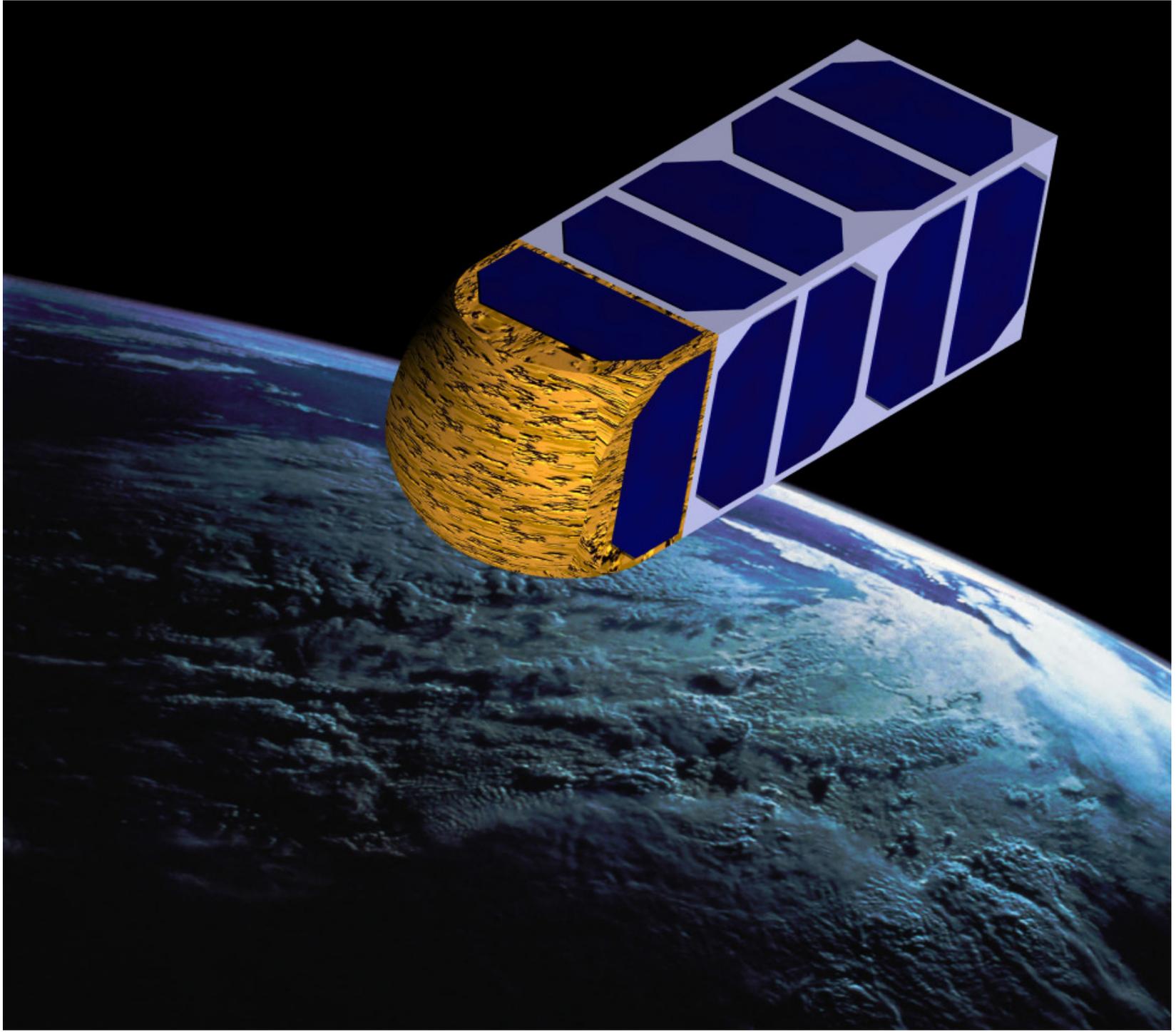
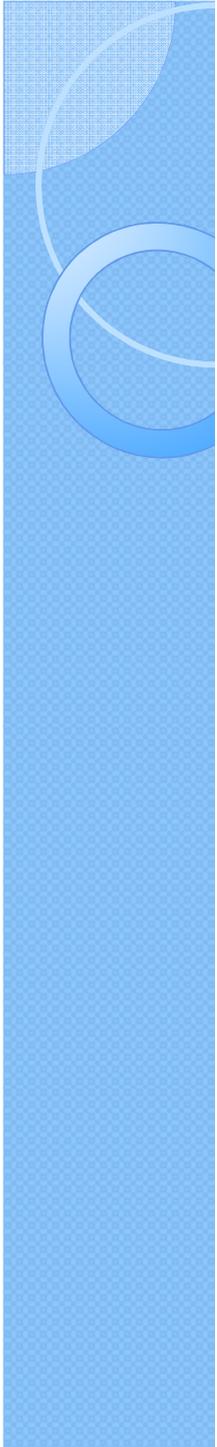
- L'imprécision provient certes de facteurs encore mal connus affectant la réentrée elle-même mais aussi des limites du système de surveillance, la plupart des stations d'observation au sol étant situées dans l'hémisphère Nord, empêchant toute couverture continue de l'orbite de l'objet en voie de réentrée.

Les Réponses possibles (6)

- Au-delà de la surveillance, il faut améliorer les modèles de calcul de la réentrée dans l'atmosphère, toujours frappés d'incertitude. Cela passe par un renforcement des bases de données expérimentales, notamment par une meilleure connaissance des caractéristiques aérodynamiques des couches relativement basses de l'atmosphère traversées lors de la réentrée. Il s'agit d'une zone relativement peu explorée, la densité de l'atmosphère réduisant le temps de vie des satellites expérimentaux qui s'y aventurent

Les Réponses possibles (7)

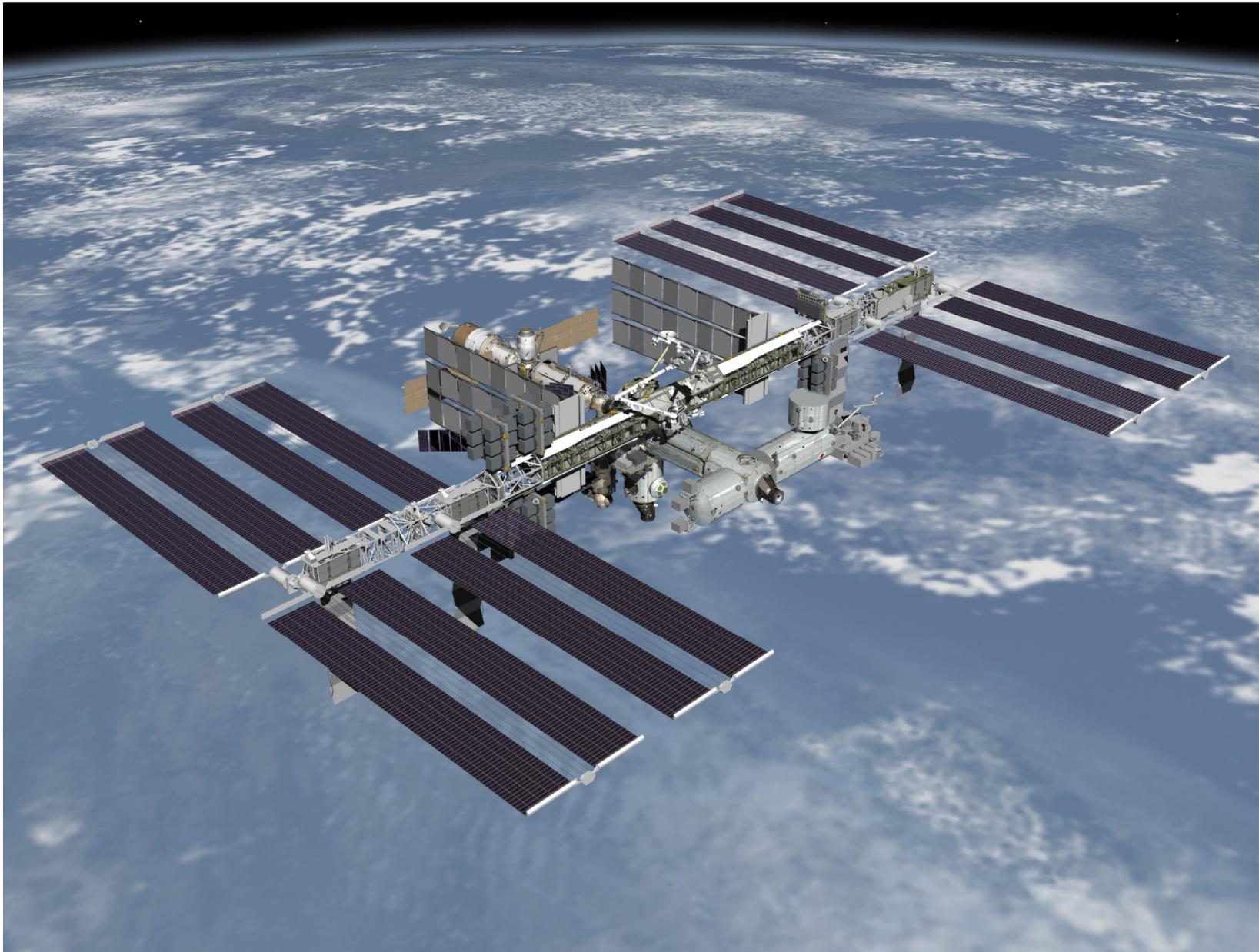
- Certains véhicules expérimentaux tels que GOCE ou IXV permettent d'acquérir des paquets de données expérimentales lors de leur ré-entrée dans l'atmosphère terrestre
- La mise en orbite prochaine de nanosatellites au prix de production limité et de faible coût de lancement devrait permettre d'avoir des campagnes de mesures plus systématiques. Le satellite QARMAN construit par le VKI en sera un exemple



Les Réponses possibles (8)

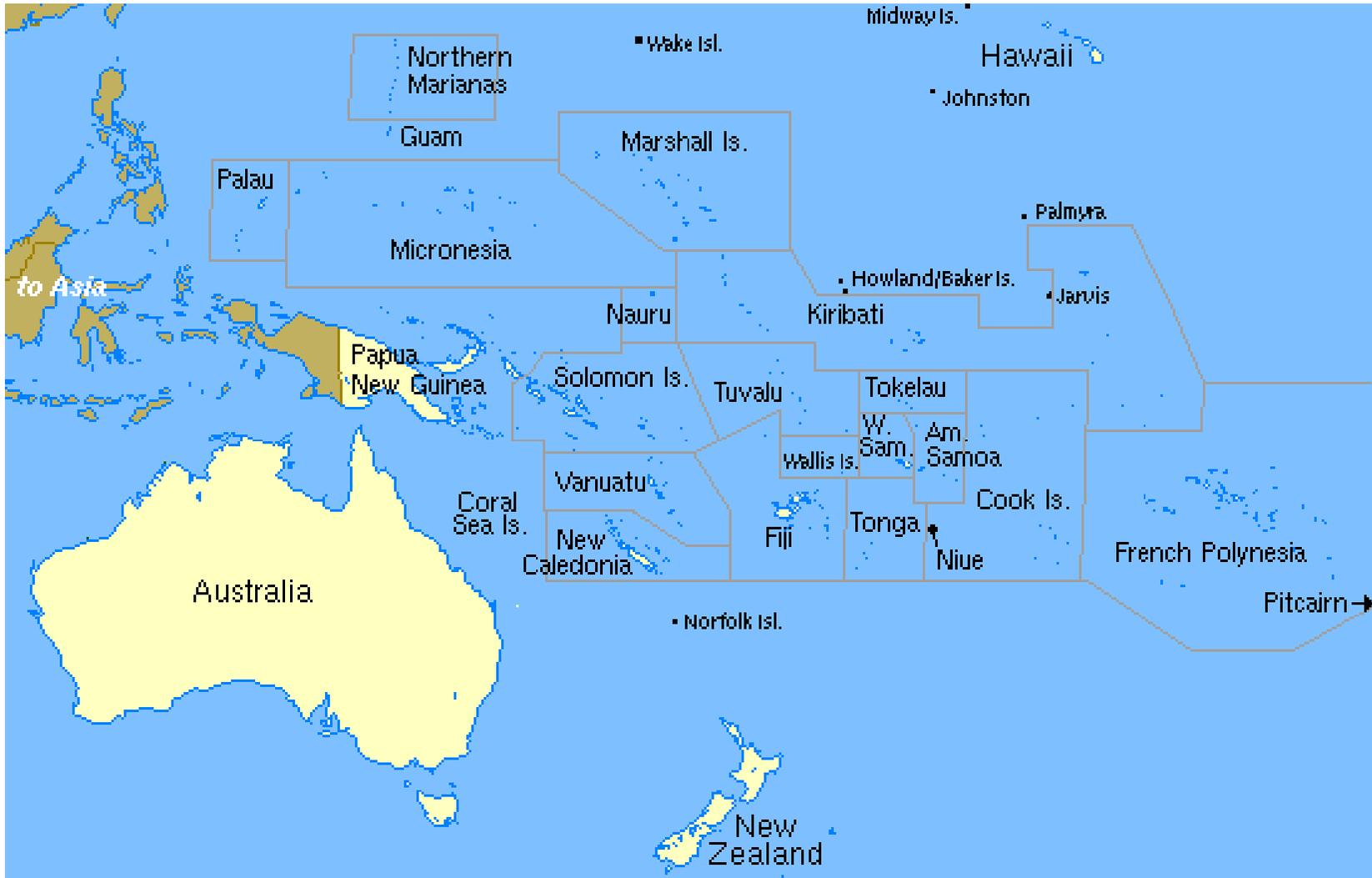
- Il ne faut pas oublier qu'un jour pas si lointain (2024?), même la Station Spatiale Internationale arrivée en fin de vie, pour éviter qu'elle ne devienne un débris spatial particulièrement significatif, devra être désorbitée et rentrer dans l'atmosphère terrestre
- Pour les satellites encore à lancer, le choix de matériaux devant brûler dans l'atmosphère et d'ergols « verts » est essentiel

Les 418 Tonnes de l'ISS



Les Réponses possibles (9)

- Réentrée contrôlée signifie finir dans la bonne (moins mauvaise?) zone d'impact. Comme au basket-ball, il faut bien envoyer le ballon dans le panier. Vu l'absence de terres habitées, quelques récifs et atolls tout au plus, ce panier est constitué par la zone centrale de l'océan Pacifique, s'inscrivant dans le trapèze formé par Hawaii et les îles Marshall au Nord et par les îles Salomon et la Polynésie Française au Sud,



Les Réponses possibles (10)

- Pour la *sortie d'orbite* proprement dite, la taille des débris dicte le recours à différentes technologies. Pour les faibles tailles, on peut tenter de désorbiter en vaporisant avec un laser à partir du sol une partie de leur surface, l'ablation ainsi réalisée modifiant leur vitesse orbitale. Le LODR (Laser Orbital Debris Removal) a été étudié dans plusieurs cas, la précision de pointage et le niveau de puissance requis sont accessibles technologiquement. La réticence à l'utilisation de lasers depuis le sol n'est pas tellement technologique ou économique mais liée aux abus potentiels qu'elle pourrait générer au travers d'applications militaires

Les Réponses possibles (II)

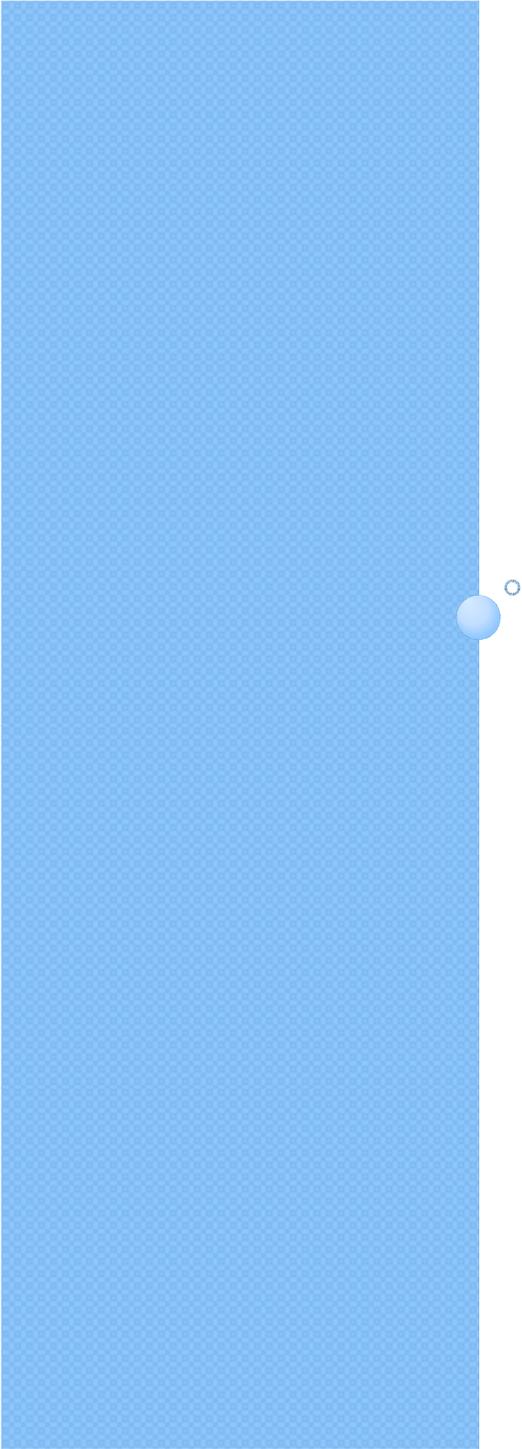
- Pour les débris plus importants en taille, il s'agit de les mettre sous contrôle avant de les faire rentrer de manière sûre dans l'atmosphère. Ceci requiert le développement d'une panoplie de technologies, notamment des mécanismes de déploiement de grappins rigides ou de filets de capture, les dispositifs accrocheurs assurant ensuite la réentrée au bon endroit. Vu le caractère non-coopératif de l'objet à agripper, la robotique est d'importance prioritaire dans ce domaine

Les Réponses possibles (12)

- On peut aussi envisager des dispositifs accroissant la traînée spatiale et accélérant par conséquent la réentrée du débris:
 - De la mousse expansible formant un volume supplémentaire autour de l'objet incriminé,
 - Le déploiement sur le débris d'une voile solaire
 - Ou encore le déploiement depuis le débris d'un ruban conducteur qui, traversant les lignes du champ magnétique terrestre, assure un freinage électrodynamique

Les Réponses possibles (13)

- Ne pas oublier les aspects institutionnels et juridiques:
 - Code de conduite des Nations Unies traduit sur le plan législatif dans certains pays dont la Belgique
 - Qui paie pour la surveillance? Idem pour l'élimination des débris en orbite? Principe Pollueur-Payeur ?



CONCLUSION



Le problème des menaces venant de l'espace mérite d'être traité; entre ignorance et panique, il faut trouver un juste milieu

Les débris spatiaux requièrent le plus d'attention vu la réalité et l'acuité du risque

Pour les menaces naturelles, il s'agit de bien appliquer le principe de précaution. Surveillance et éventuelle réduction du risque ne peuvent se faire qu'à des coûts justifiables, en tenant compte du fait que la vulnérabilité de notre Société croit non seulement avec une démographie galopante mais aussi par un recours quelquefois exagéré à la technologie



**“L’inaction, c’est comme la traînée
aérodynamique, cela peut conduire à la
destruction”**



MERCI POUR VOTRE ATTENTION