

LES GEOCROISEURS

(Near Earth Object)

Nécessité d'une approche système

Max CALABRO

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.



Sources:

Présentations AAAF:

Alessandro Morbidelli (Obs. Nice)

Charles Frankel (Géologue)

Willy Benz (Univ. Berne)

Alain Souchier (Snecma-Moteurs)

Richard Crowther (Rutherford AL UK)

Christophe Bonnal (Cnes)

Site NASA



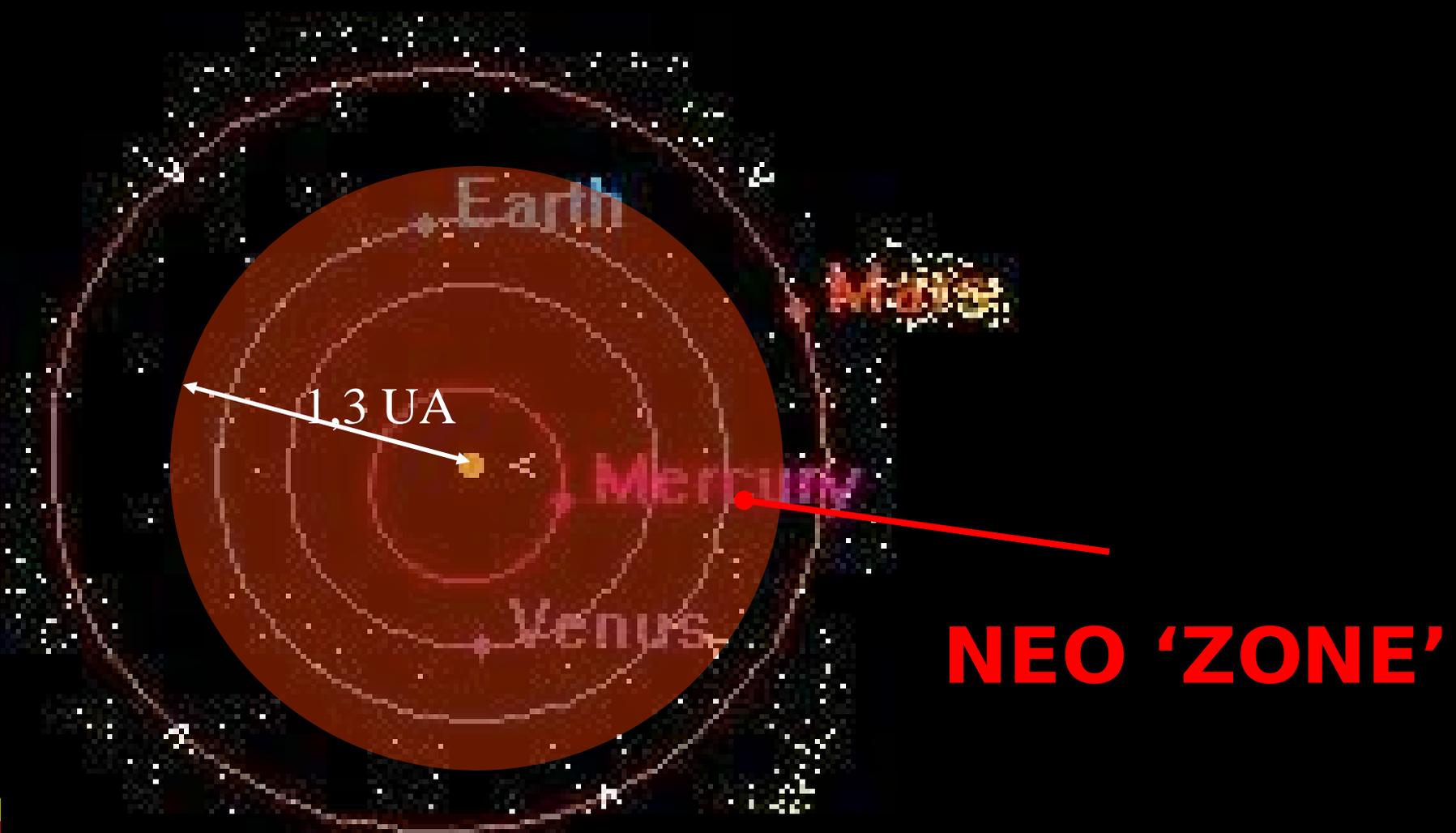


**Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.**



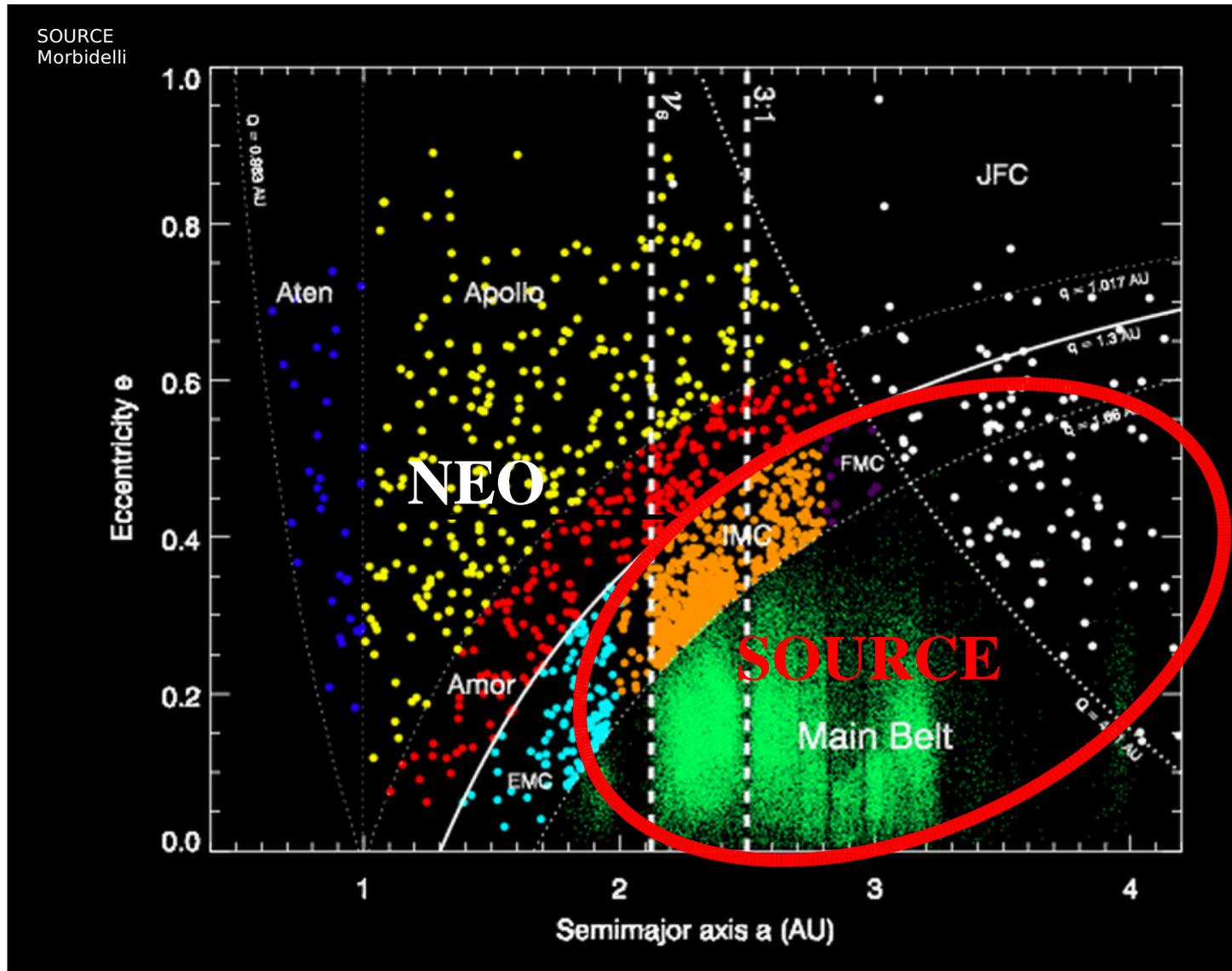
DEFINITION:

GEOCROISEUR = NEO (Near Earth Object)



NEO 'ZONE'

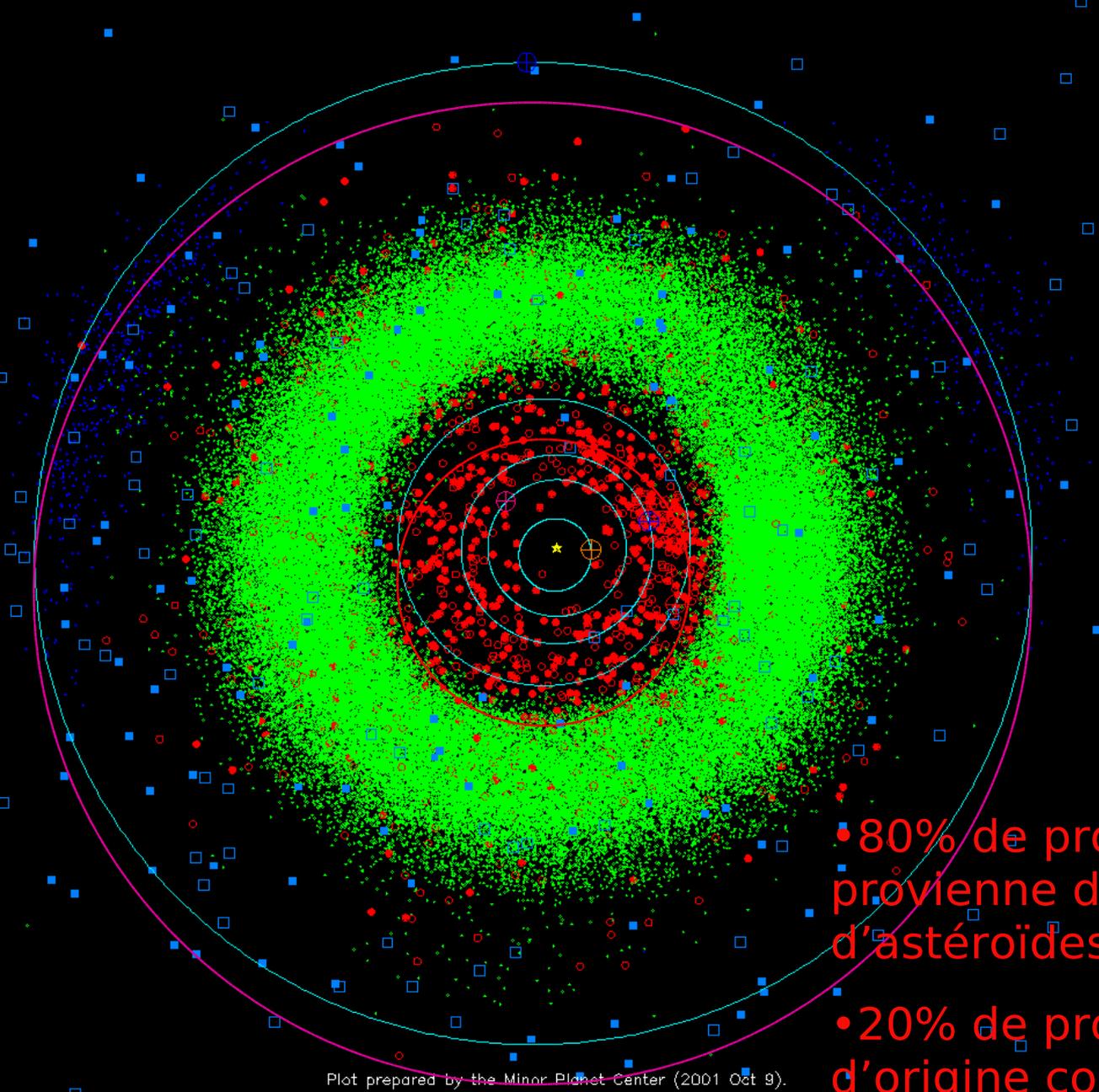
DEFINITION DES GEOCROISEURS DANS L'ESPACE ORBITAL



septembre 2005.



**Seul un petit
pourcentage de
comètes et
astéroïdes sont
des NEOs**



• 80% de probabilité qu'il
provienne de la Ceinture
d'astéroïdes ($a < 2,5 \text{UA}$),

• 20% de probabilité qu'il soit
d'origine cométaire

Plot prepared by the Minor Planet Center (2001 Oct 9).

**Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.**

Identification de la menace

2 organisations centralisent l'information:

- SENTRY (NASA) à Pasadena (mise en place 2002)
- NEODyS à Pise dupliquée à Valladolid

Les 2 sont complémentaires et dialoguent constamment

1175 sites d'observation regroupés en réseaux

- Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR)
- Near-Earth Asteroid Tracking (NEAT)
- Spacewatch
- Lowell Observatory Near-Earth Object Search (LONEOS)
- Catalina Sky Survey
- Japanese Spaceguard Association (JSGA)
- Asiago DLR Asteroid Survey (ADAS))

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Les réseaux de détection actuellement existants

LINEAR, avec ses deux télescopes d'un mètre domine largement la course



Source: Morbidelli

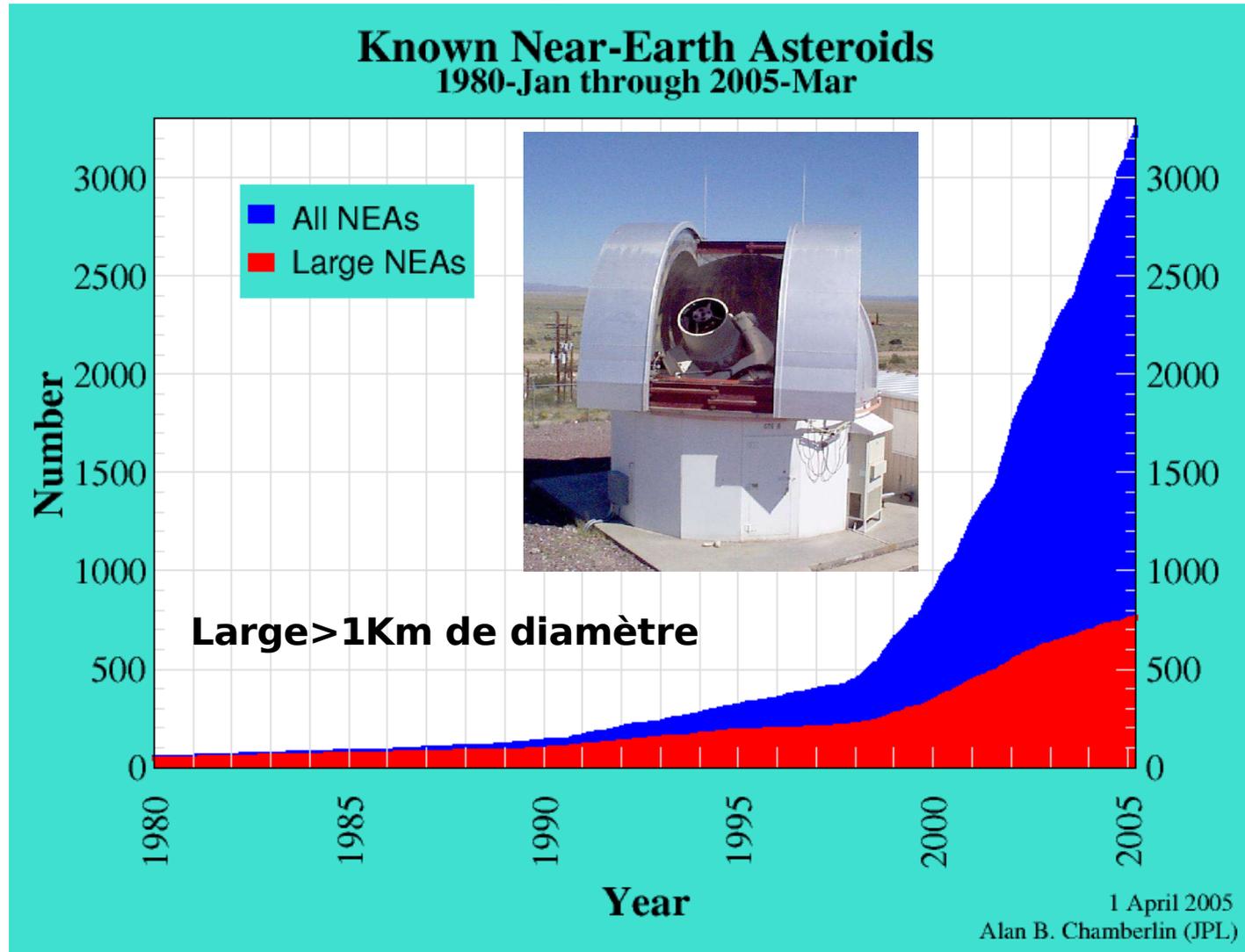
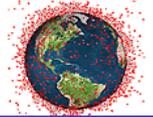
Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



CUMULATIVE NEO DISCOVERIES

Johnson Space Center, Houston,
Texas

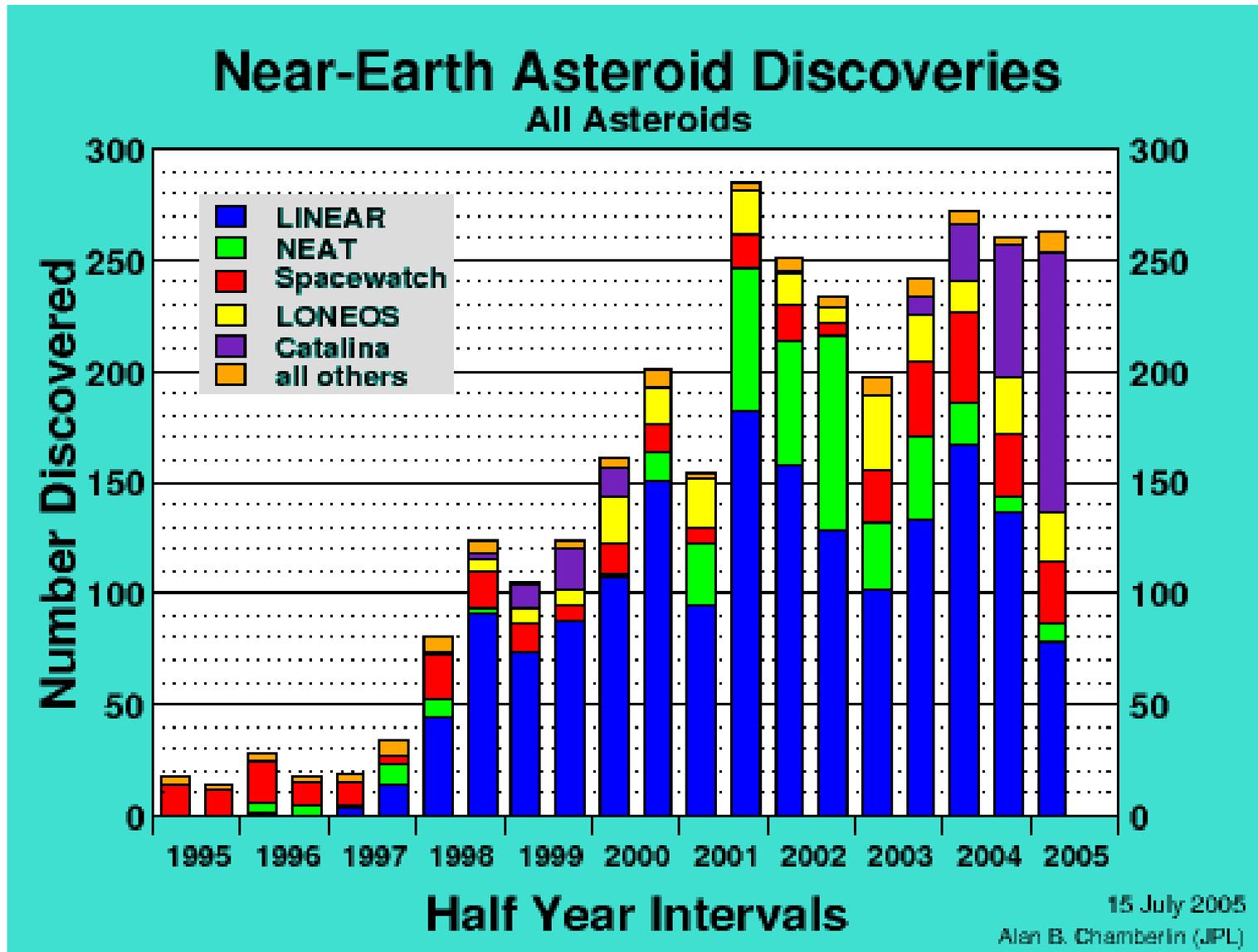
Orbital Debris Program
Office



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.



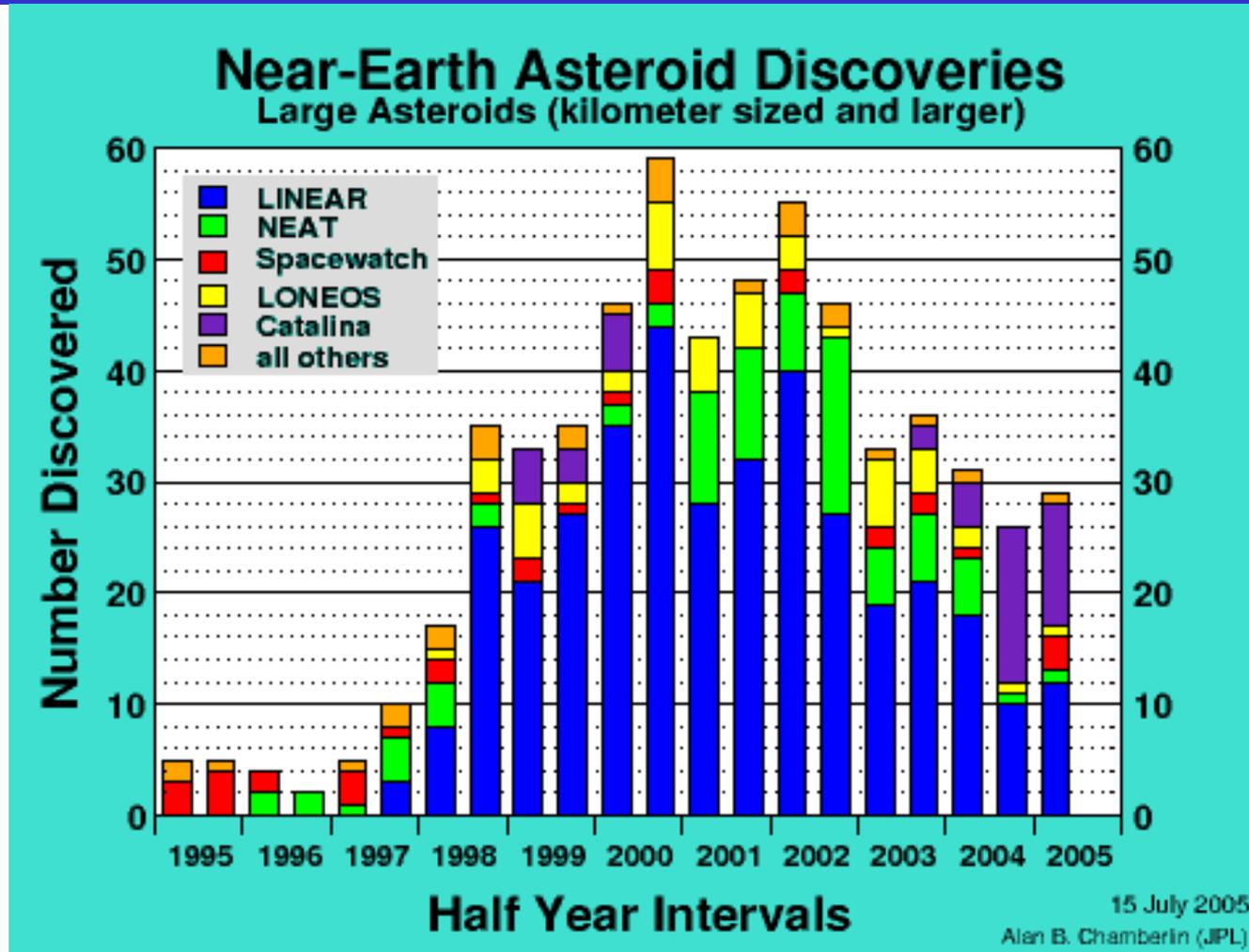
Découverte de Géocroiseurs



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Découverte de Géocroiseurs



90% découverts avant 2035?

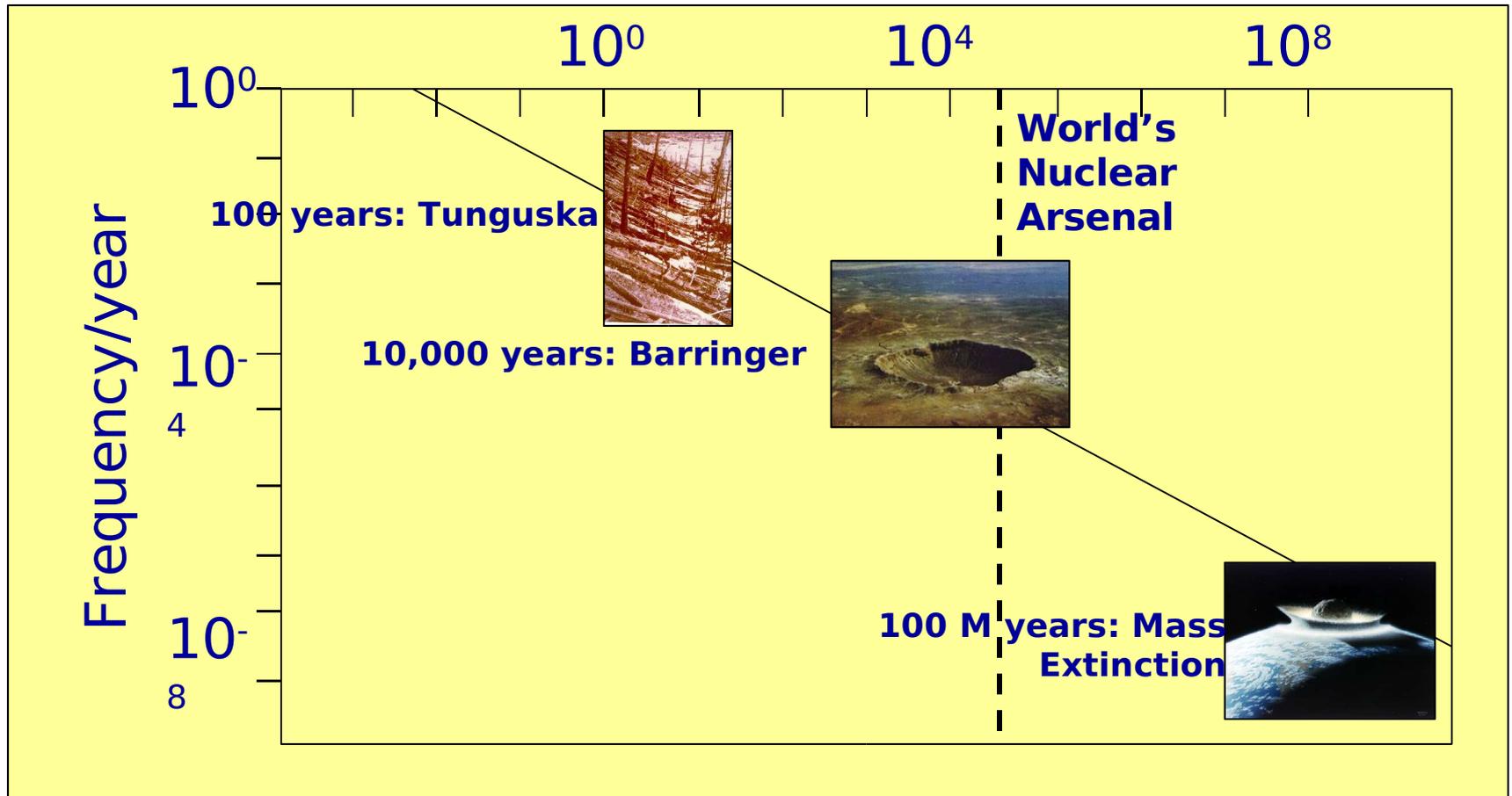
Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



NEO Risk Matrix

NEO size (m)	Probability/century	Location of Break-Up	Extent of Devastation (first order)
10	6 per century	Mesosphere	
30	1 / 2.5	Stratosphere	< 10 km
100	1 / 100	Troposphere	Regional
300	1 / 500	Ground	National
1,000	1 / 5000	Ground	Continental
10,000	< 1 / 1,000,000	Ground	Global

Megatons TNT Equivalent



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Découverte de Géocroiseurs

69 NEAs: Last Updated Aug 28, 2005

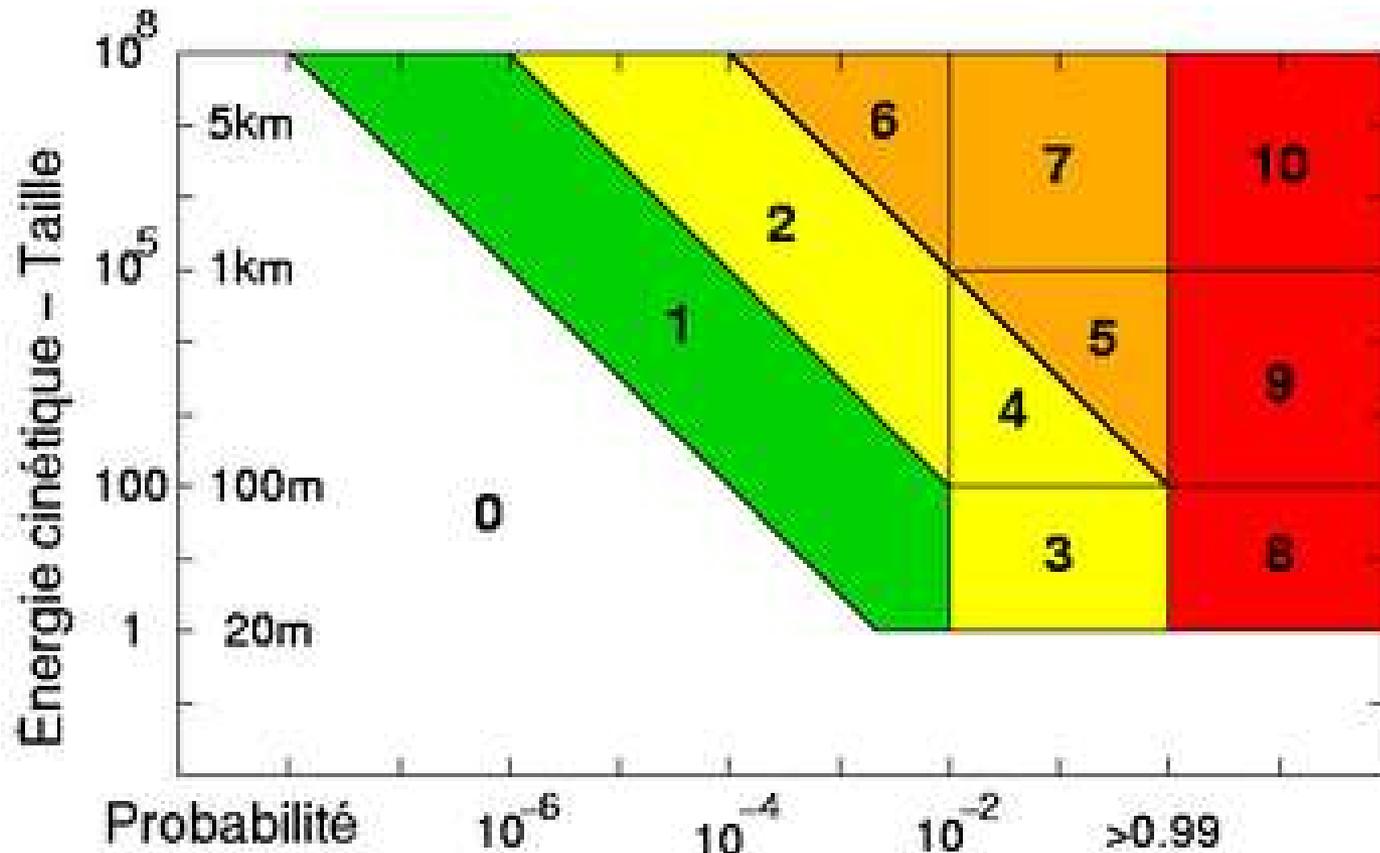
Sort by [Palermo Scale \(cum.\)](#) or by [Object Designation](#)

Object Designation	Year Range	Potential Impacts	Impact Prob. (cum.)	V_{∞} (km/s)	H (mag)	Est. Diam. (km)	Palermo Scale (cum.)	Palermo Scale (max.)	Torino Scale (max.)
2004 VD17	2091-2104	5	1.1e-04	18.22	18.8	0.580	-1.06	-1.13	1
99942 2004 MN4	2036-2056	4	1.8e-04	5.87	19.2	0.320	-1.35	-1.35	1
1997 XR2	2101-2101	2	9.7e-05	7.17	20.8	0.230	-2.44	-2.71	1
1994 WR12	2054-2102	134	1.0e-04	9.84	22.4	0.110	-2.96	-3.75	0
1979 XB	2056-2101	3	3.3e-07	24.54	18.5	0.685	-3.07	-3.14	0
2000 SG344	2068-2101	68	1.8e-03	1.37	24.8	0.040	-3.08	-3.43	0
2000 QS7	2053-2053	2	1.3e-06	12.32	19.6	0.420	-3.27	-3.46	0
1998 HJ3	2100-2104	3	2.1e-07	24.09	18.4	0.694	-3.49	-3.69	0
2004 XK3	2029-2104	66	1.7e-04	6.55	24.5	0.040	-3.81	-4.06	0
1994 GK	2051-2071	7	6.1e-05	14.87	24.2	0.050	-3.83	-3.84	0



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.

Échelle de Turin



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.

Mesures pour éviter une collision

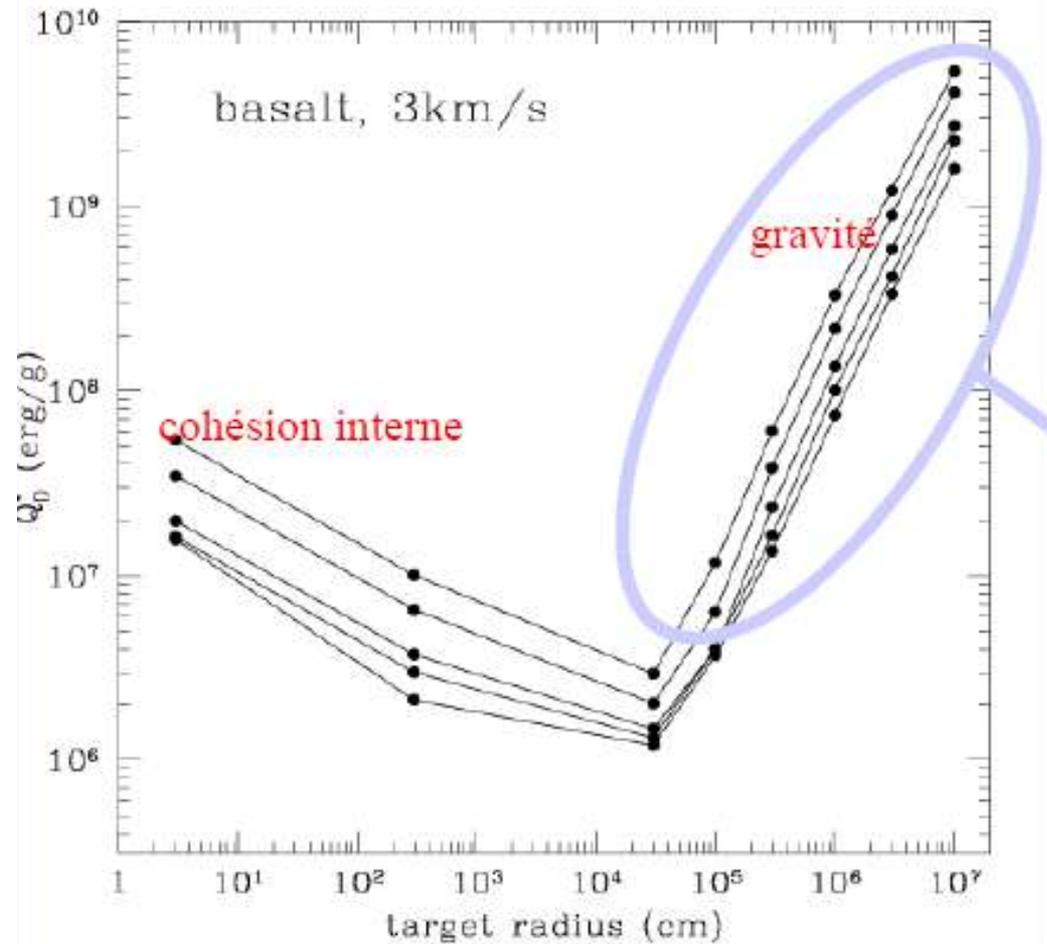
- - faire exploser l'objet mais que deviennent les débris?
- - faire dévier l'objet
 - à l'aide d'une explosion
 - à distance
 - à la surface
 - sous la surface
 - à l'aide d'un impact
 - en évaporant la surface
 - à l'aide d'un système propulsif

la réponse de l'objet dépend de sa structure interne...



Énergie requise pour détruire d'un astéroïde

**Pour un objet de D=1
km:
E=31.2 Kt TNT ...
soit
~ 2.5 la bombe
d'Hiroshima**



Déviation Propulsée des Géocroiseurs

Principe :

NEO défini par ses paramètres orbitaux

ΔV appliqué :

- . Soit à son aphélie en impulsif
- . Soit en intégrant une accélération faible pendant

longtemps

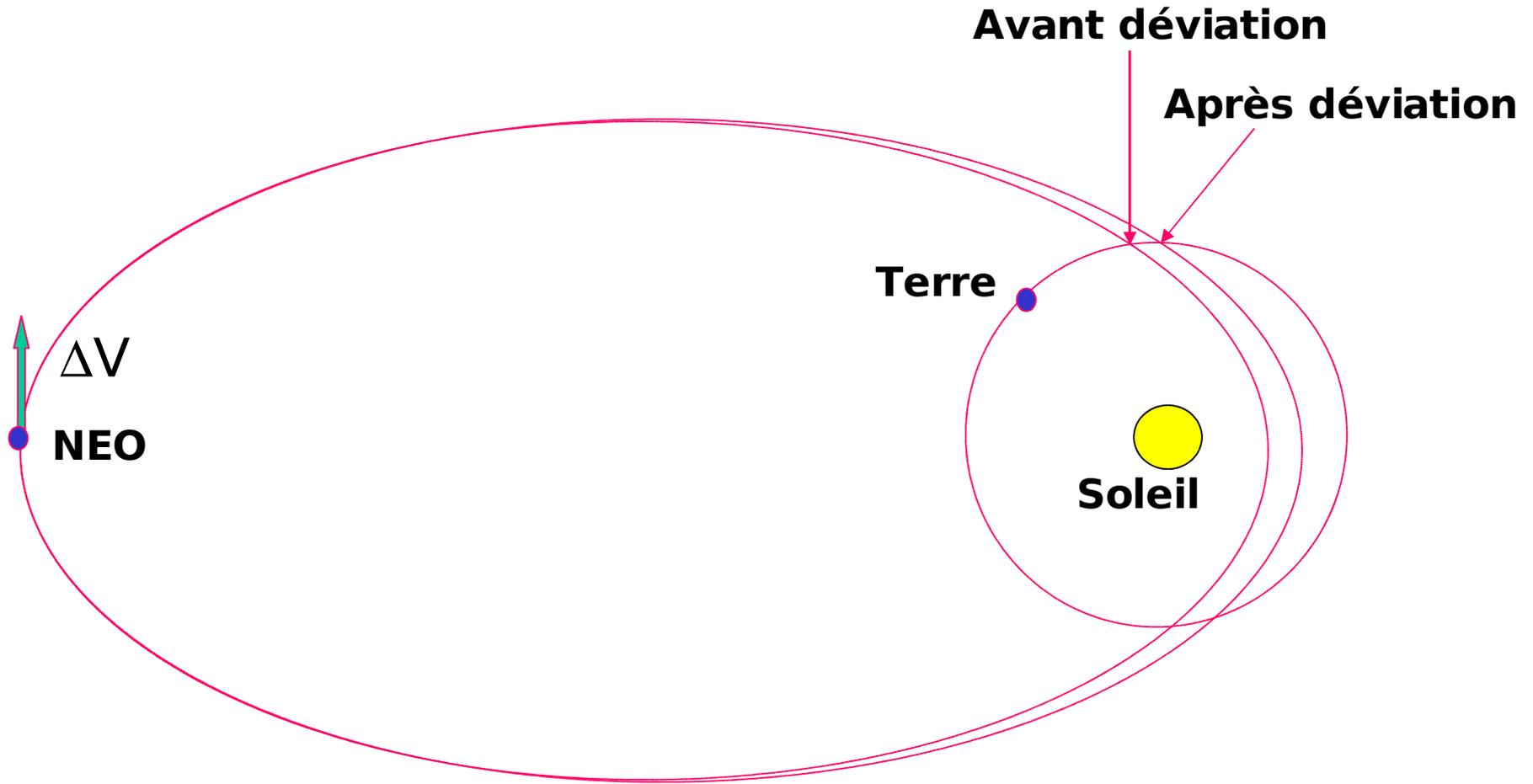
Déviations visées pour respecter un critère d'évitement de la Terre :

- . Par exemple, évitement de 10 diamètres Terrestres (127.000 km)
(en réalité, plus complexe : probabilité de collision < seuil)

Déviations = combinaison de :

- . Modification des paramètres orbitaux (distances)
- . Modification des dates de passage (temps) avec prise en compte du déplacement de la Terre sur son orbite autour du Soleil (30 km/s)

Déviations des Géocroiseurs (Impact ou propulsion)



Déviations des Géocroiseurs (Impact ou propulsion)

Exemple :

NEO : Aphélie = 10 UA (Saturne) ; Périhélie = 0,5 UA Période 12 ans

ΔV appliqué : 1 m/s en impulsionnel à l'Aphélie

. Faible modification du Périhélie : + 54.000 km

. Retard de passage à 1 UA : + 9.760 s = 2,7 heures \cong +292.800 km

Déviations résultantes : 23 Diamètres Terrestres

Critère d'évitement :

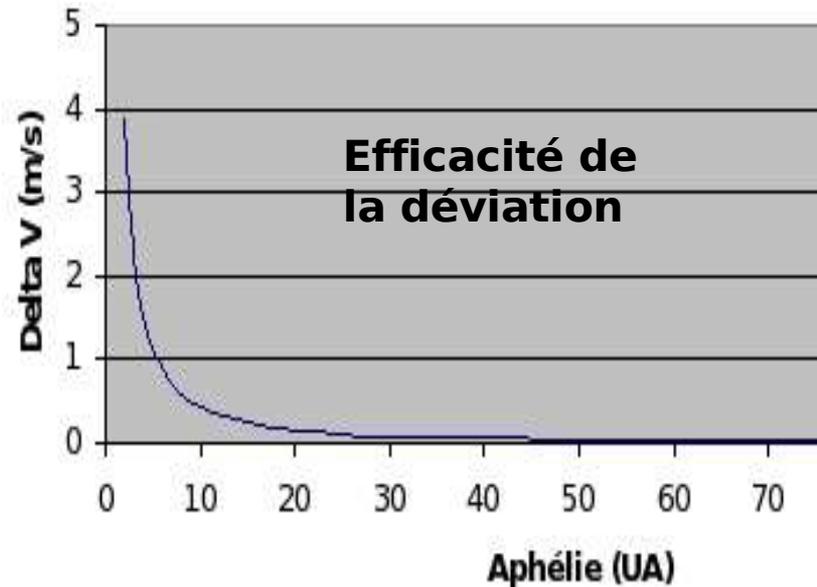
10 Diamètres Terrestres

ΔV requis \cong 0,2 m/s

Application aux autres valeurs :

Nota : . le ΔV croît très fortement quand l'Aphélie diminue !

. en réalité plus complexe (trajectoire 3D)



Déviations Propulsées des Géocroiseurs

Ordres de grandeurs correspondants :

1. Petit NEO de 50 mètres de diamètre, densité 2500 Masse : 165.000 t

ΔV appliqué faible : 0,2 m/s

Technologie : Ergols stockables (Isp 330 s) Masse d'ergols 10 t (EPS)

 Propulsion Nucléo-électrique (Isp 3000 s) Masse d'ergols 1 t

2. Moyen NEO de 100 mètres de diamètre, densité 2500 Masse : 1.300.000 t

ΔV appliqué moyen : 0,5 m/s

Technologie : Ergols stockables (Isp 330 s) Masse d'ergols 200 t

 Propulsion Nucléo-électrique (Isp 3000 s) Masse d'ergols 22 t

3. Gros NEO de 200 mètres de diamètre, densité 2500 Masse : 10.500.000 t

ΔV appliqué notable : 1 m/s

Technologie : Ergols stockables (Isp 330 s) Masse d'ergols 3.200 t

 Propulsion Nucléo-électrique (Isp 3000 s) Masse d'ergols 350 t



Déviations Propulsées des Géocroiseurs

Besoin en orbite Basse: Propulsion Ergols
Stockables

1. Petit NEO de 50 mètres de diamètre, Masse d'ergols 10 t

2. Moyen NEO de 100 mètres de diamètre, Masse d'ergols 200 t
(Swing By)

Directe

Via Vénus

Cryo

Nucléo élect.

Cryo

Nucléo élect.

Mission 1

165

62

40,5

28

Mission 2

2920

500

542

313

Demande au minimum (petit NEO) un Lanceur 2 à 3 fois plus puissant qu'Ariane 5 actuel

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Déviatiun Propulsée des Géocroiseurs

Synthèse :

Déviatiun Rendez-vous (cf NEAR, Rosetta,...)
 Délai important de réaction (10 ans ?)
 Limité aux objets à période longue
 Population NEO concernée ?
 Mission complexe (swing-by planétaires, cf
Galileo, ...)

Possible à court terme pour des petits objets (50 m) ?

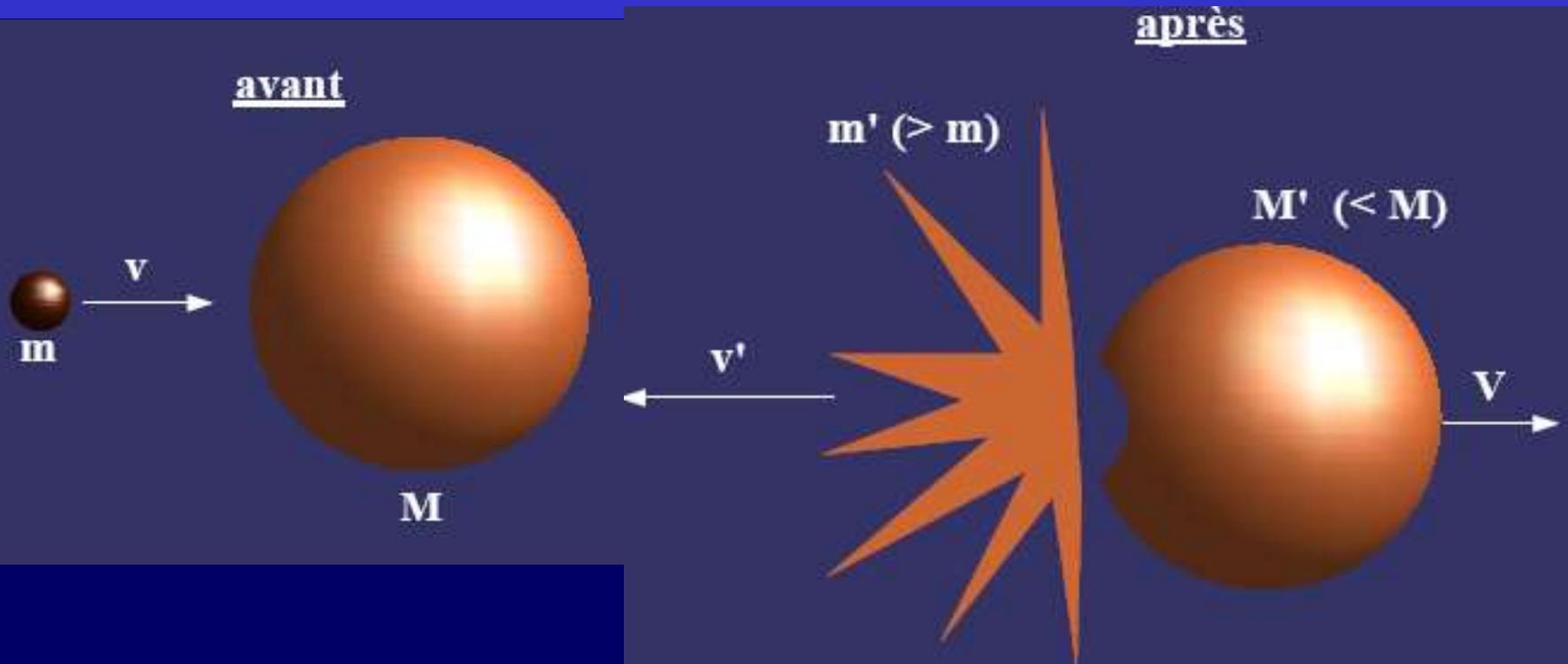
Non crédible pour des gros objets (> 1 km par exemple)

Nota - Mission de référence aux US (NASA + Aerospace) :
 NEO de 200 m de diamètre avec un délai de réaction de
 11 ans

**Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.**



Déviation par transmission d'impulsion



Intéressant dans le cadre d'un scénario complexe de destruction par d'impact hyperveloce ?

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.

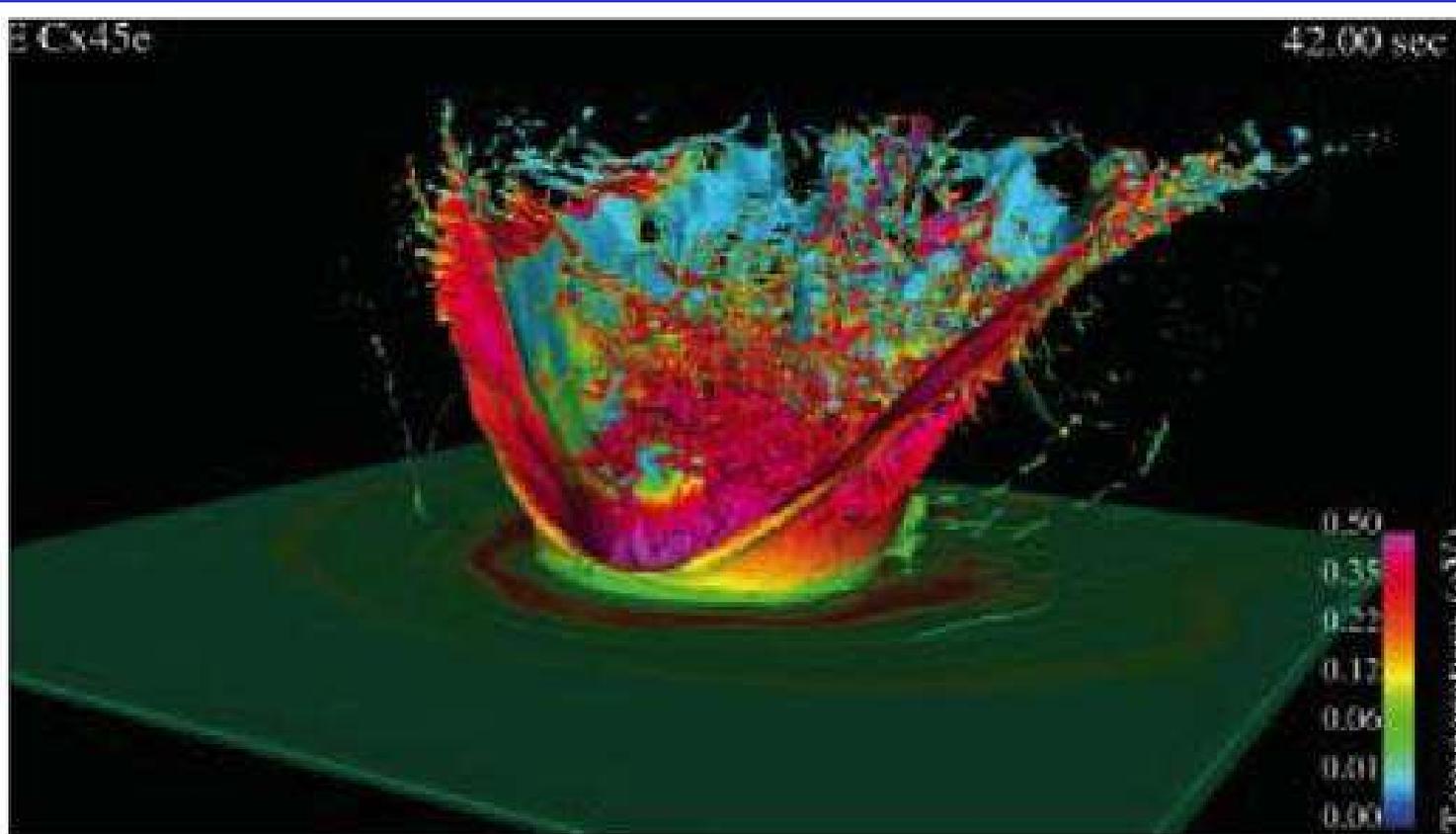


Besoins en simulation

- Des astéroïdes et de scénarios de destruction/déviation
- Des effets d'impact terrestres

Chicxulub: Simulation de l'impact

Yucatan il y a 65 millions d'années-cratère de Diamètre 300Km



In this simulated impact at Chicxulub in the Yucatan, by the asteroid or comet that collided with the Earth 65 million years ago, the projectile strikes the surface at an angle of 45 deg. This image shows the impact plume 39 sec after impact (42 sec after simulation start). Image courtesy of Galen Gisler of Los Alamos National Laboratory.

Aerospace America: Los Alamos National Laboratory

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Simulation de l'impact

Que ce soit celle d'un astéroïde ou de celle des débris résultants d'une fragmentation; les moyens à mettre en œuvre seront très importants

Modélisation des NEOs

- **Petits objets: $R < \text{quelques } 100 \text{ m}$**

- équations de conservations (impulsion, énergie, masse)
- élasticité (loi de Hooke), déformations permanentes (von Mises)

et fracture

- description du matériaux (composition, changement de phases, etc.)

Force de cohésion interne domine

- **Gros objets: $R > 500\text{m}$**

- équations de conservations (impulsion, énergie, masse)
- auto-gravité
- description du matériaux (composition, changement de phases, etc.)

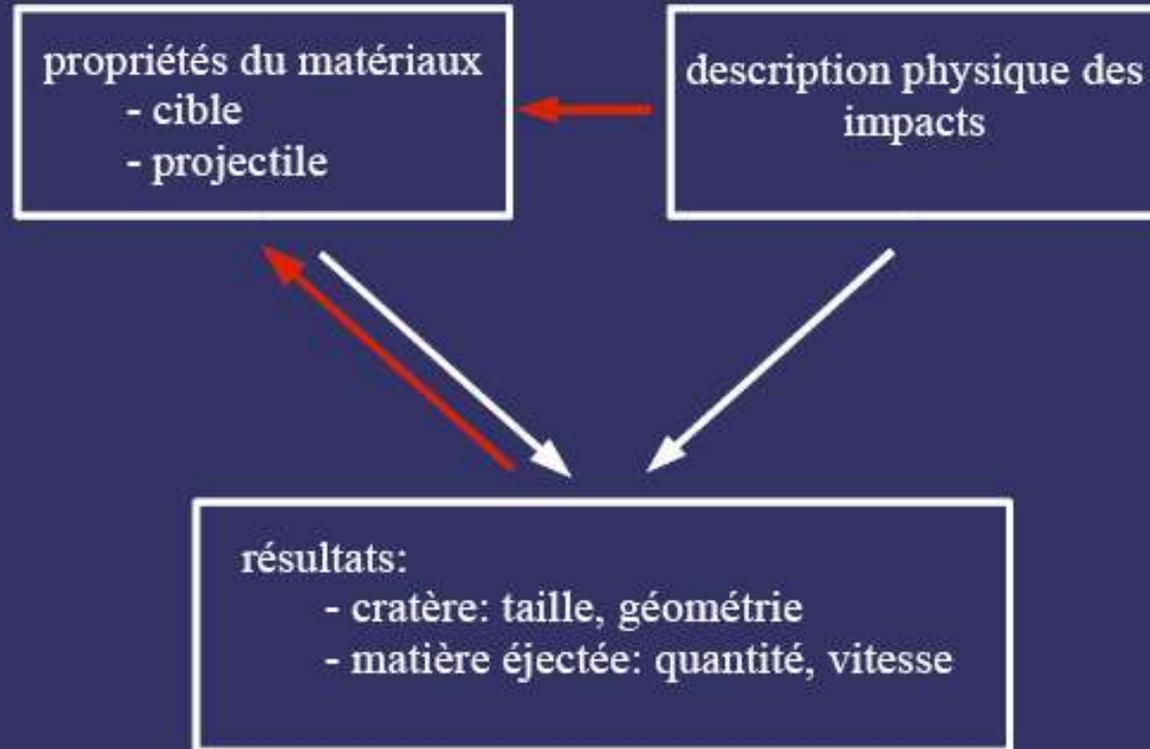
la gravitation domine

Source :Benz



Modélisation des NEOs

Source :Benz



problème inverse!

- difficile
- unicité de la solution

Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.



Exemple: astéroïde poreux

Mathilde

densité moyenne
1.3 Kg/m³

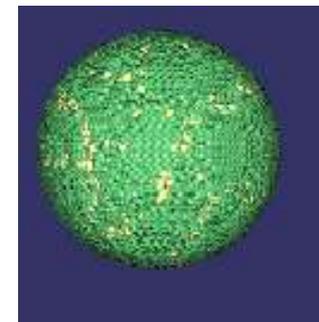
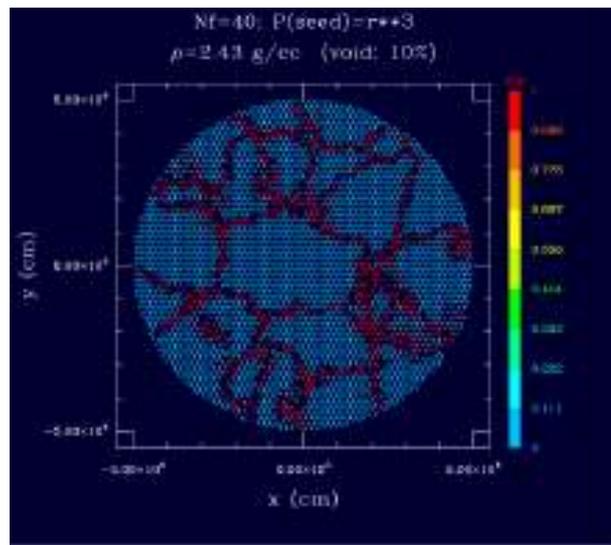
50 km



**Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22
septembre 2005.**

Exemple: astéroïde fracturé

Eros densité moyenne 2.5 Kg/m³



Sixième Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris, 19-22 septembre 2005.

