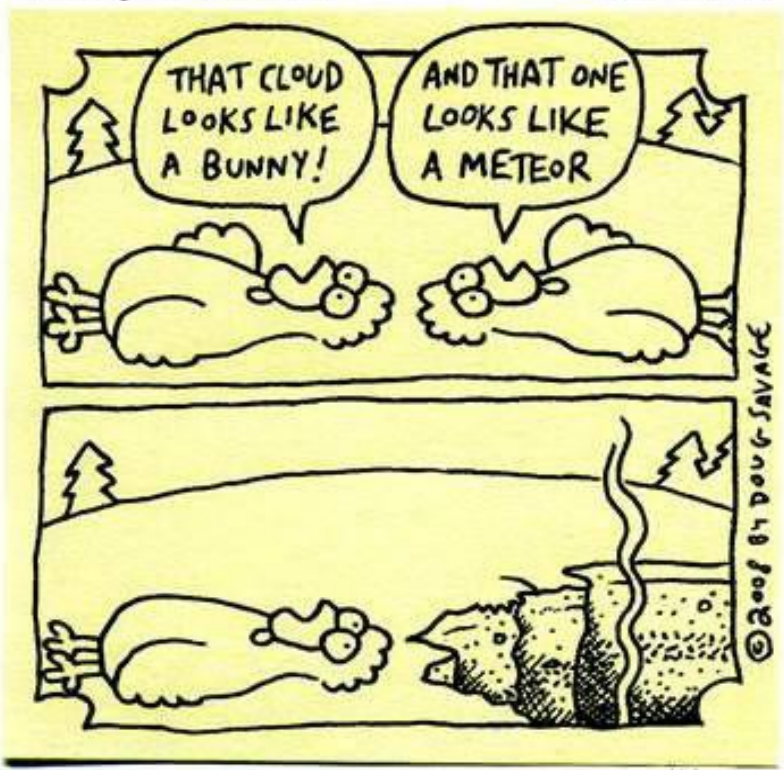




Le réseau FRIPON

Savage Chickens

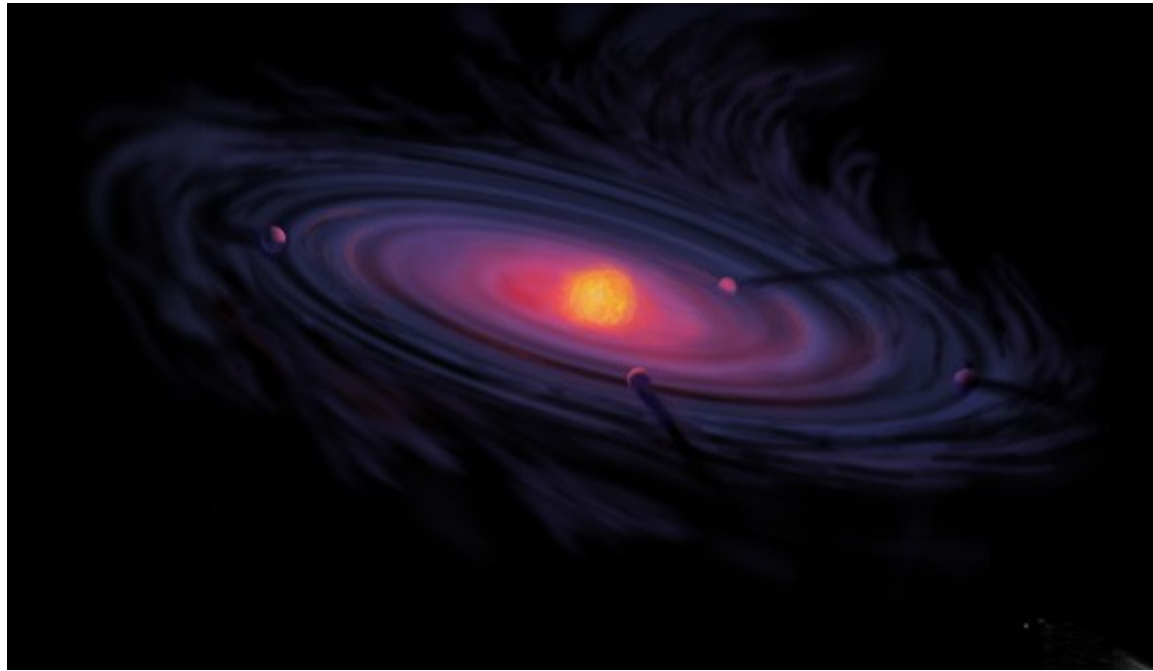
by Doug Savage



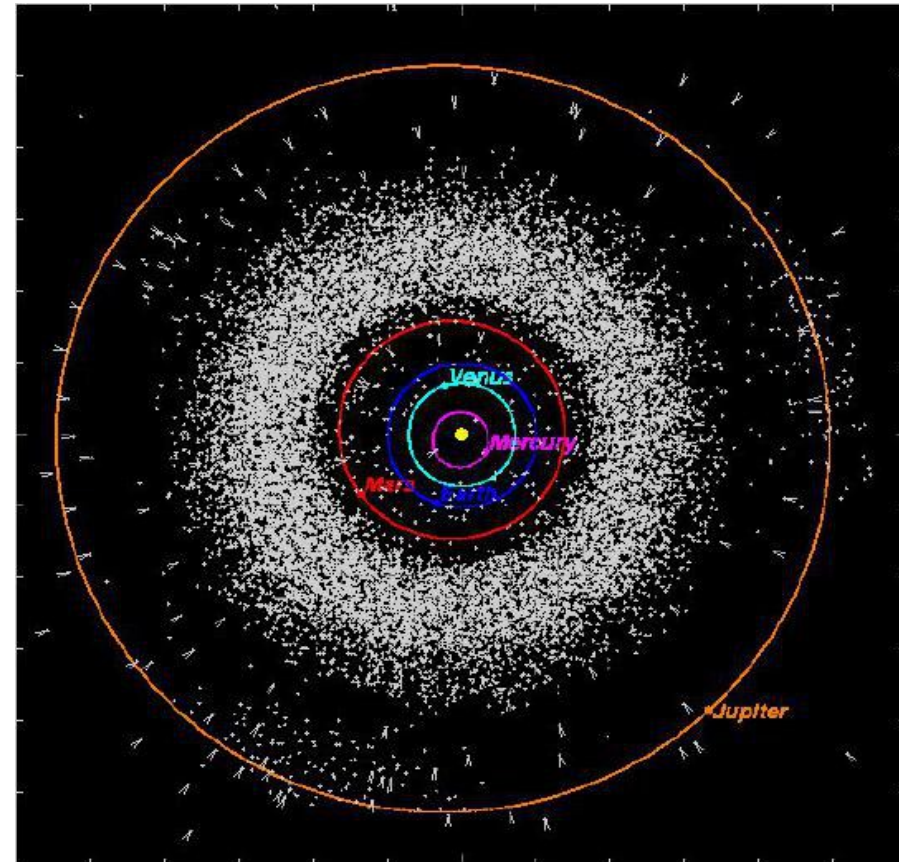
www.savagechickens.com



Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
Mais d'où ?

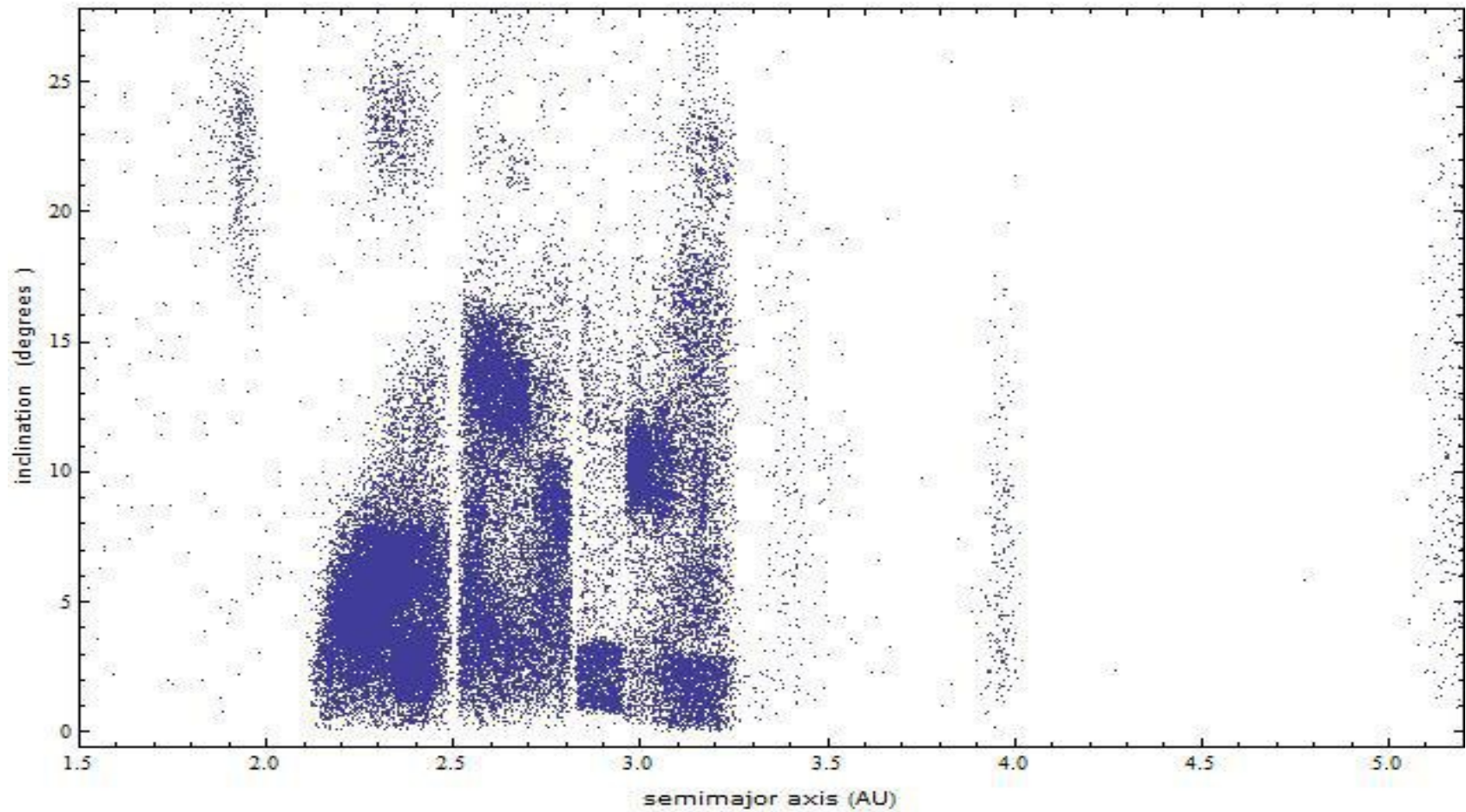


Formation du système solaire



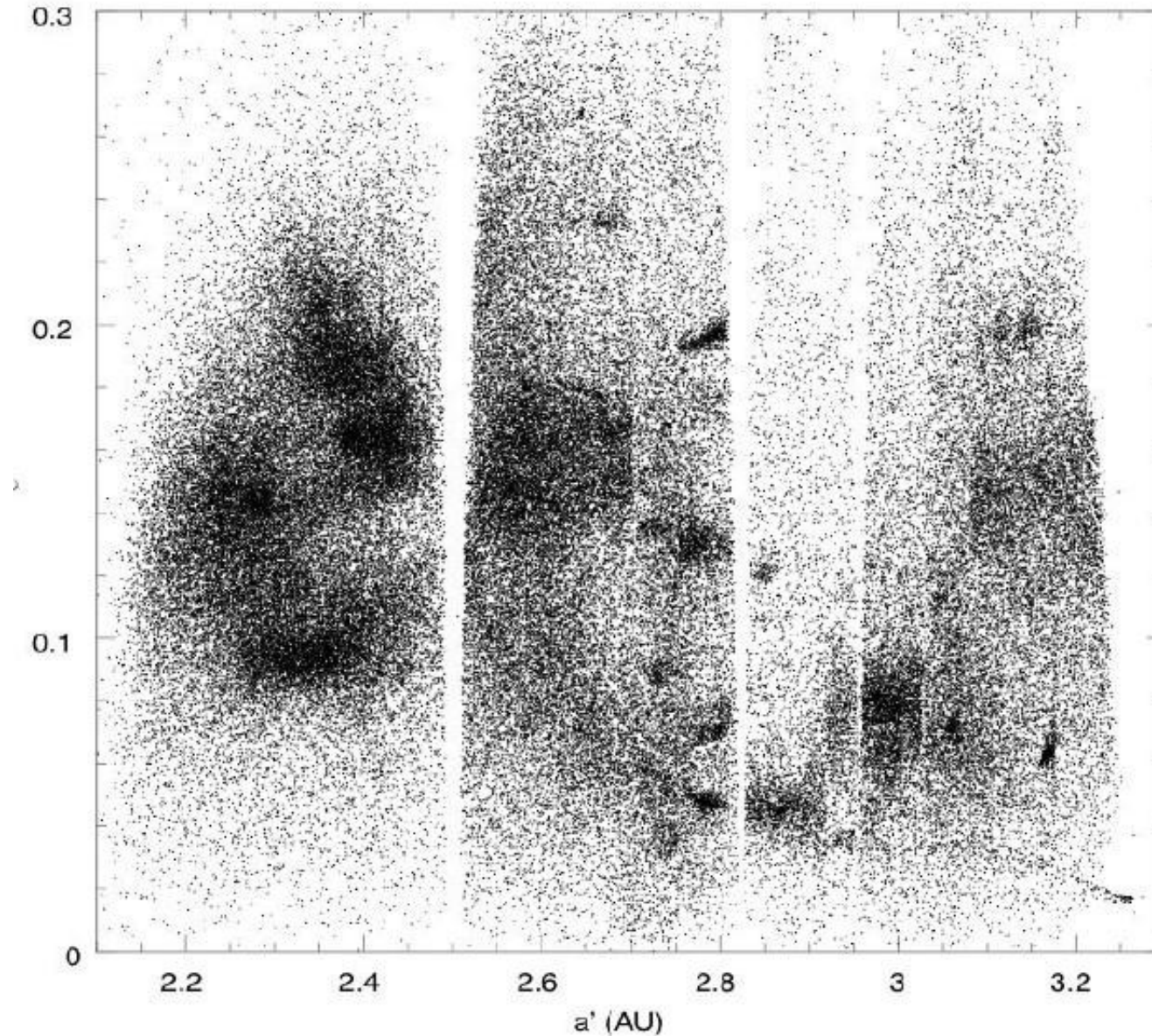
La ceinture d'astéroïdes actuellement

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
Mais d'où ?



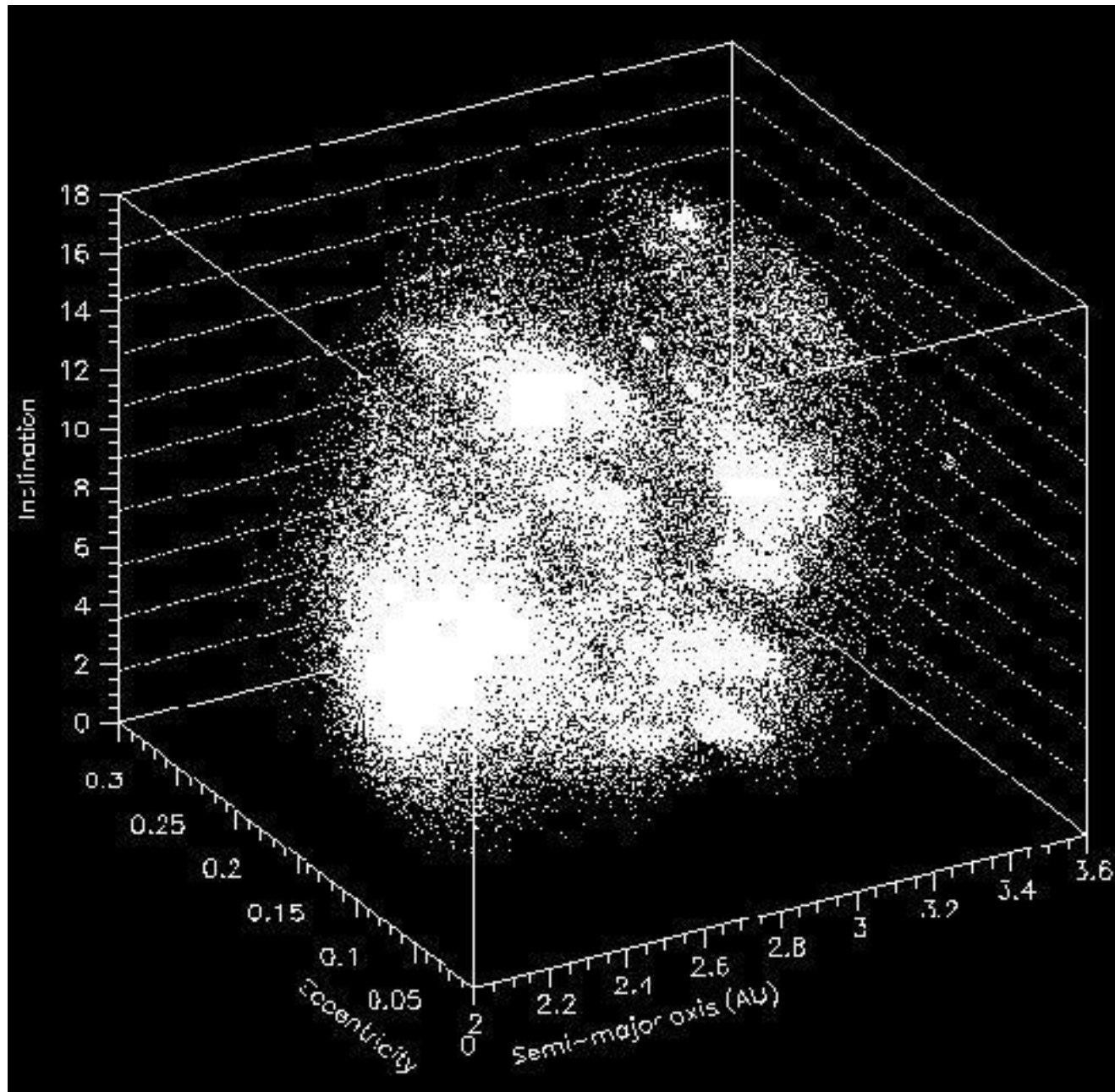
Structure de la ceinture d'astéroïdes

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
Mais d'où ?

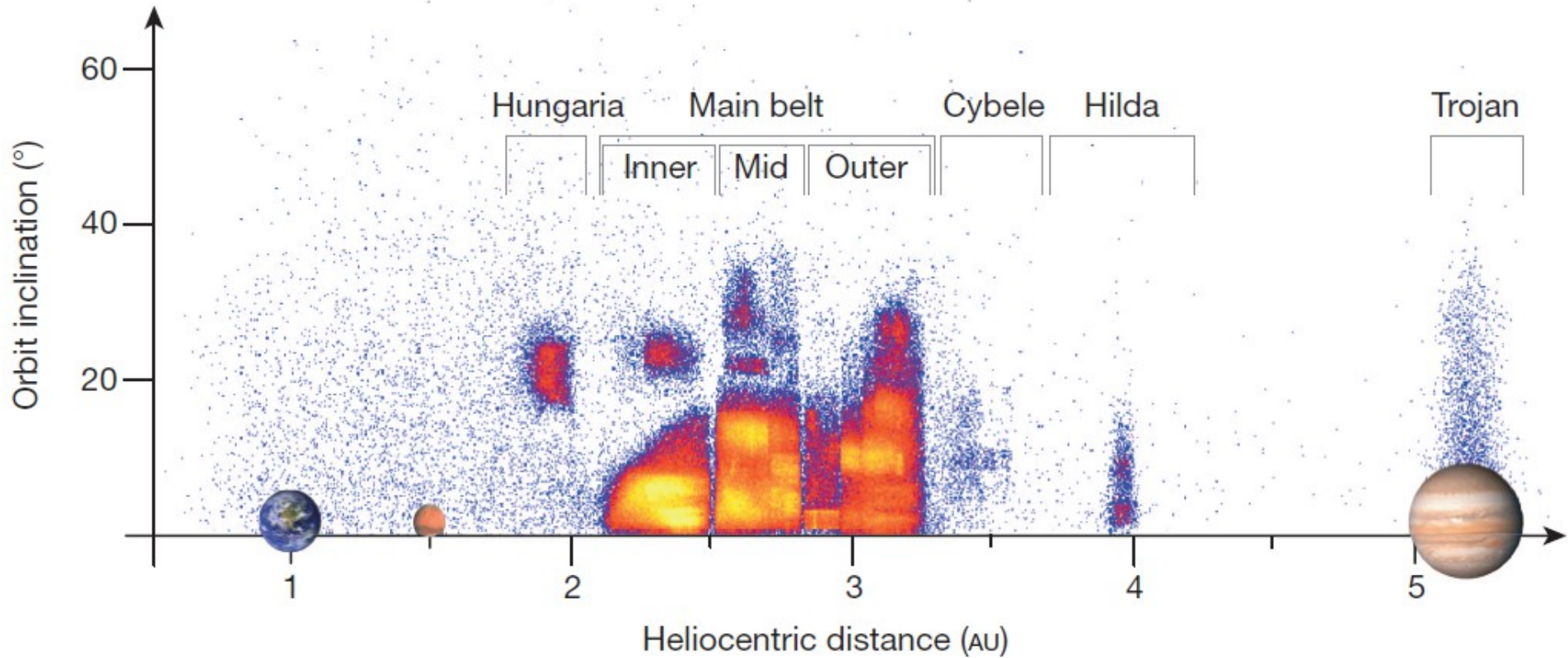


Familles d'astéroïdes

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
Mais d'où ?



Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes, Mais d'où ?



F. E. DeMeo, B. Carry

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
Mais d'où ?

Thorsberg limestone quarry



(from Schmitz et al., 2001, EPSL, v. 194, p.2)

Fossil meteorite and nautiloid shell in Ordovician limestone

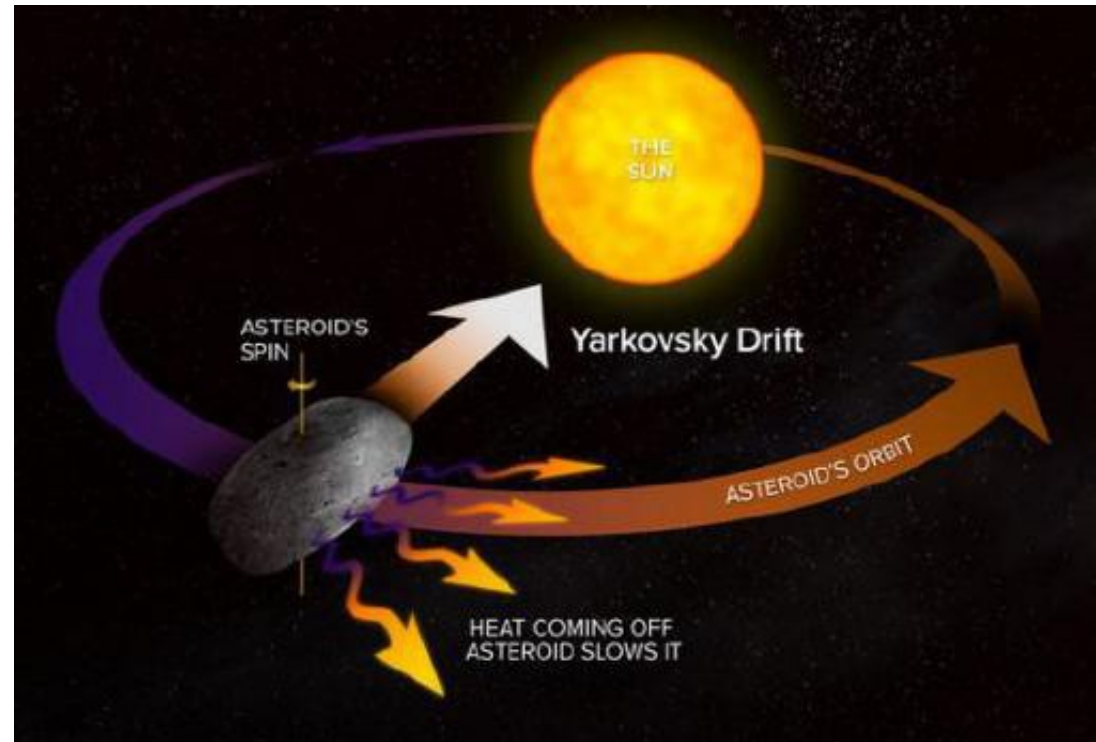
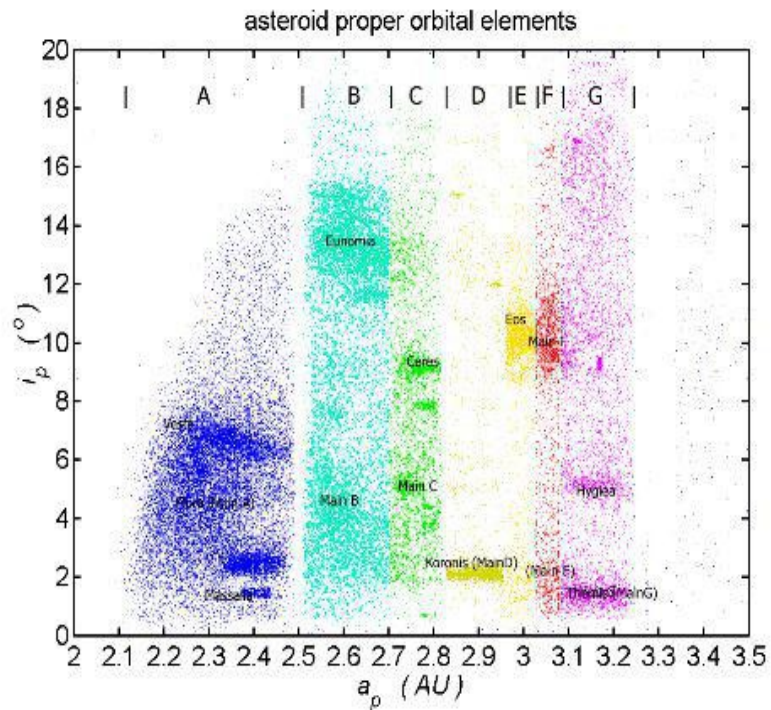


(From Schmitz et al., 2001, EPSL, fig. 3, p.4.)

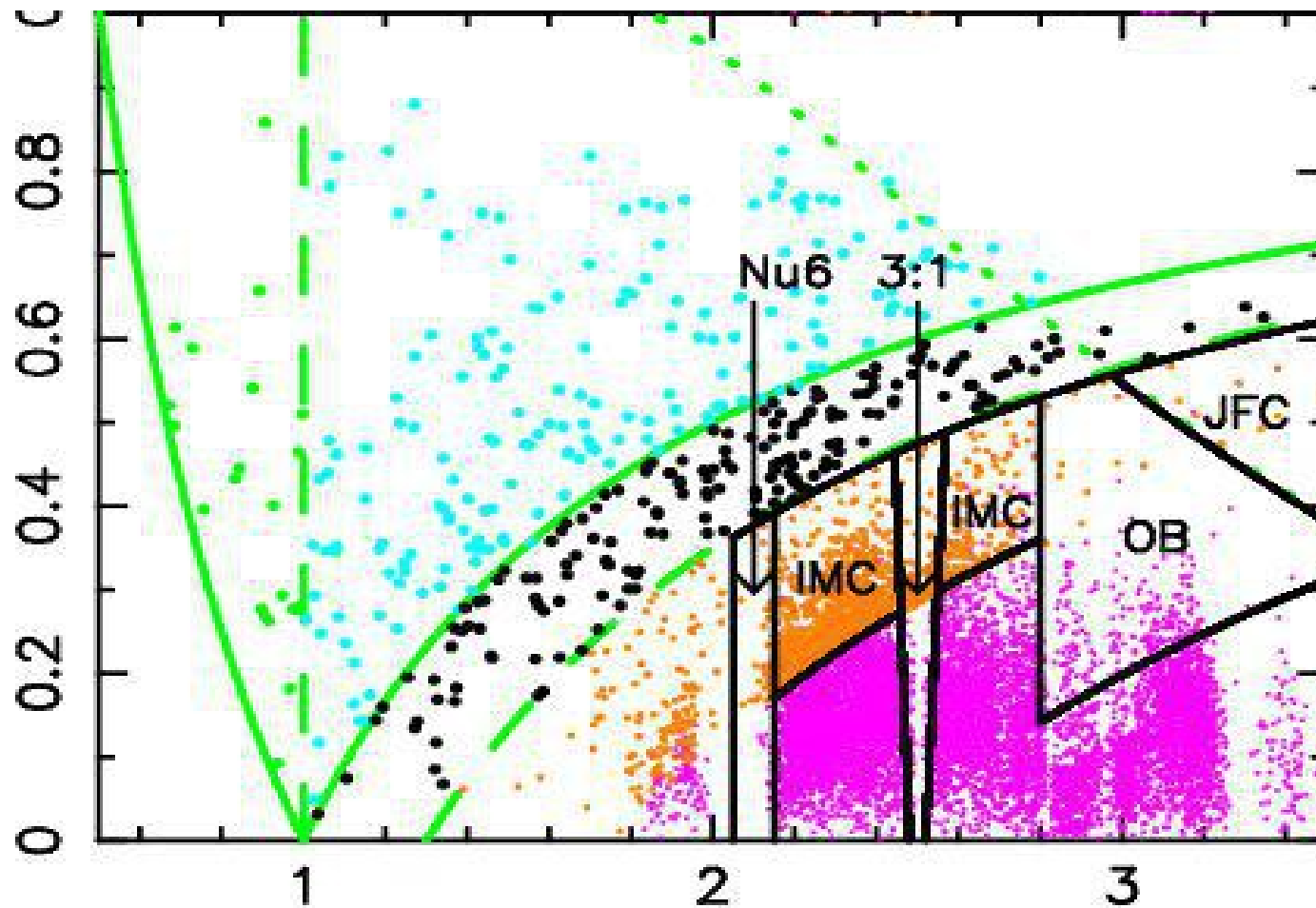
Calcaires de Thorsberg (Suède)

480 millions d'années – durée du bombardement ~ 2 millions d'années

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes, Mais d'où ?



L'effet Yarkovski permet de faire migrer les astéroïdes des zones stables vers des zones de résonance instables.



A. Morbidelli, P. Michel, W.F. Bottke, R. Jedicke) diagramme demi grand axe vs excentricité des astéroïdes du système solaire intérieur. Les forces de Yarkovsky peuvent déplacer les astéroïdes d'une zone stable vers une zone de résonance pouvant alimenter la population des astéroïdes géocroiseurs et donc des météorites.

IMC = Mars croiseurs

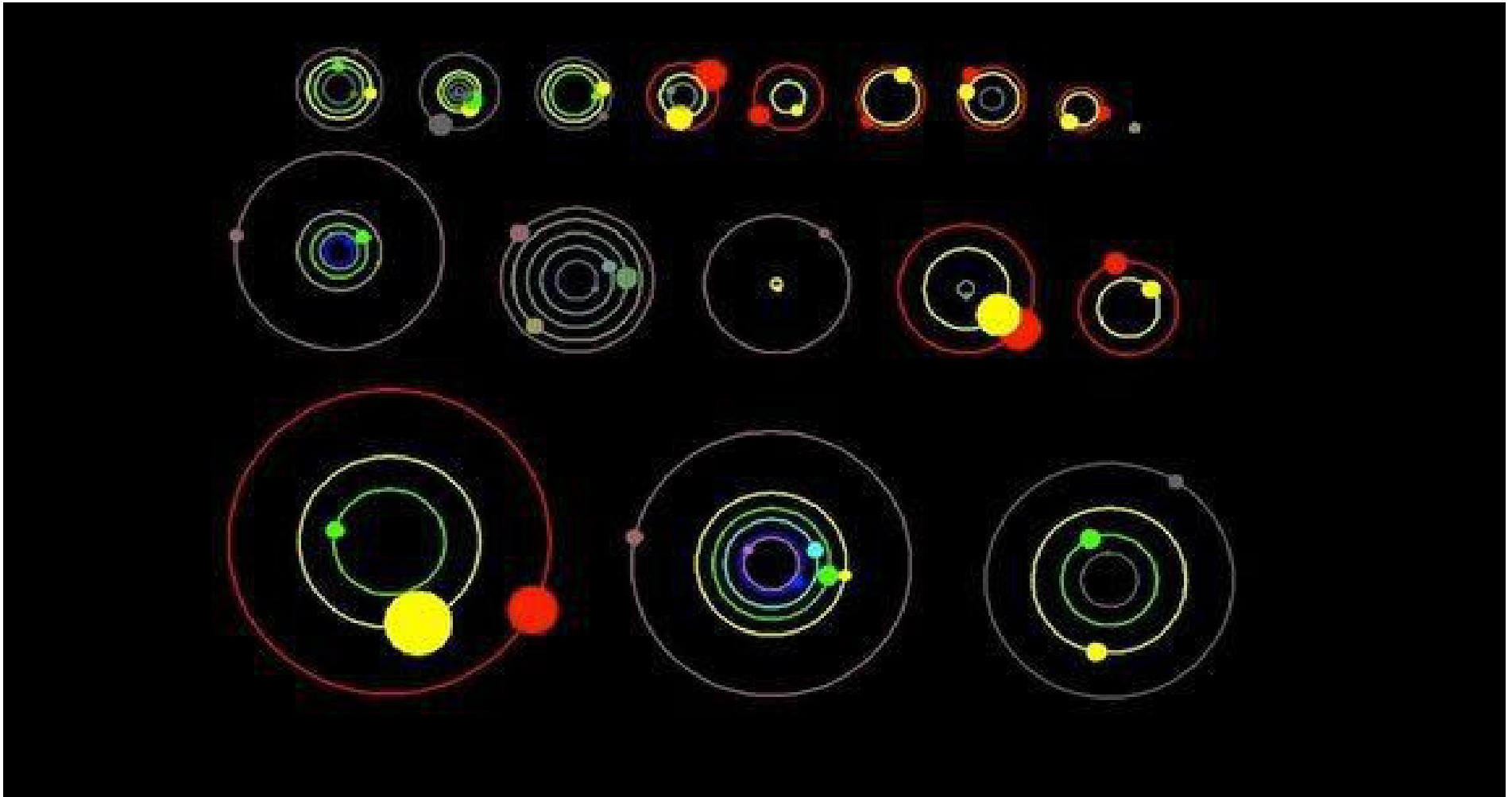
OB = ceinture extérieure

JFC = comètes de la famille de Jupiter

Nu6 = résonance responsable de l'injection des astéroïdes vers le centre du système solaire

3:1 = forte résonance de moyen mouvement pouvant éjecter des astéroïdes

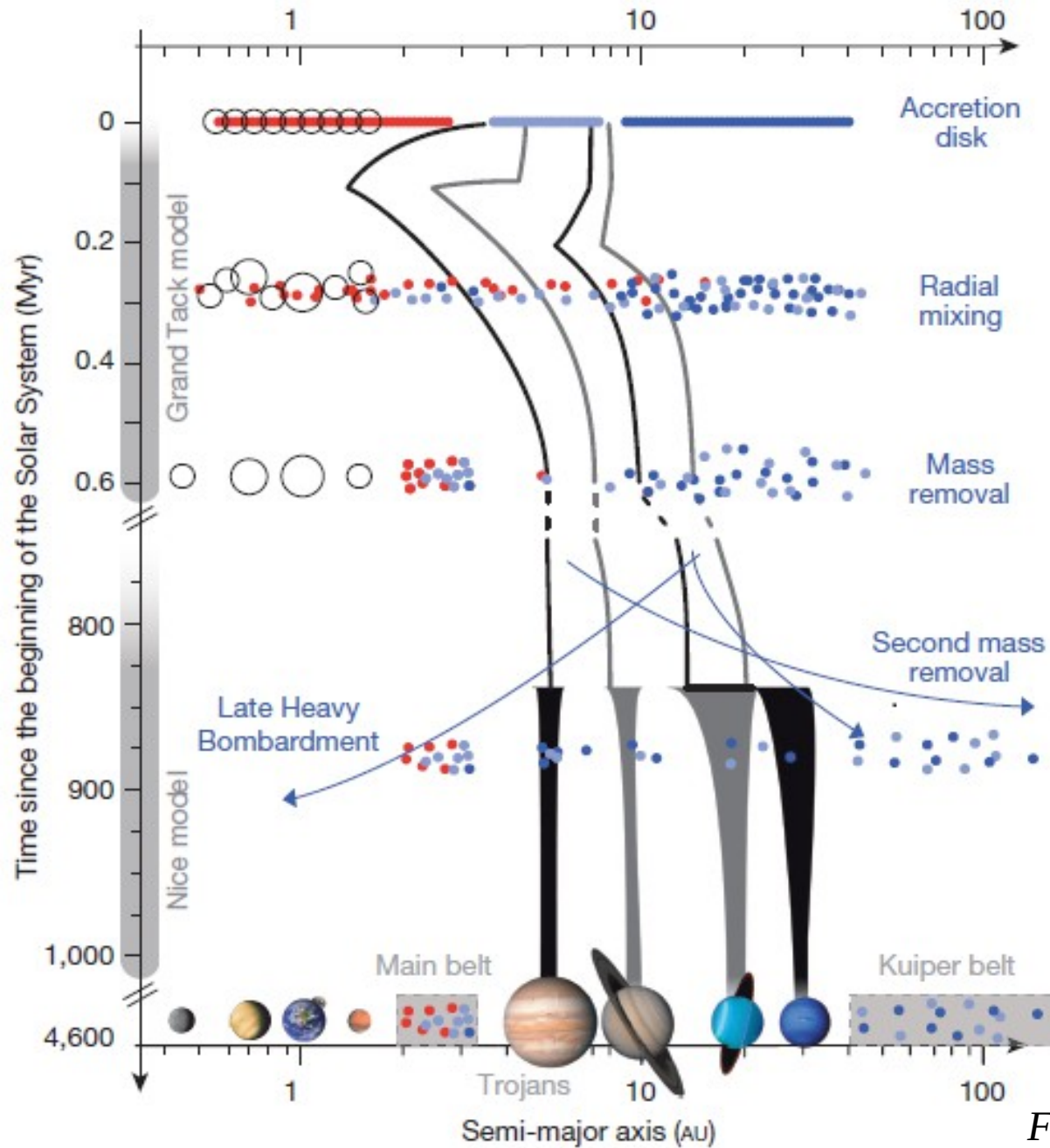
La découverte de nouveaux systèmes planétaires a révolutionné notre croyance de stabilité du système solaire



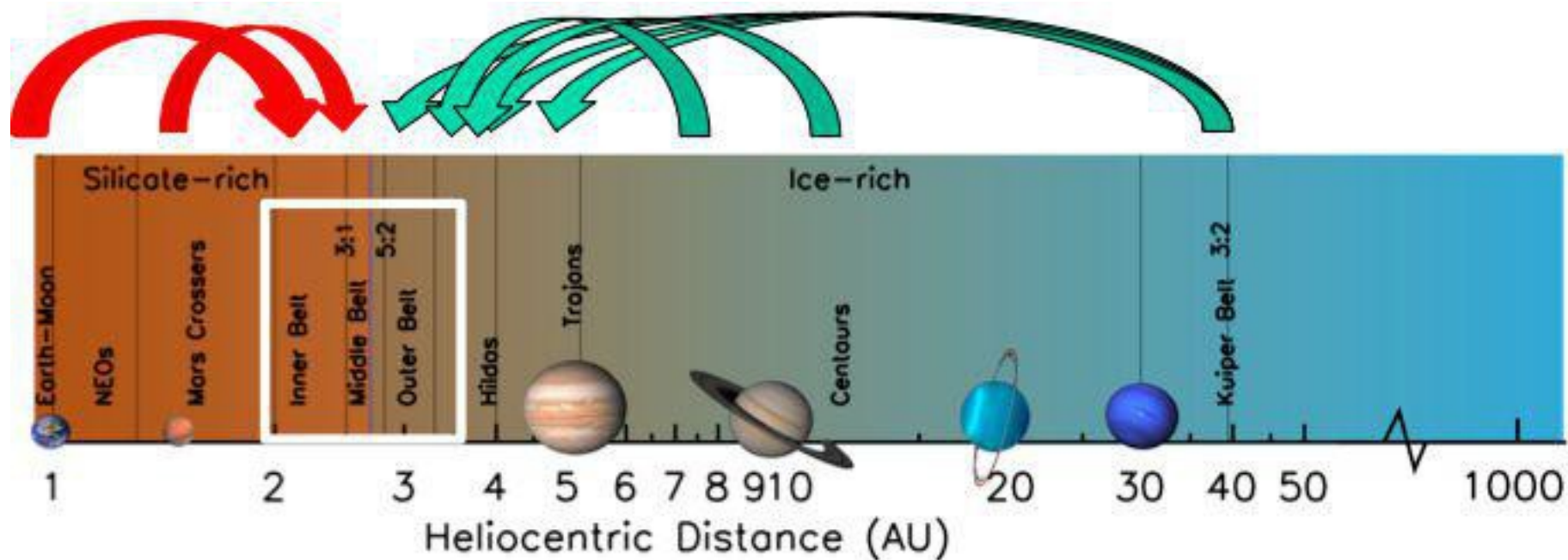
Comment des « Jupiter » sont arrivés à quelques rayons de leur étoile ?

Kepler

La découverte de nouveaux systèmes planétaires a révolutionné notre croyance de stabilité du système solaire



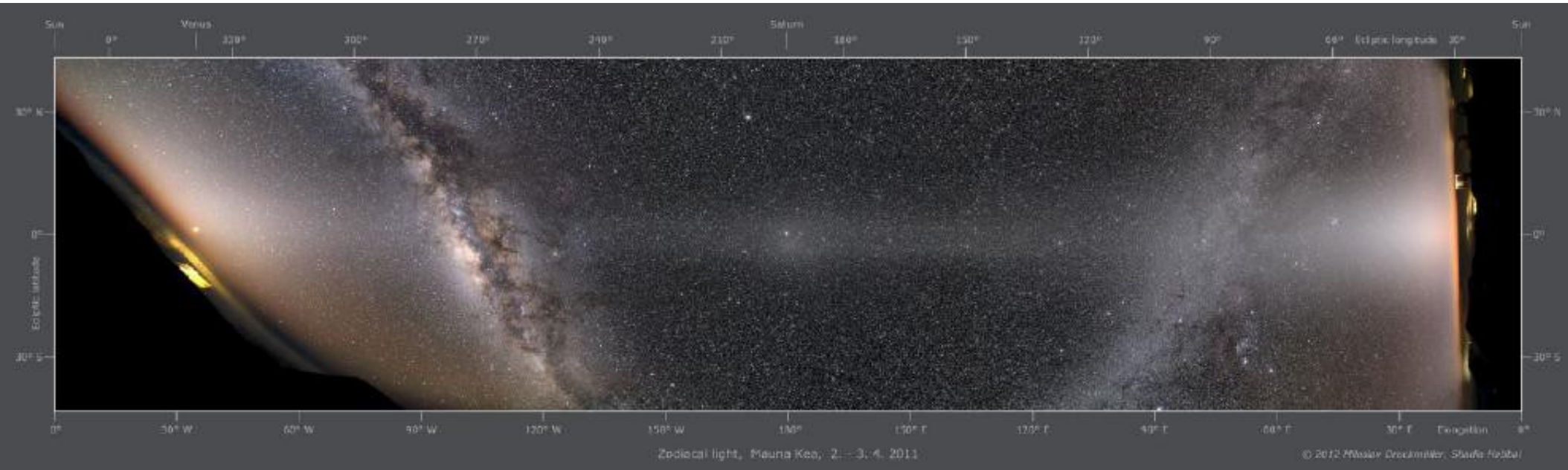
Formation du Système Solaire et transit des planètes



F. DeMeo

Échantillonner la ceinture principale = échantillonner l'ensemble du système solaire

Les météorites viennent d'ici !!



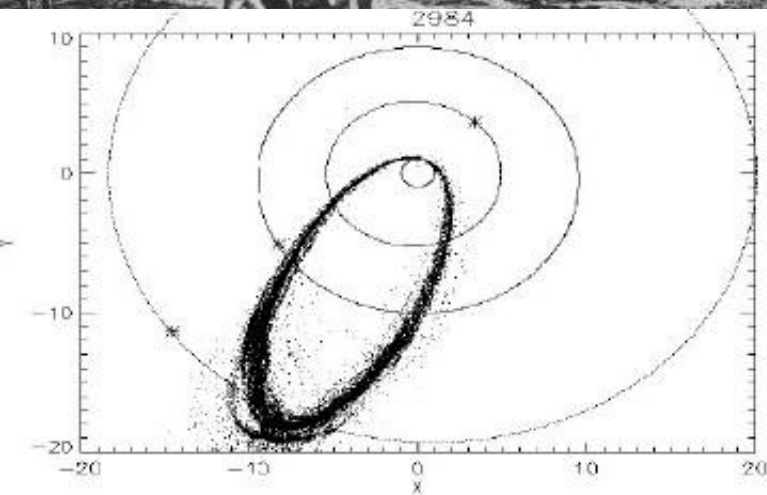
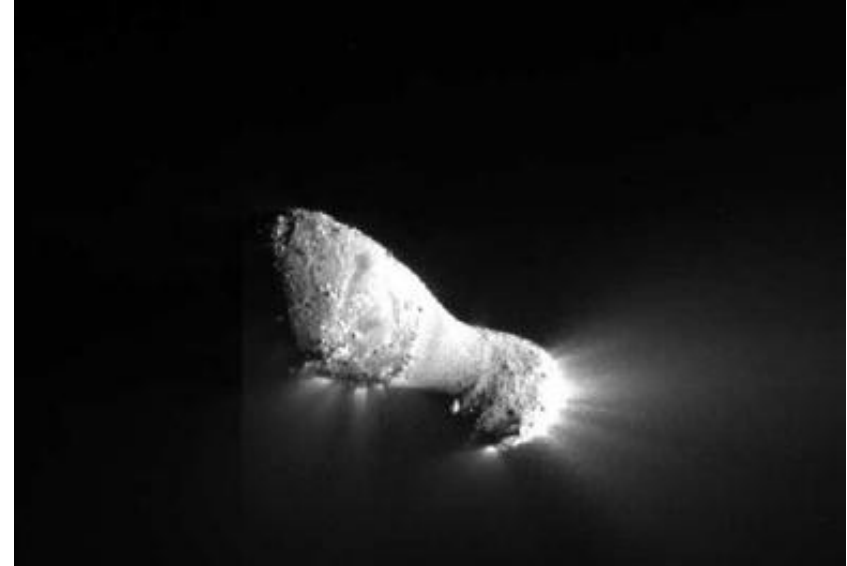
Mais que faire pour aller plus loin ?

FRIPON



< Léonides 1892

Comète Borelly >



< Courants de météores

Météorite >
Almahata Sitta



< Eros
(géocroiseur)



Météorite >
de fer



Météorites avec des observations permettant d'obtenir des orbites

Name	Date of fall (UT)	Meteorite type	Recovered mass (kg)	V_{∞} (km s ⁻¹)	a	e	i	ω	Ω
Příbram	1959/04/07	H5	5.8	20.89	2.4	0.67	10.5	241.8	17.8
Lost City	1970/01/04	H5	17	14.2	1.66	0.42	12.0	161.1	283.8
Innisfree	1977/02/06	L5	4.58	14.54	1.87	0.47	12.2	177.9	317.5
Peekskill	1992/10/09	H6	12.4	14.72	1.49	0.41	4.9	307.6	17.0
Tagish Lake	2000/01/18	C2	~10	15.8	1.98	0.55	2.0	224.4	297.9
Morávka	2000/05/06	H5	0.633	22.5	1.85	0.47	32.2	203.5	46.3
Neuschwanstein	2002/04/06	EL6	6.19	20.95	2.4	0.67	11.4	241.2	16.8
Park Forest	2003/03/27	L5	18	19.5	2.53	0.68	3.2	237.5	6.1
Villalbeto de la Peña	2004/01/04	L6	3.5	16.9	2.3	0.63	0.0	132.3	283.7
Bunburra Rockhole	2007/07/20	Euc	0.324	13.4	0.85	0.25	9.1	209.9	297.6
Almahata Sitta (2008 TC ₃)	2008/10/07	Ure-Anom	3.95	12.42	1.31	0.31	2.5	234.5	194.1
Buzzard Coulee	2008/11/21	H4	> 50	18.0	1.23	0.22	25.5	212.0	238.9
Jesenice	2009/04/09	L6	3.6	13.8	1.75	0.43	9.6	190.5	19.2

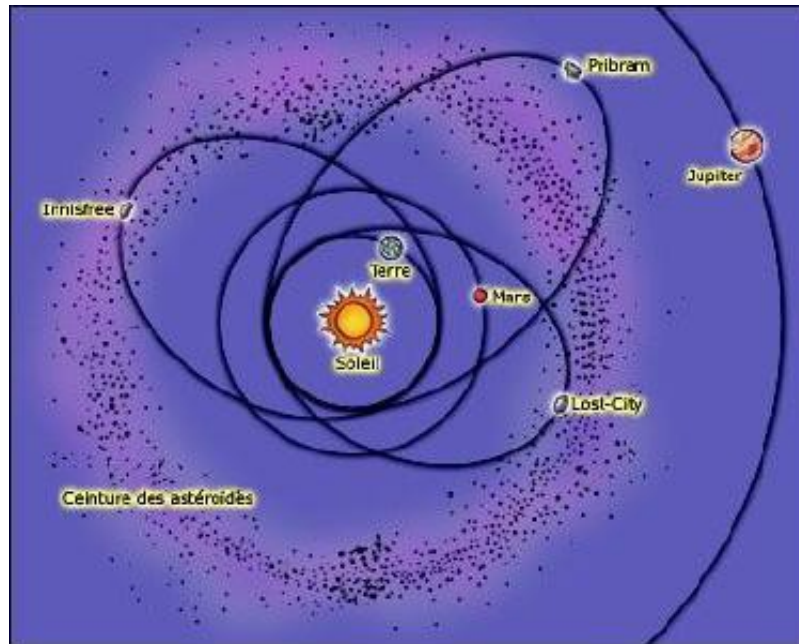
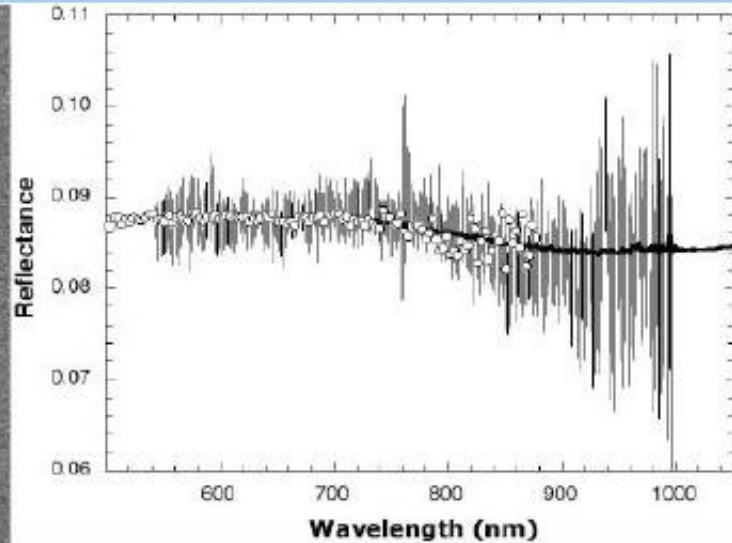
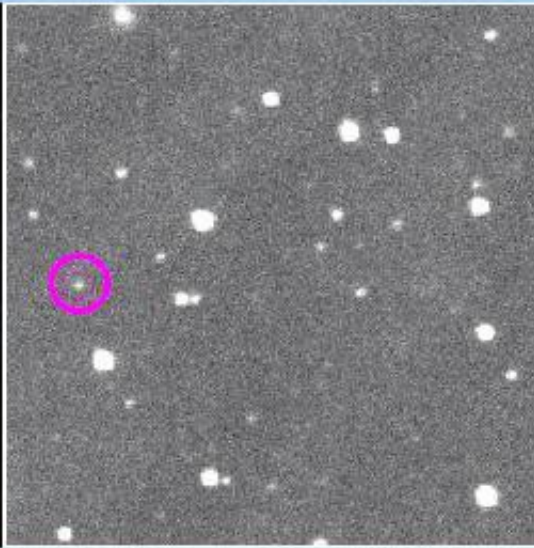


Table 4. Heliocentric orbit for the Grimsby meteorite.

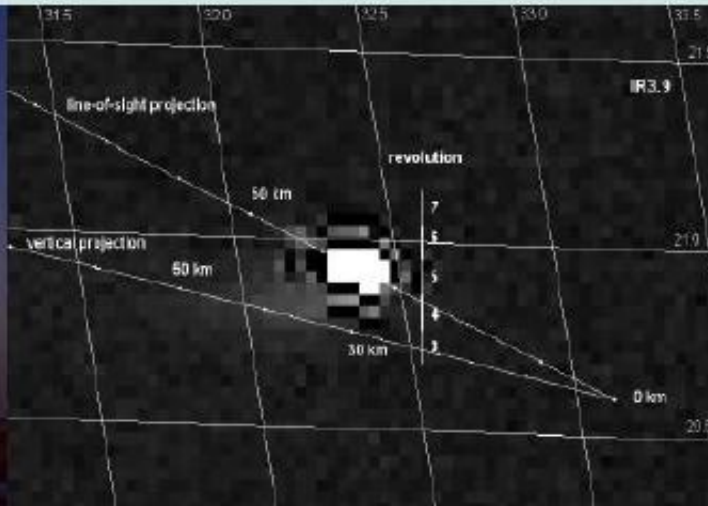
α_r	$248.93 \pm 0.22^\circ$
δ_r	$55.87 \pm 0.11^\circ$
V_{∞}	$20.91 \pm 0.19 \text{ km s}^{-1}$
V_g	$17.89 \pm 0.22 \text{ km s}^{-1}$
α_g	$242.61 \pm 0.26^\circ$
δ_g	$54.97 \pm 0.12^\circ$
a	$2.04 \pm 0.05 \text{ AU}$
e	0.518 ± 0.011
i	$28.07 \pm 0.28^\circ$
ω	$159.865 \pm 0.43^\circ$
Ω	182.9561°
q	$0.9817 \pm 0.0004 \text{ AU}$
Q	$3.09 \pm 0.10 \text{ AU}$

Un cas d'école :

2008 TC3



Almahata Sitta



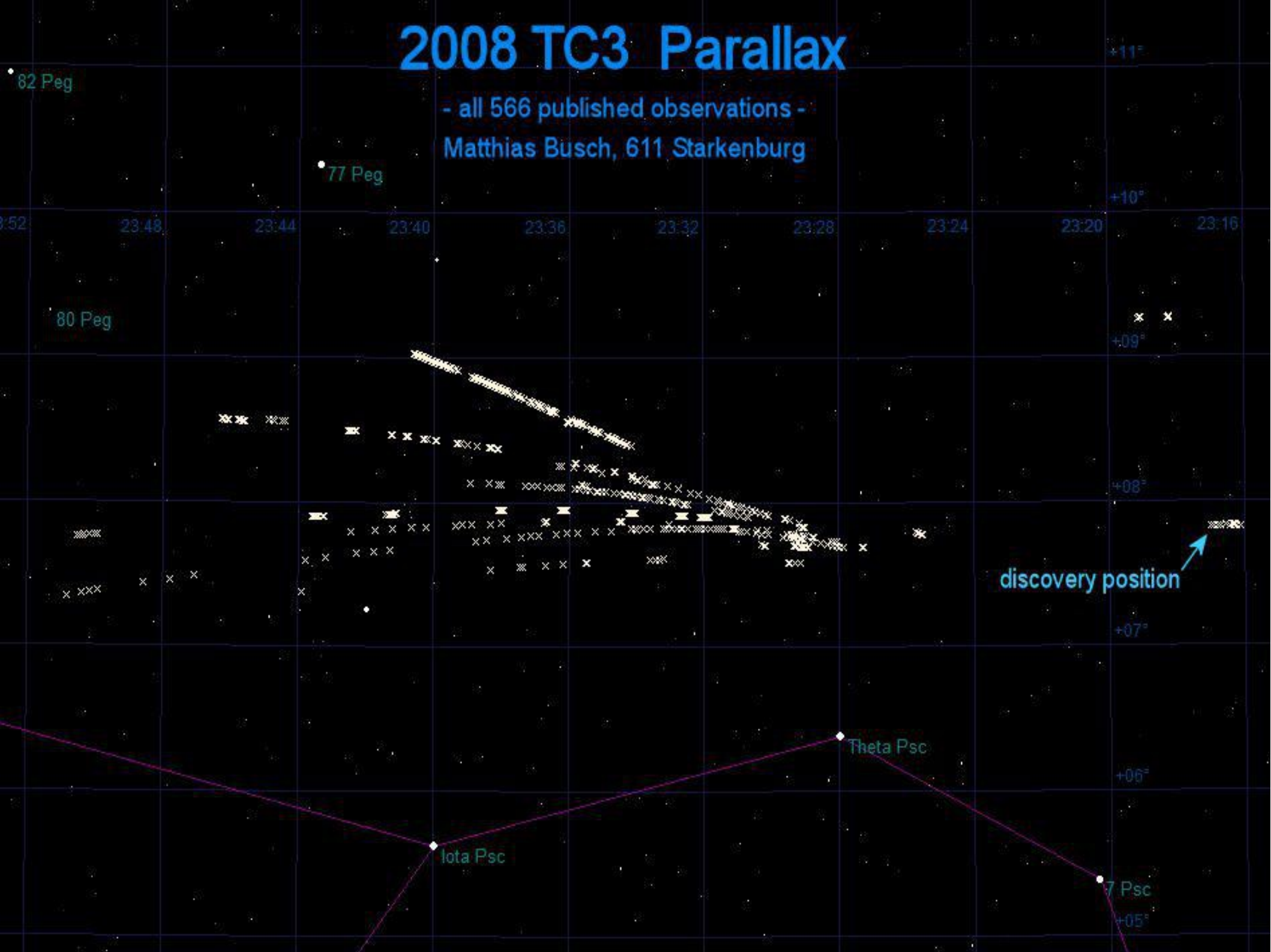
Découverte



Catalina Sky Survey : « petit » télescope dédié, le même télescope et le même Observateur (Kowalski) a découvert 2014 AA !!

2008 TC3 Parallax

- all 566 published observations -
Matthias Busch, 611 Starckenburg



82 Peg

77 Peg

80 Peg

discovery position

Iota Psc

Theta Psc

7 Psc

+11°

+10°

+09°

+08°

+07°

+06°

+05°

23:52

23:48

23:44

23:40

23:36

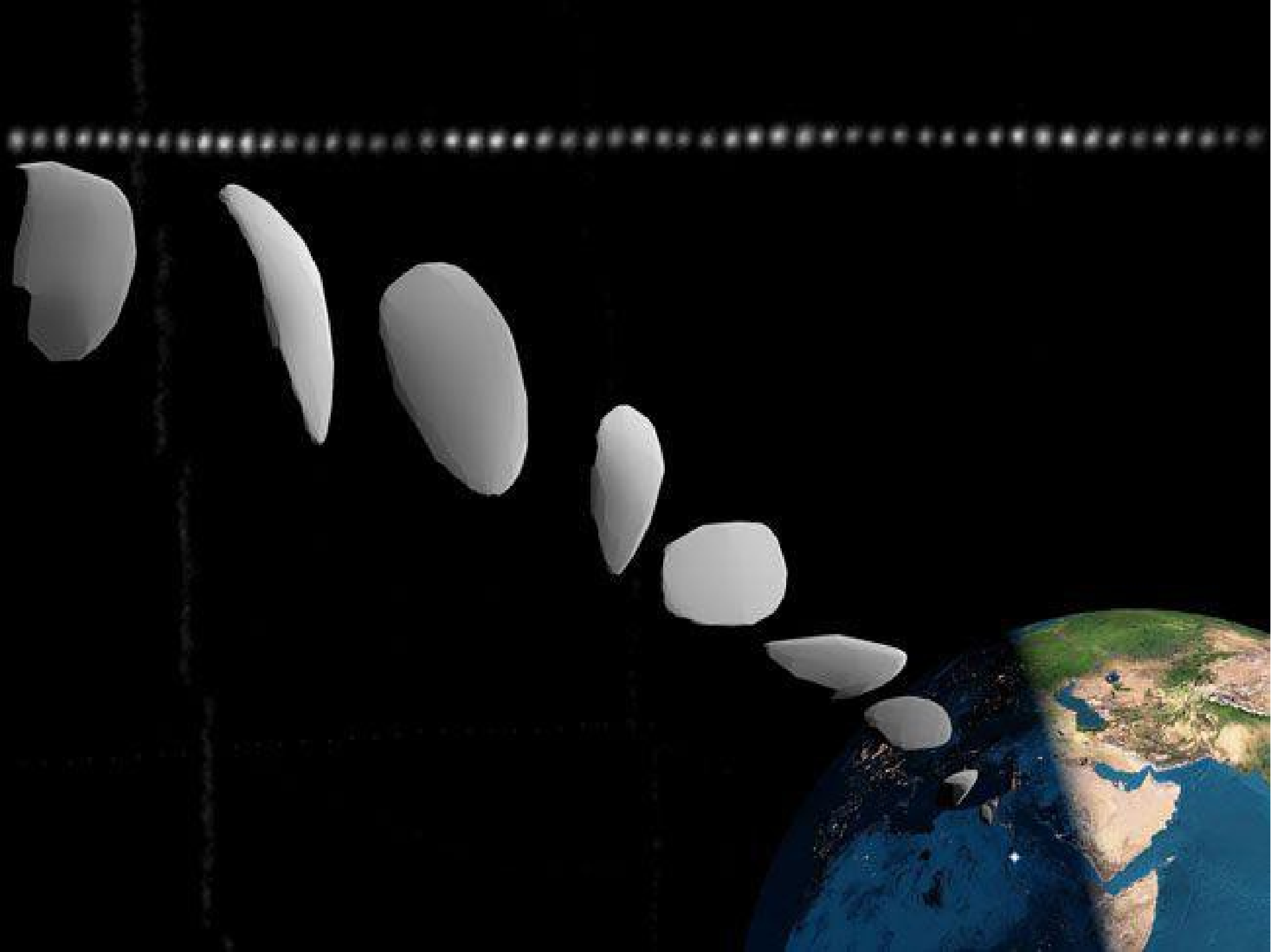
23:32

23:28

23:24

23:20

23:16



Almahata Sitta : pas de cratère !

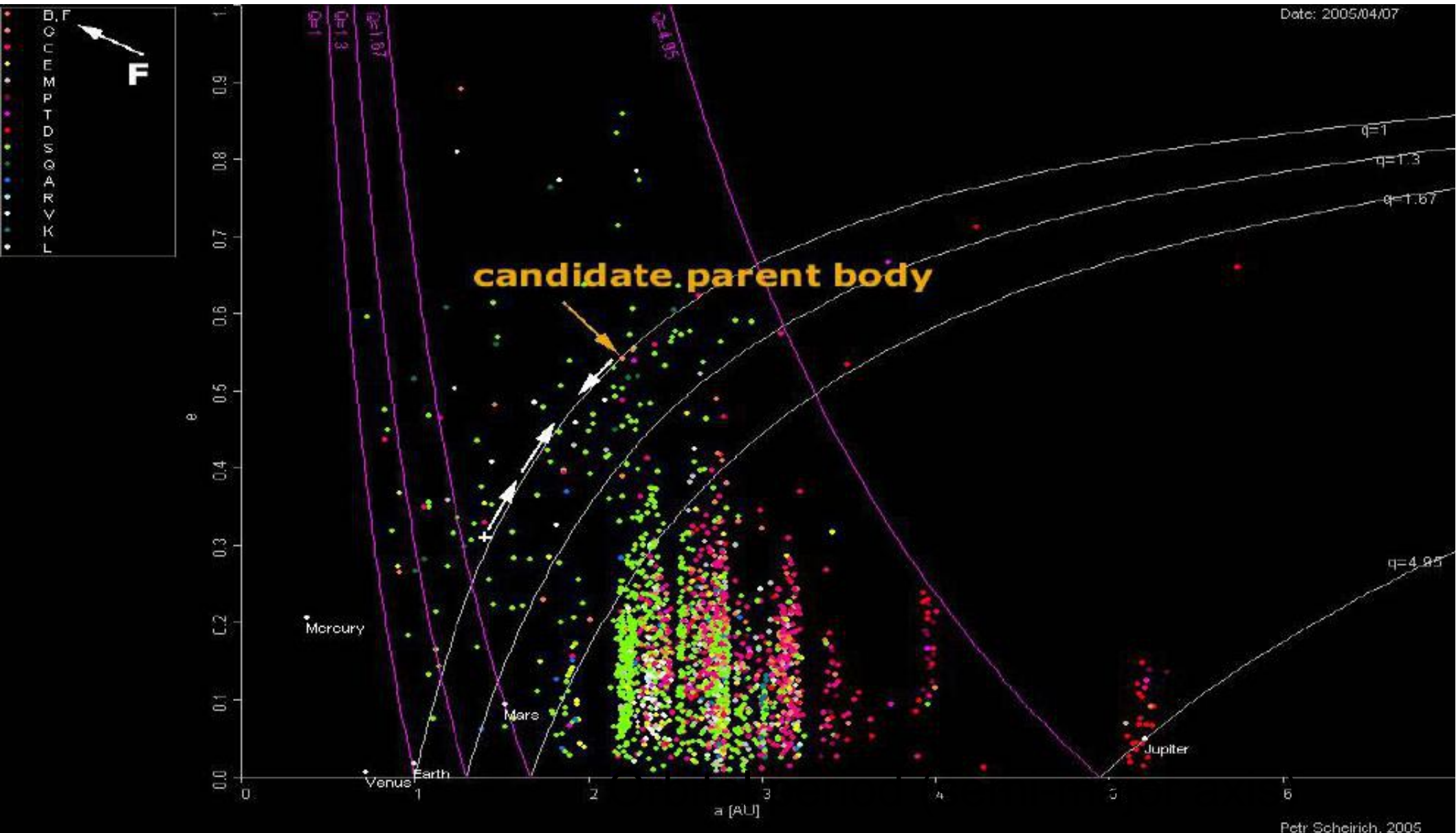


Recherche de la météorite

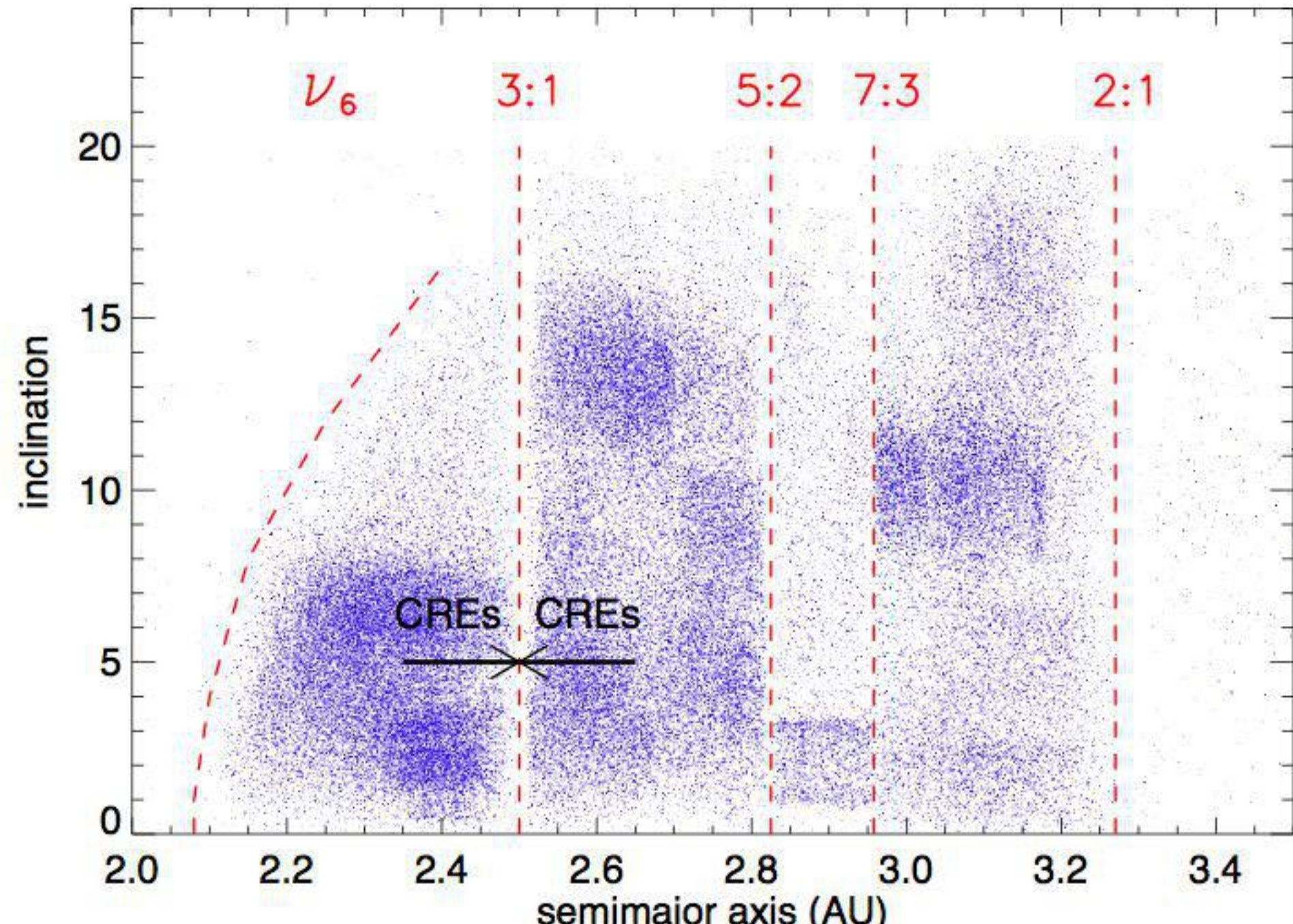




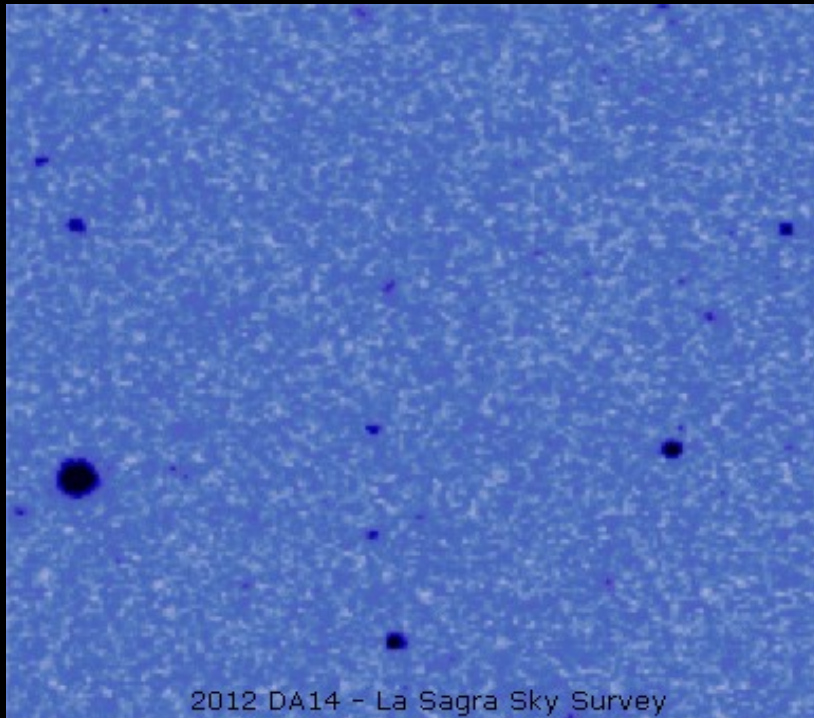
Origine de l'astéroïde 2008 TC3 ?



Importance de la mesure du CRE (Cosmic Ray Exposure)
pour déterminer l'origine des météorites



Deux aspects du même problème !

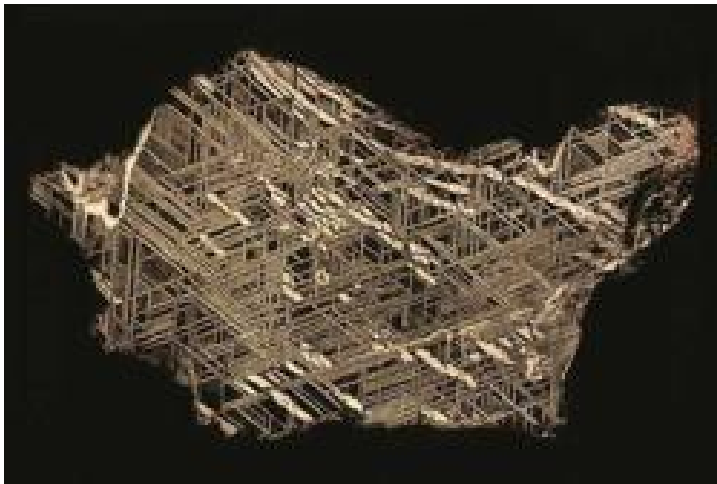


Observatoire de La Sagra (Espagne)
23 février 2012

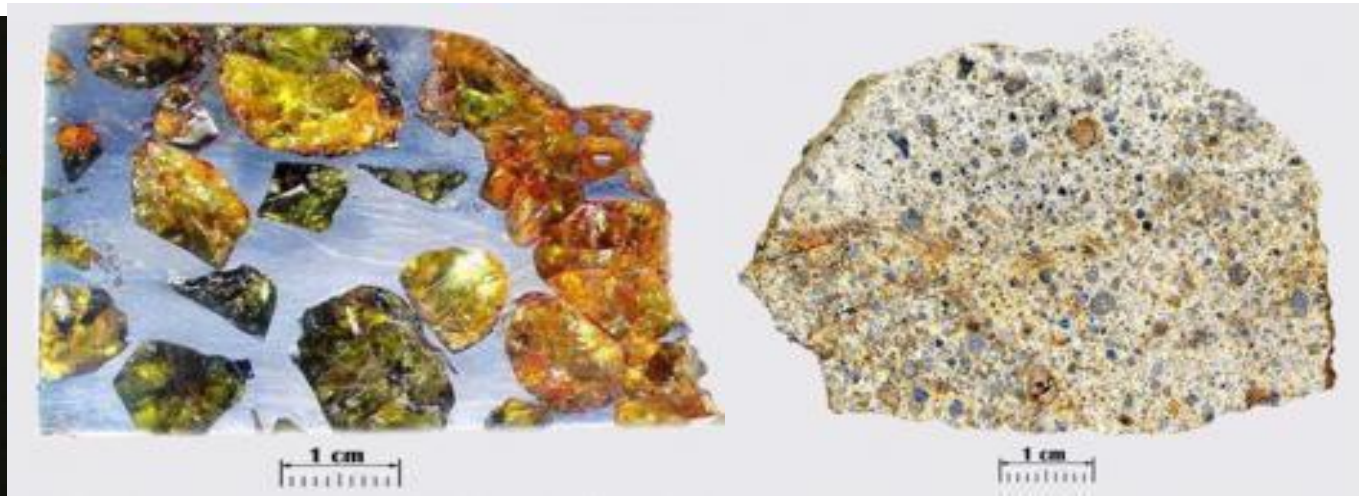


Tcheliabinsk (Russie)
15 février 2013 ...

L'approche du « géologue »



Météorite de fer



Pallasite

Achondrite

Connexion astéroïdes / météorites

L'approche de « l'astronome »

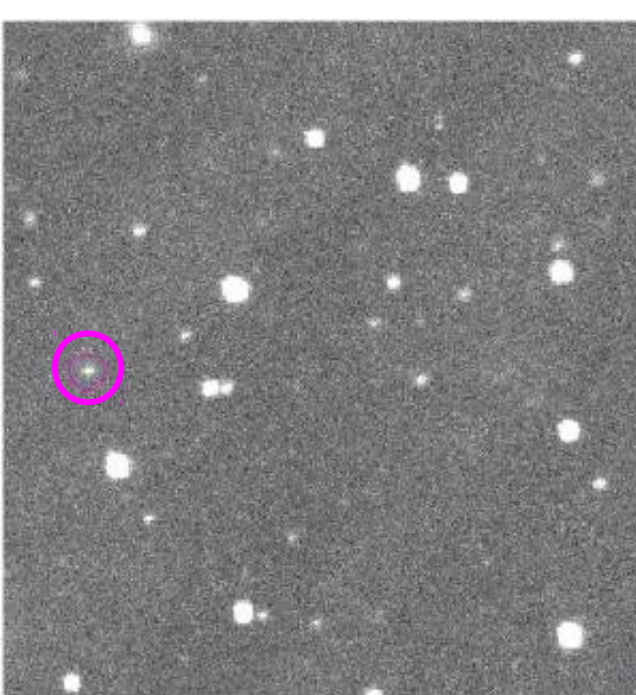
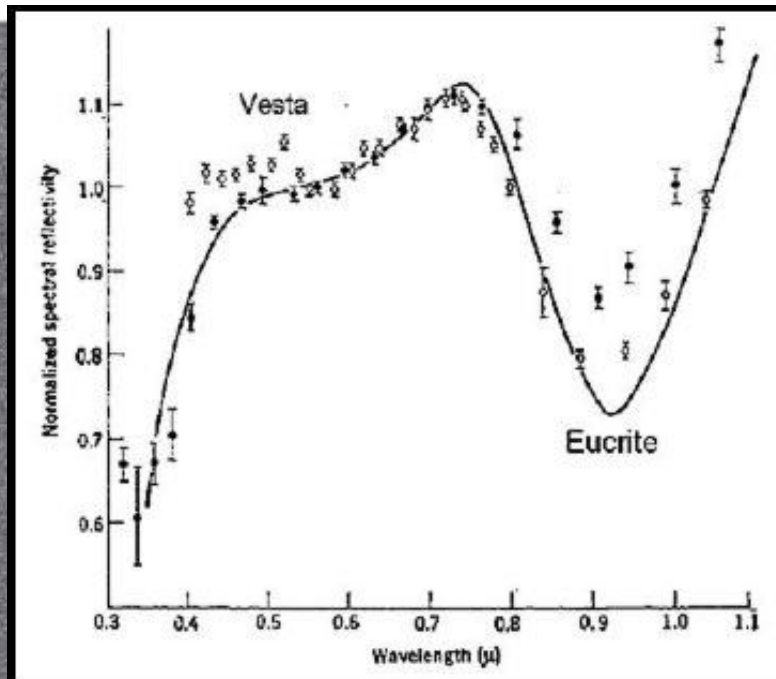


Image large bande

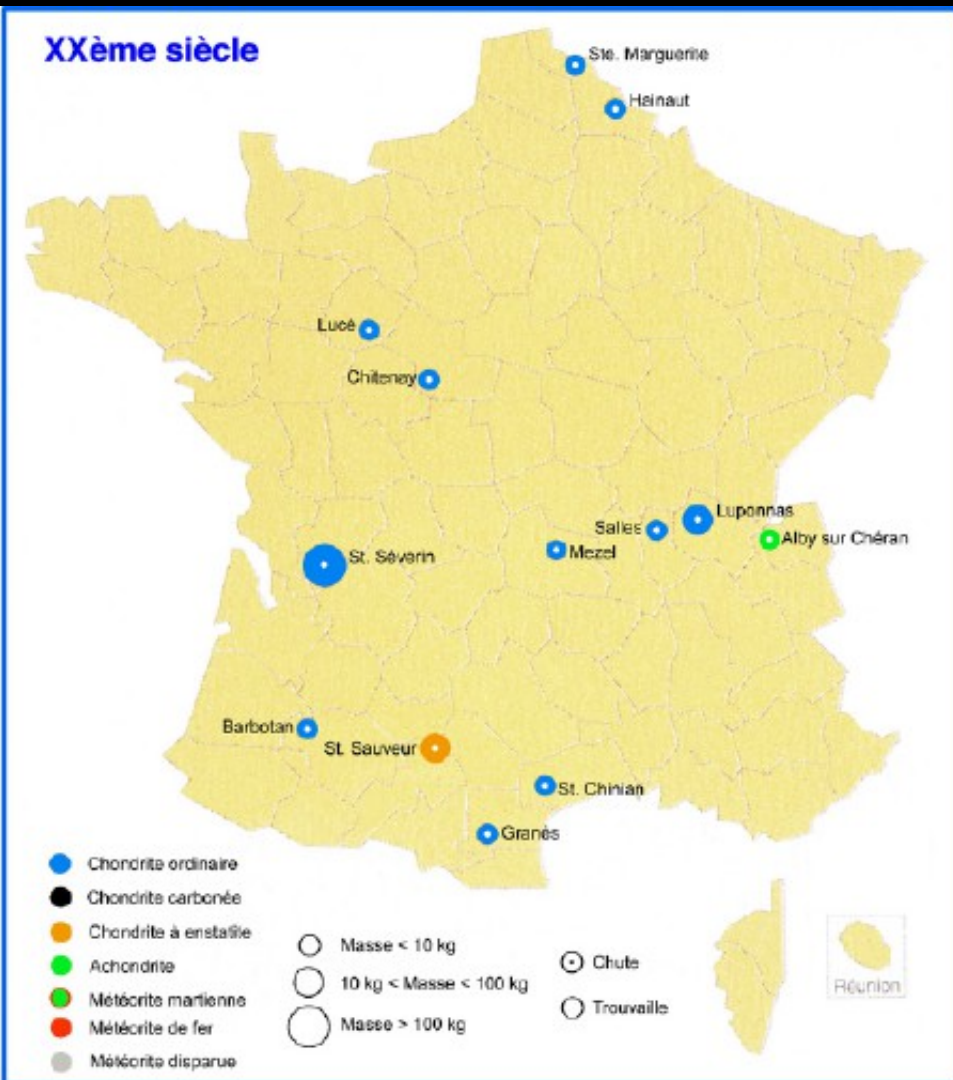


Spectre



Mission spatiale

Météorites retrouvées aux XIX et XX^{ème} siècle

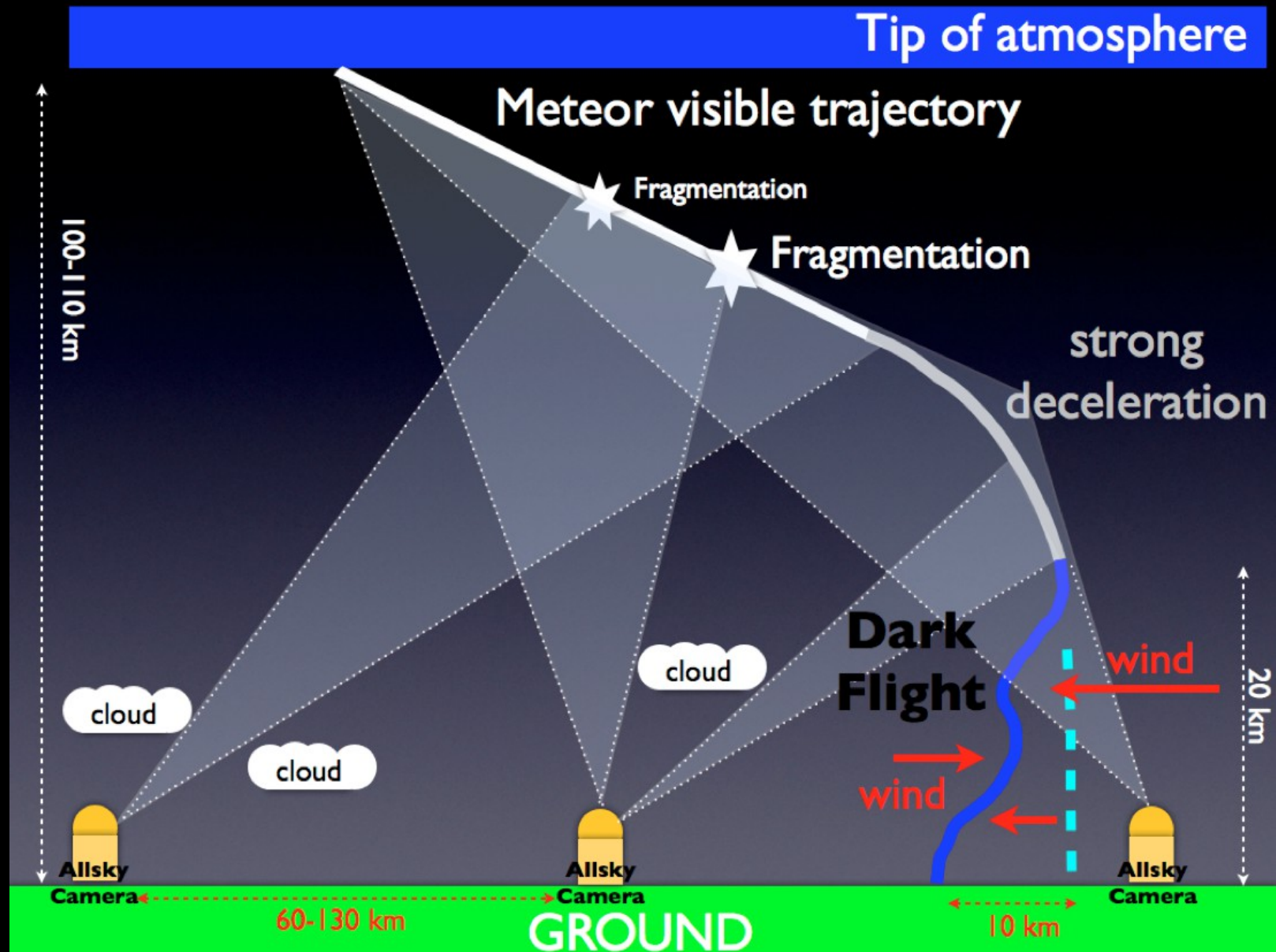


XIX^{ème} siècle: 46 météorites

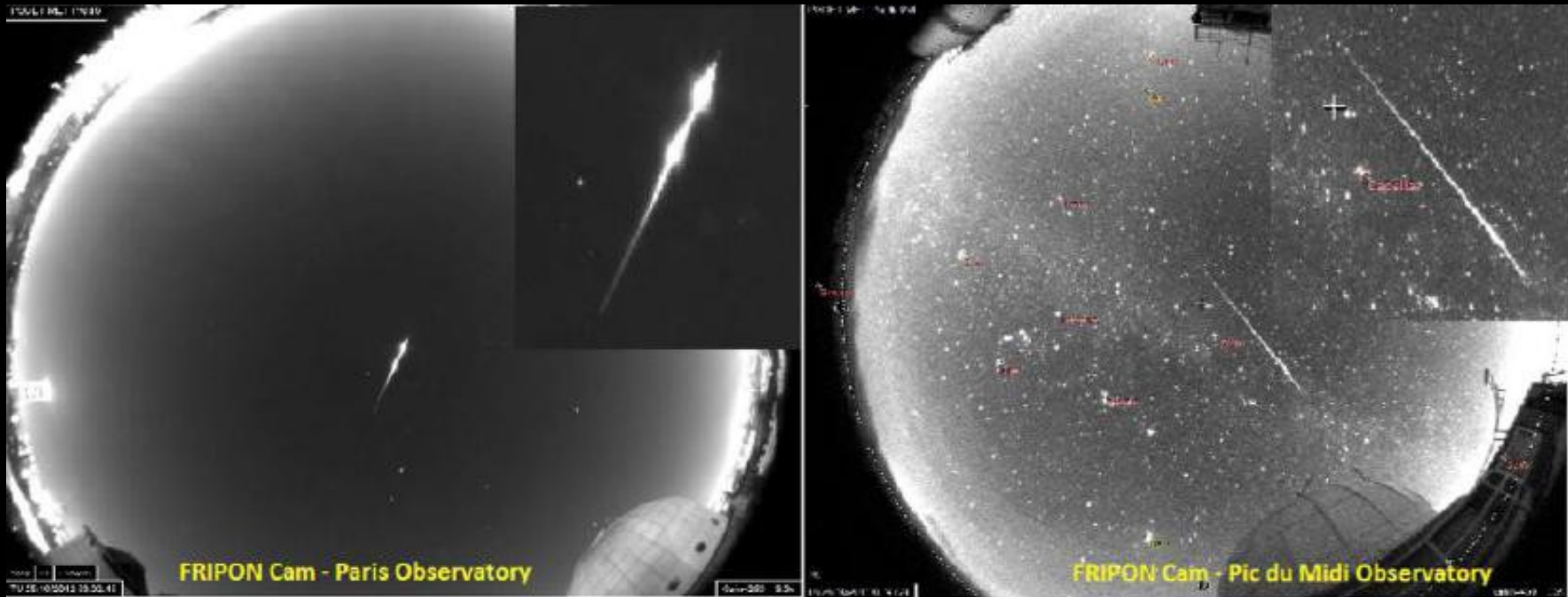
XX^{ème} siècle: 13 météorites

Détermination des trajectoires

Utilisation des 100 caméras et de 10 stations radio (vitesse du météore)



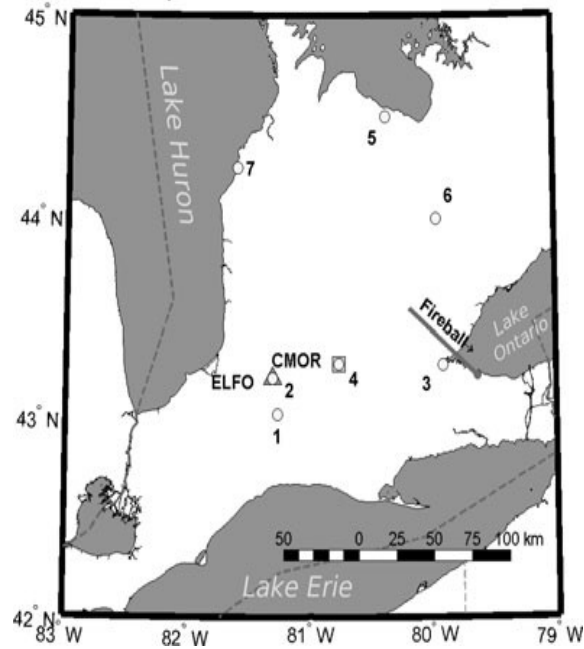
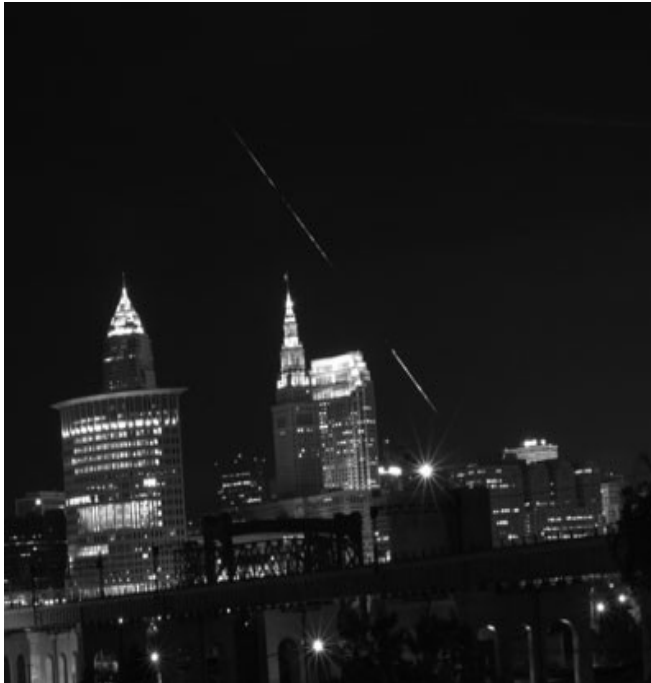
Détection systématique des bolides



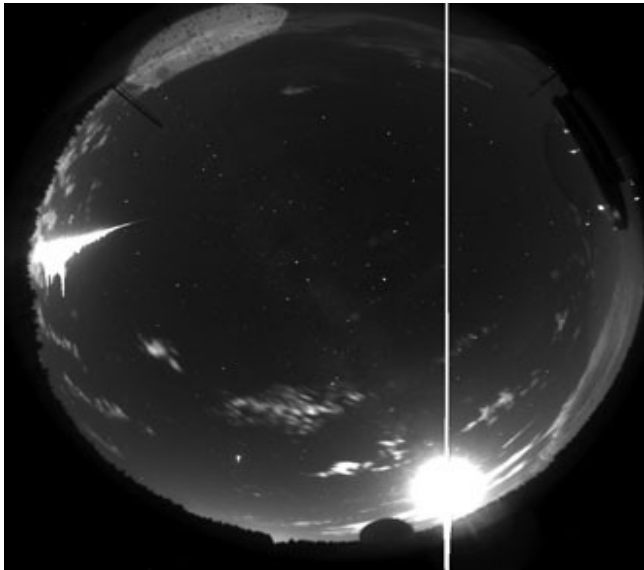
Utilisation de caméras Fisheye – 360° de champ

Stockage de toutes les détections

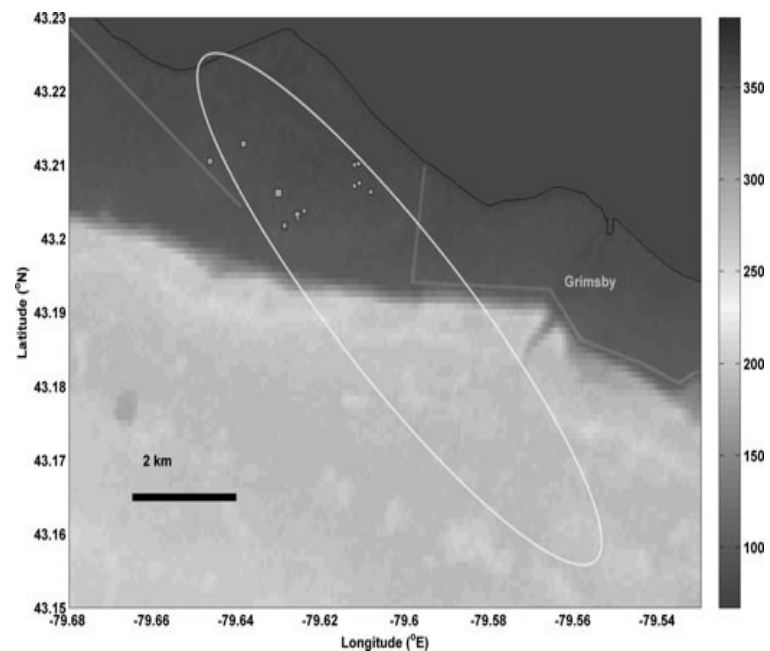
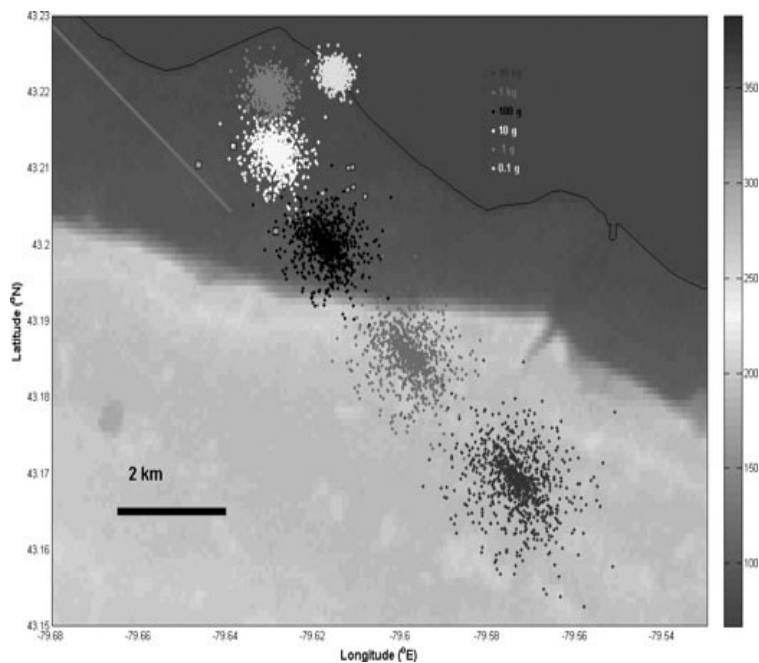
Météorite de Grimsby – Canadian Fireball Network 25 septembre 2009



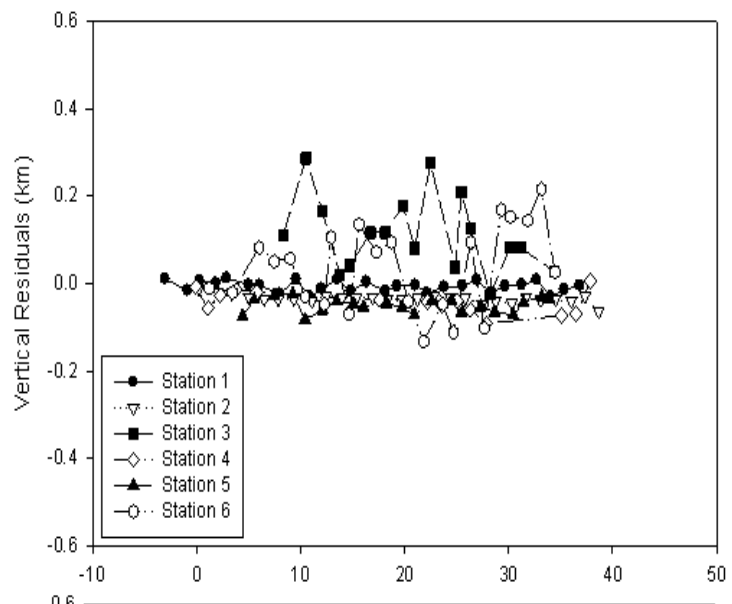
Cleveland



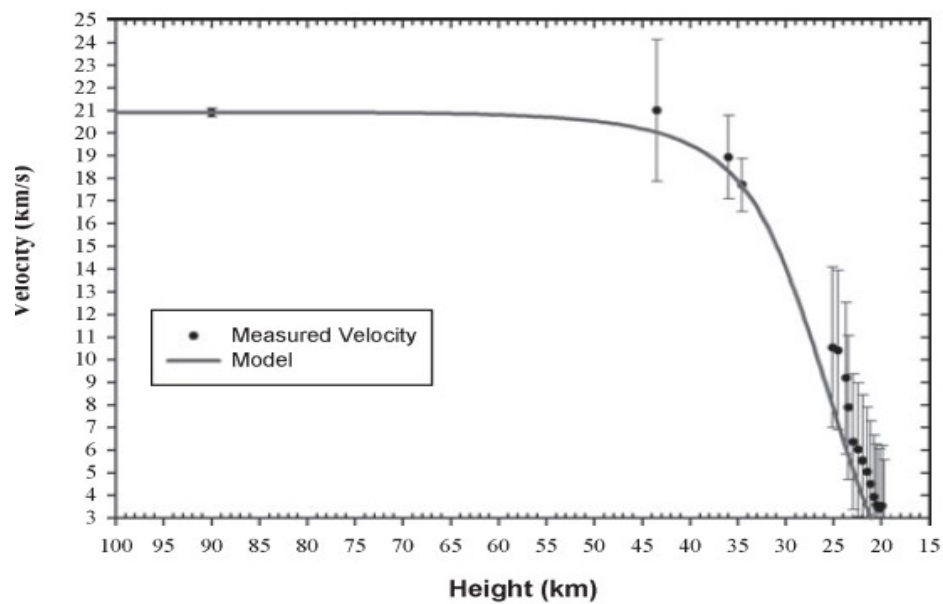
Météorite de Grimsby – Canadian Fireball Network 25 septembre 2009



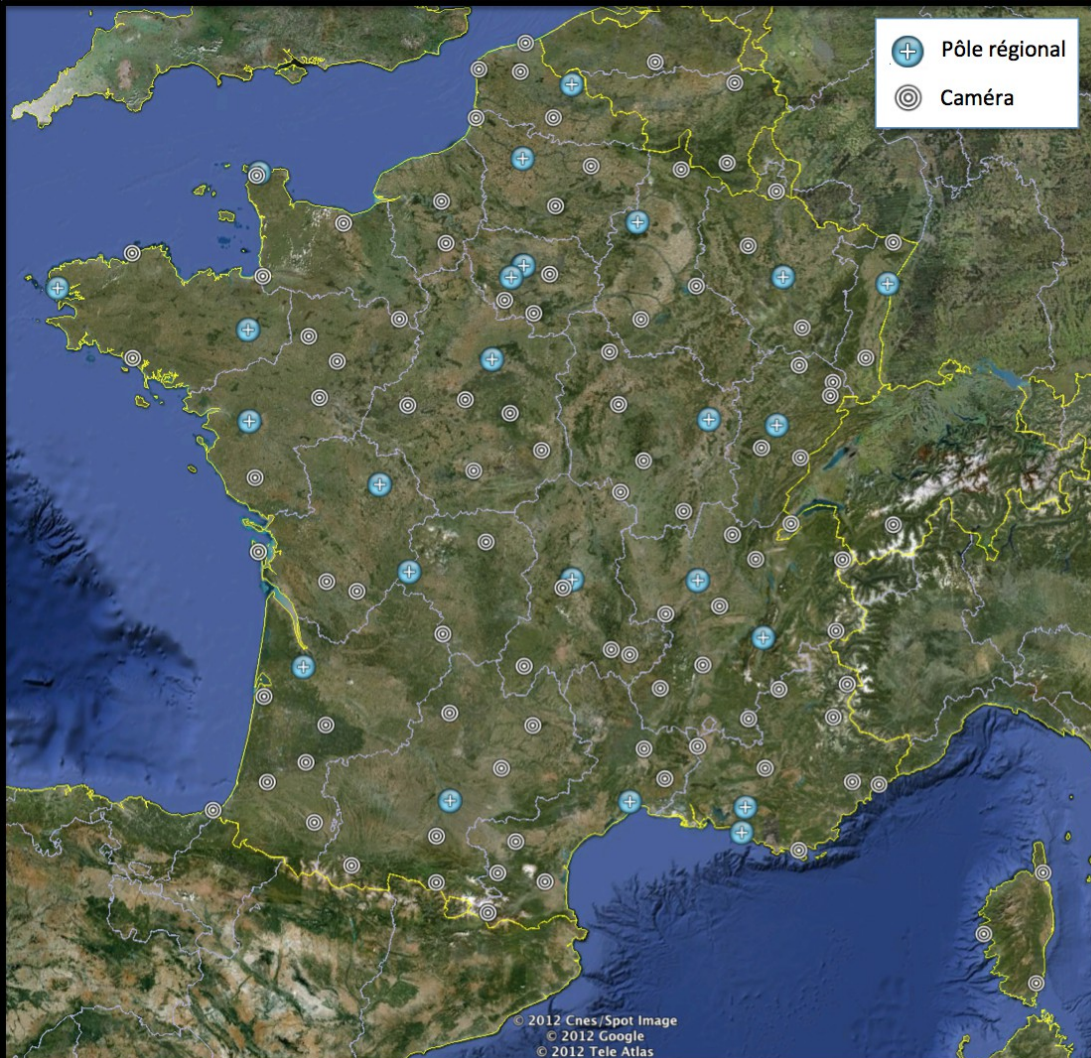
« Dark flight » model



Météorites retrouvés



Le réseau FRIPON



IMCCE/Observatoire de Paris

→ Détermination des trajectoires/Expertise technique

LMCM/MNHN

→ Recherche des météorites/ Science participative

IDES/OSUPS:

→ Gestion des données et du réseau humain

OSU Pytheas

→ Caractérisation des météorites/ Régions source

100 stations avec caméras

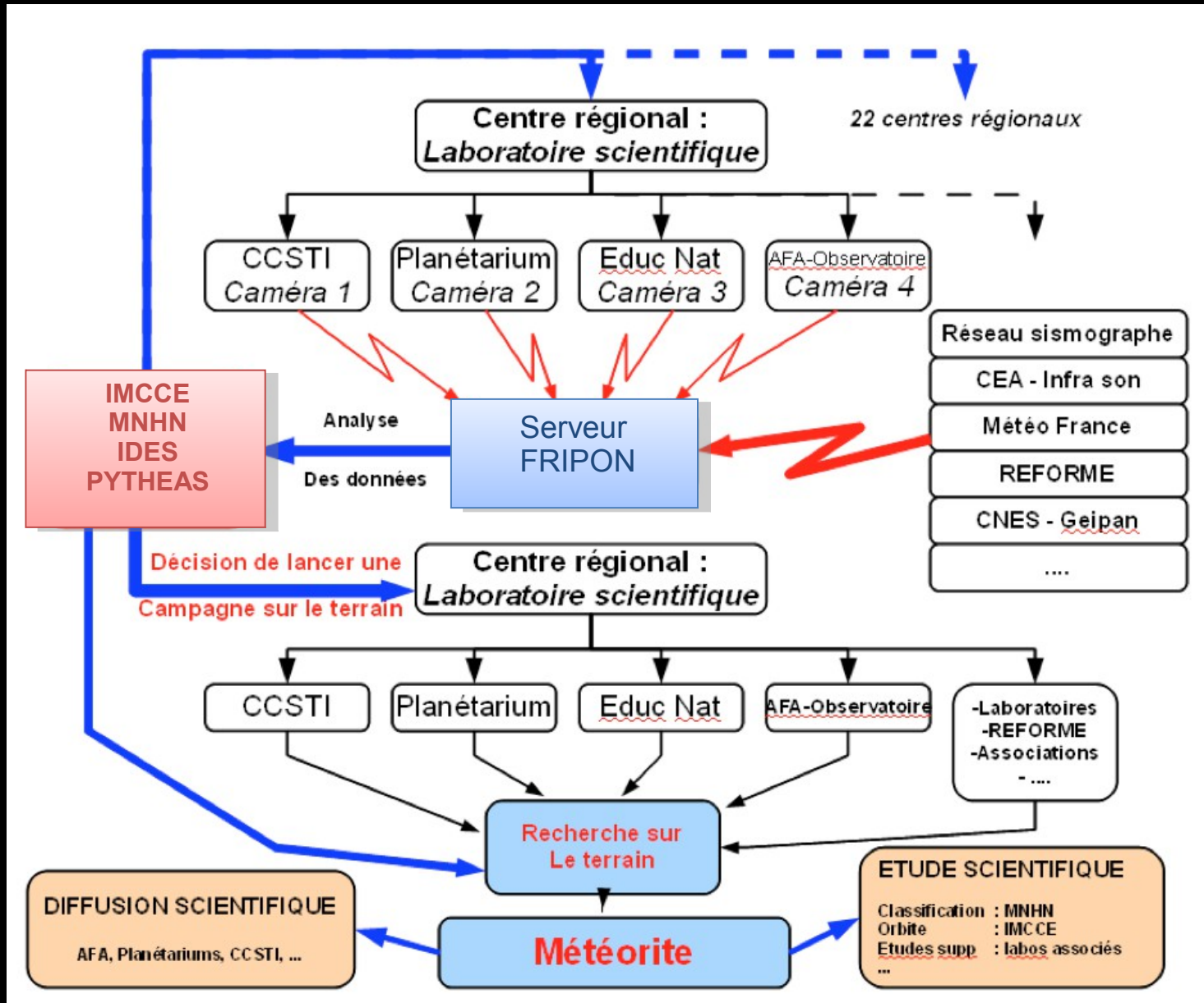
24 pôles régionaux

→ Laboratoires Astro/Sciences de la Terre/Université)

75 pôles locaux

→ Observatoires amateurs, musées et sites naturels, CCSTI, Etablissements scolaires, Planétariums

Fonctionnement du réseau



Données acquises à partir des observations

Observations

- *Orbite et point de chute de la météorite (stations optiques et radio, données météo)*
- *Caractéristiques du bolide à partir de la courbe photométrique (taille, masse)*
- *Composition (observations spectroscopiques)*

Recherche de la météorite et conservation

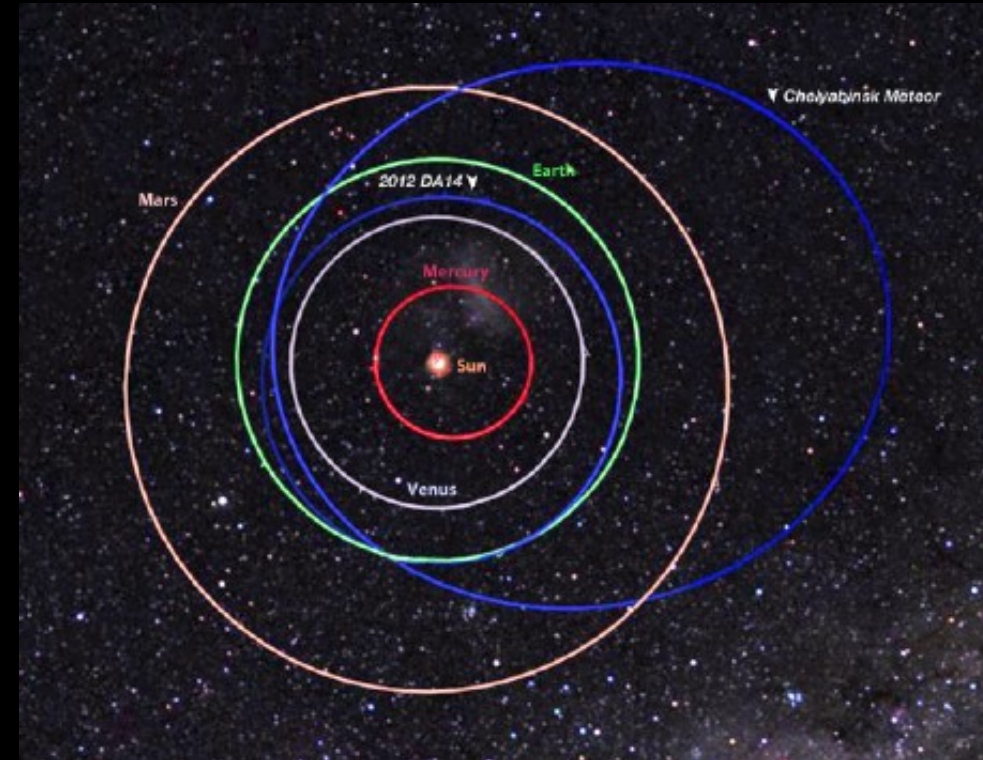
- *Recherche de la météorite sur une ellipse de 1 par 5 km.*
- *Etre le plus rapidement sur le terrain et organiser une recherche organisée*
- *Découverte de 2 ou 3 météorites par an entrant dans la collection du MNHN*



La science de FRIPON

Etudes des orbites

- Détermination de centaines d'orbites (avec ou sans météorites au sol) et des régions sources
- Détermination des corps parents (comètes/astéroïdes)
- Connexion type spectral météorite/ type spectral des astéroïdes
- Interaction Atmosphère/Météoroïde – Phénomène de fragmentation



Etudes des météorites

- Caractérisation de la météorite par le MNHN et mise à disposition des échantillons aux équipes partenaires
- Détermination du temps de transfert jusqu'à la Terre (Exposition aux rayons cosmiques)
- Etude des isotopes de l'Oxygène (corps parents)
- Paléomagnétisme des météorites – Champ magnétique primitif dans le système solaire
- Origine des météorites rares (CO CM / Comètes?)

Conclusion

Programme de grande ampleur – Réseau le plus dense et étendu

- *Surveillance de la totalité du ciel français en continu*
- *Plus de 30 partenaires scientifiques (Astronomie, Géologie des Planètes, Sciences de l'atmosphère, Sismologie, Géochimie,...)*
- *Plus de 100 partenaires Sciences Grand public*
- *Complémentaire aux missions Osiris REX, Marco Polo, Hayabusa*

Mise en Place et financement

- *Mise en en place du réseau de 2013 à 2015*
- *Premières météorites identifiées en 2015*
- *Financement ANR (réponse en juin 2013) – réseau FRIPON*
- *Financement ANRU (réponse en 2014) Réseau FRIPON et programme Vigie Cie*

FRIPON

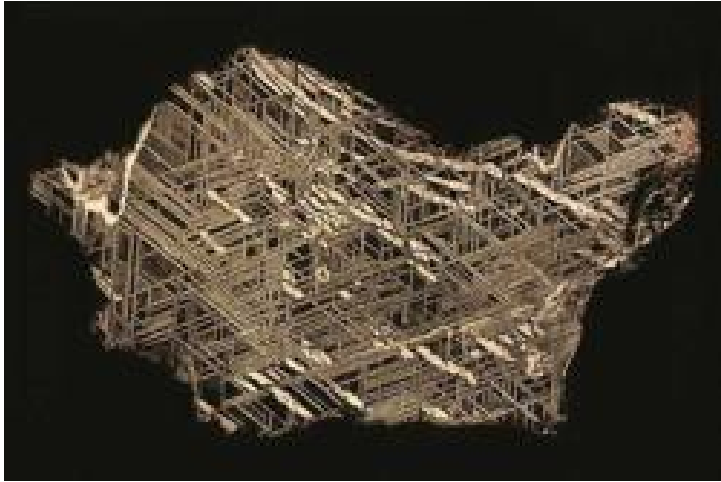
Réseau de caméras et réseau humain
(scientifiques et assimilés)
surveillance du ciel
financé par l'ANR



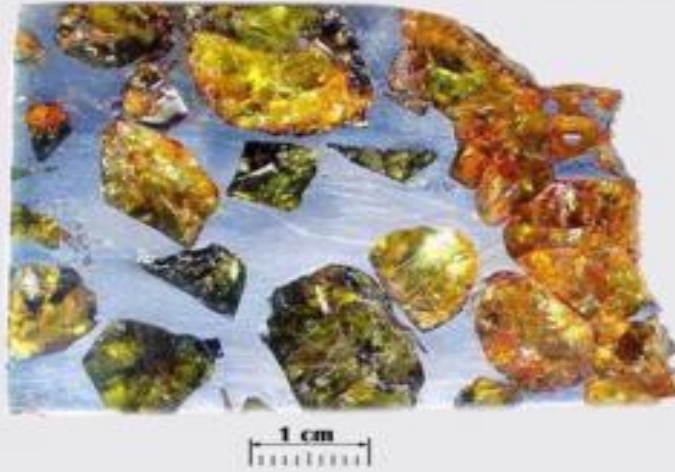
VIGIE-CIEL

Réseau humain et site participatif
(médiateurs scientifiques)
formation du public / contributions en ligne / support
pour la recherche de météorites sur le terrain
Financement ANRU?

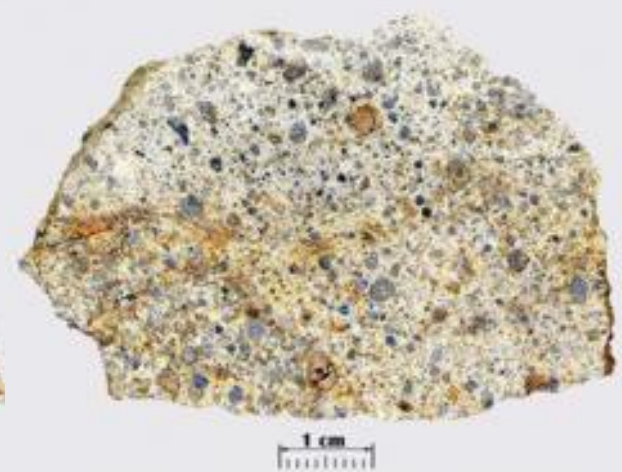
Connexion astéroïdes / météorites



Météorite de fer



Pallasite



Achondrite

