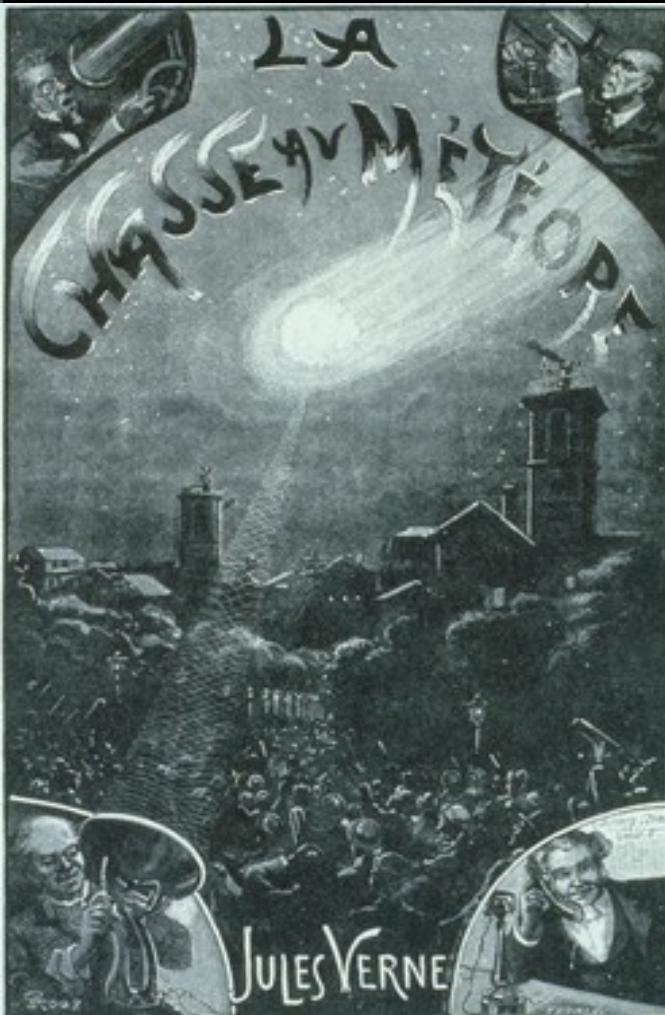




Le réseau FRIPON

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

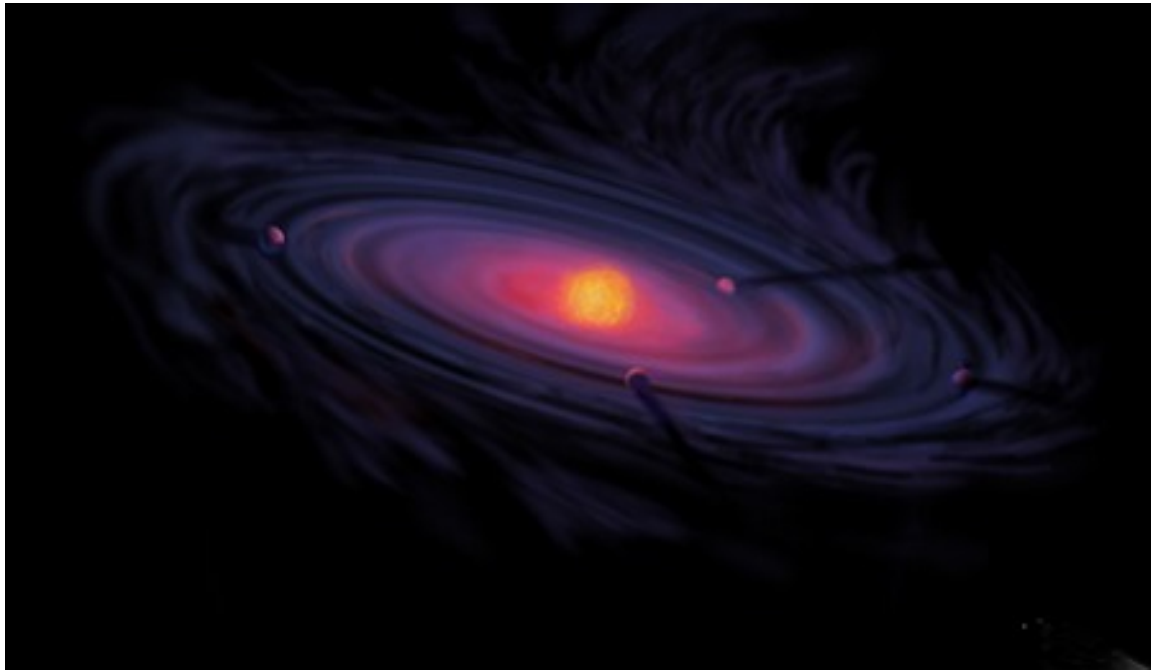


© picture-alliance/dpa

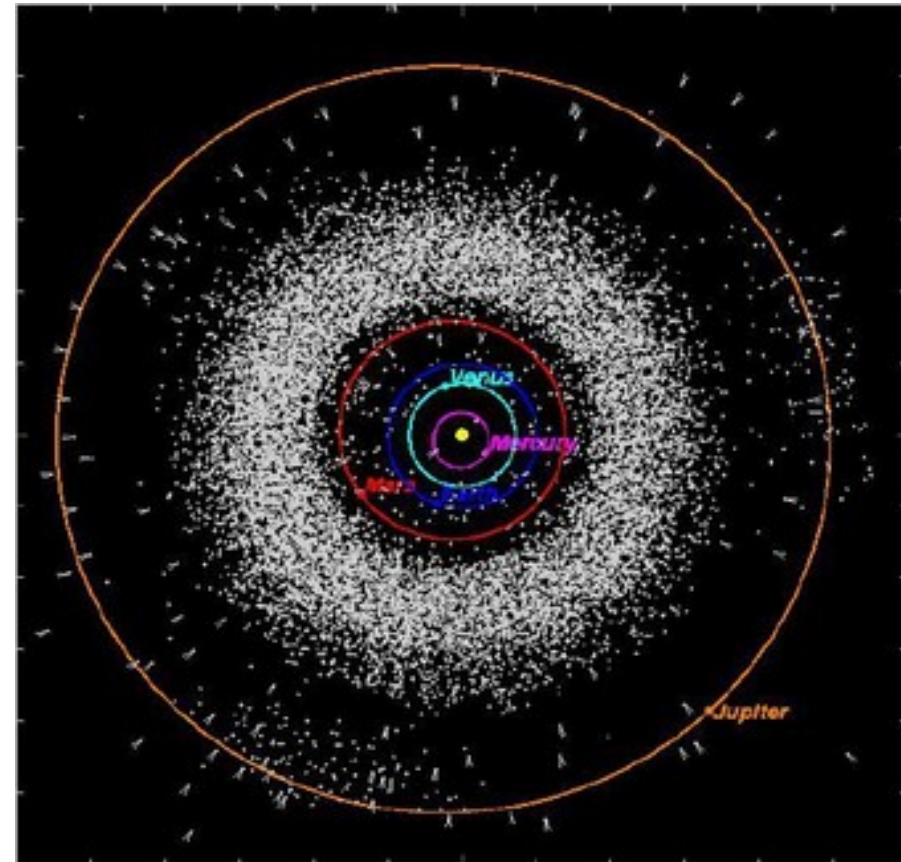
François COLAS - IMCCE - Observatoire de Paris

PROAM – Giron 11 novembre 2015

FRIPON : répondre à une question simple : D'où viennent les météorites ?

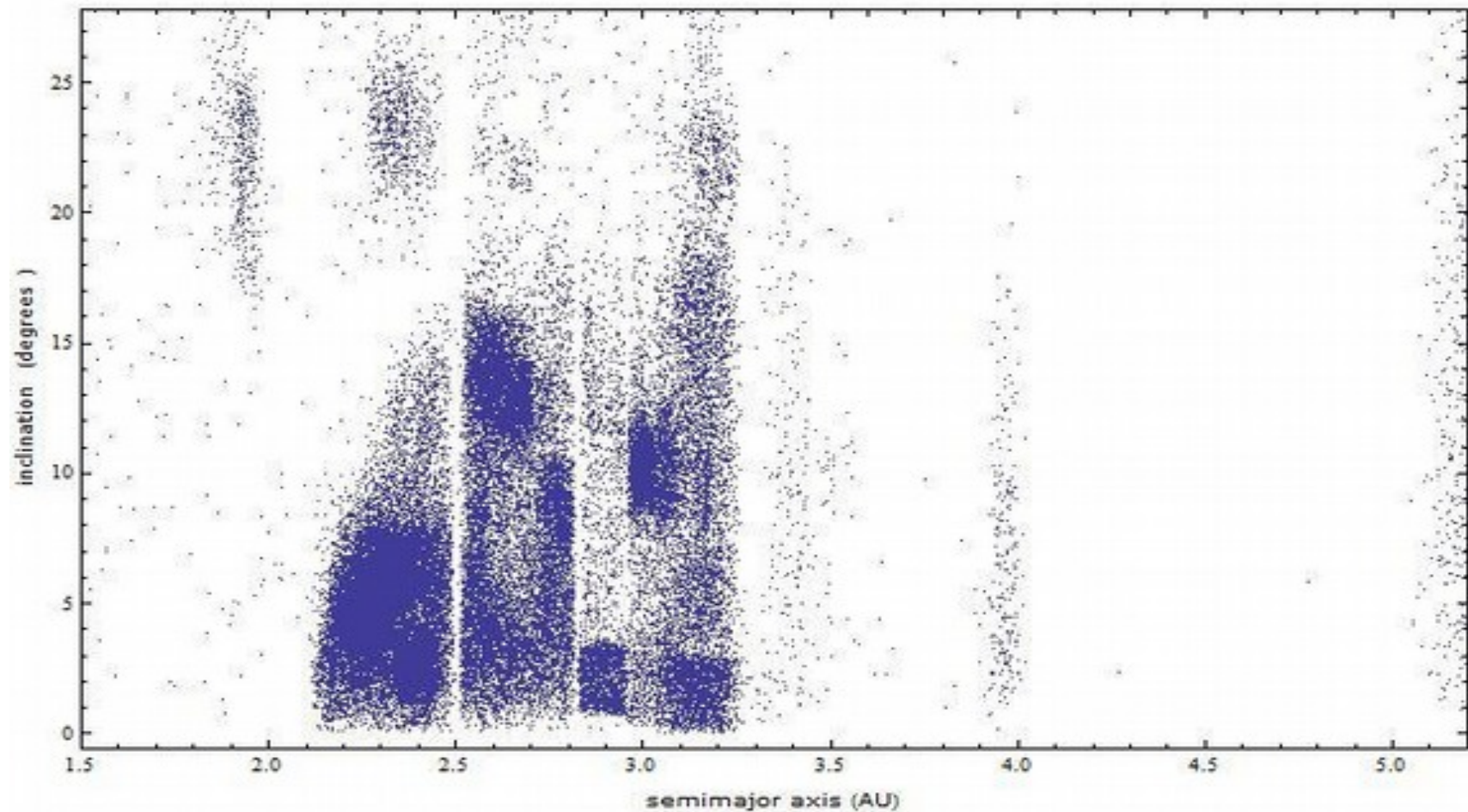


Formation du système solaire



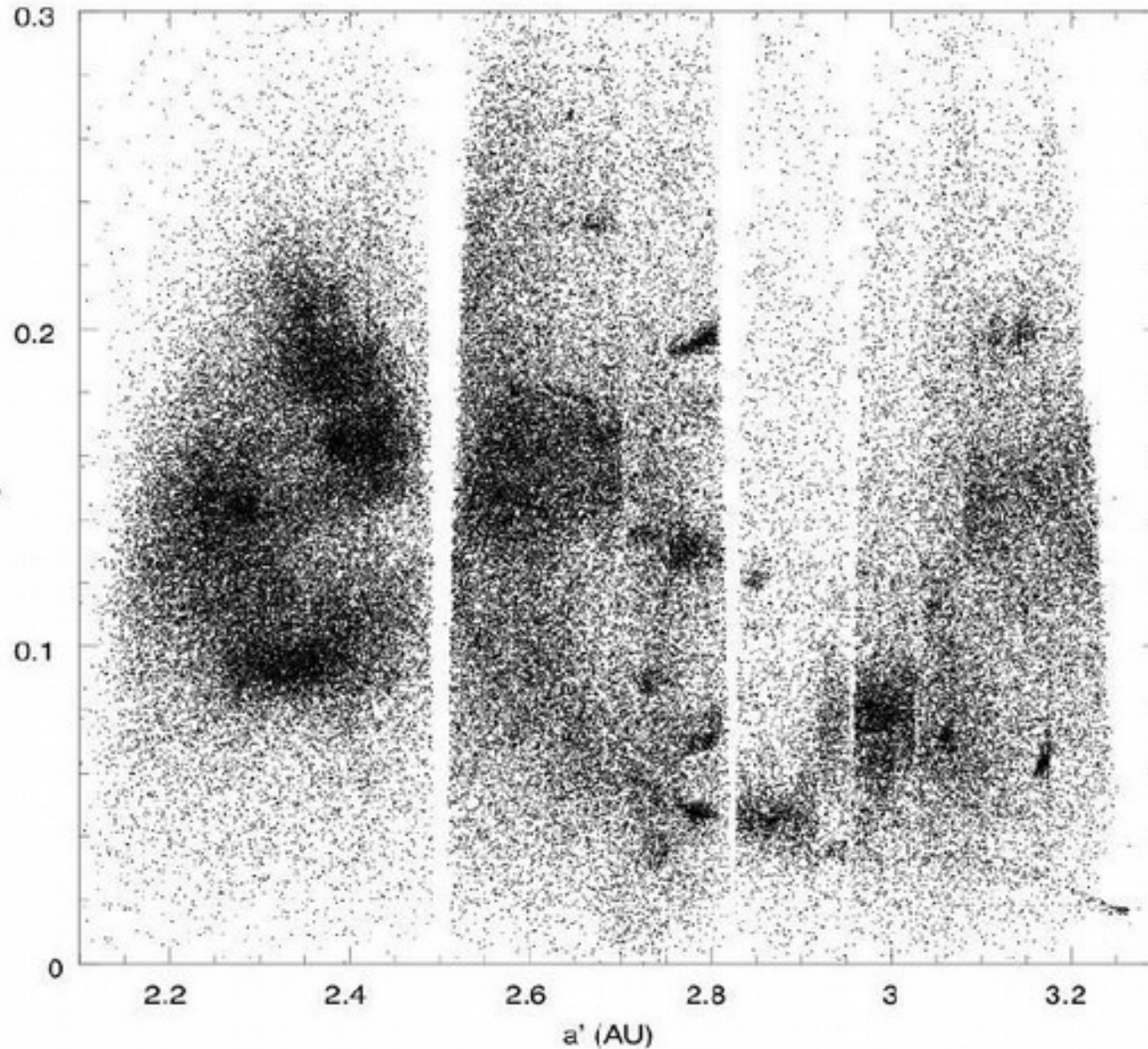
La ceinture d'astéroïdes actuellement

Structure de la ceinture d'astéroïdes sculptée par les résonances avec Jupiter et Saturne



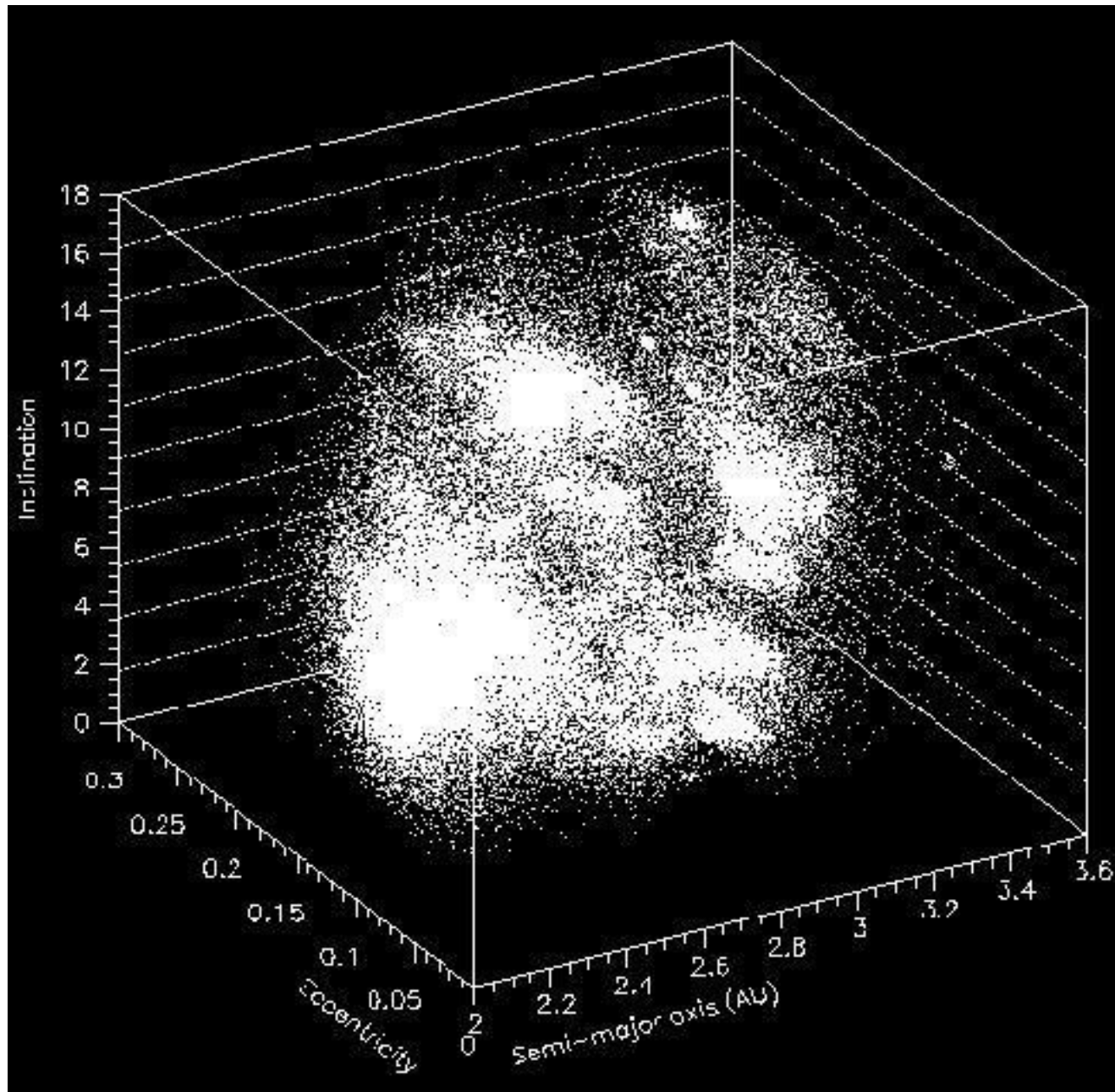
Structure de la ceinture d'astéroïdes

Les météorites viennent sûrement de la ceinture d'astéroïdes,
mais d'où : familles d'astéroïdes initiées par un choc



Familles d'astéroïdes

Structure complexe des familles dynamiques,
études statistiques de plus de 700 000 objets



Des preuves géologiques

Thorsberg limestone quarry



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

Fossil meteorite and nautiloid shell in Ordovician limestone

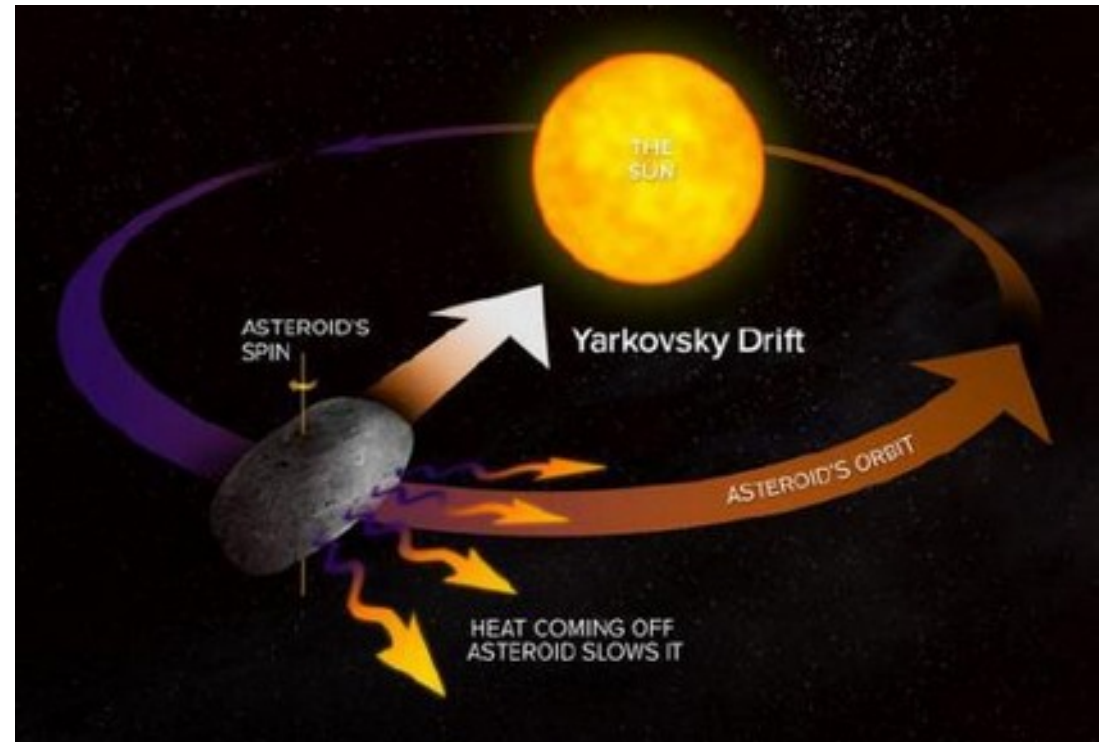
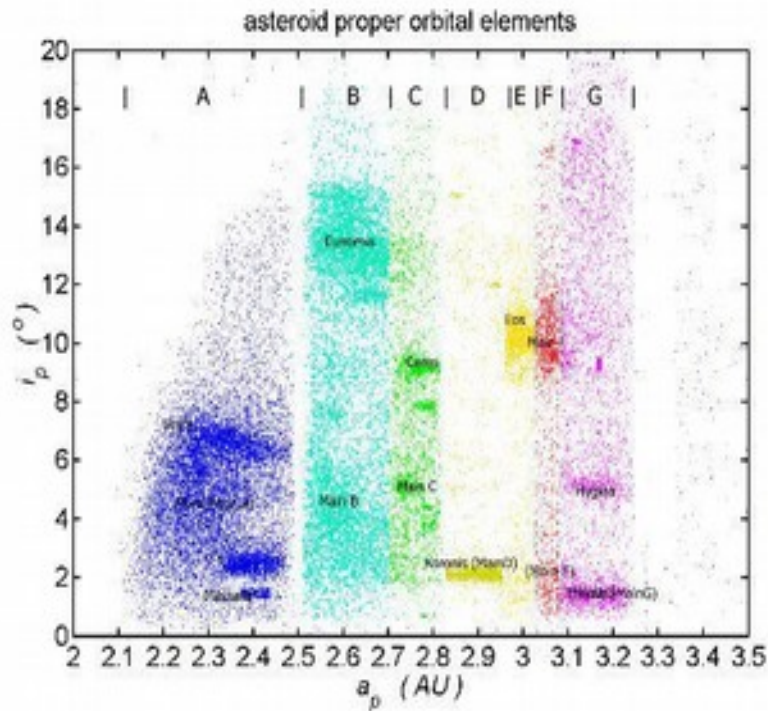


(From Schmitz et al., 2001, EPSL, fig. 3, p.4.)

Calcaires de Thorsberg (Suède)

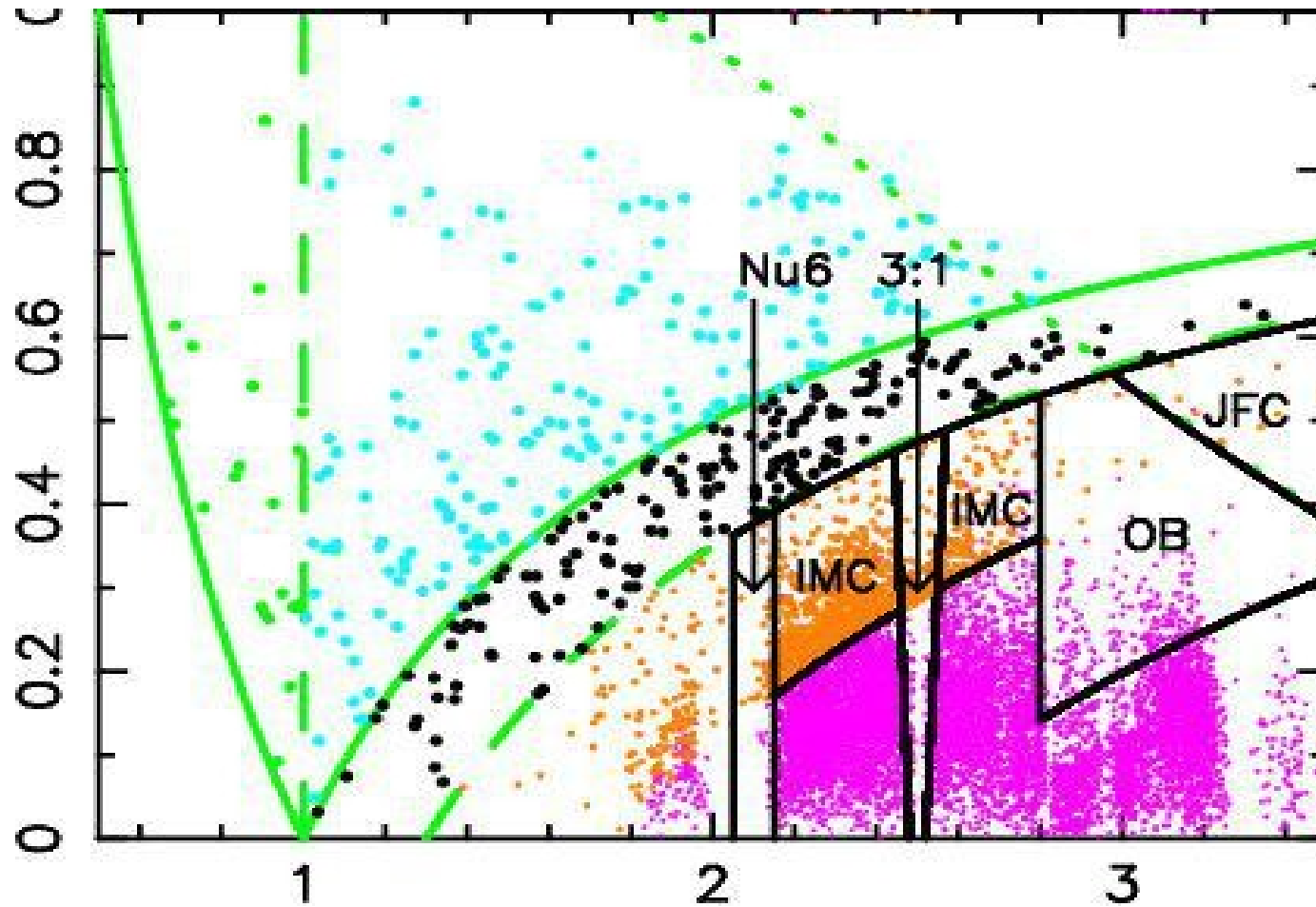
480 millions d'années – durée du bombardement ~ 2 millions d'années

Le mécanisme producteur de météorites / géocroiseurs



Un choc initial crée de nombreux objets dans une zone « stable »
Les plus petits peuvent migrer vers des zones instables (résonance) sous l'effet des forces de Yarkovski.

Zones source des météorites / géocroiseurs



A. Morbidelli, P. Michel, W.F. Bottke, R. Jedicke) diagramme demi grand axe vs excentricité des astéroïdes du système solaire interne. 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

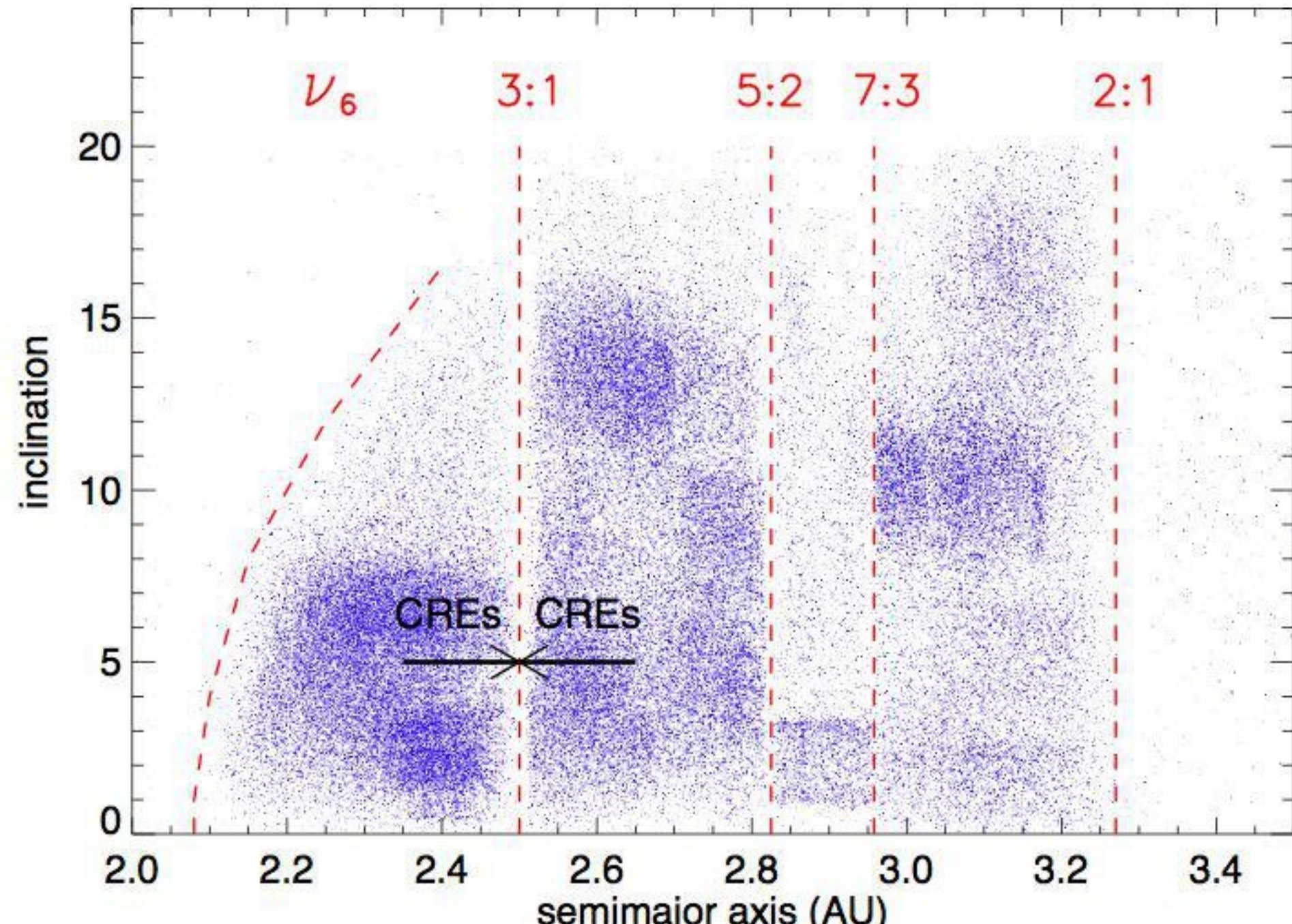
OB = ceinture extérieure

JFC = comètes de la famille de Jupiter

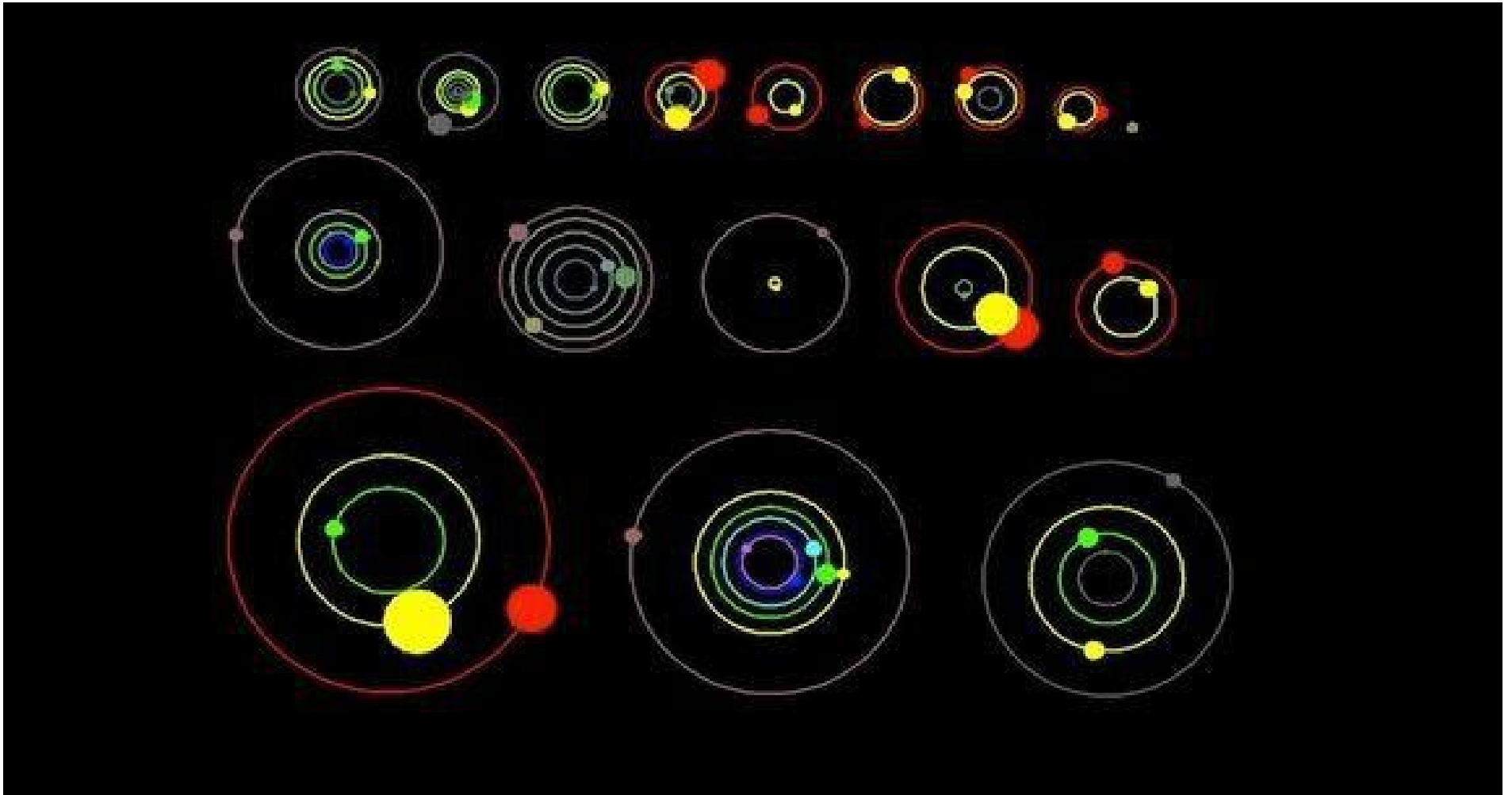
Nu6 = résonance responsable de l'injection des astéroïdes vers le centre du système solaire

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

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



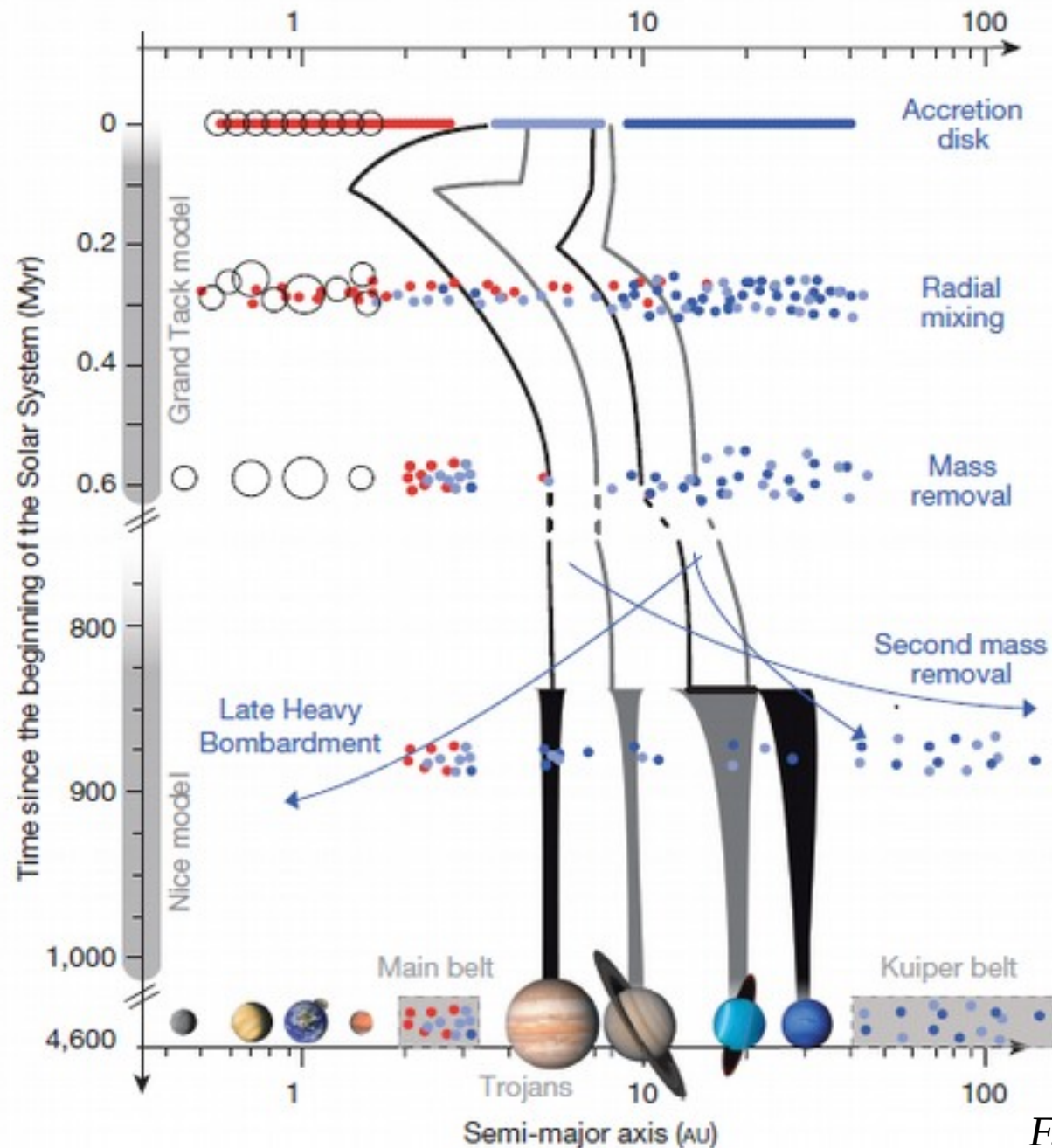
Ca se complique suite à la découverte
de nouveaux systèmes planétaires



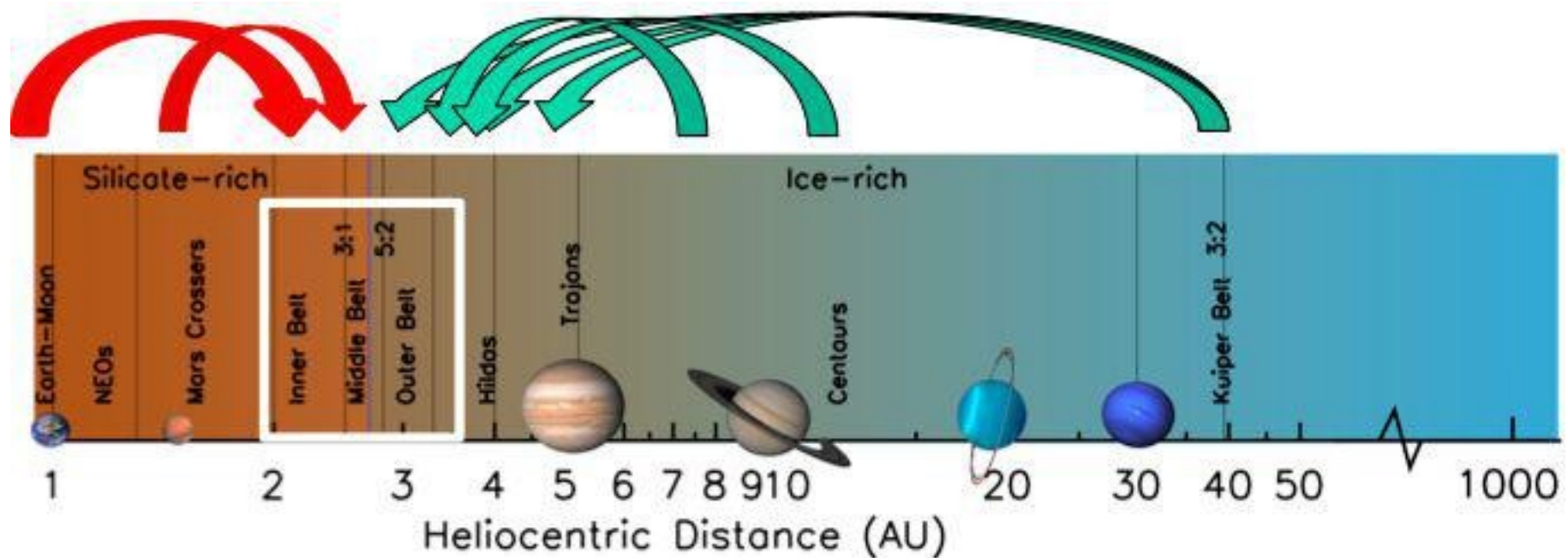
Comment des « Jupiter » sont arrivés à
quelques rayons de leur étoile ?

Kepler

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



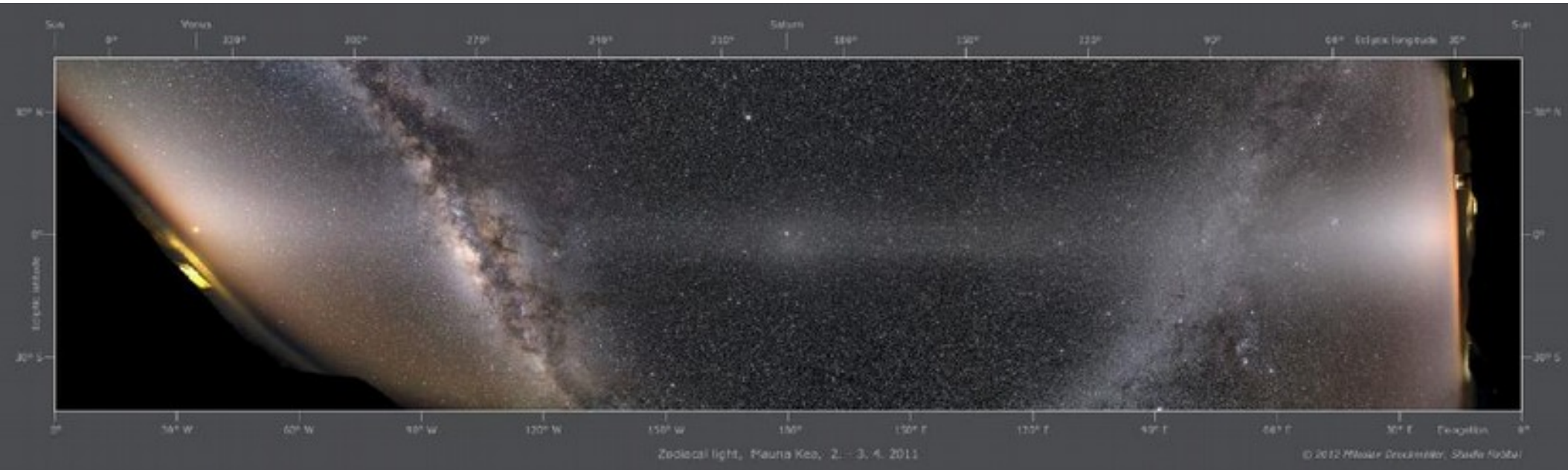
Formation du Système Solaire et migration des planètes



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

Il faut pouvoir faire des statistiques sur les orbites de météorites !!

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

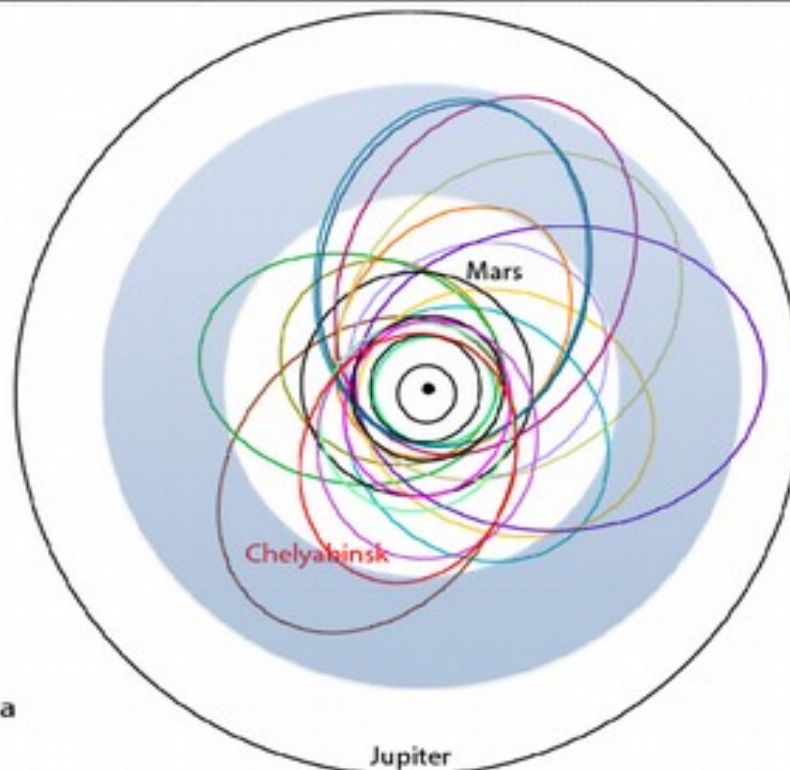
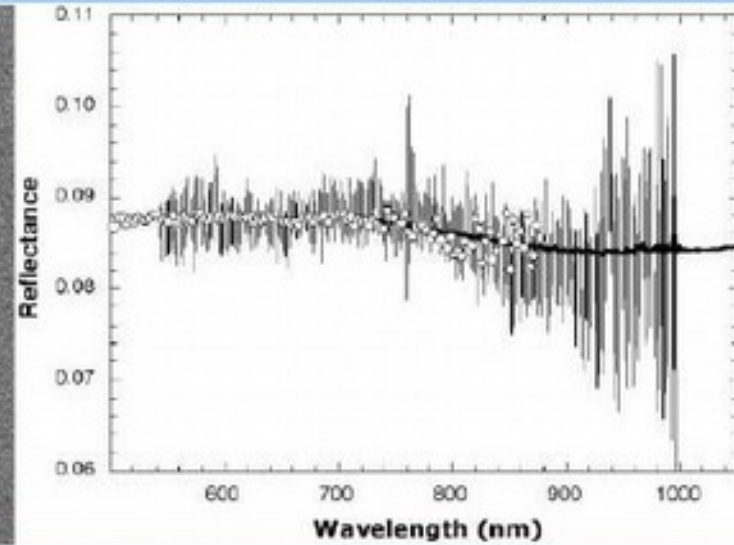
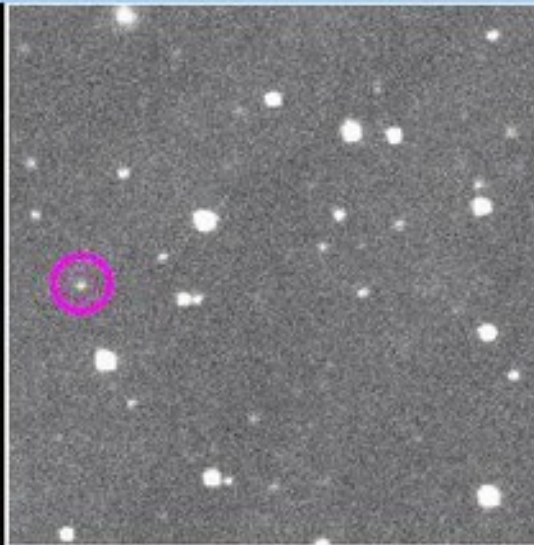


Table 4. Heliocentric orbit for the Grimsby meteorite.

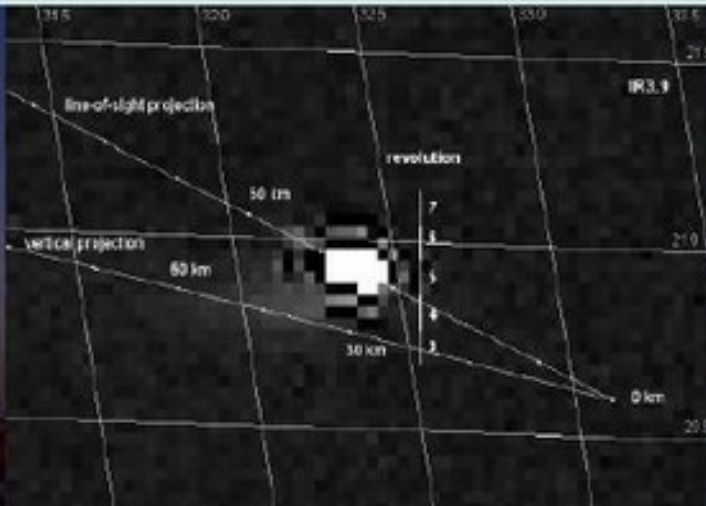
α_r	$248.93 \pm 0.22^\circ$
δ_r	$55.87 \pm 0.11^\circ$
V_{∞}	$20.91 \pm 0.19 \text{ km s}^{-1}$
V_g	$17.89 \pm 0.22 \text{ km s}^{-1}$
α_g	$242.61 \pm 0.26^\circ$
δ_g	$54.97 \pm 0.12^\circ$
a	$2.04 \pm 0.05 \text{ AU}$
e	0.518 ± 0.011
i	$28.07 \pm 0.28^\circ$
ω	$159.865 \pm 0.43^\circ$
Ω	182.9561°
q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

Un cas d'école :

2008 TC3



Almahata Sitta

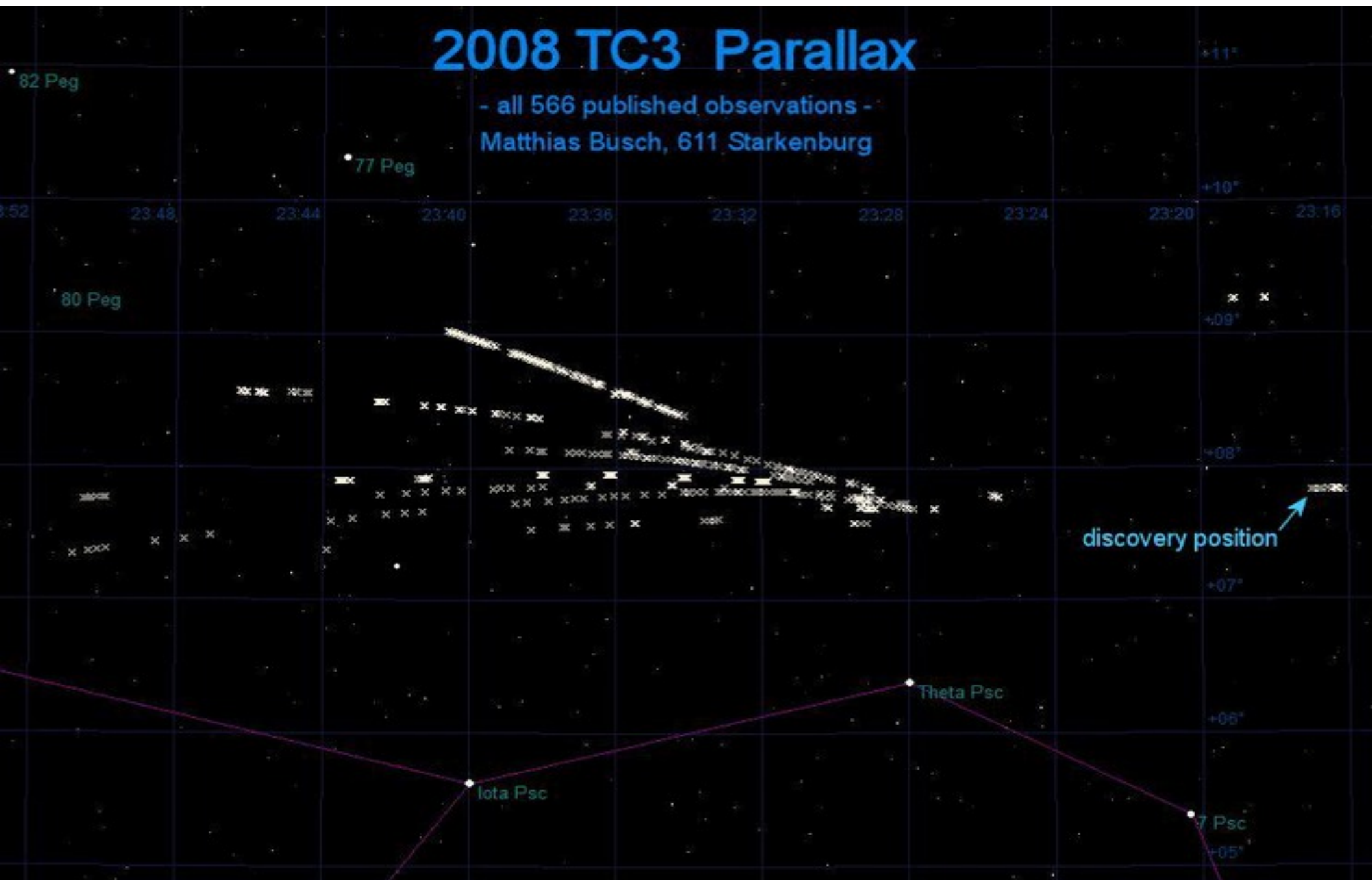


Découverte

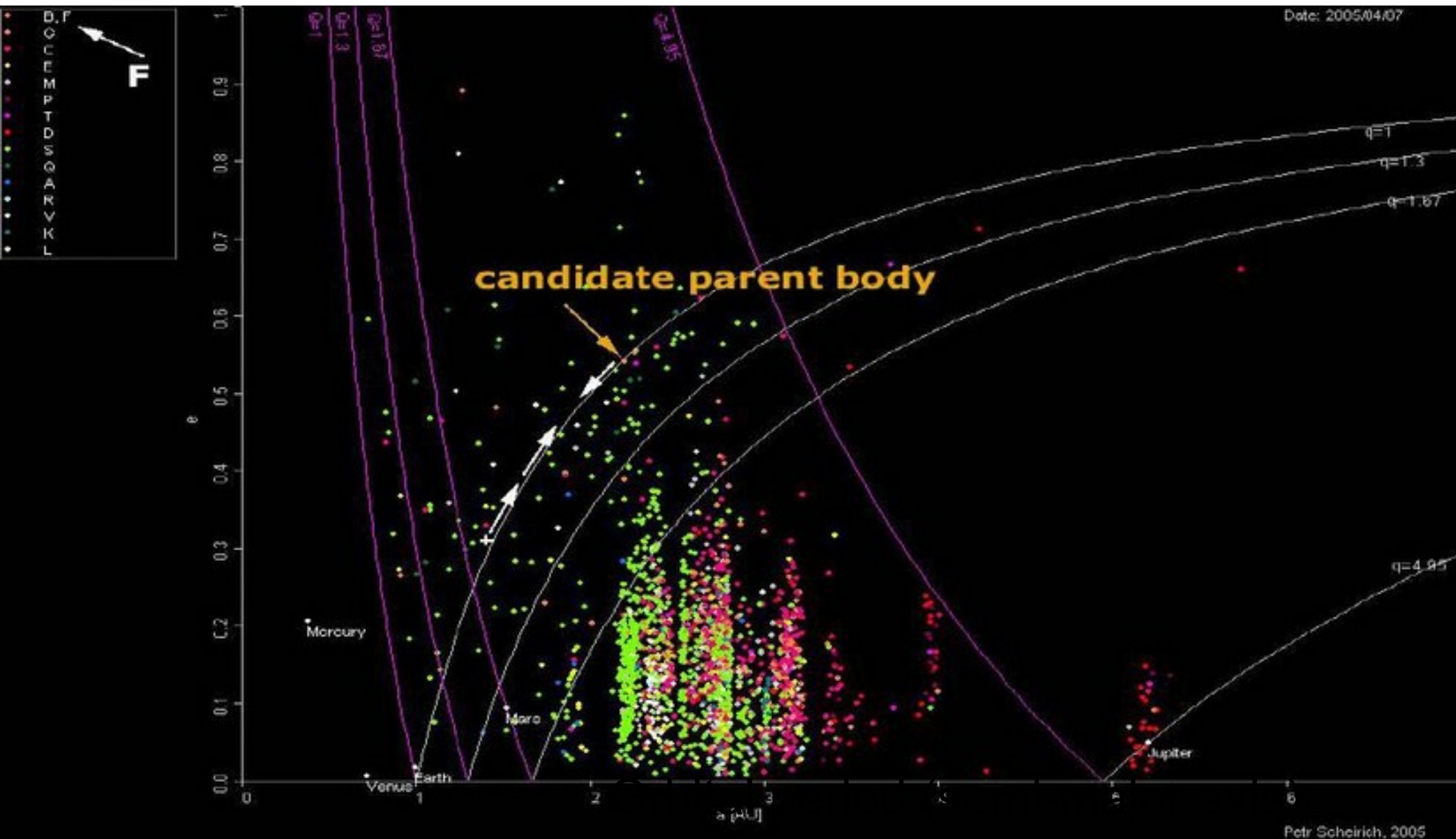


Catalina Sky Survey : « petit » télescope dédié, le même télescope et le même Observateur (Kowalski) ont découvert 2014 AA !!

Suivi télescopique => orbite de très haute précision (500m)



Origine de l'astéroïde 2008 TC3 ?



[illegible]

Recherche de la météorite



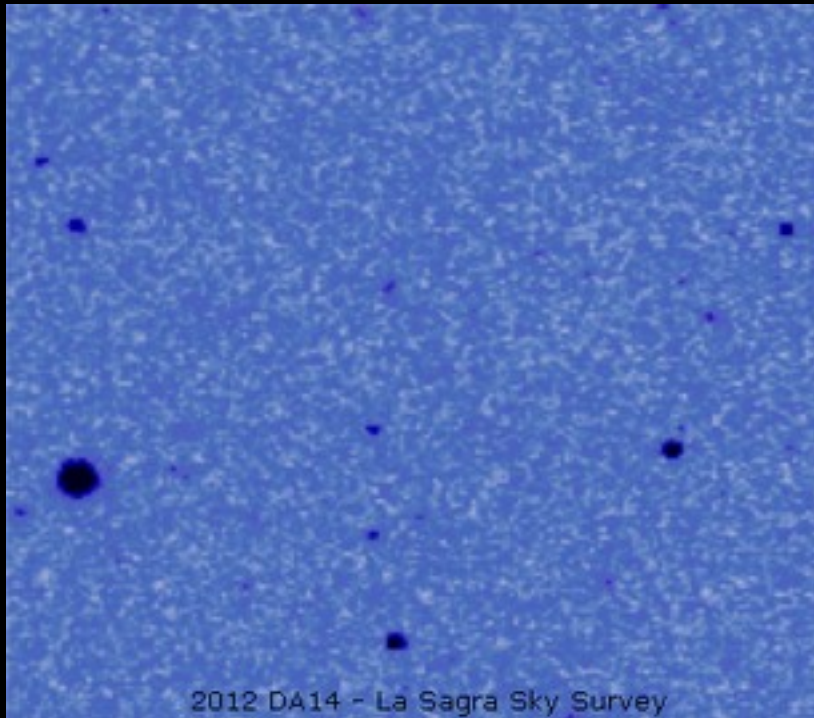


Eparpillement de la masse

- Fumée de silicate chaud (recondensé) ... $\geq 5\%$
- Poussière micronique chaude (decélérée) ... $\geq 20\%$
- Meteorites ... $\ll 1\%$

Le reste est probablement évaporé sans recondensation

Deux aspects du même problème !

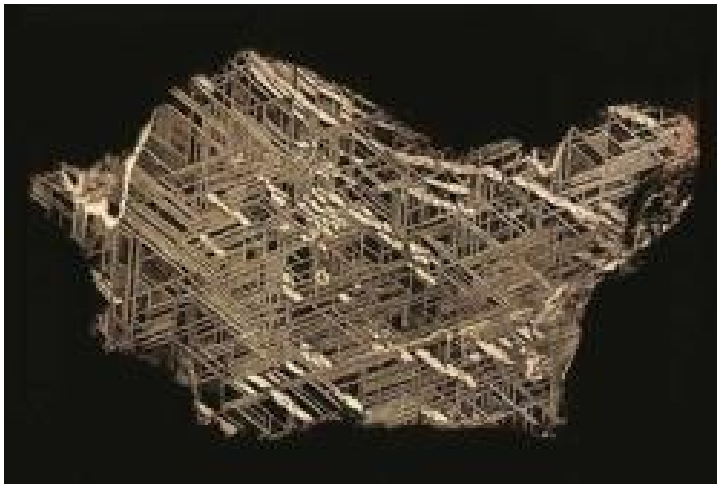


Observatoire de La Sagra (Espagne)
23 février 2012



Tcheliabinsk (Russie)
15 février 2013 ...

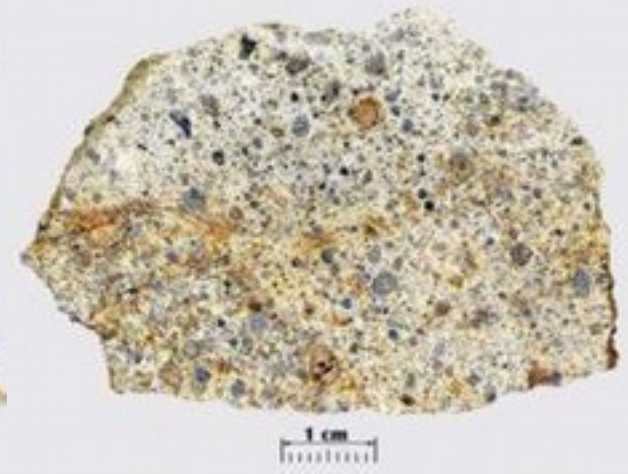
L'approche du « géologue »



Météorite de fer



Pallasite



Achondrite

Connexion astéroïdes / météorites

L'approche de « l'astronome »

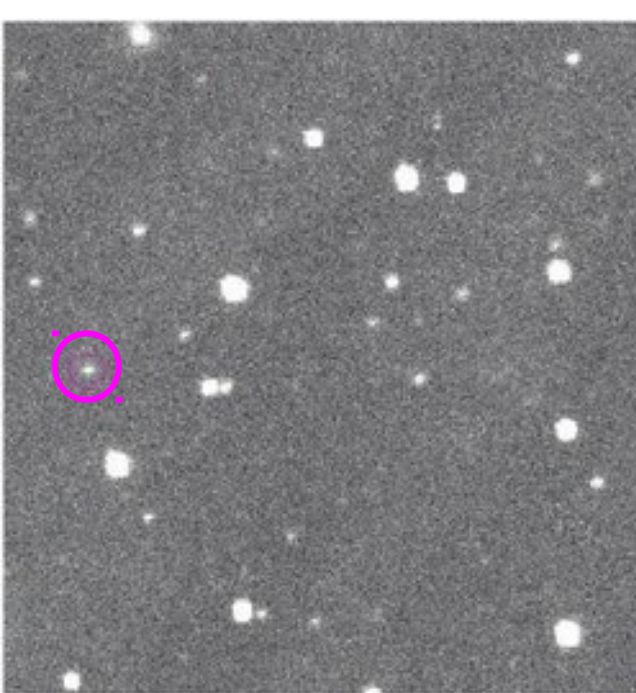
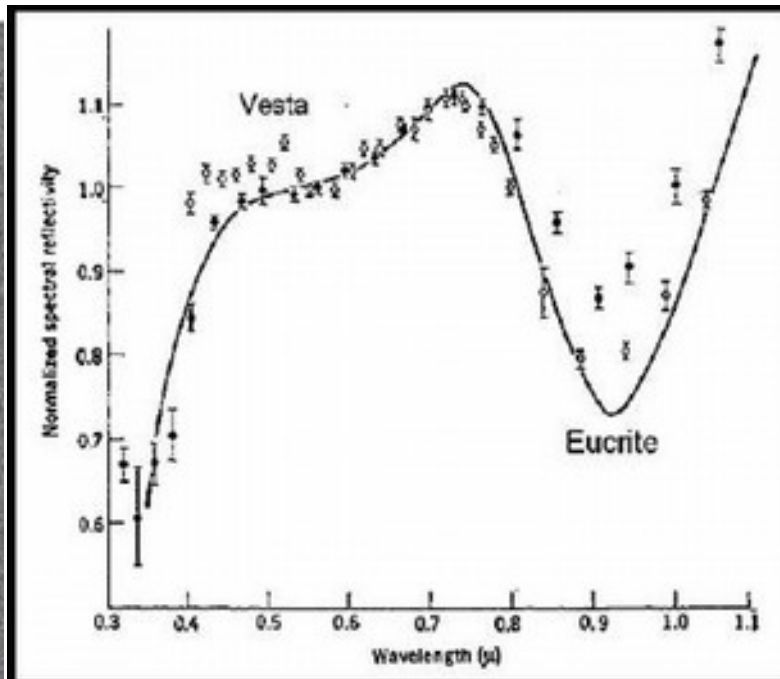
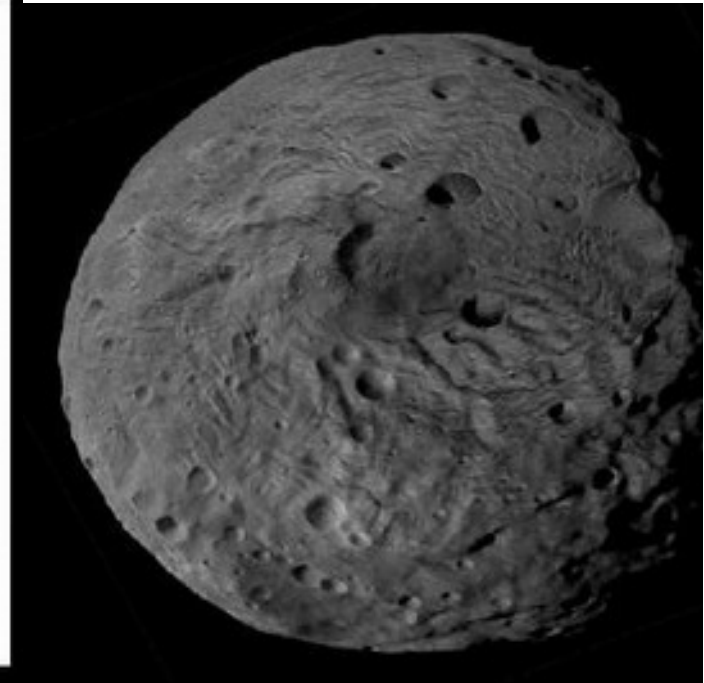


Image large bande



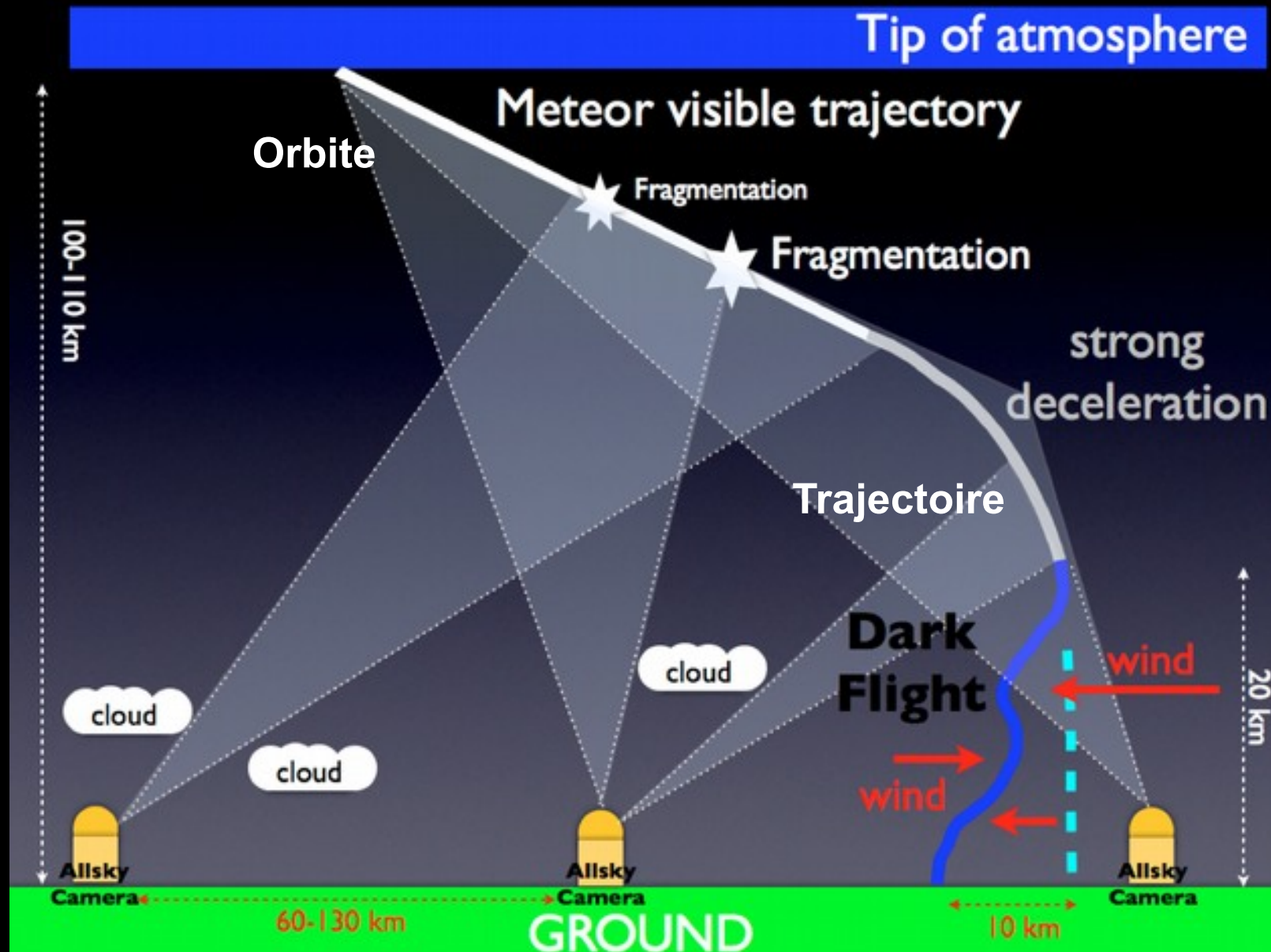
Spectre



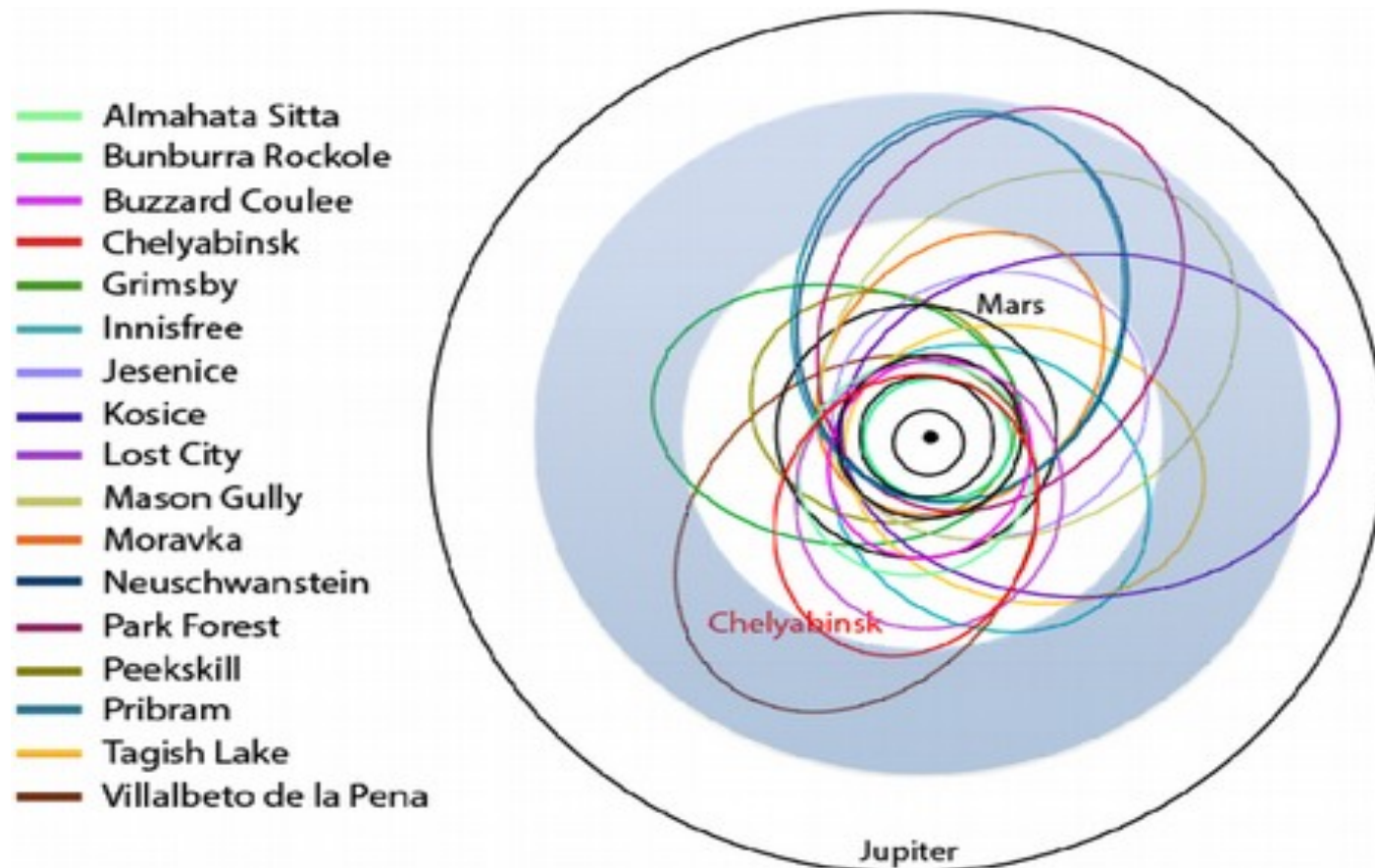
Mission spatiale

Orbite et trajectoire

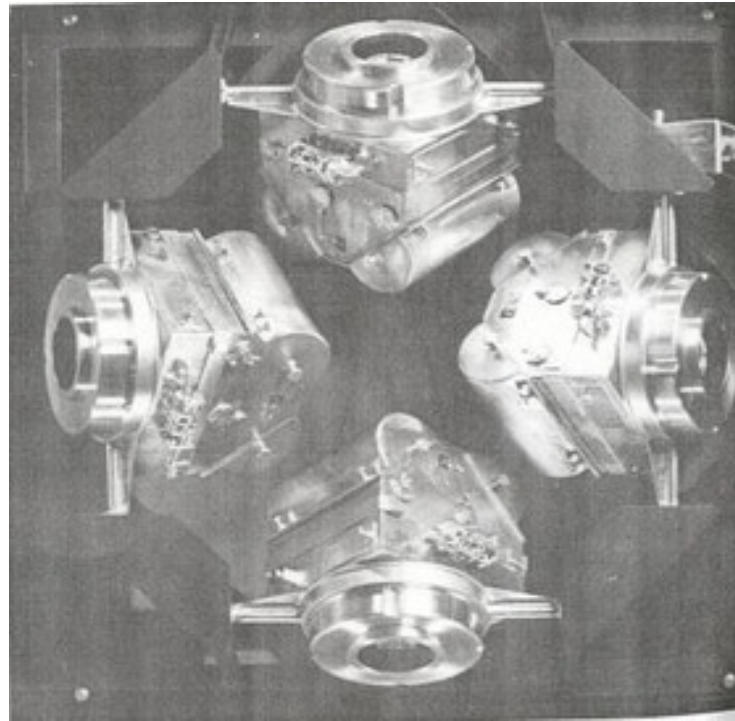
Utilisation des 100 caméras et de 25 stations radio (vitesse du météore)



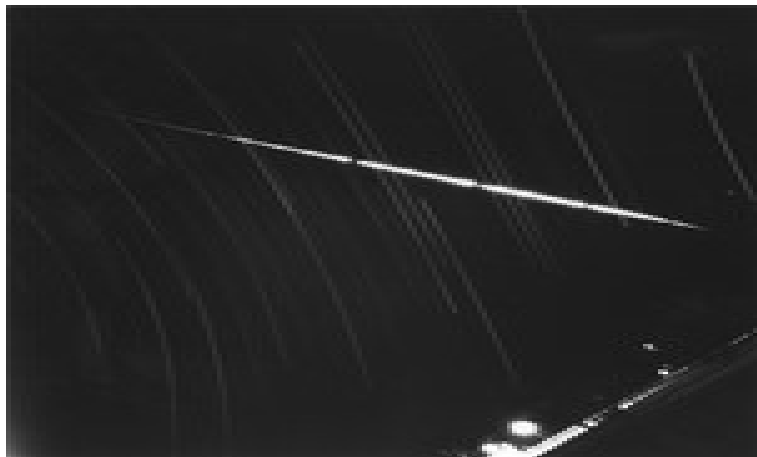
Deuxième but du Réseau FRIPON :
détermination des orbites des météorites
et localisation des corps parents



La préhistoire des réseaux : Prairie Network



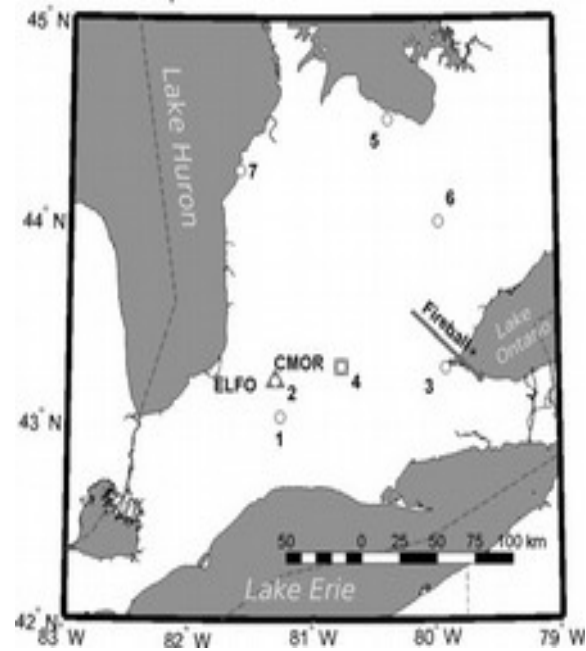
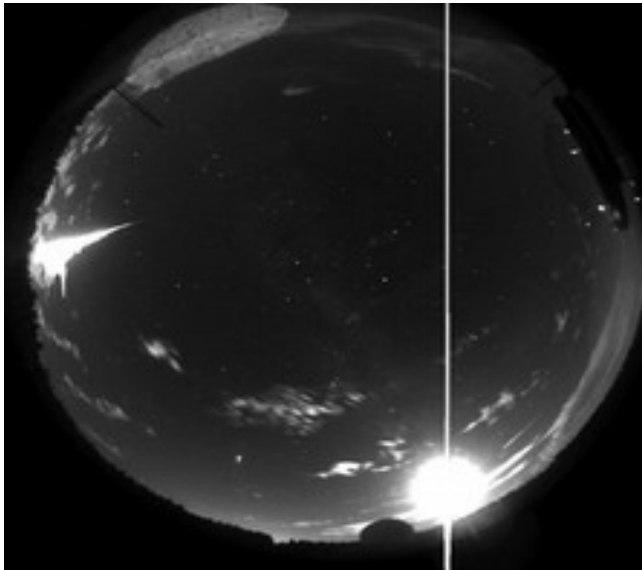
=> 1 trouvaille en 10 ans : météorite de « Lost city »



Météorite de Grimsby – Canadian Fireball Network 25 septembre 2009

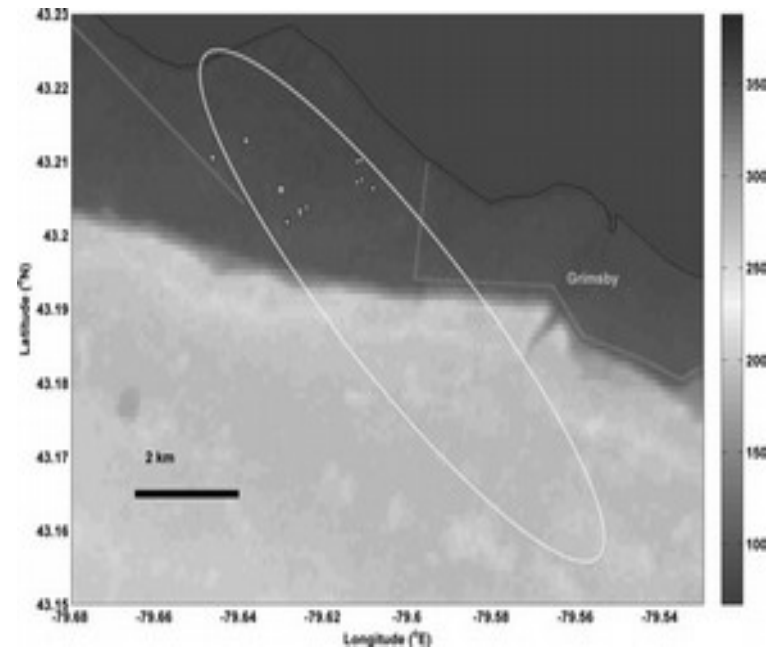
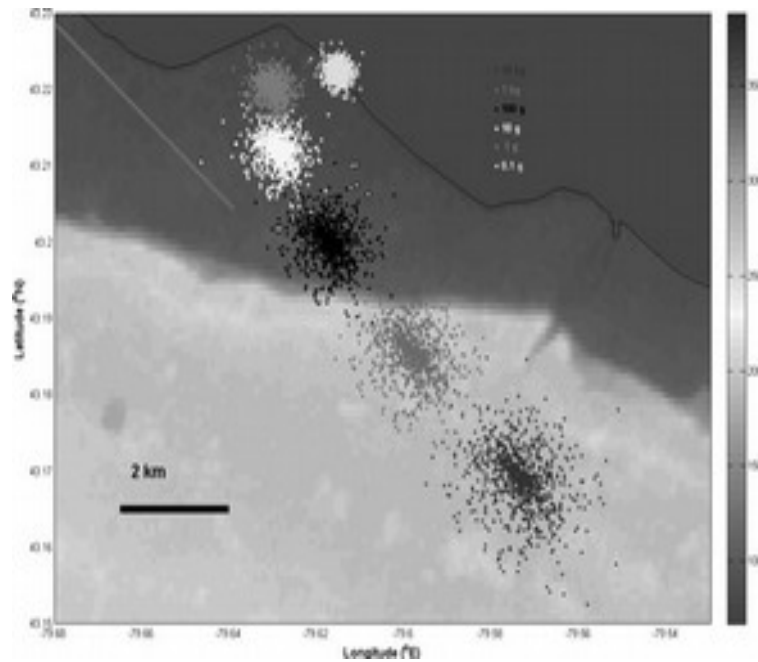


Cleveland

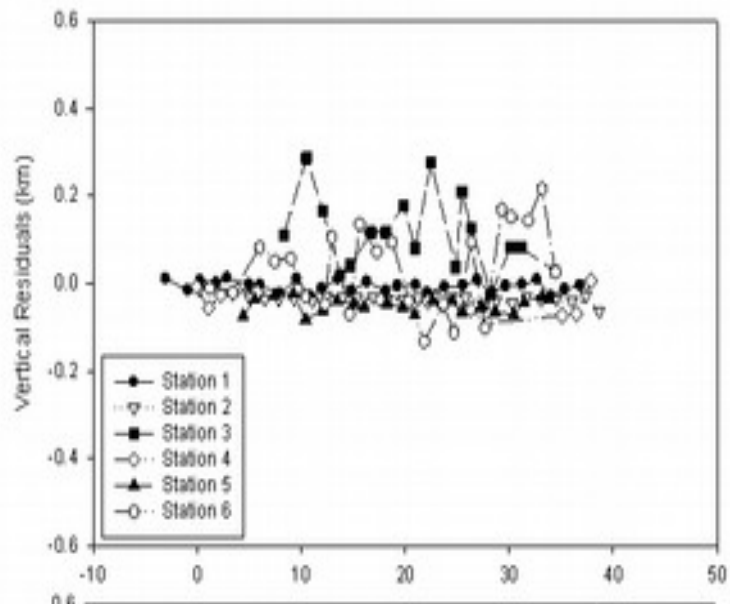


Météorite de Grimsby – Canadian Fireball Network

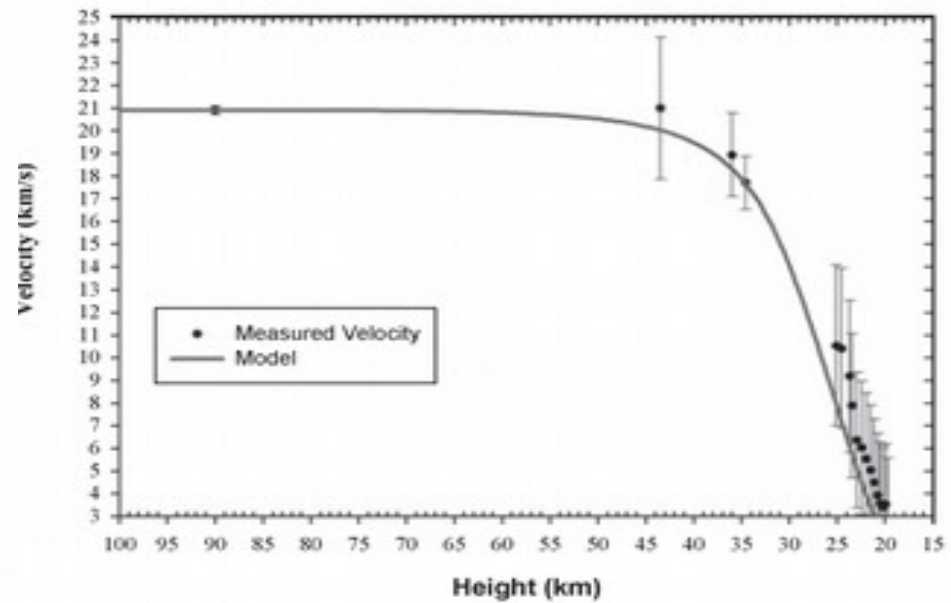
25 septembre 2009



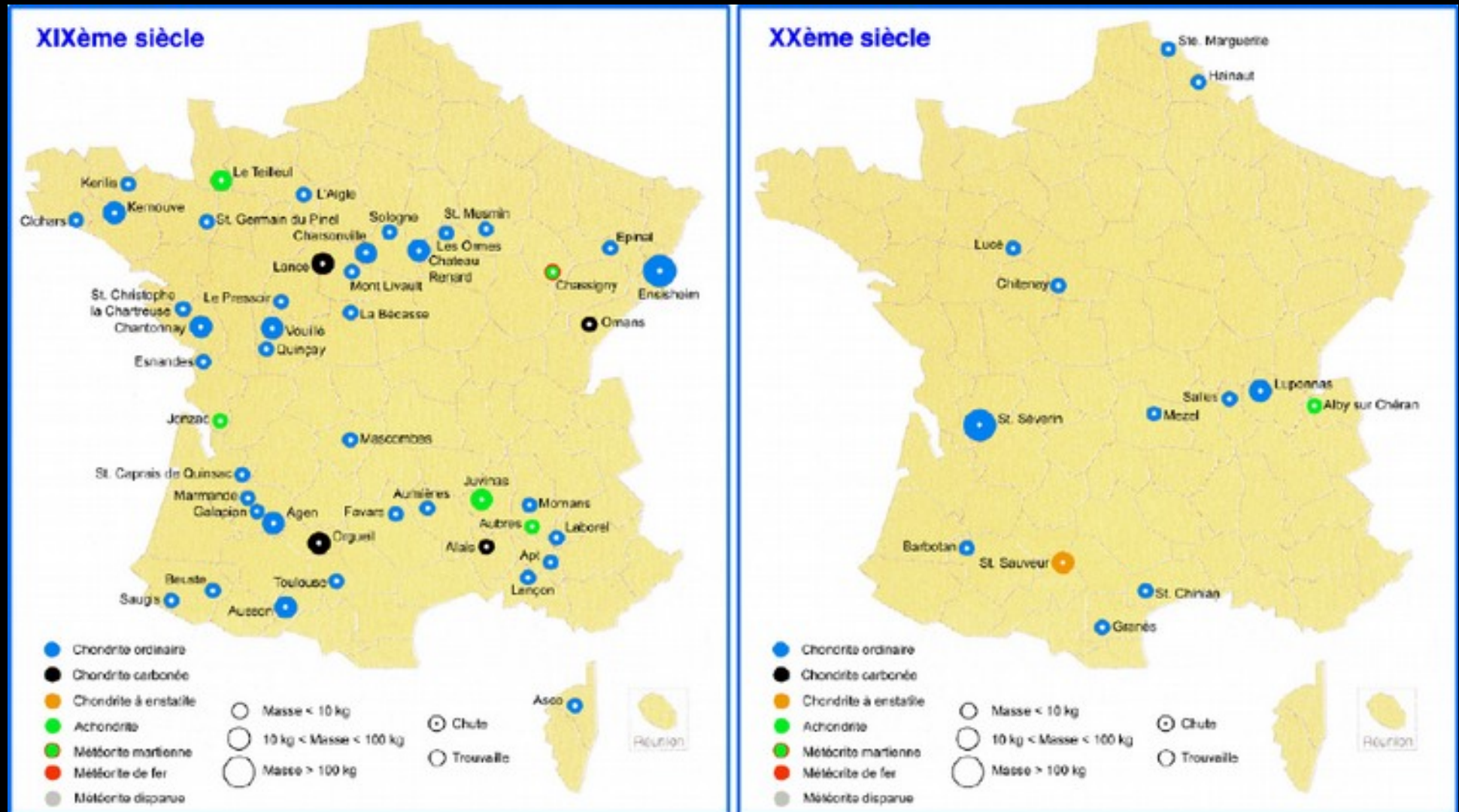
« Dark flight » model



Météorites retrouvés



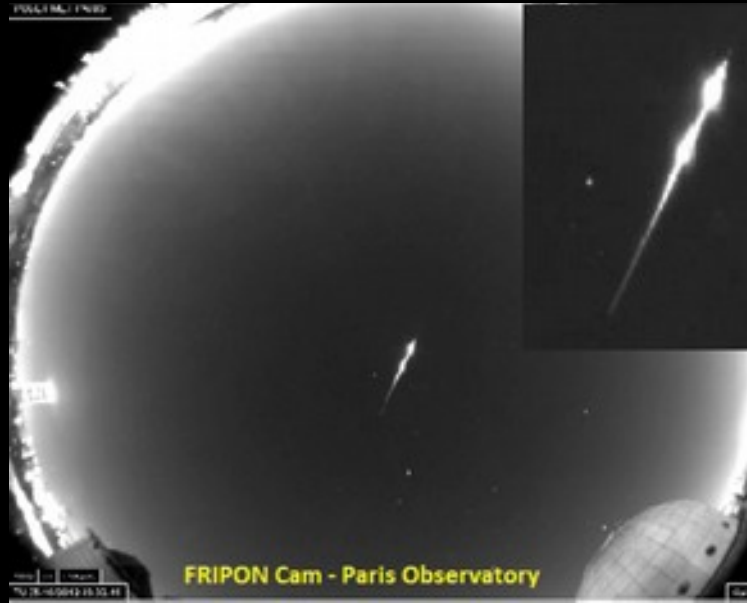
Fréquence des impacts observés en France

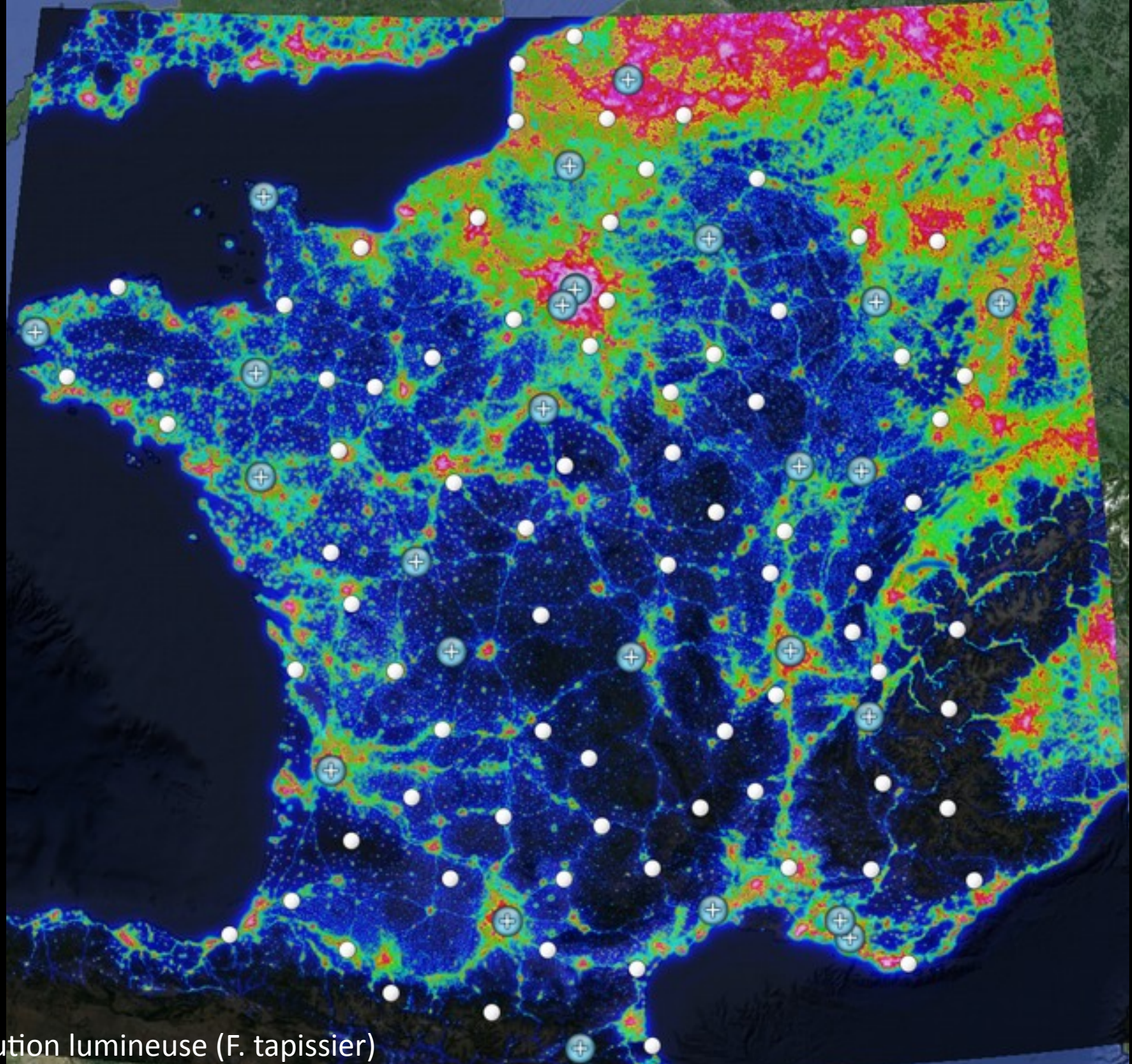


XIX^{ème} siècle: 46 météorites

XX^{ème} siècle: 13 météorites

Le réseau FRIPON





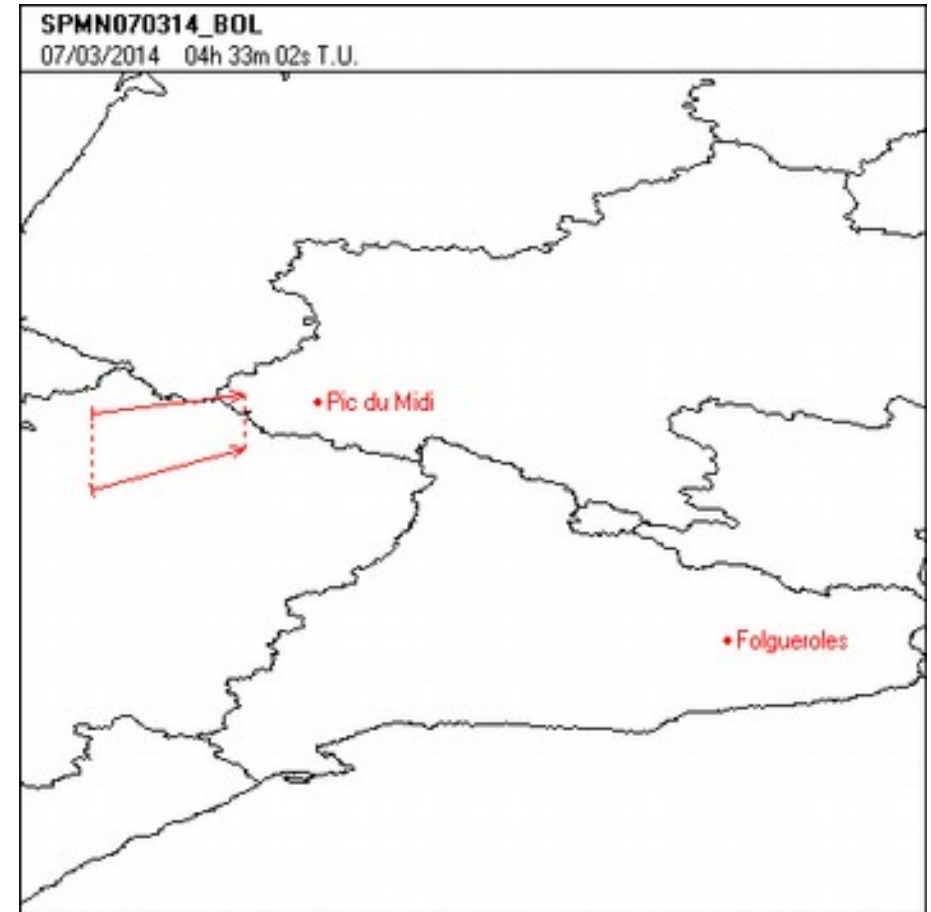
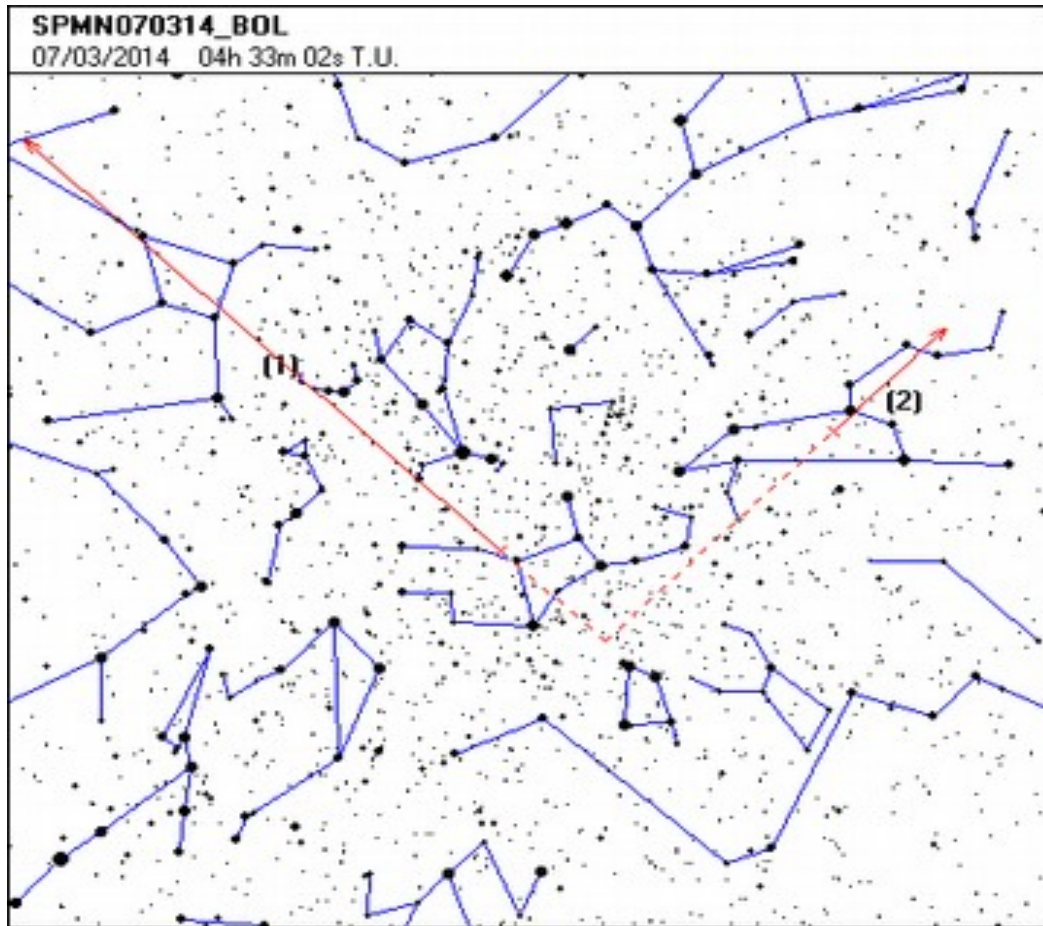
Carte Pollution lumineuse (F. tapissier)

Premier but du Réseau FRIPON :
Localisation de la chute de la météorite



Bolide du 7 mars 2014 – FRIPON – Pic du Midi

Bolide du 7 mars 2014

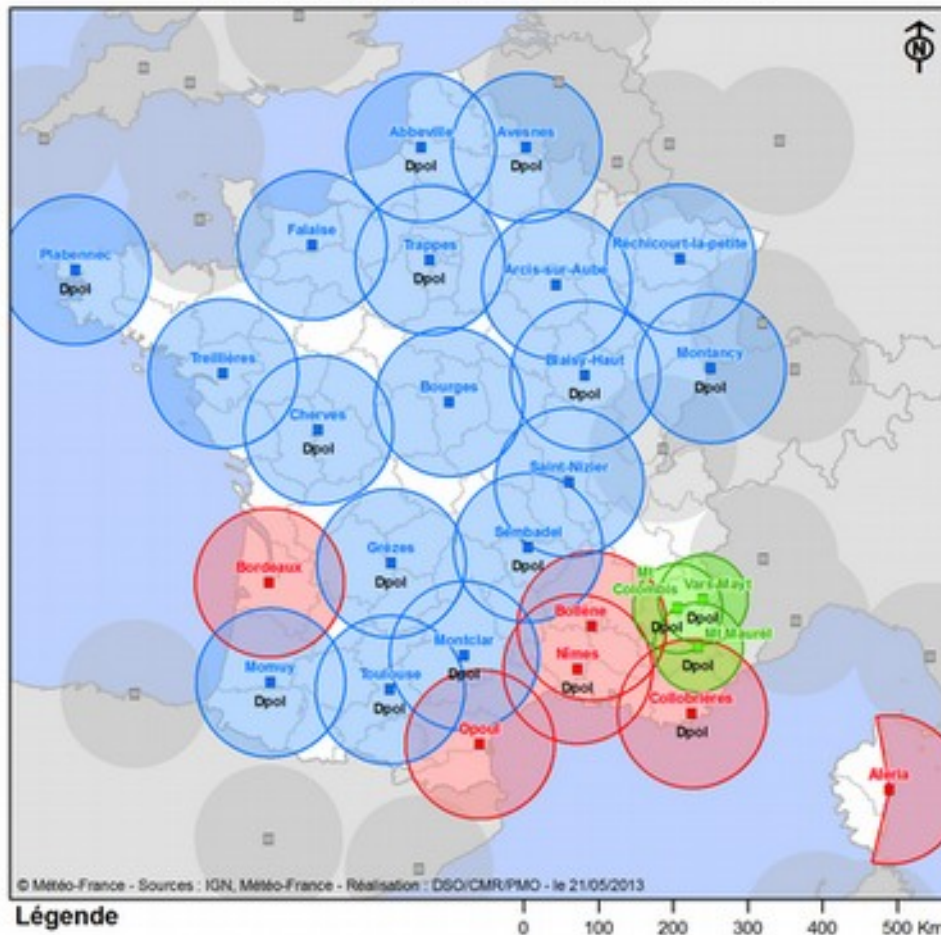


Résultats préliminaires :

- Vitesse : 51.5 km/s
- grande inclinaison
- radiaan proche des Corvids de juin
- altitude de épart : 100km
- Altitude de fin : 47 km
- Magnitude -11 !!!

Collaboration avec le réseau radar Météo France Aramis Contrainte sur le Dark Flight

Le réseau de radars en 2013

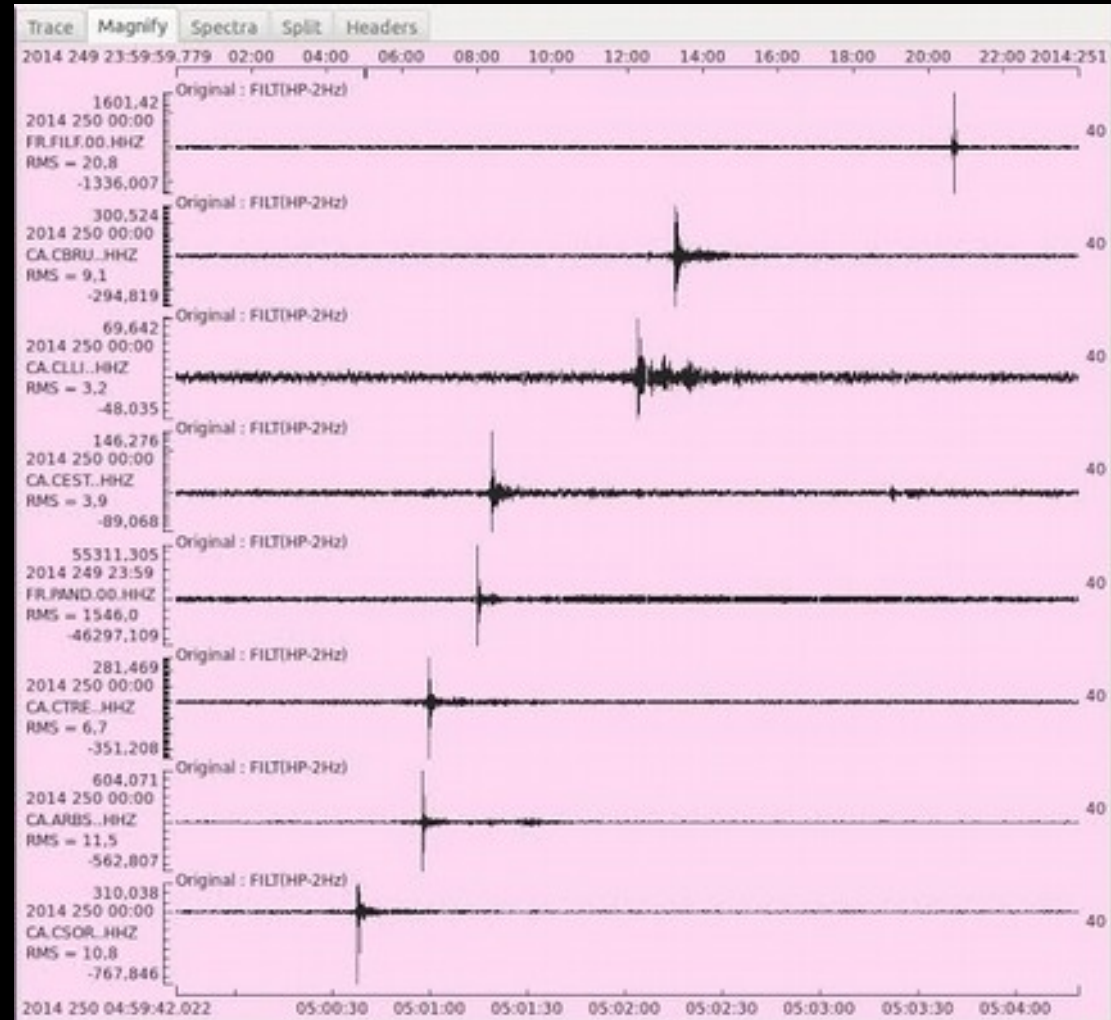


Exemple de détection par le réseau
américain - Chute du 22/4/2012

Enregistrement de la fragmentation par les sismomètres



Bolide du 7 septembre en Catalogne





Détection systématique des bolides



Bolide du 20 aout 2014 - 22h18m UTC



- 1) jean Brunet ($f=5\text{mm}$ 0.95) 25 im/s
2) FRIPON Orsay ($f=1.25\text{mm}$ 2.0) 30 im/s
3) Obs de Paris ($f=1.8\text{mm}$ 1.4) 25 sec

Utilisation de caméras Fisheye
360° de champ

Stockage de toutes les
détectons

**First triple detection of the
test FRIPON camera
network, June 2015**

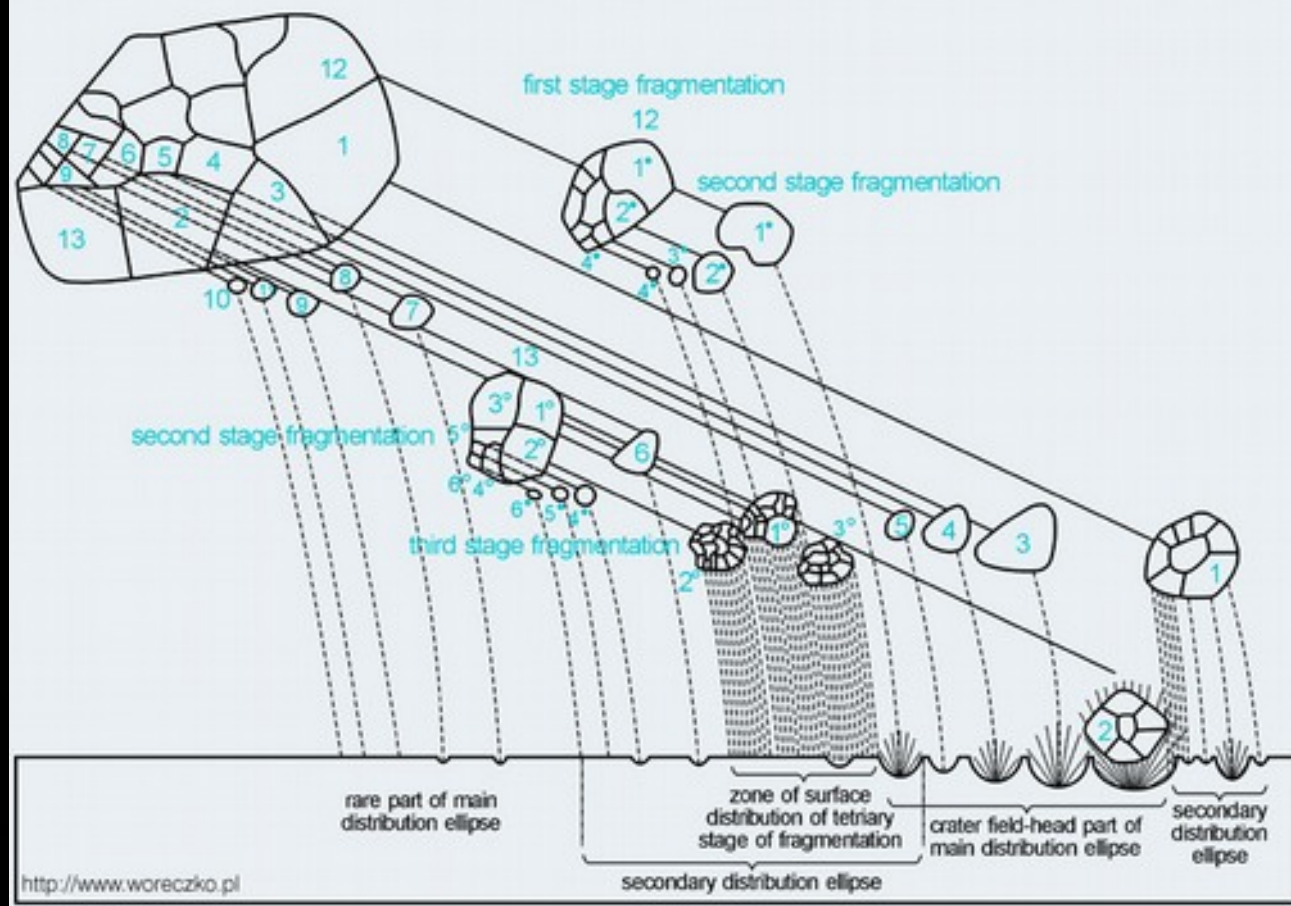


ORSAY -GEOPS

Le 09/06/2015 à 00h17m06 UT

ORLEANS - OSUC

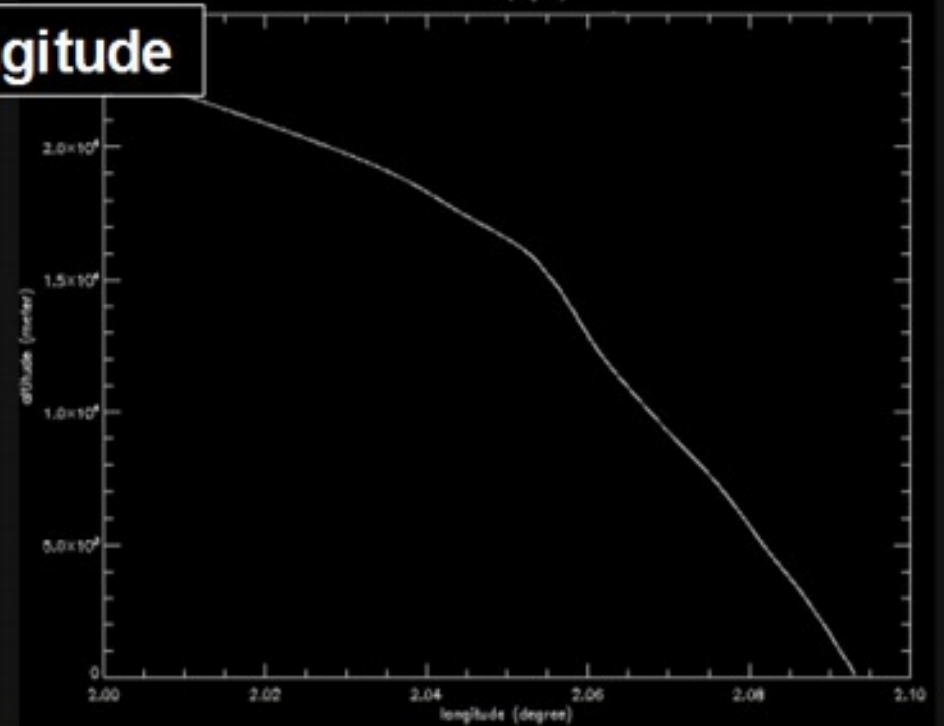
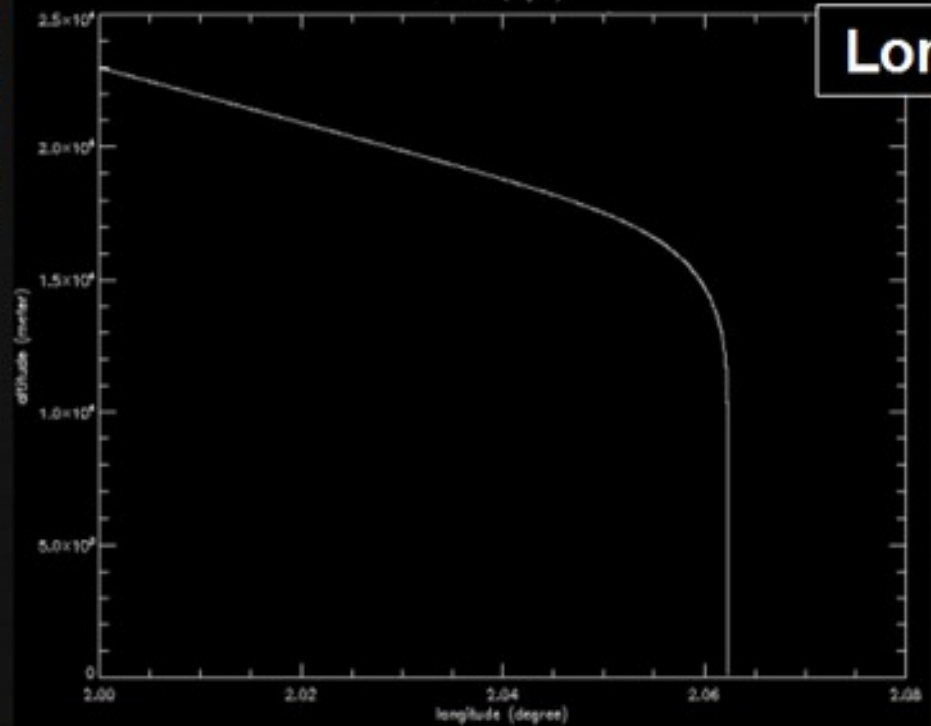
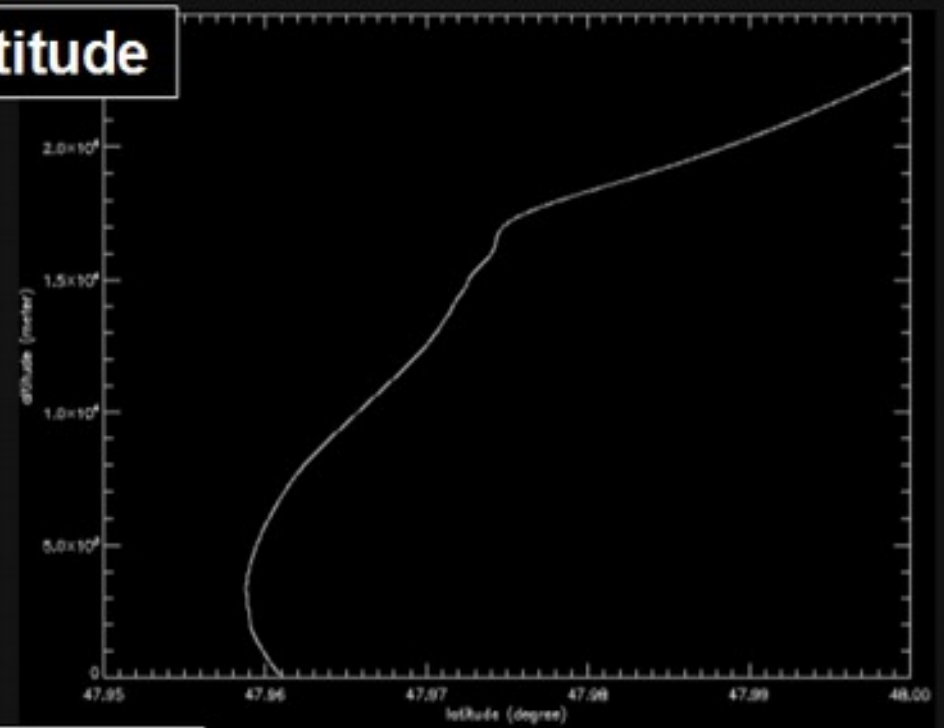
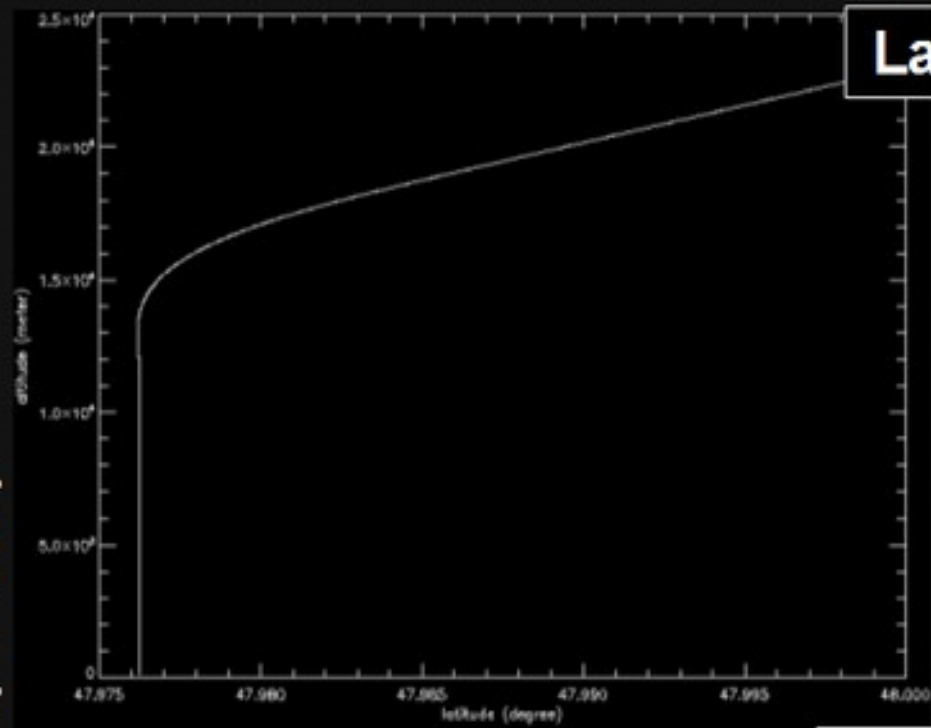
Gretz – Uranoscope



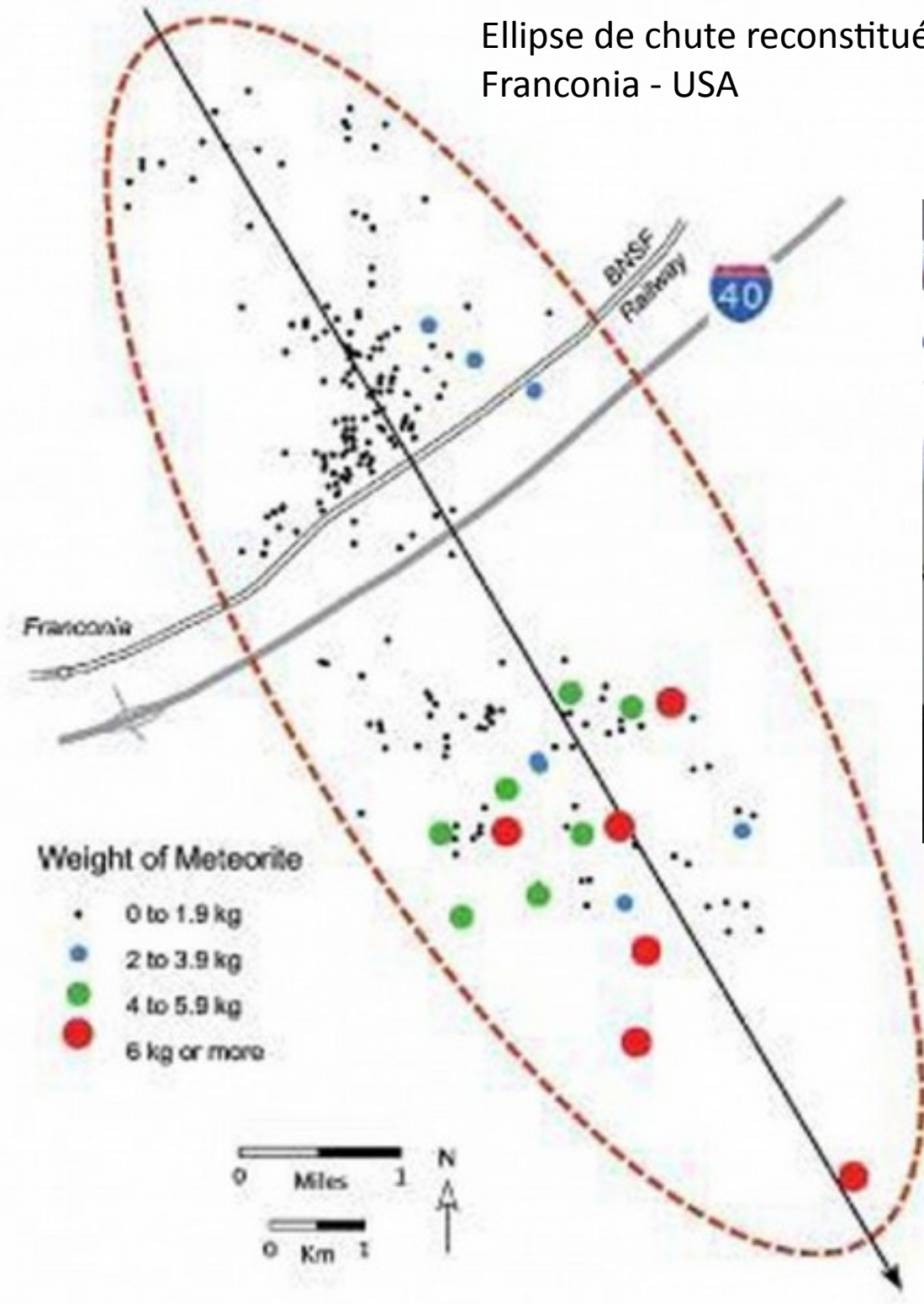
Without wind

With wind

Altitude (mètres)



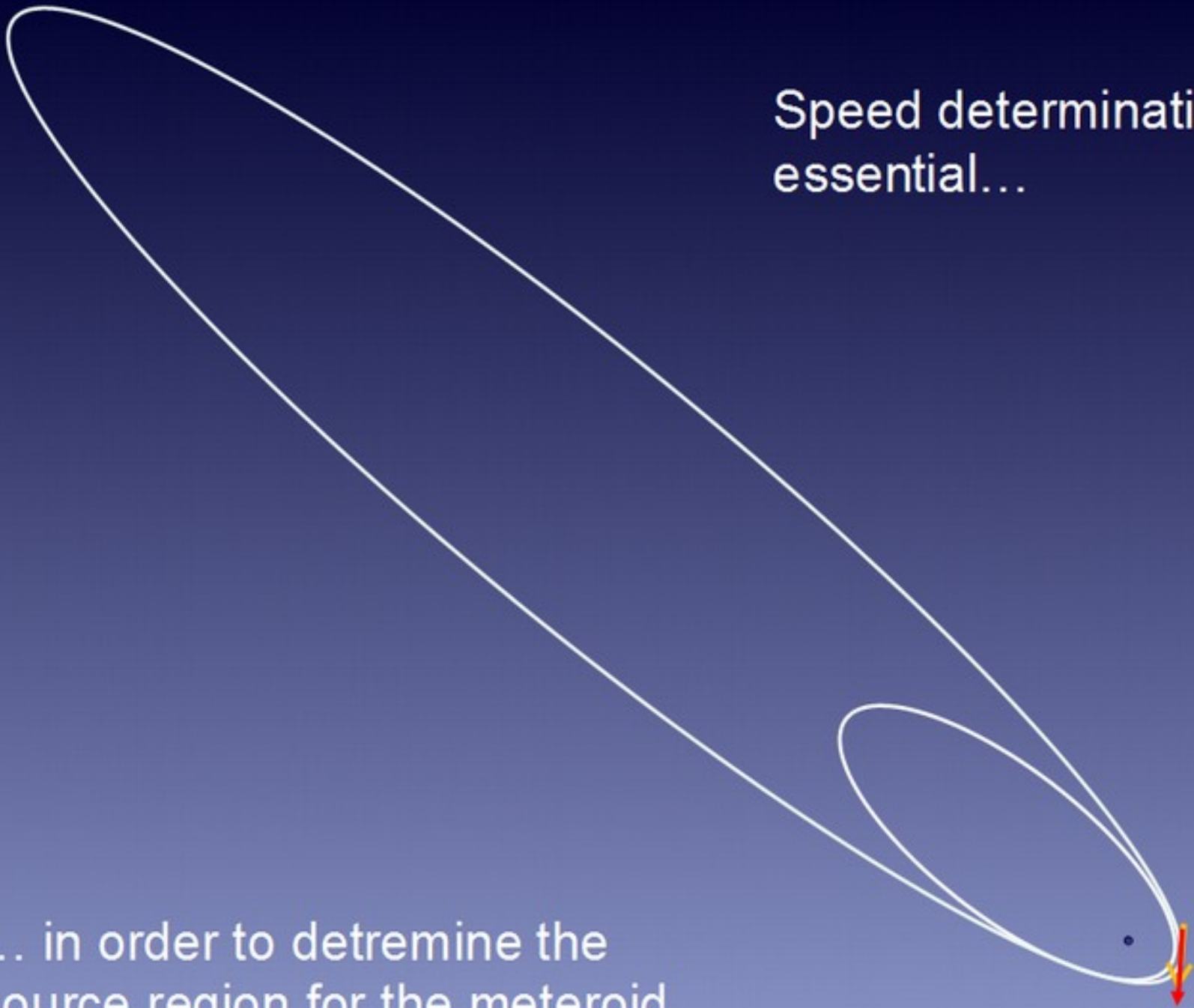
Ellipse de chute reconstituée
Franconia - USA



Ellipse de chute reconstituée
Taffassasset - Niger

Speed determination is
essential...

... in order to determine the
source region for the meteoroid

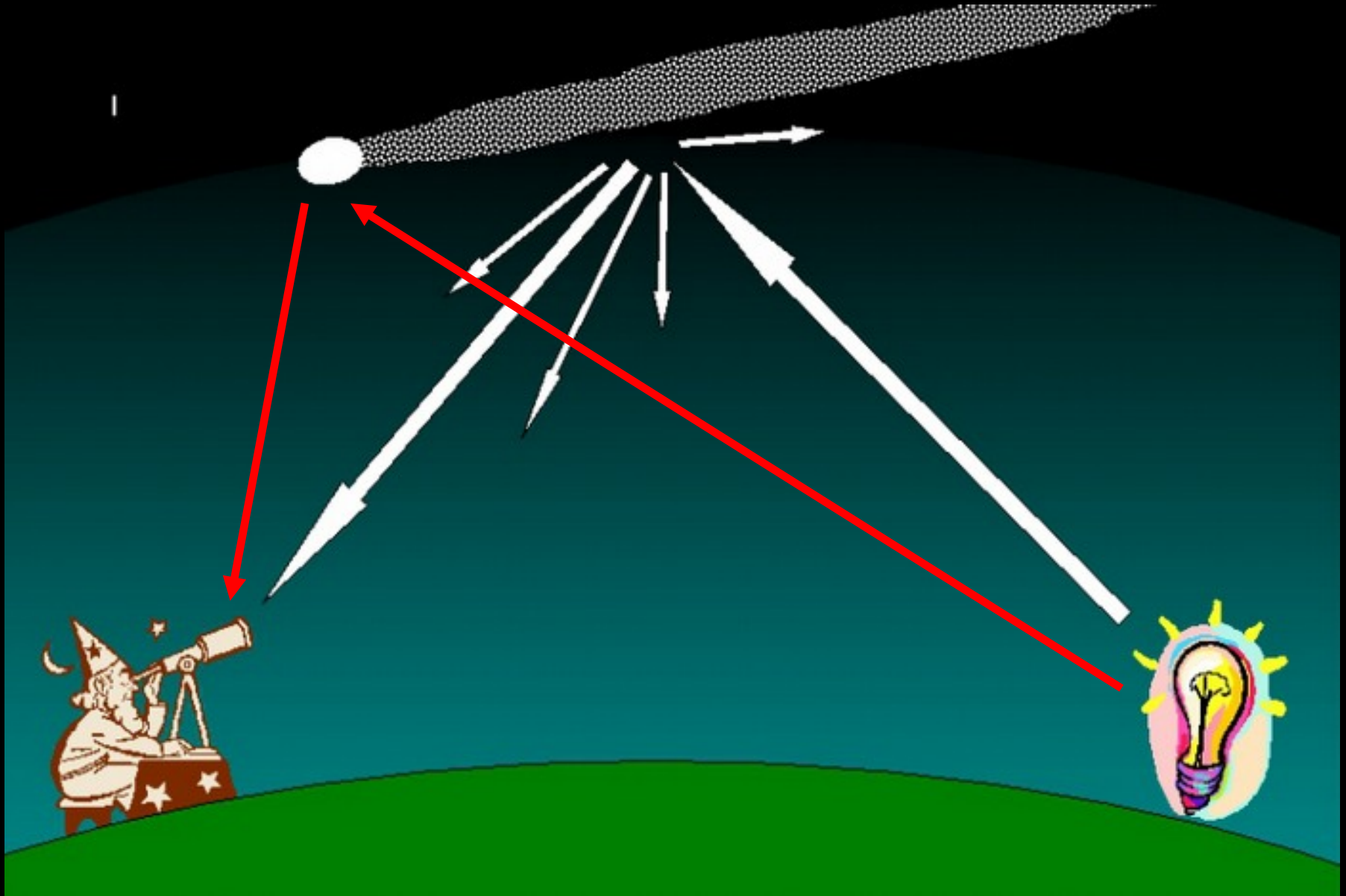


La détermination de la
vitesse est
fondamentale...

... pour déterminer le corps
parents à la météorite retrouvée



Détermination de la vitesse du météore par l'écho Doppler mesuré par radio

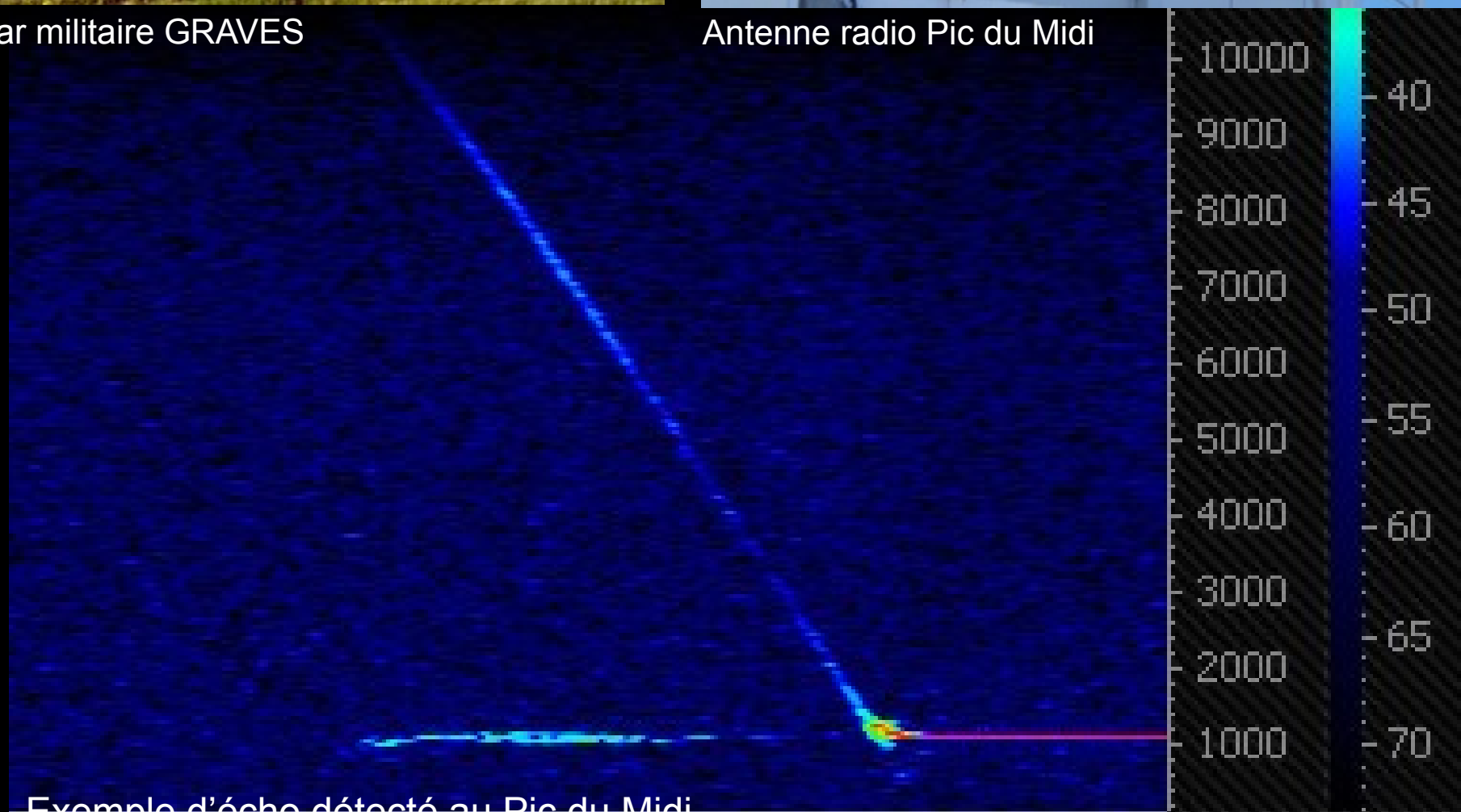




Radar militaire GRAVES

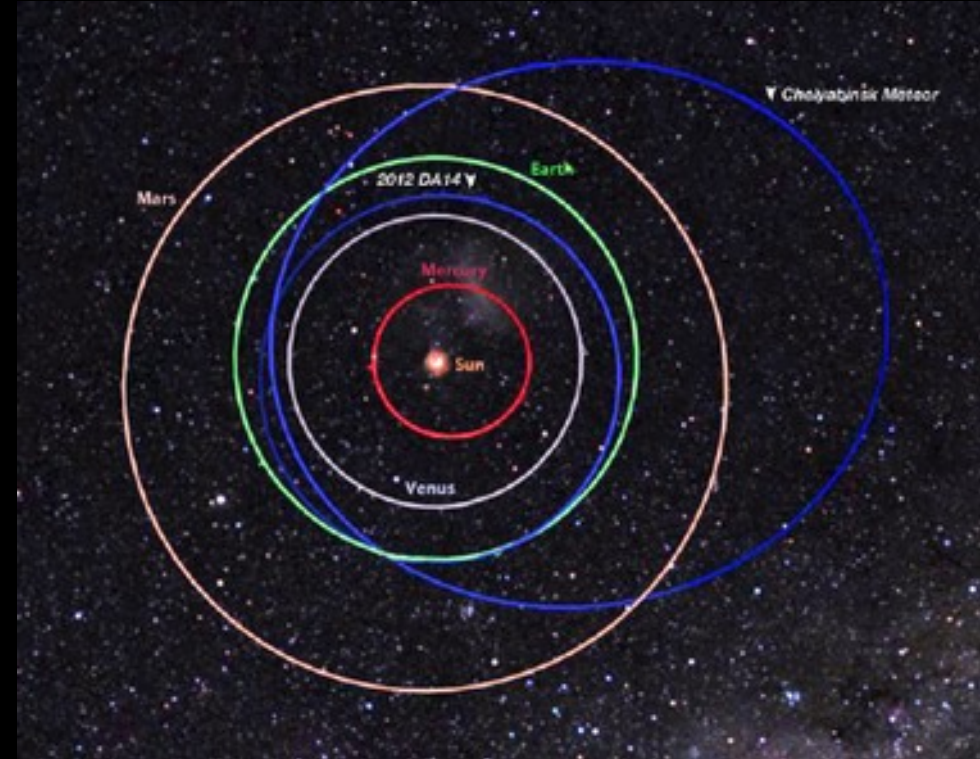


Antenne radio Pic du Midi



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



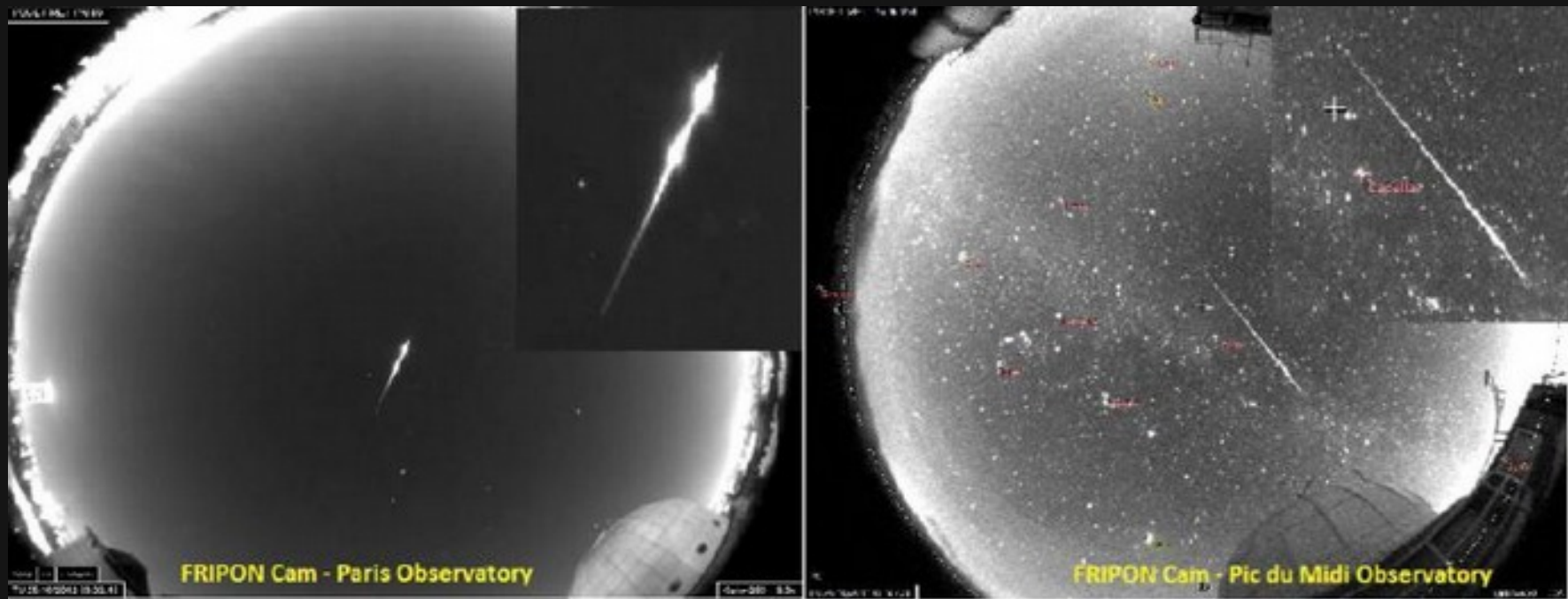
Etudes des météorites

- 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?)





● Détection systématique des bolides





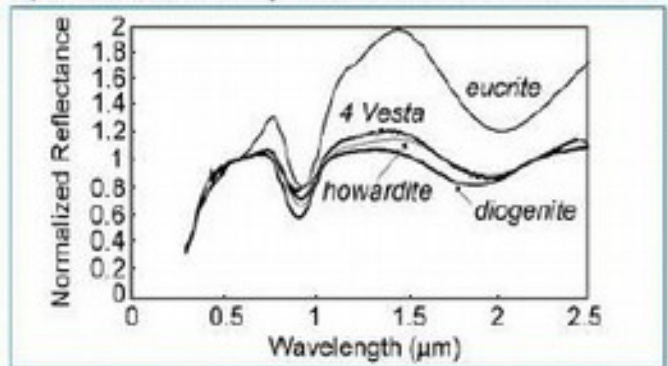


Ajout de la spectroscopie pour discriminer les familles qui doivent provenir de corps parents

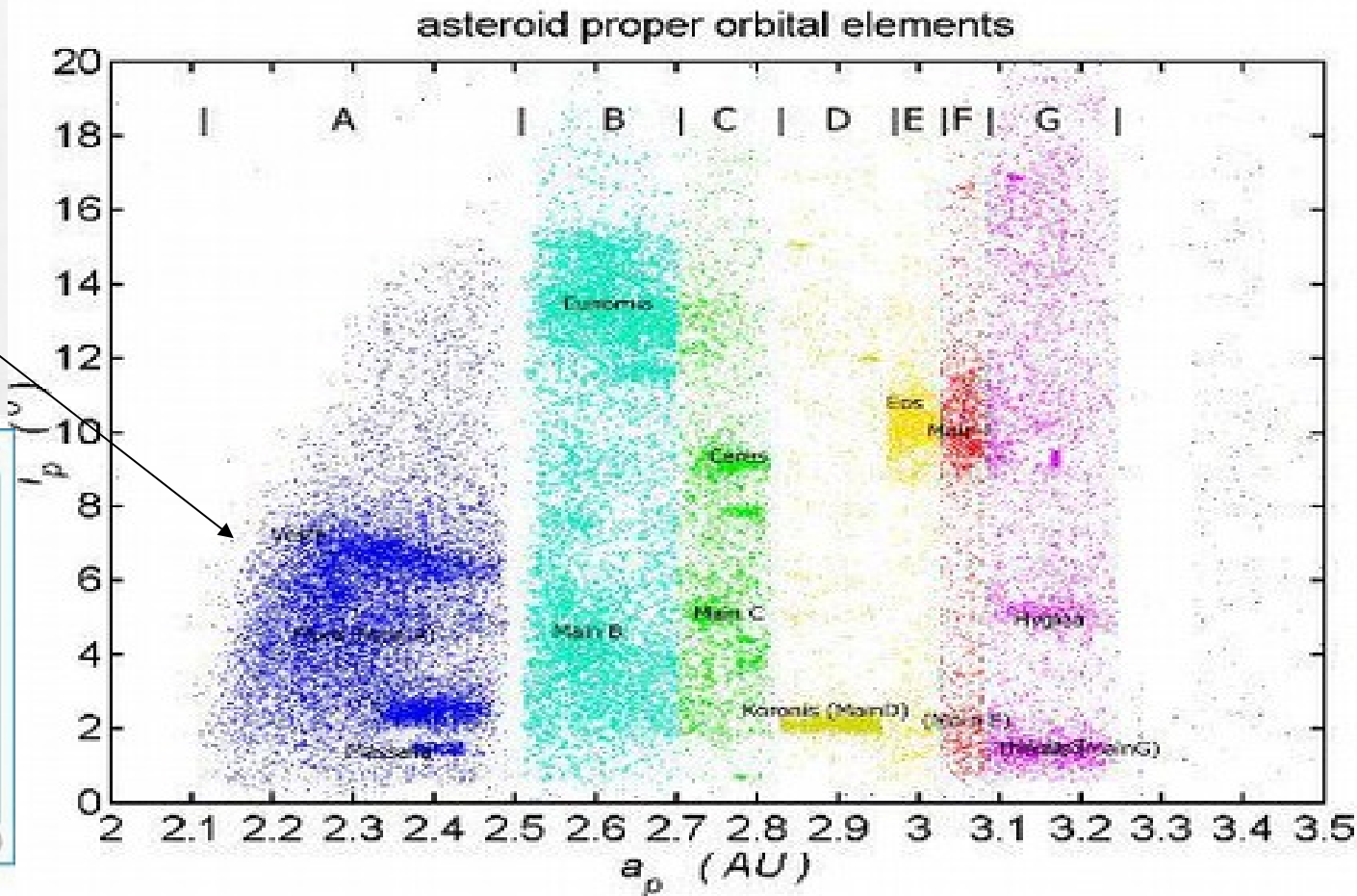


Eucrite
(Alby sur Chéran)

Spectra: Vesta Compared to three HED Meteorites



(From Burbine, et al. (2009) Meteor. & Planet. Sci., v. 44(9), p. 1331-1341.)



Un cas unique : météorites HED et famille de Flora

Vigie Ciel

Réseau humain et site participatif

Début fin 2015

Supports pédagogique en ligne, formation à la reconnaissance des météorites

Mise en place de mallettes pédagogiques dans tous les pôles régionaux



Application smartphone
témoignage grand public

Accès aux données du
réseaux optique:
le ciel en direct 7J/7
24h/24

Accès grand public aux campagnes de recherche des météorites



Le détecteur

Découvrez ici le fonctionnement de notre grand détecteur de météorites, composé de plus d'une centaine d'yeux, d'une vingtaine d'oreilles et de milliards de transistors travaillant ensemble pour découvrir de nouvelles météorites et nous aider à les retrouver tous ensemble.

