

À l'Origine des Extinctions Massives

Albert Bijaoui
Astronome Émérite OCA
Laboratoire Lagrange



Observatoire
de la CÔTE d'AZUR



Sommaire

Brève histoire de la Terre et de la vie

Les extinctions massives

Le bombardement de la Terre

Les géocroiseurs

Némésis

Rôle de l'environnement galactique

- Interaction gravitationnelle

- Passages proches d'étoile

- Effet du rayonnement cosmique

- Explosion d'une GRB ou d'une Supernovae

Conclusion

Brève Histoire de la Terre et de la Vie

Du Big-Bang à la Vie

- 13,7 Ga : création de l'Univers
- 13,2 Ga (?): formation de la Galaxie (halo)
- 8 Ga: formation du disque galactique
- 4,6 Ga : formation du Soleil
 - À partir d'une nébuleuse enrichie par une supernova
- 4,55 Ga : naissance de la Terre
- 4,2 Ga : naissance des océans
- 4,1 -3,9 Ga : Le grand bombardement tardif
- 3,8 Ga (fin Hadéen moyen) naissance de la vie (procariote) (*controversé*)
- 3,5 Ga Développement des radiolaires

L'évolution de la Vie (1)

Evolution très lente

Uniquement marine

Evolution uni- pluri- cellulaire

Vers -1 Ga *Dickinsonia*

Paléozoïque (ère primaire)

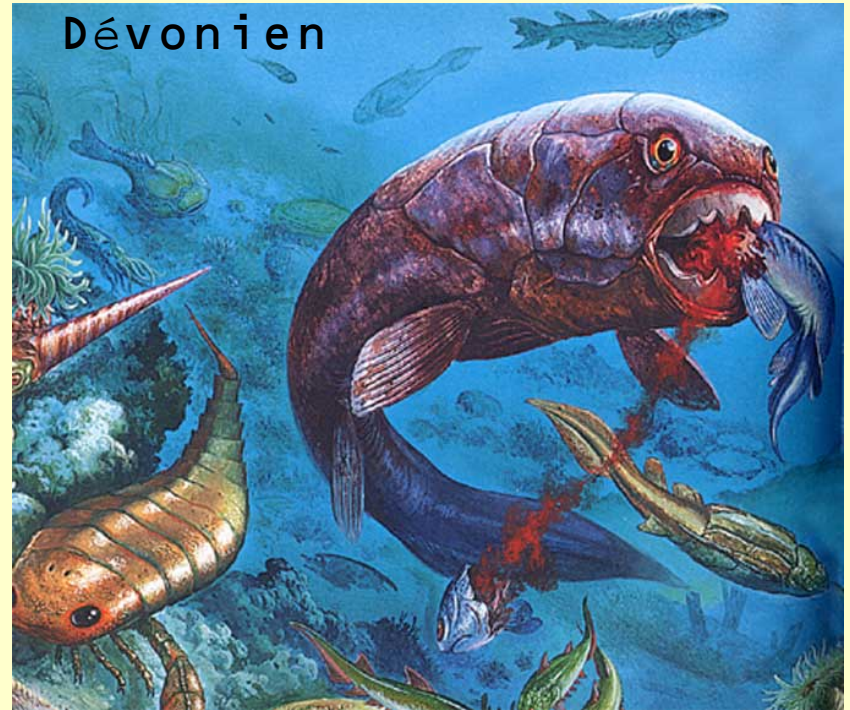
Cambrien (-542-485 Ma) → Diversification, Poissons

Ordovicien (-485 -443 Ma) → Augmentation des tailles

Silurien (-443 -419 Ma) → Poissons, Plantes, Scorpions de mer

Dévonien (-419 -358 Ma) Poissons, monstrueux (10m), amphibiens. Végétation : lycopode de 20m. Tronc en bois, feuilles et racines





L'évolution de la Vie (2)

Le Carbonifère (-358 -299 Ma)

Prolifération des lycopodes.

Apparition de reptiles

Arthropodes et insectes immenses (millepattes de 5m, araignées de 2m, libellules de 1m)

Fougères de 30 à 40 m

Le Permien (-299 -252 Ma)

Age d'or des reptiles mammaliens (synapsides)

Brachiopodes, gastéropodes

Gymnospermes → conifères

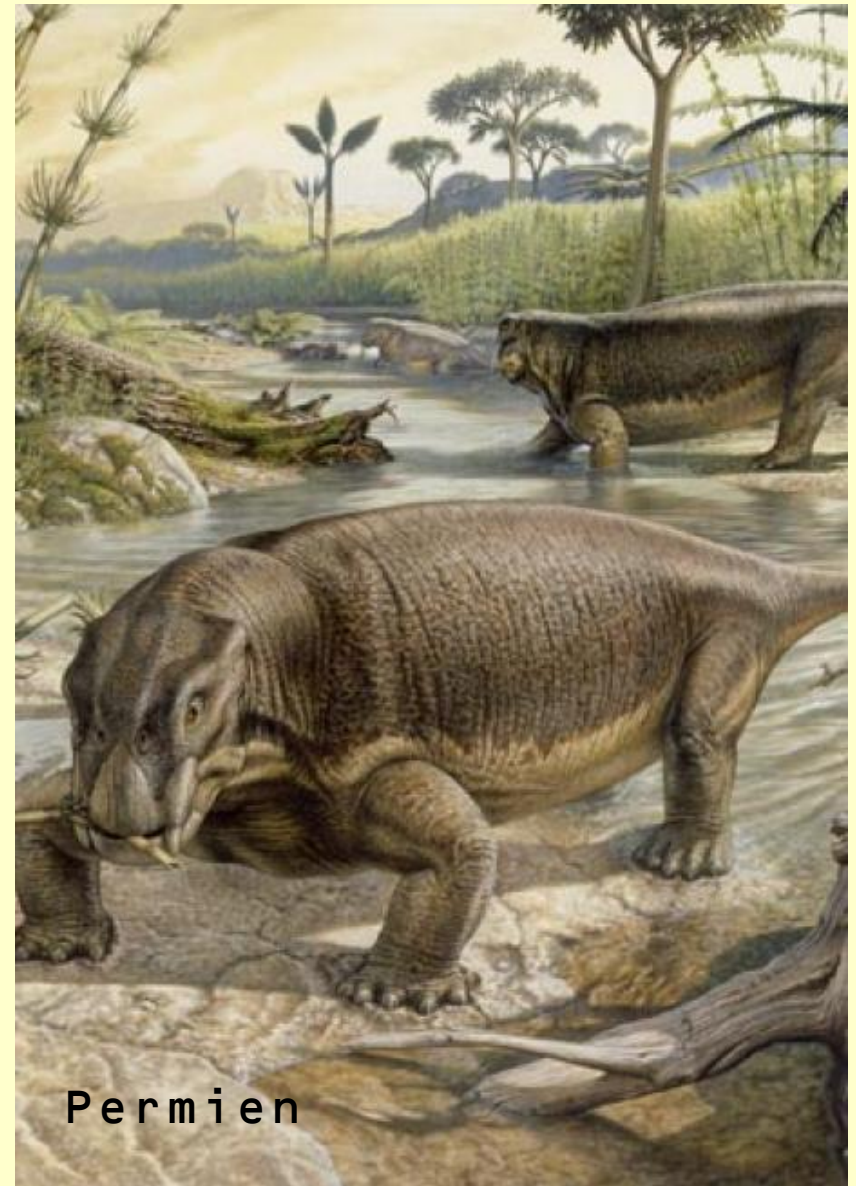
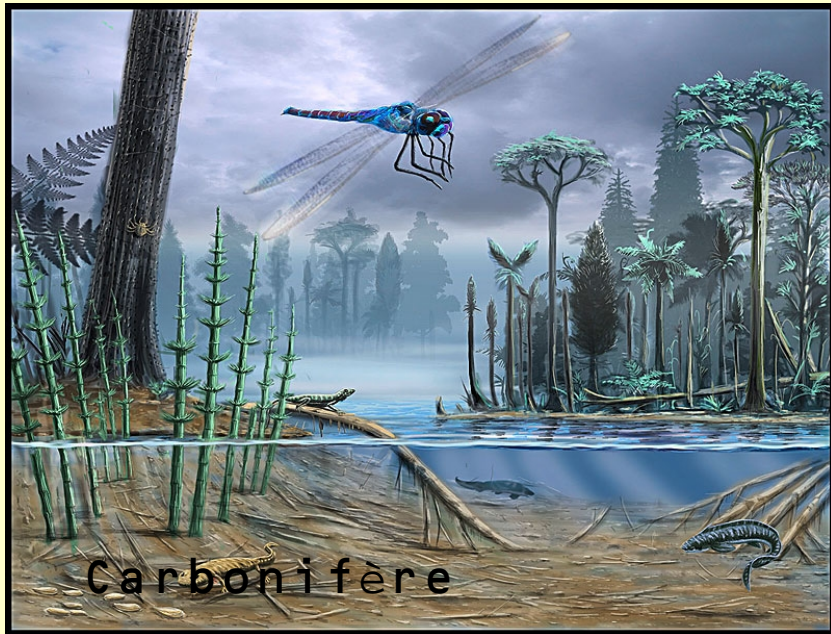
Extinction Permo-Trias (-252 ma)

Disparition de 95% des espèces animales et végétales

Modification du climat (glaciation)

Activité volcanique massive en Sibérie

Mort des récifs coralliens



L'évolution de la Vie (3)

Le Mésoïque (ère secondaire)

Le Trias (-250-199 Ma)

Apparition des dinosaures et des mammifères

Conifères

Le Jurassique (-199-137 Ma)

Développement des dinosaures

Reptiles volants → oiseaux

Age des Cycas. Bennettitales (ancêtres des plantes à fleurs)

Crétacé (-145-65 Ma)

Apogée des dinosaures → Tyrannosaurus

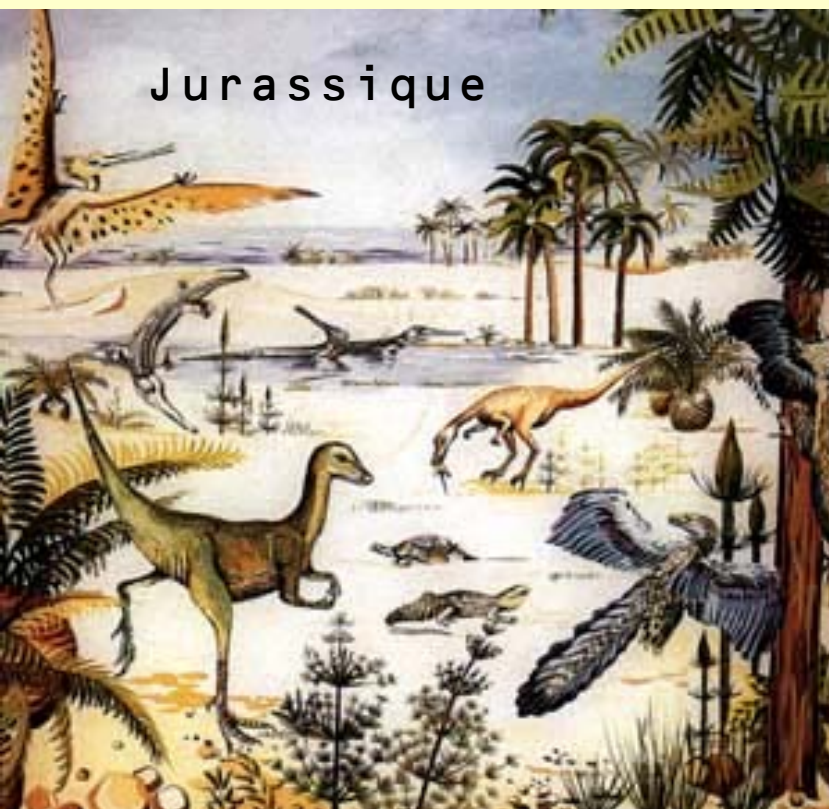
La population marine se rapproche de celle actuelle

Extinction K-T (-65 Ma) (60% d'espèces disparues)

Trias



Jurassique



Crétacé



L'évolution de la Vie (4)

Le Cénozoïque (ères tertiaire et quaternaire)

Le Paléogène (-65-23 Ma)

Au Paléocène (-65 -56 Ma) Petits mammifères → Plesiadapis → Homme

Eocène : petits mammifères et surrection des Alpes

Oligocène



Evolution de la Vie (5)

Néogène (23-3,6 Ma)

Miocène : séparation des lignées hommes / chimpanzés
(Toumaï)

Pliocène : Lucy

Quaternaire (3,6 – Ma)

Pléistocène : cycles glaciaires, extinction des mammifères géants. Evolution vers l'homme moderne

Holocène (-12000 ans) : agriculture et sédentarisation

De très grandes catastrophes ont conduit
au renouvellement des espèces.

Quelle en est l'origine? Est-elle unique?

Les Extinctions Massives des Espèces

Les extinctions massives

Existence suggérée par Buffon et Cuvier

Relancé en 1963 par Newell et surtout par Les Alvarez au début des années 1980 → K-T

Le nombre d'extinctions dépend des auteurs

6 épisodes majeurs hors effet de l'Homme

Cambrien/Ordovicien -500 Ma

Ordovicien/Silurien -435-440 Ma 2 extinctions

Dévonien/Carbonifère -365 Ma sur 3Ma 70%

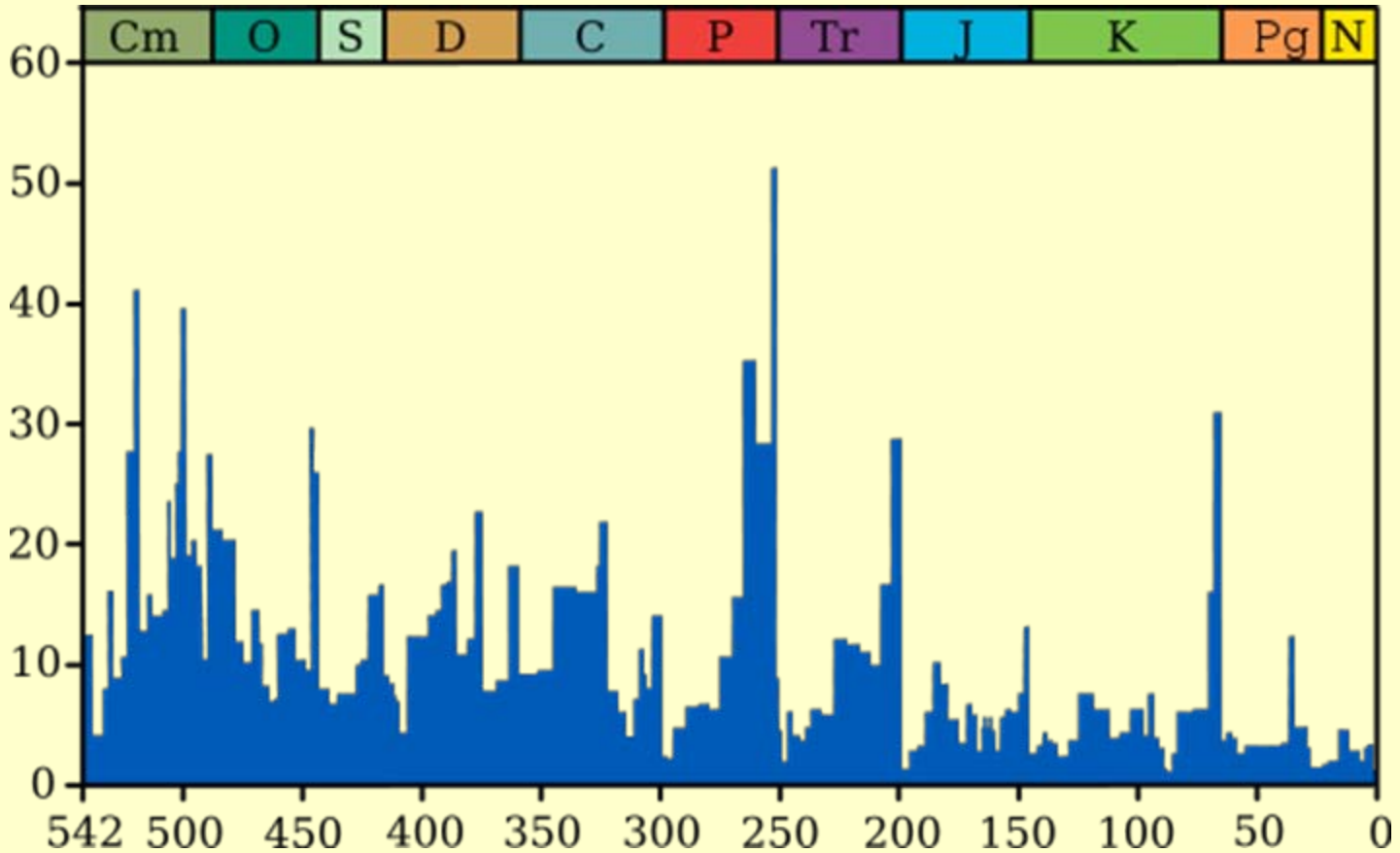
Permien/Trias -245-252Ma 95% mer! 70% terre

Trias -200Ma 75% mer 70% terre

Crétacé/Paléocène -65Ma 50%

Plusieurs extinctions moins massives

Taux d'extinction des espèces marines



Extinction du Crétacé-Tertiaire (K-T) (1)

Signature géologique: limite K-T

Couche d'argile présente partout avec un taux anormal d'iridium

Disparition des dinosaures

Scénarios d'extinction

Réduction intense de la lumière solaire → plus de photosynthèse → plus de phytoplancton et de plante terrestre → plus d'herbivores ni de prédateurs

Les omnivores / insectivores / charognards ont survécus, en particulier les crocodiliens

Théories

Volcanisme, régression marine ou impact cosmique

Extinction du Crétacé-Tertiaire (K-T) (2)

Les trapps du Deccan (Courtillot 1990)

Ecoulement de basalte qui aurait pu couvrir
1000000km² – Volume de 2000000km³

Age estimé 69-63 Ma → Compatible

Effet du volcanisme sur le climat

Toba, Santorin, Laki, Tambora, Krakatoa, St-Helens,
Pinatubo

La régression marine

La mer s'est retirée très significativement à cette
époque.

Modifications des conditions écologiques

Impact météoritique

Théorie d'Alvarez Luis & Walter (1980)

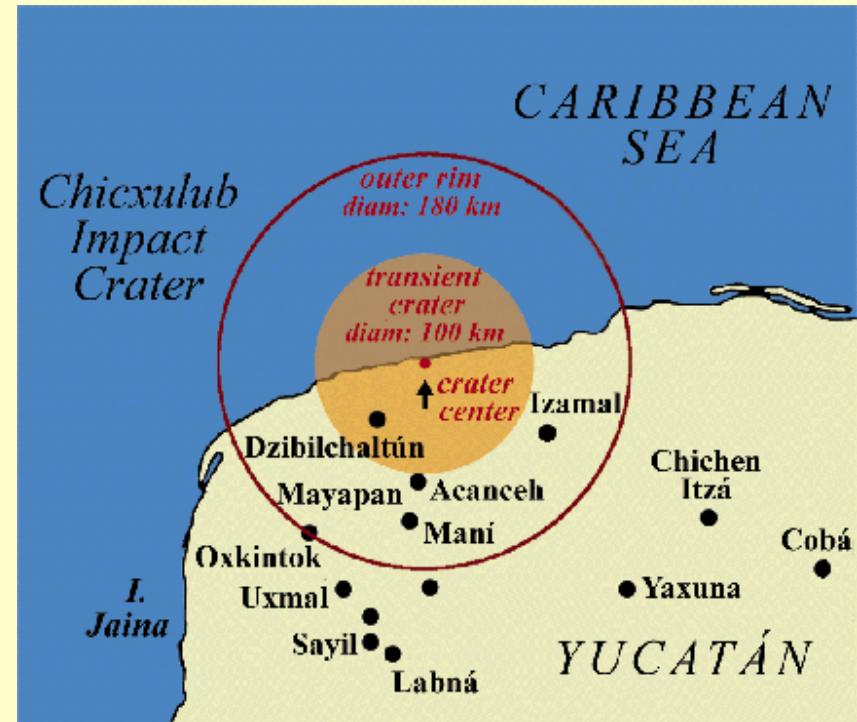
Extinction du Crétacé-Tertiaire (K-T) (3)

Chute d'un astéroïde de
10km de diamètre il y a
66 Ma à Chicxulub dans
la péninsule du Yucatan
au Mexique

Cratère de 170km

Explique la présence de la
couche riche en iridium

Modifications induites



Extinction du Crétacé-Tertiaire (K-T) (4)

Impacts cosmiques multiples

Plusieurs cratères (Ukraine, Mer du Nord, Inde?)

Comète du type Shoemaker-Levy 9

Causes multiples (Archibald & Fastovsky 2004)

Collision d'un astéroïde → Volcanisme massif

Mexique / Deccan (mais dérive des continents)

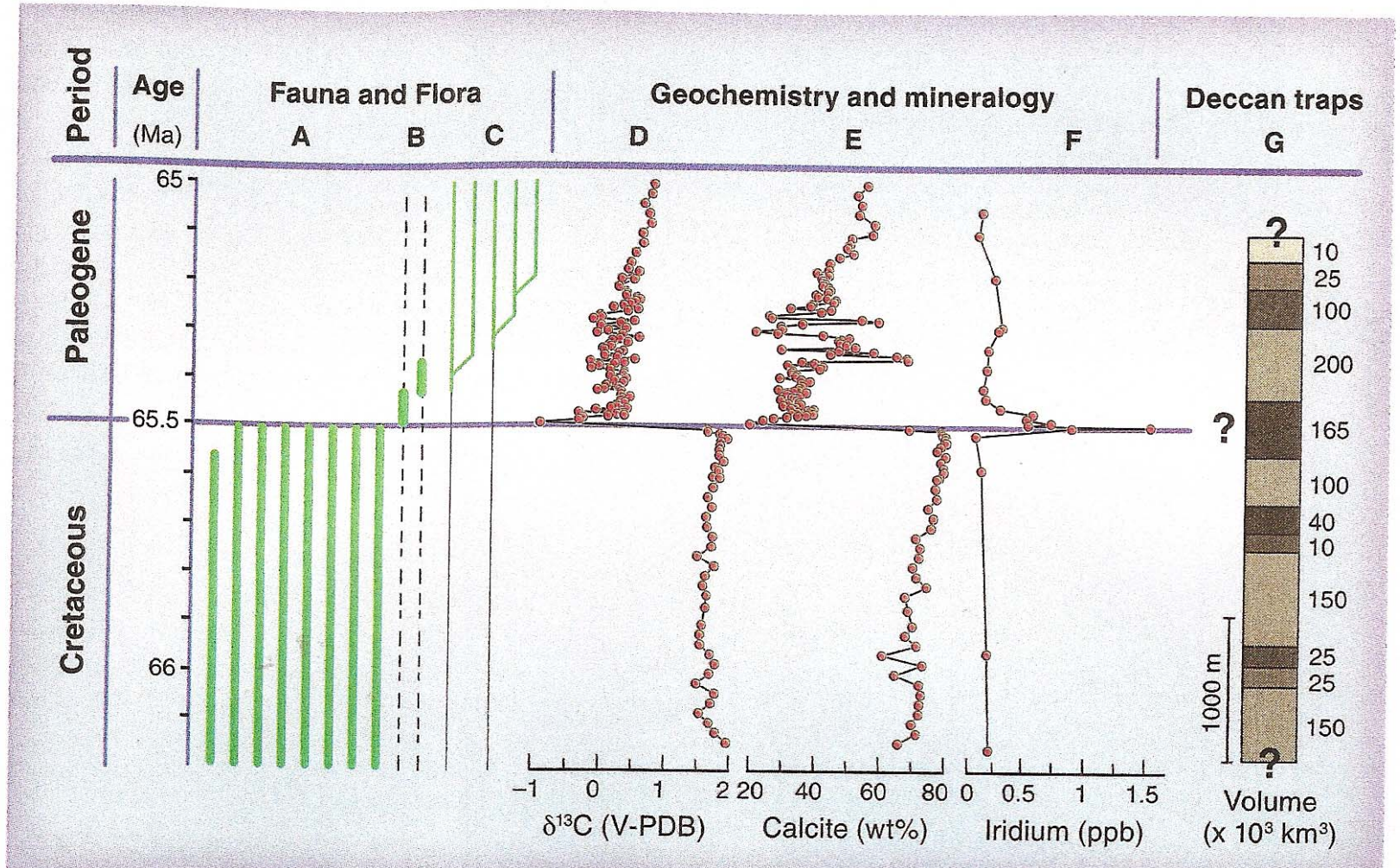
Le volcanisme et la chute de l'astéroïde induisent une profonde modification climatique

Cela entraîne une baisse du niveau des mers

La vie disparaît en grande partie de la Terre

Le scénario proposé par Schulte et al. (Science, 2010, 327, 1241-1281) privilégie l'impact de Chicxulb

Différents indicateurs entre -66 et -65 Ma



Schulte et al. 2010

Extinction du Permien/Trias

Il y a 252 Ma.

95% des espèces marines et 70% des espèces terrestres → La plus importante

L'Origine

Trapps de Sibérie

Chute d'un météorite au large de l'Australie (Becker 2004)

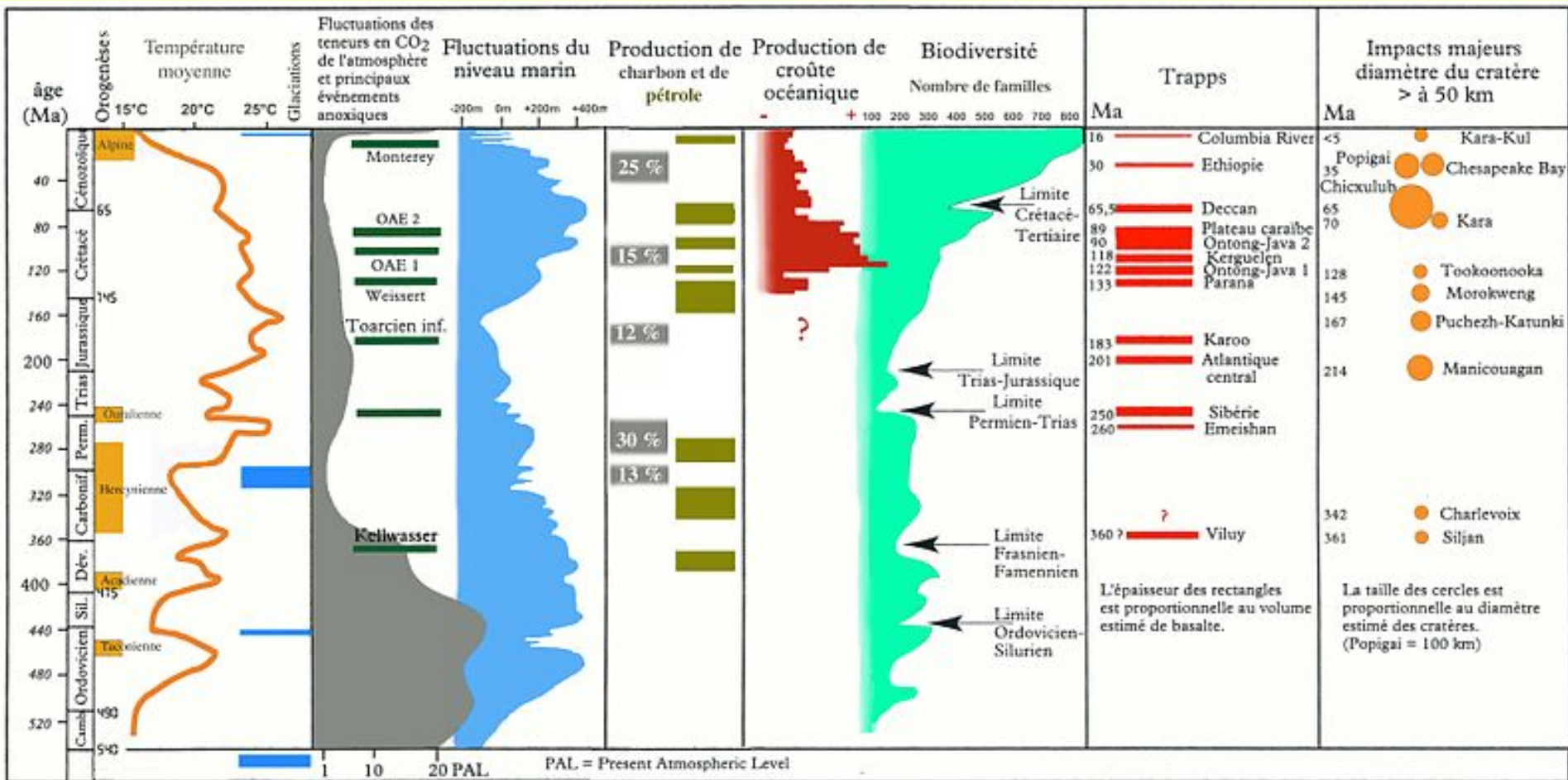
11km de diamètre

À Bedout, au NO de l'Australie, cratère de 170km de diamètre

Chute d'un météorite en Antarctique (von Freese 2006)

45km de diamètre, Cratère de 480km

Caractéristiques terrestres & biodiversité



Spiridon Manoliu et Monica Rotaru Wikipédia

Autres extinctions massives (1)

Extinction du Cambrien -480 Ma

85% des espèces disparaissent

Refroidissement global et régression marine

Cause extra-terrestre non prouvée

Extinction de l'Ordovicien/Silurien -440 Ma

Grande glaciation

Hypernova → Destruction de la couche d'ozone ??

Extinction du Dévonien -380/-365 Ma

75% des espèces disparaissent

Réchauffement suivi de refroidissement

Impacts?

Autres extinctions massives (2)

Extinction Trias/Jurassique T-J (-200Ma)

Réduction de 50% de la diversité biologique

Epoque de la fracturation de la Pangée

Volcanisme intense

Impacts mais aucun grand cratère

Analyse

Couplage probable impacts / volcanisme /
refroidissement / régression marine

Des impacts identifiés importants ne semblent pas
avoir conduit à des extinctions massives

Nature de l'astéroïde

Comète ?

→ *Bombardement de la Terre*

Le Bombardement de la Terre

Météorite de l'Oural



15 Février 2013 sur une ville
d'environ 1 million d'habitants
Equivalent à 30 bombes
d'Hiroshima !
Astéroïde d'une quinzaine de
mètres



Événement de la Toungouska

Le 30 Juin 1908 en Sibérie à 7h14

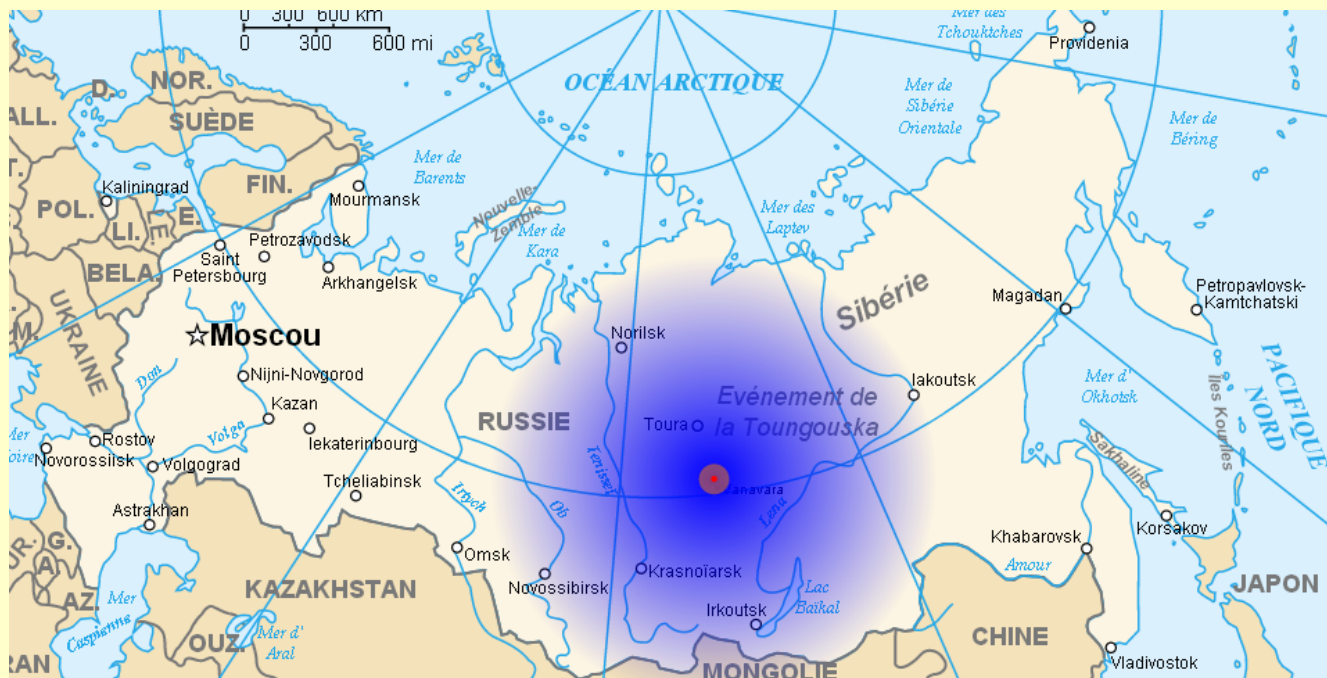
Destruction de la forêt dans un rayon de 20km

Plusieurs centaines de fois Hiroshima

Astéroïde ou comète? Taille ?

Comète 97P/1906 V2 Metcalf/Brewington

Astéroïde 106538 (LINEAR 2000)



Cratères d'impacts

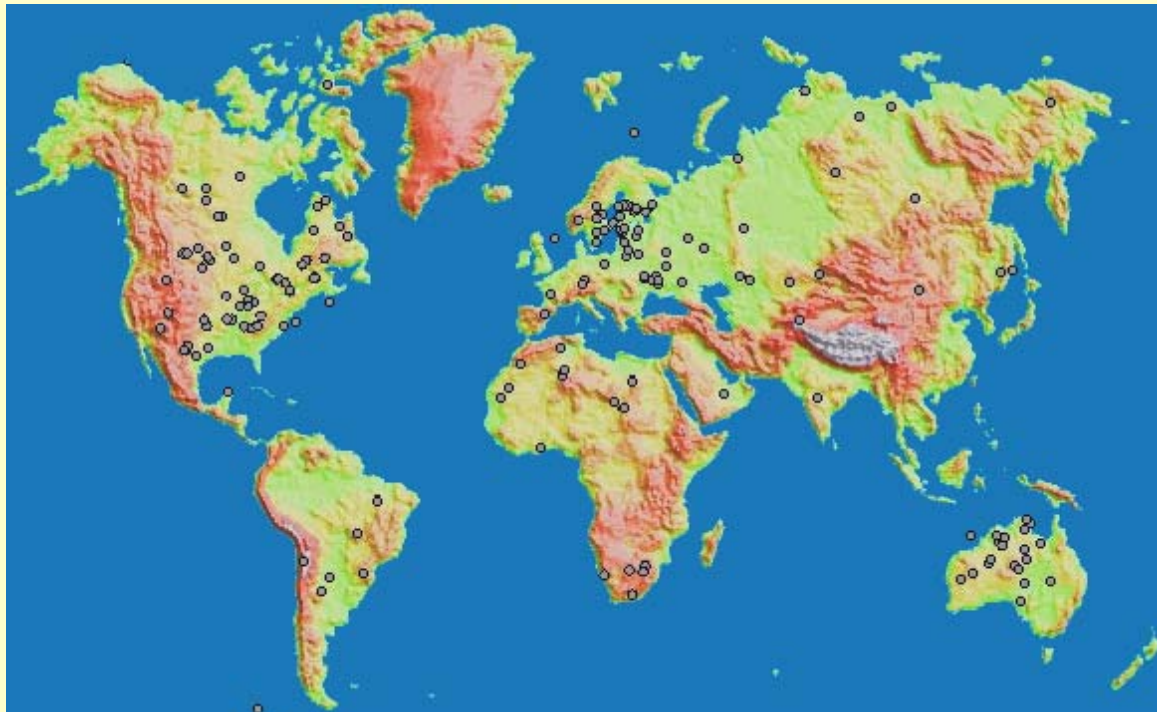
Difficultés d'identification

En mer ou sous la glace

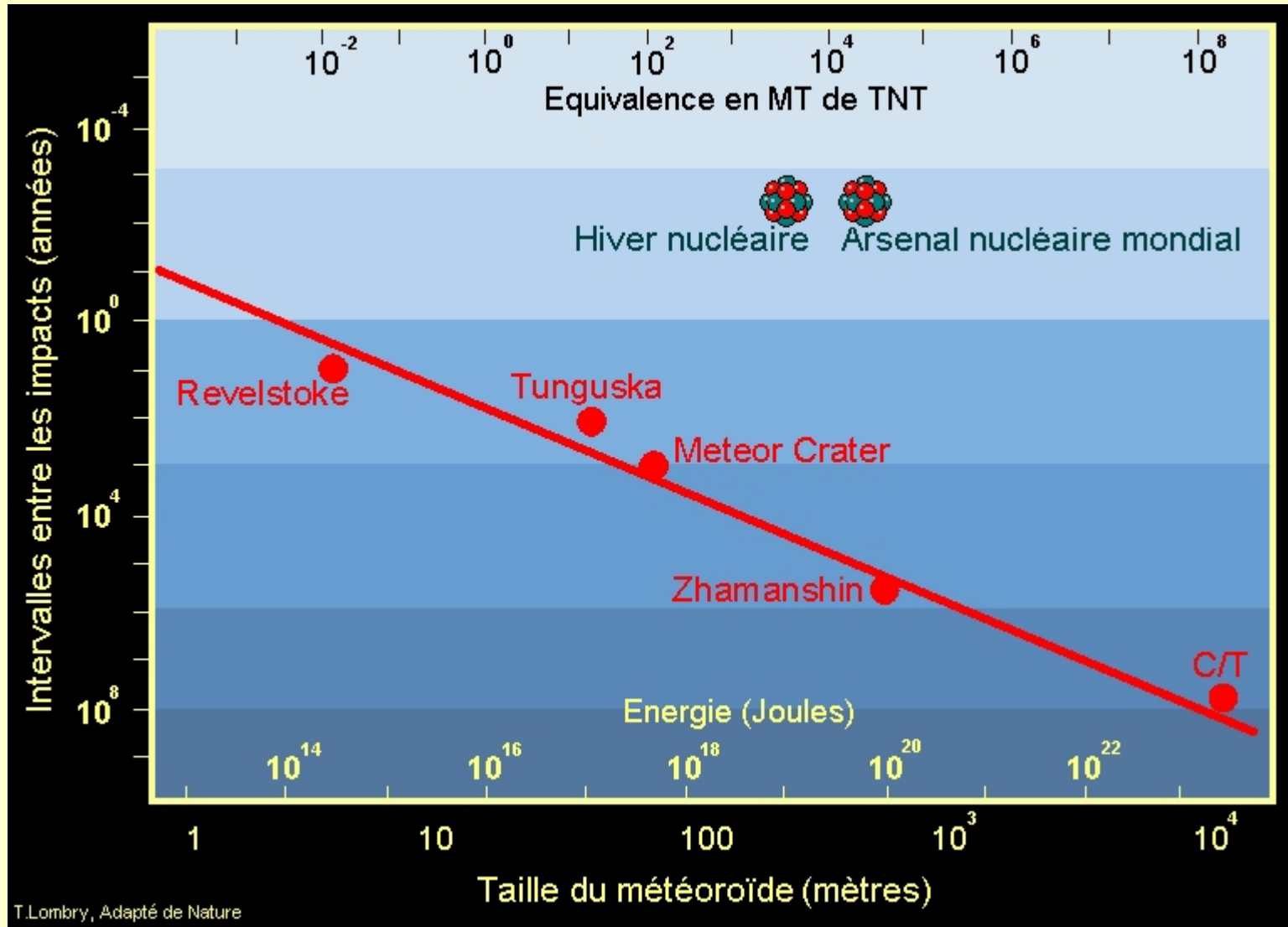
Confusion avec des cratères d'origine terrestre

Algorithmes d'identification sur des images

172 identifiés + 40 en attente



Statistique d'impact



Risque statistique

Deux personnes blessées entre 1954 et 2012

Un millier de blessés à Tcheliabinsk

Risque de mortalité supérieur à celui d'un attentat (Chapman & Morrison, Nature, 1994)

Événement très rare mais pouvant être hyper destructeur

Identifier les objets dangereux

Déterminer leur orbite avec une extrême précision

Stratégie soit de destruction ou de protection

Projet Spaceguard



Les Géocroiseurs

Identification des Géocroiseurs

Plusieurs projets américains

| | |
|---|--------------|
| Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR) | 136 367 ast. |
| Projet Spacewatch (Kitt-Peak) | 71 112 ast. |
| NEAT | 35 660 ast. |
| LONEOS | 19 148 ast. |

9 683 géocroiseurs identifiés (Février 2013)

1 360 potentiellement dangereux (155 dim > 1km)

Probabilité d'impact au XXI^e siècle très faible



Toutatis



1950DA (à 7,8Gm) → 16/03/2880 0.3%

Impacts ou Passages Proches Récents

Impacts

22/09/1979 Incident de Vela Sud Atlantique ?

06/06/2002 En Méditerranée. Explosion 26kT TNT.
Astéroïde de 10m?

07/10/2008 Au Soudan astéroïde 2008 TC3 Des
centaines de morceaux retrouvés

08/10/2009 Indonésie: boule de feu correspond à
50kT TNT. Astéroïde de 10m

Passages Proches

10/08/1972 Un météore à 57 km au dessus des
Rocheuses (filmé)

De nombreux passages entre la Terre et la Lune

Cas d'Apophis candidat provisoire de la collision en
2029→2036 Probabilité actuelle 1/250000

Origine des Géocroiseurs

Origine récente

Origine multiple

Fragmentation d'un astéroïde de la ceinture
d'astéroïdes → Famille

Détournement d'un astéroïde lors d'un passage près
d'un plus gros objet

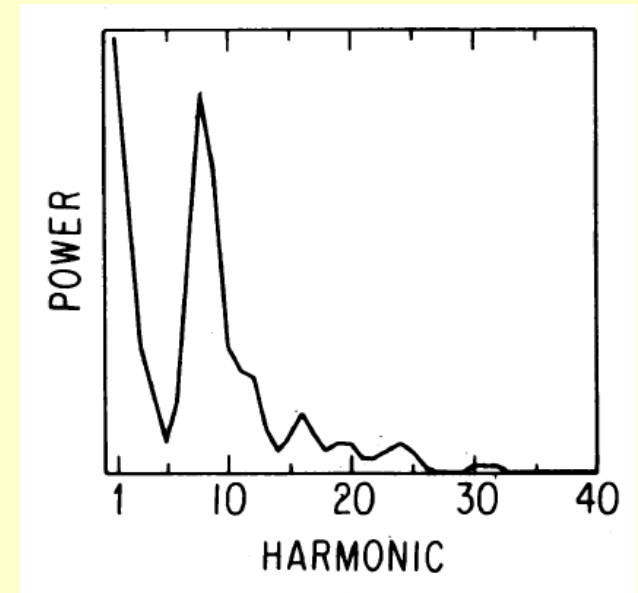
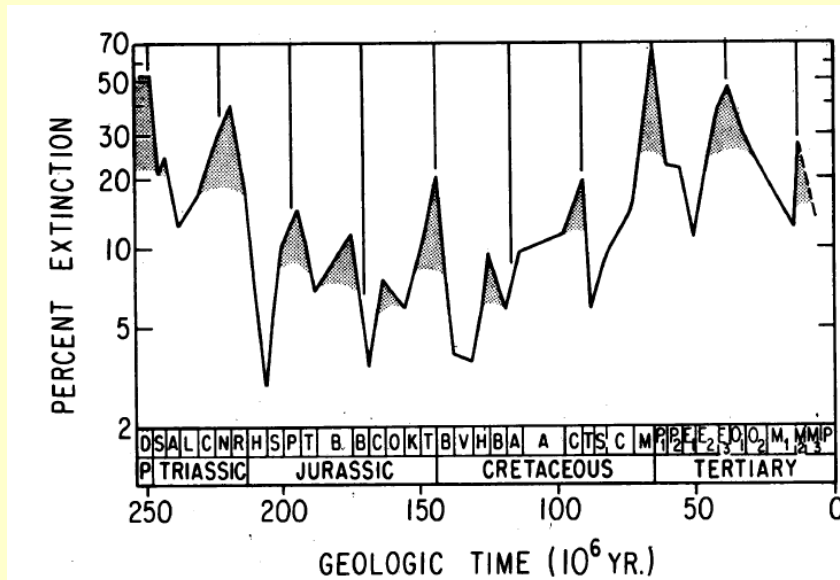
Résidu de comète → étoiles filantes

Némésis

Analyse de Fourier des taux d'extinction

Données

Taux d'extinction des espèces marines de Sepkovsky



Existence possible d'un cycle de 26-30 Ma dans les extinctions massives (Raup, Sepkovsky, Nature 1982)

Némésis

Théorie de Richard A. Muller (Berkeley, 1984)

M. Davis, Piet Hut, Richard A. Muller, « Extinction of species by periodic comet showers », Nature, vol. 308, p. 715-717 (avril 1984)

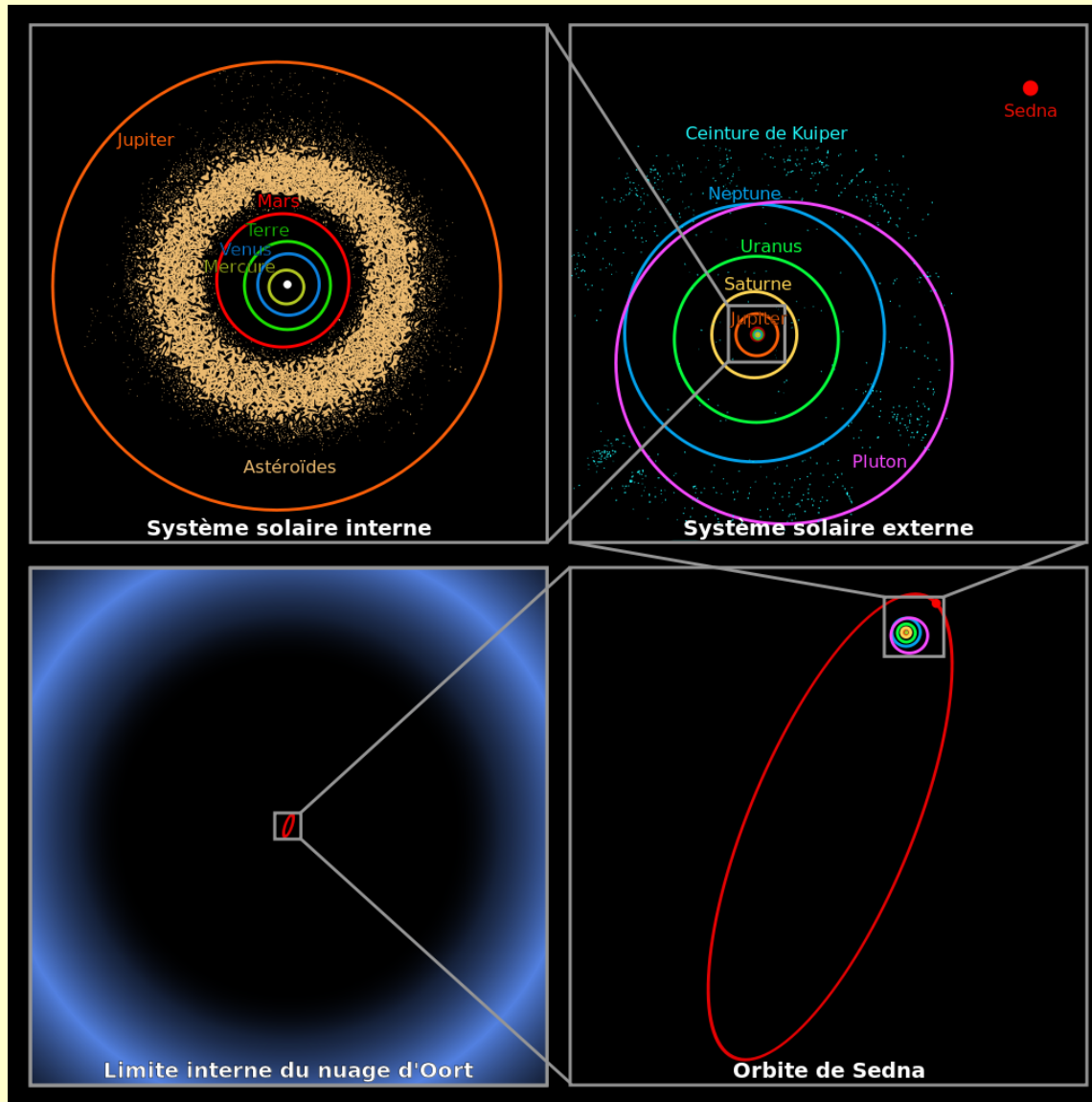
Etoile obscure, compagne du Soleil ayant une orbite très excentrique et une période de 26 Ma, aphélie à près d'une année lumière

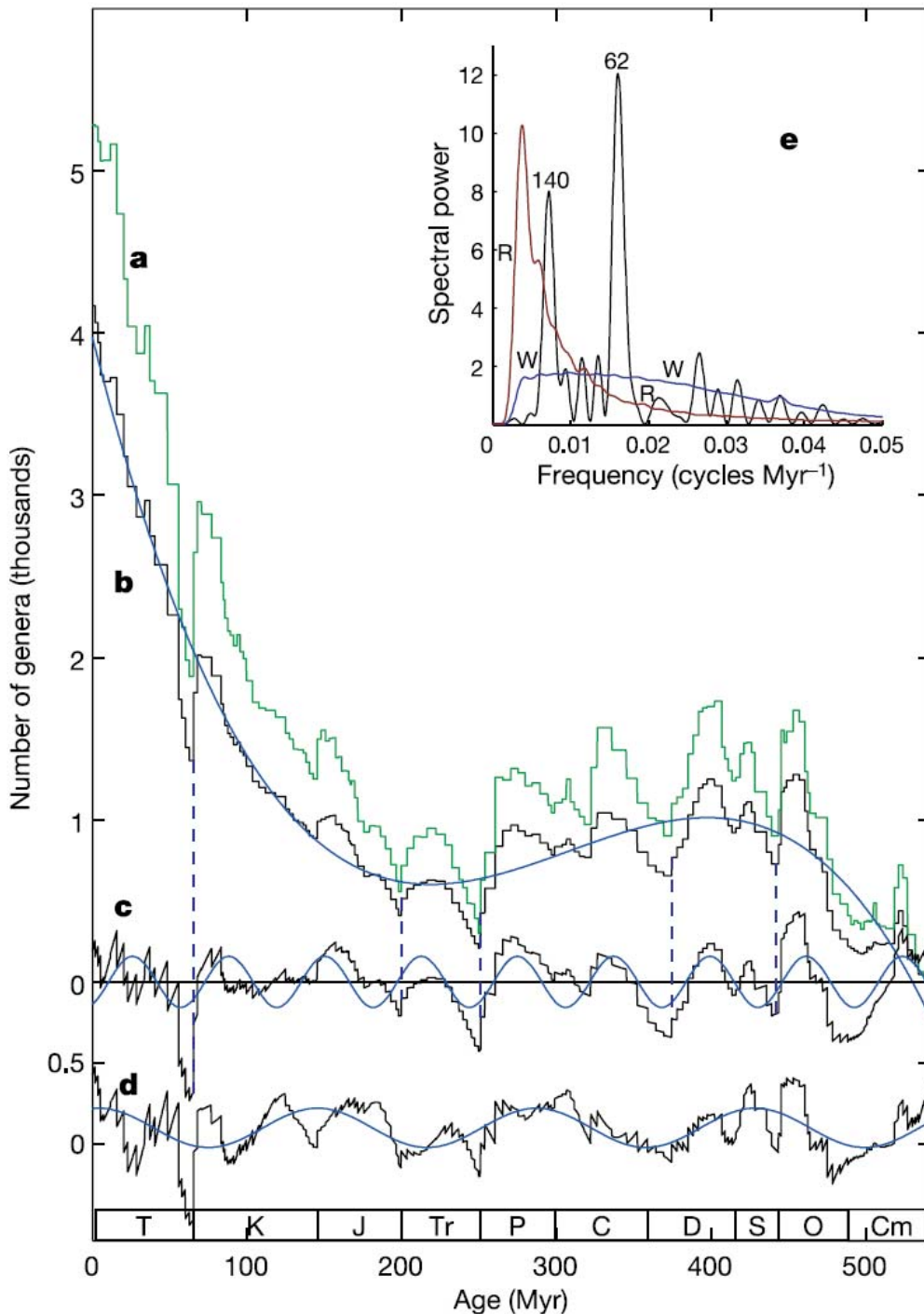
Perturbation périodique dans le nuage de Oort, réservoir des comètes

Théorie complètement falsifiée et abandonnée

Stabilité, masse du compagnon et non visibilité

La Nuage de Oort



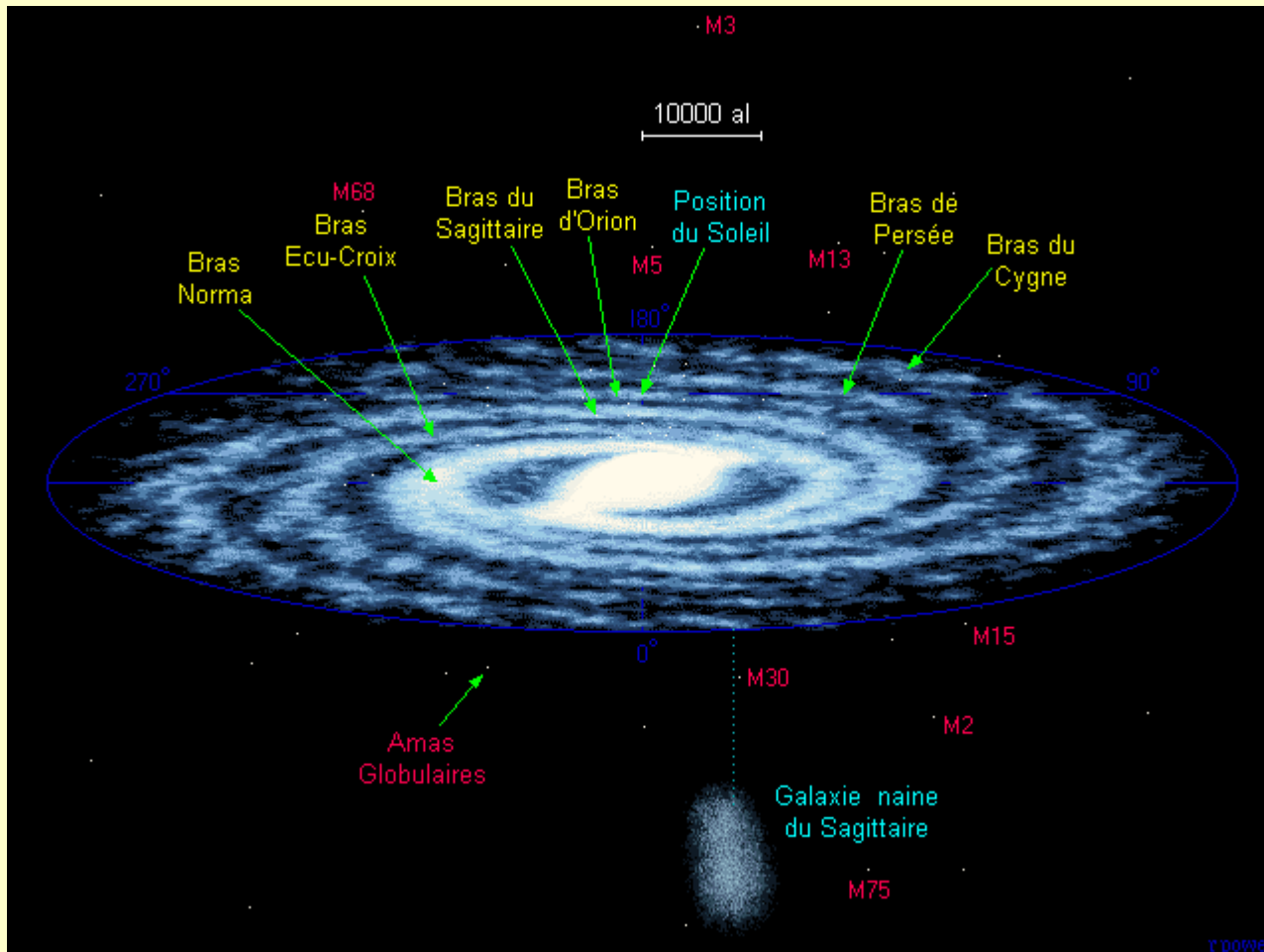


Nouvelle Analyse Rohde-Muller 2005

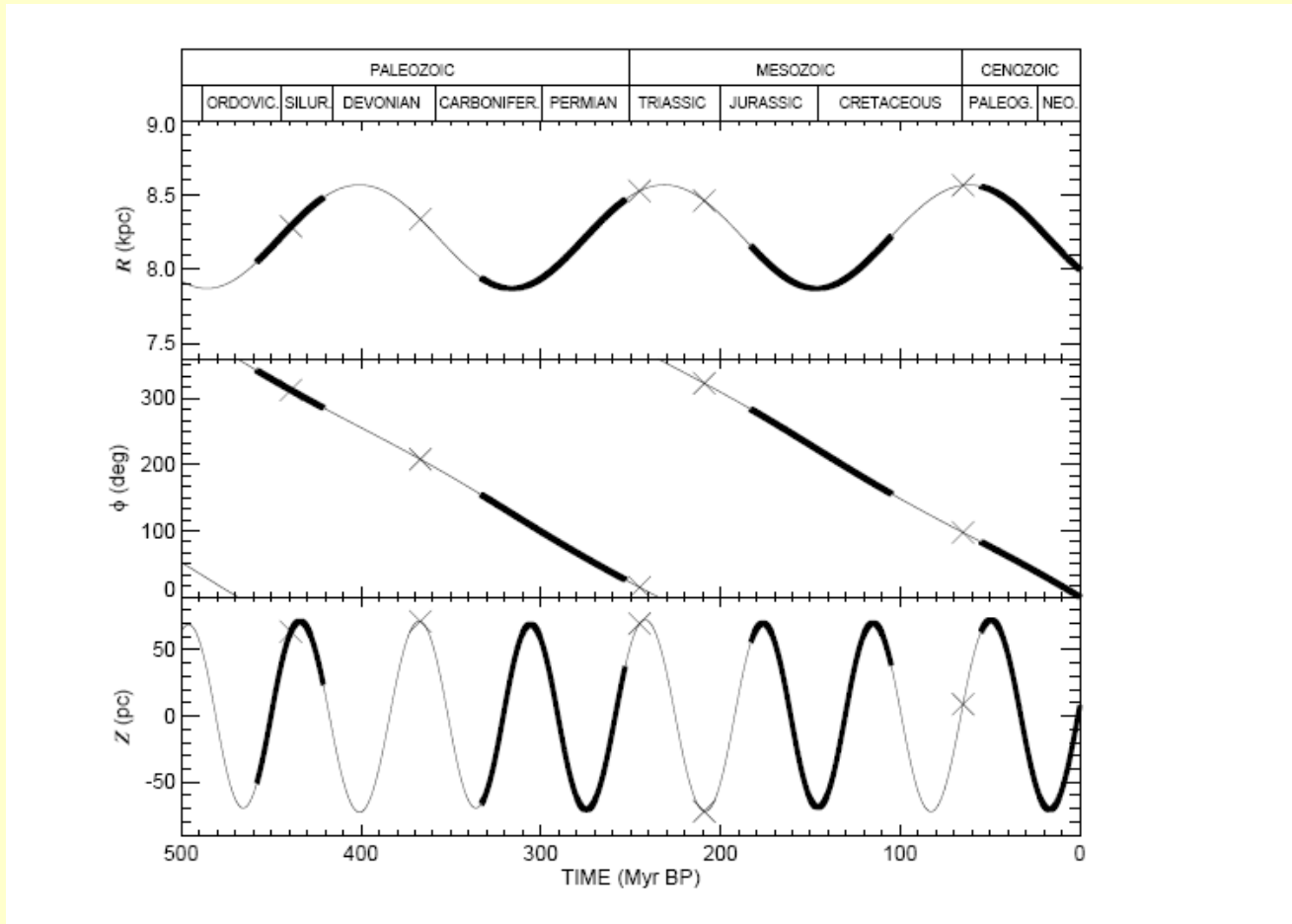
Interactions avec la Galaxie

La Galaxie

Le Soleil fait un tour de la Galaxie en 212 Ma
Vitesse différente de celle des bras spiraux



Mouvement du Soleil dans la Galaxie



Ice Age Epochs and the Sun's Path Through the Galaxy

D. R. Gies and J. W. Helsel

Ap.J 2005 astro-ph/0503306v1

Passage du Soleil dans les Bras Spiraux

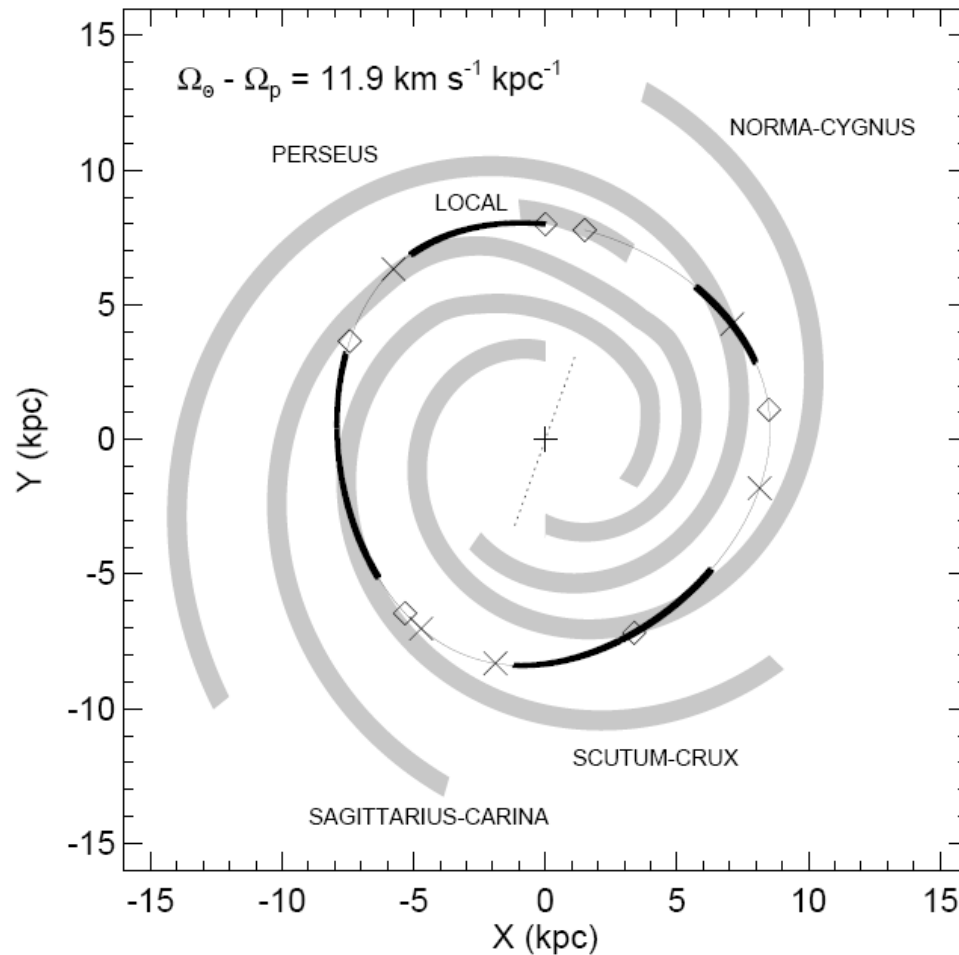


Fig. 3.— A depiction of the Sun's motion relative to the spiral arm pattern in the same format as Fig. 2, but this time for a smaller spiral pattern speed ($\Omega_p = 14.4 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$).

Interactions Gravitationnelles

Interactions des nuages moléculaires avec le nuage de Oort

J. T. Wickramasinghe & W. N. Napier, Impact cratering and the Oort Cloud, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 387, 153-157 (2008)

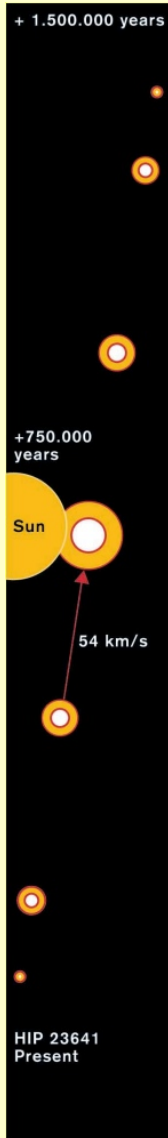
Existence de groupements dans les impacts

Statistique faible (40 cratères)

Décalage entre le passage dans les bras et les extinctions massives

Passage dans le disque galactique toutes les 32 Ma

Passages proches entre étoiles



HIP 23641 146 al \rightarrow 4-5 al dans 750000 ans!

Gliese 710 a une probabilité de 0,86 de passer dans le Nuage de Oort dans 1,4 Ma (Bobylev 2010)

Algol est passé près du Soleil il y a 7,3 Ma

Nécessité d'une meilleure connaissance de la Galaxie
 \rightarrow *Gaia*

Nemesis dans les étoiles proches (*Nemesis encounters of nearby Hipparcos stars, Igor Yu. Potemine, arXiv:[1302.3827v1](https://arxiv.org/abs/1302.3827v1)*)

β et γ Virginis (2,7 \rightarrow 0,1 pc)

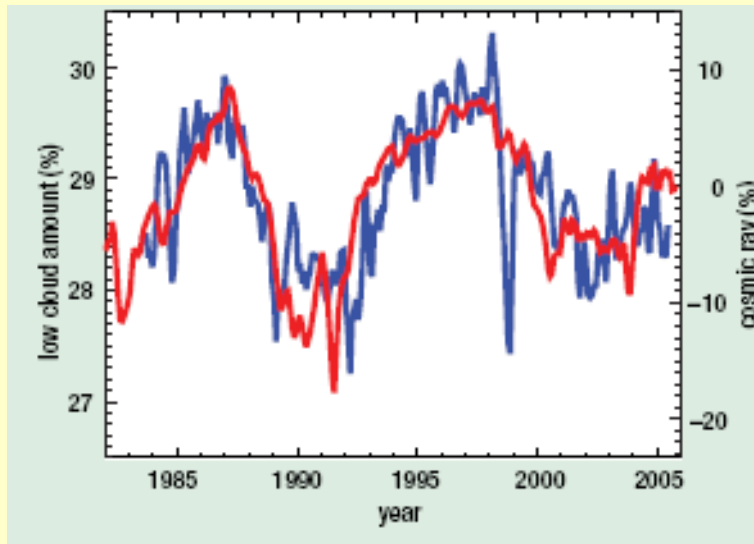
61 Cygni – χ^1 Orionis (10,2 \rightarrow 0,1 pc)

+ 4 exemples autour de 0,1 pc

Collision entre étoiles

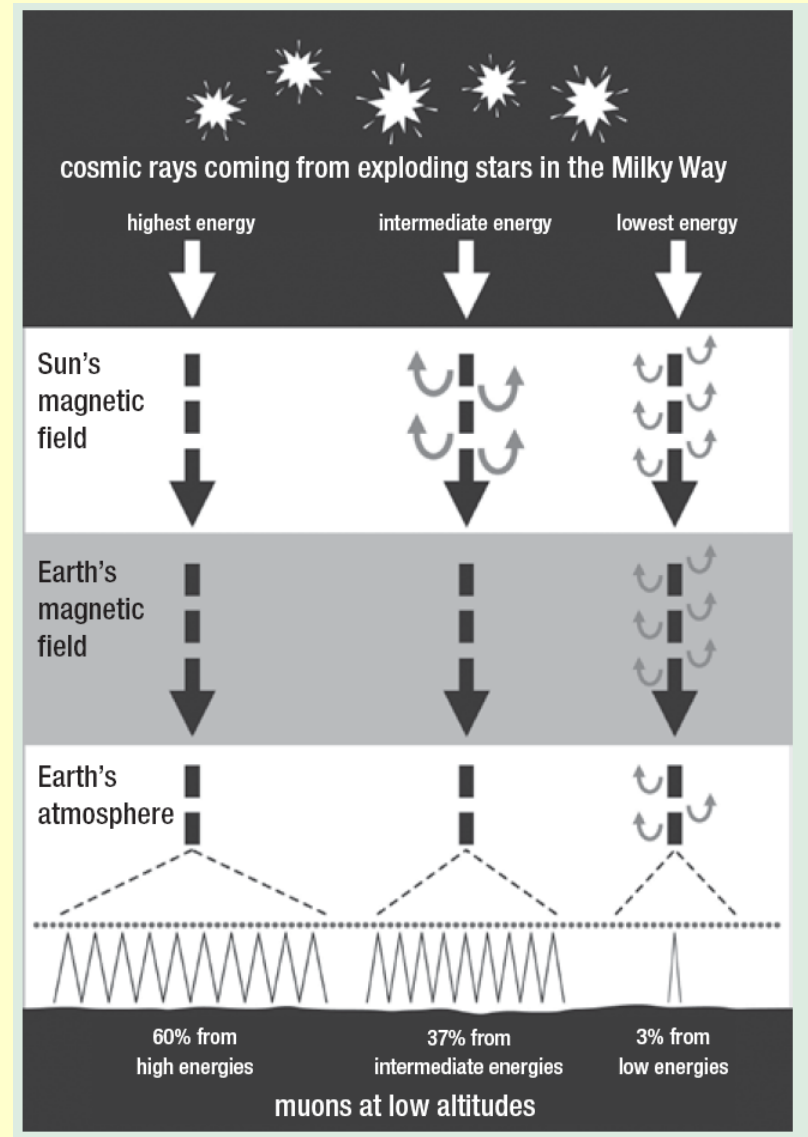
\rightarrow **V838 Mon** en Février 2002

La Cosmoclimatologie

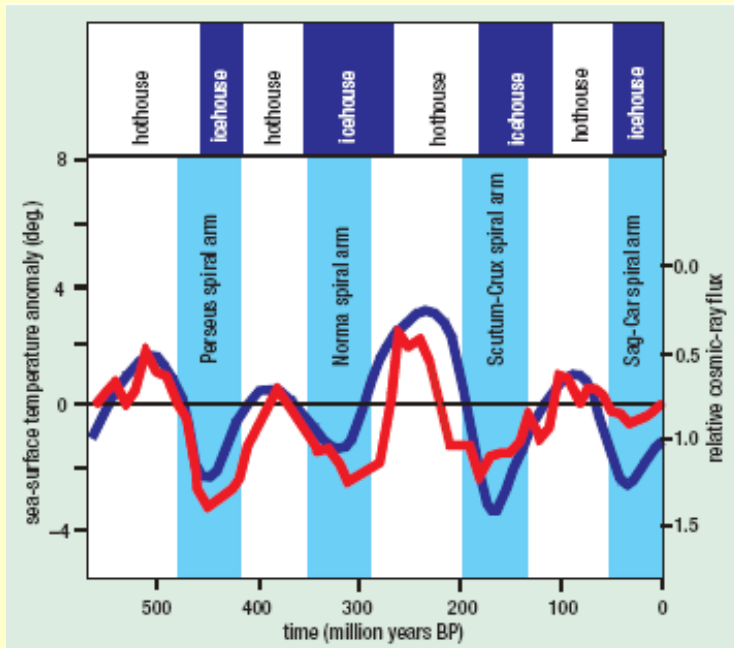


Comparaison du taux de couverture nuageuse à basses altitude (moins de 2 km) avec les variations du taux de rayon cosmique.

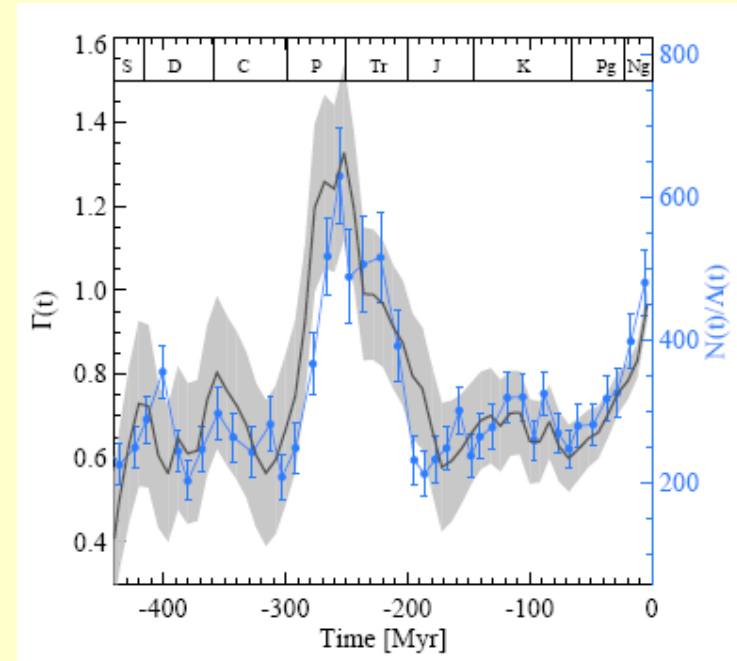
Mécanisme de formation des nuages à partir du rayonnement cosmique d'après Svensmark (2007).



Rayons Cosmiques & Climat

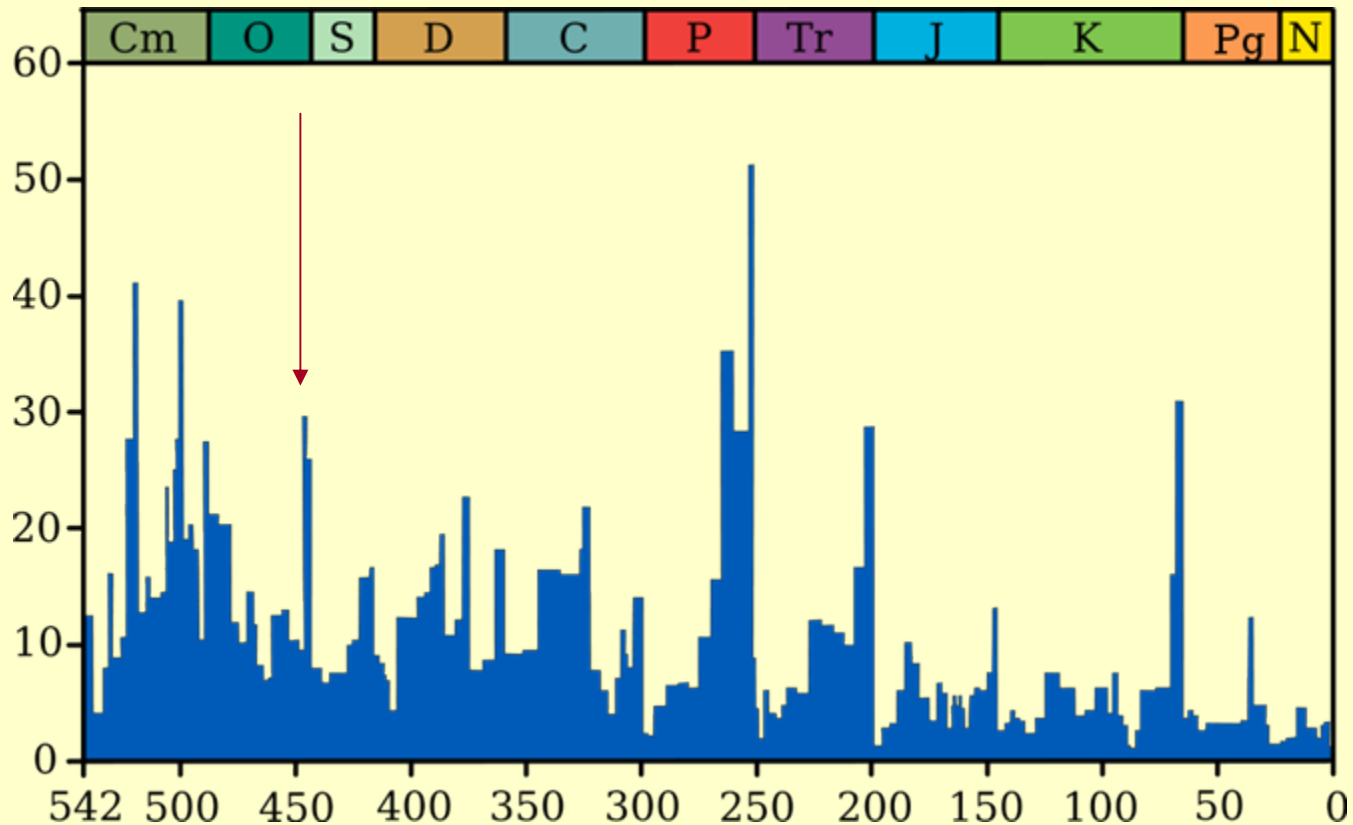


En bleu, variations de la température de la mer dans les zones tropicales, en rouge variations du CRF.



Relation entre le taux de Supernovae et un taux d'invertébrés marins (Svensmark, *MNRAS* (2012) 423(2): 1234-1253).

Un sursaut gamma peut-il créer une extinction massive ?



Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?

A.L. Melott, et al. *Astroph/0309415*

Extinction Massive par GRB

Action directe des rayons gamma

Destruction de la couche d'ozone

Refroidissement global rapide

Quel serait le progéniteur pour l'extinction de l'Ordivicien/Silurien?

Quel est l'effet des GRB sur le climat?

Extinction par l'explosion d'une supernova

Plus pausable (durée plus longue)

Il faut une grande proximité → dans les bras spiraux

Passage près des Amas Globulaires

Sursauts Gamma par fusion de binaires dans des amas globulaires

<http://arxiv.org/pdf/1303.3105v1.pdf>

W. Domainko, C.A.L. Bailer-Jones, F. Feng: A history of the gamma-ray burst flux at the Earth from Galactic globular clusters

Origine possible des « short GRB » dans les GC

Estimation du flux Gamma venant des GC

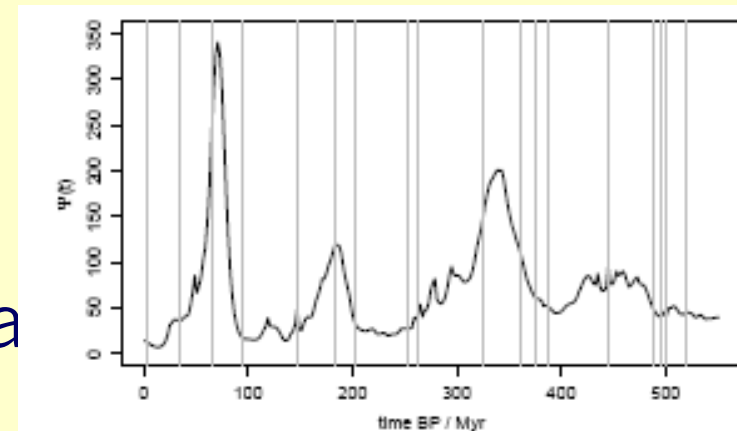
Orbite des GC

Mouvement du Soleil

Flux par GC

Coïncidences: 70, 180, 340 Ma

Rôle de 47 Tucanae



47 Tucanae

Découvert par

Lacaille (1751)

Magnitude 4,9

Distance de 5 kpc

Des centaines de
sources X

23 pulsars ms

Emetteur gamma
(Fermi)



Conclusions

Il y a eu des épisodes d'extinction massive

Les causes sont multiples

Mais leur origine est peut-être extra-terrestre

Elle peut résider dans les interactions du Système solaire avec la Galaxie

La mission Gaia donnera des informations essentielles pour préciser ce scénario

Cartographie 3D des étoiles avec leur vitesse

Cartographie 3D de la matière interstellaire

→ Archéologie de la dynamique de la Galaxie

→ Positions du Soleil / Composantes de la Galaxie