



Séminaire – 4 Decembre 2024

Sarah
JOIRET

Chaire

Formation planétaire: de la Terre aux exoplanètes

***Origine et évolution du Système solaire externe:
Le bombardement cométaire des planètes telluriques***



Le jargon



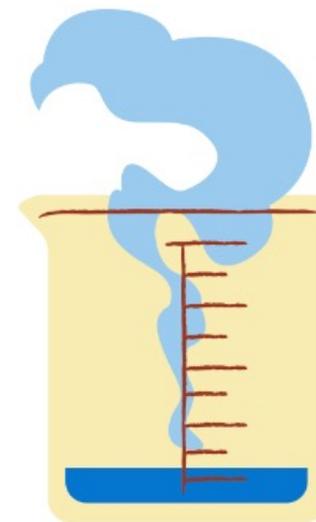
Jargon : réfractaire versus volatil

Composés réfractaires



Sublimation à T° élevée
ex: métaux, silicates

Composés volatils

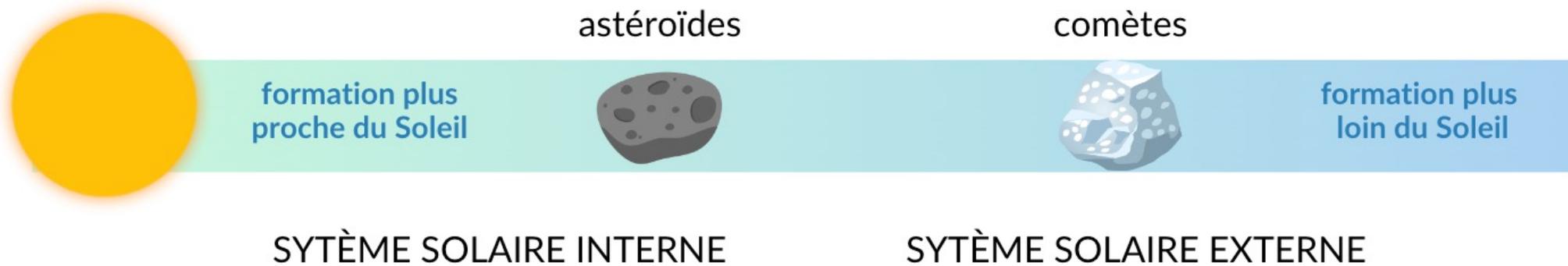


Sublimation à faible T°
ex: H₂O, matière organique, gaz rares



Jargon : astéroïdes versus comètes

Définition intuitive:

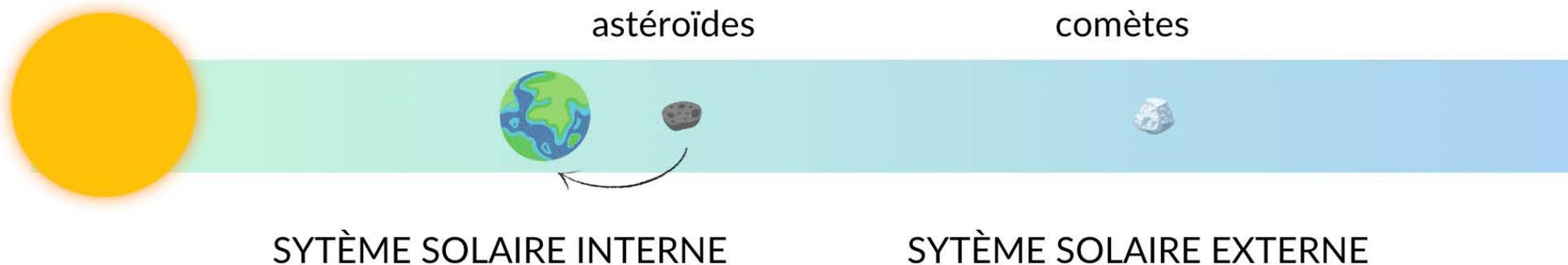


- On peut les distinguer par leur **orbite** et par leur **composition** : les comètes se forment et orbitent autour du Soleil plus loin que les astéroïdes, donc sont plus riches en éléments volatils



Jargon : astéroïdes versus comètes

- **Proba de collision d'astéroïdes avec la Terre >> proba de collision de comètes avec la Terre**
 1. Beaucoup plus d'astéroïdes avec des orbites proches de la Terre que de comètes avec des orbites proches de la Terre



| Date | comètes proches NEC | astéroïdes proches NEA |
|------------|------------------------|---------------------------|
| 2024-11-23 | 123 | 36604 |

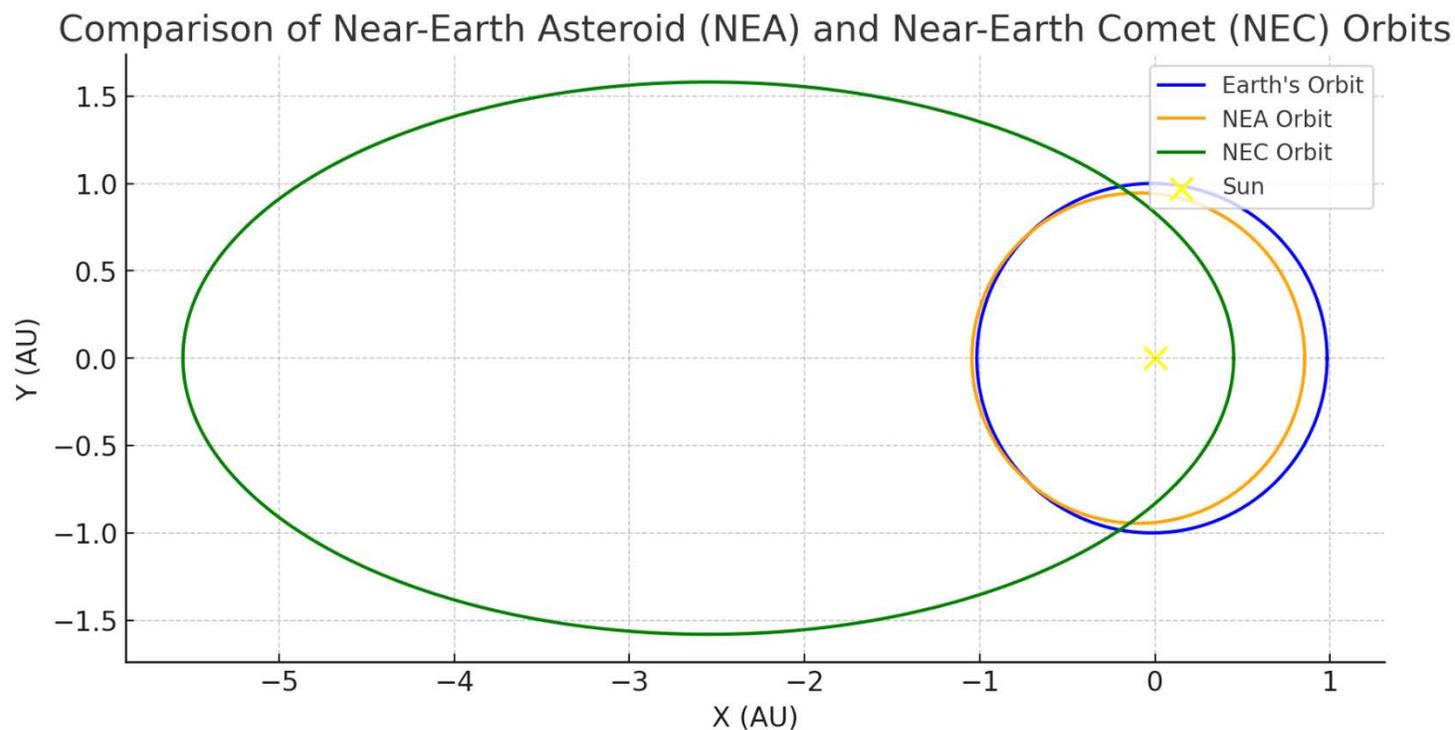
Orbite est considéré comme proche ("near-Earth") lorsque $q < 1.3\text{AU}$





Jargon : astéroïdes versus comètes

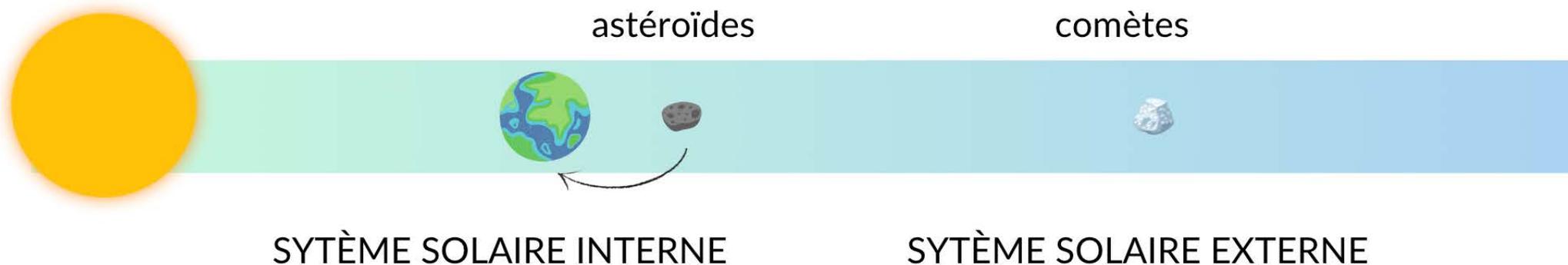
- **Proba de collision d'astéroïdes avec la Terre >> proba de collision de comètes avec la Terre**
 1. Beaucoup plus d'astéroïdes avec des orbites proches de la Terre que de comètes avec des orbites proches de la Terre
 2. Le temps pendant lequel une comète (NEC) est proche de la Terre est court comparé aux astéroïdes (NEA)





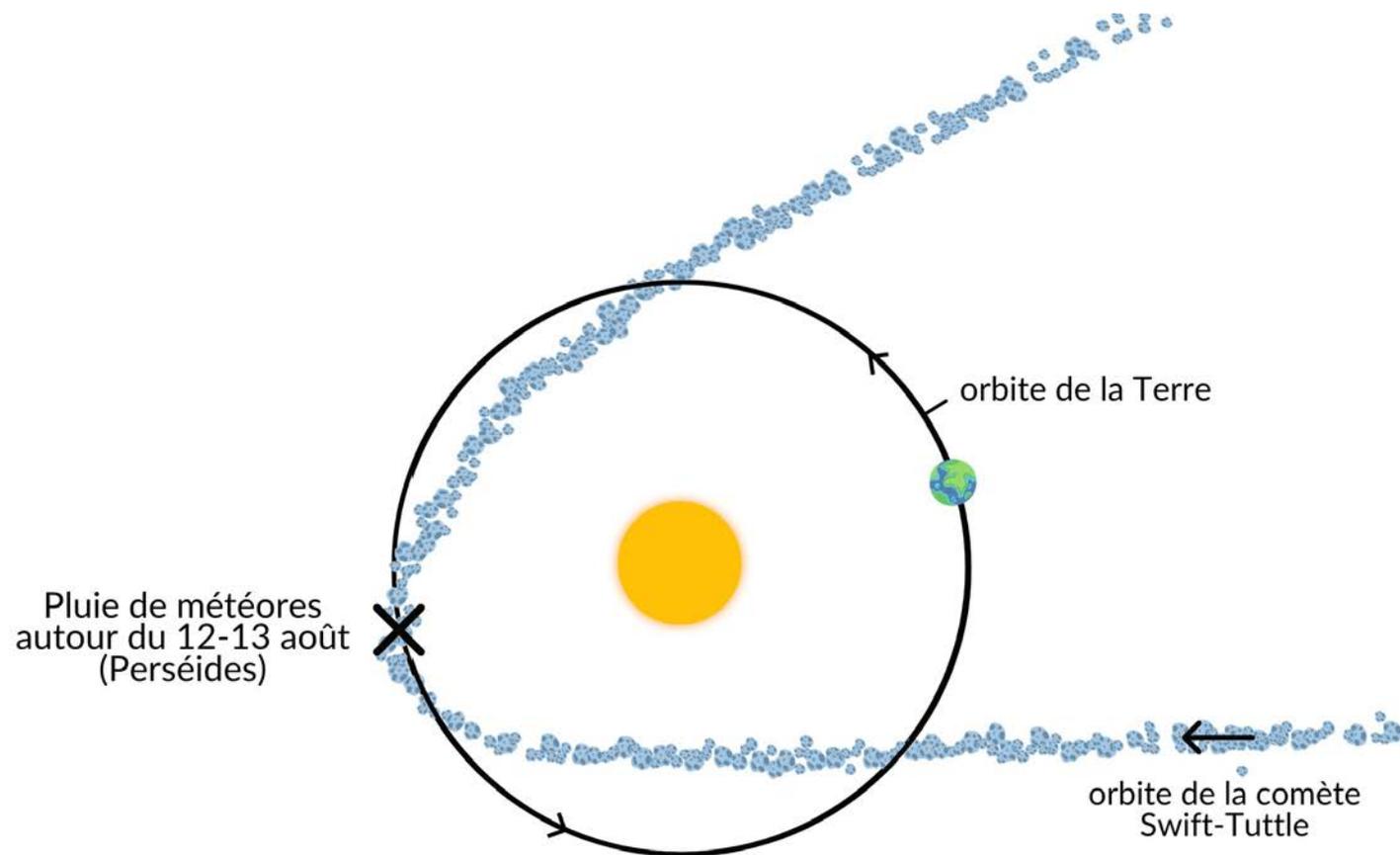
Jargon : astéroïdes versus comètes

- **Proba de collision d'astéroïdes avec la Terre >> proba de collision de comètes avec la Terre**
- Lorsqu'un morceau d'**astéroïde** (météoroïde) pénètre dans l'atmosphère de la Terre: phénomène lumineux (étoile filante) et résidu qui percute le sol (**météorite**)





Jargon : astéroïdes versus comètes

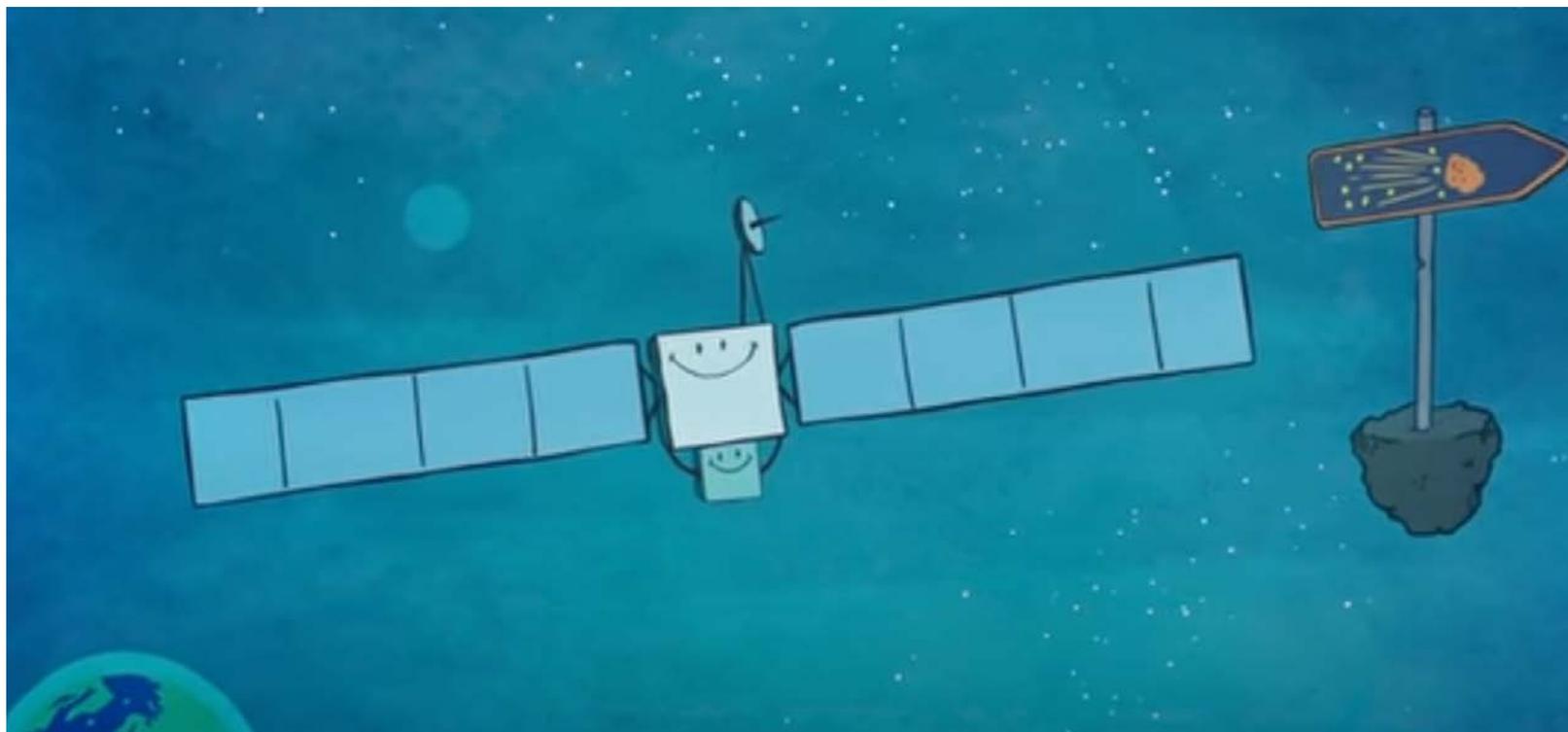


- Pour les **comètes**: pluies d'étoiles filantes à période fixe dans l'année, les poussières de comètes se consomment entièrement dans l'atmosphère et **pas de résidus**
- Il n'existe donc **pas de "morceaux de comètes"** que nous pourrions étudier **sur Terre** comme les astéroïdes (à part les UCAMMS)



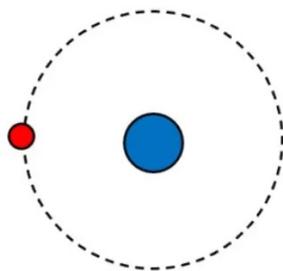
Jargon : astéroïdes versus comètes

- **Missions spatiales nécessaires** pour en savoir plus sur les comètes !
- Giotto (ESA) : comète de Halley; Stardust (NASA) : Wild 2; Deep Impact (NASA) : Tempel 1
- Rosetta – Philae (ESA) : première mission à orbiter autour d'une comète : **67P/Churyumov-Gerasimenko**; lancement en 2004 et arrivée en 2014



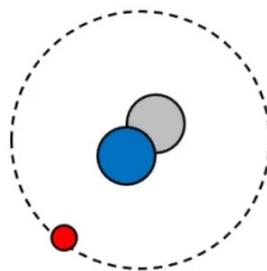


Jargon: signature isotopique



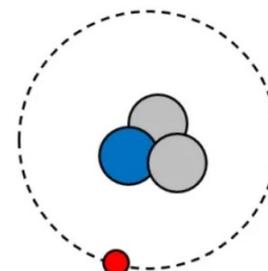
${}^1_1\text{H}$

hydrogen-1 (H)



${}^2_1\text{H}$

hydrogen-2
= Deuterium (D)



${}^3_1\text{H}$

hydrogen-3
= Tritium



neutron



proton

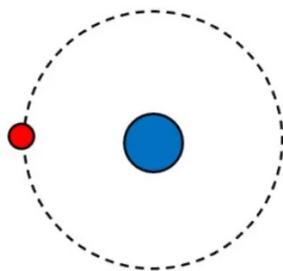


electron

- Isotopes = **atomes qui possèdent le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons**
- Par exemple: l'H possède 3 isotopes (dont 2 stables). Le C et le N: 2 isotopes stables. L'O: 3 isotopes stables. **Le xénon (gaz rare) en possède 9 stables !**

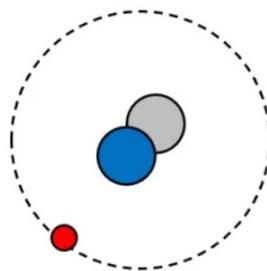


Jargon: signature isotopique



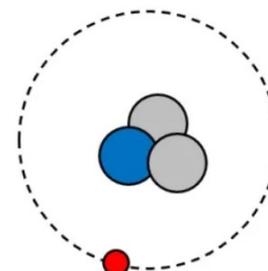
${}^1_1\text{H}$

hydrogen-1 (H)



${}^2_1\text{H}$

hydrogen-2
= Deuterium (D)



${}^3_1\text{H}$

hydrogen-3
= Tritium



neutron



proton



electron

- Sur Terre, pour 10000 atomes d'H, il y a 9997 atomes d' ${}^1\text{H}$ pour 3 atomes de ${}^2\text{H}$ (= D)
→ Rapport D/H très faible
- Comparativement, ce rapport D/H est souvent beaucoup plus élevé dans les comètes
- Pour chaque élément ayant **plusieurs isotopes**, on peut déterminer une signature isotopique, qui est **propre** à un (groupe de) corps.



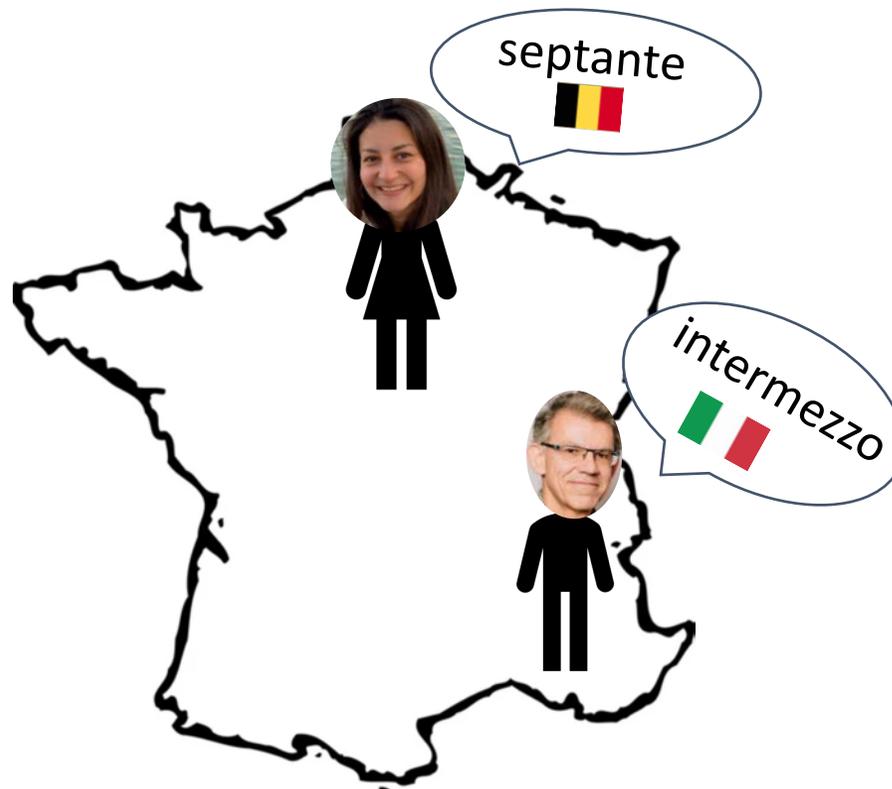
Jargon: signature isotopique

ANALOGIE: Certaines signatures isotopiques sont aux corps du système solaire, ce que certaines expressions sont aux gens



Jargon: signature isotopique

ANALOGIE: Certaines signatures isotopiques sont aux corps du système solaire, ce que certaines expressions sont aux gens



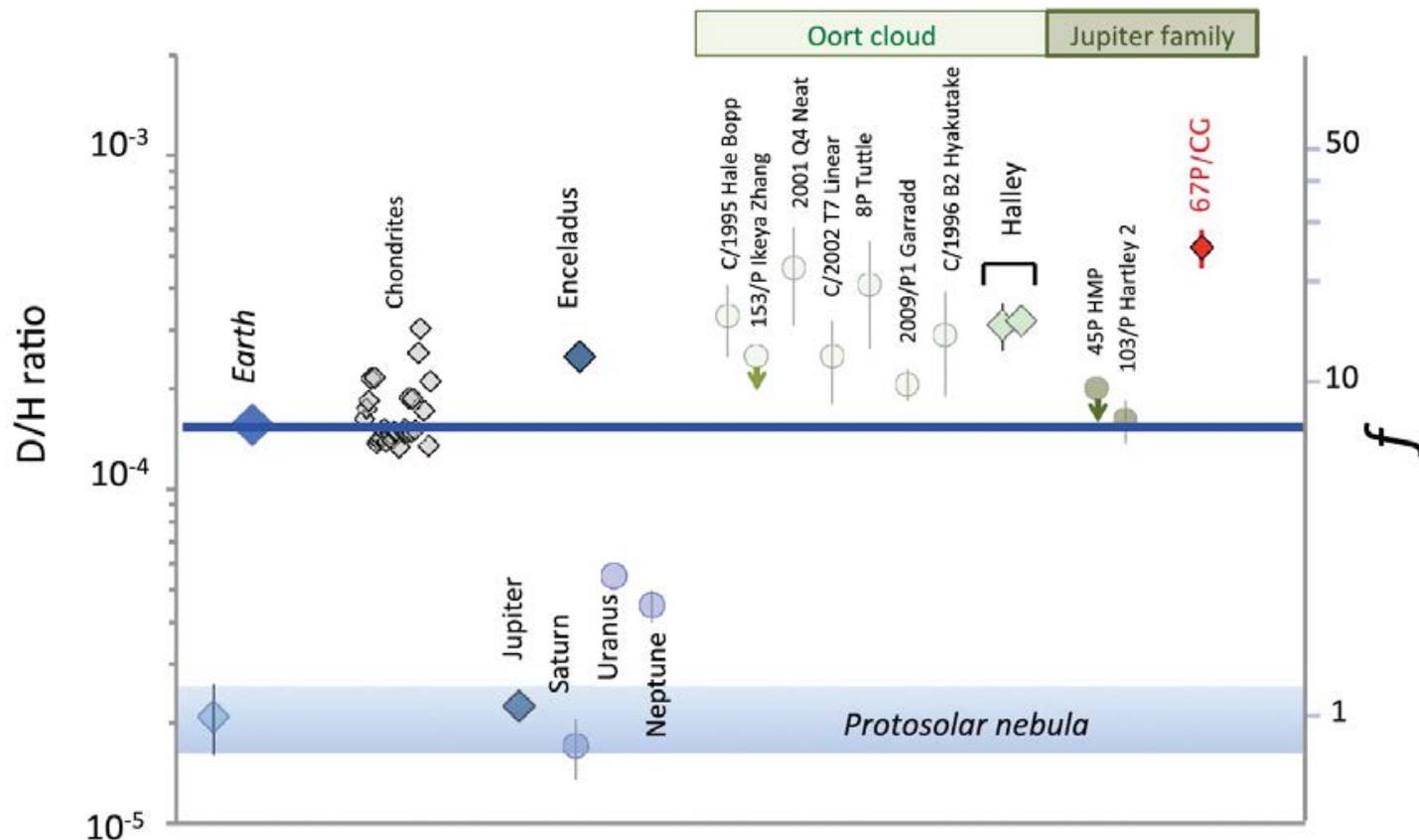
➔ Permettent de tracer l'origine et l'évolution des corps



Jargon: signature isotopique

Astéroïdes

Comètes



Altwegg et al. (2015)

- Grandes variations de rapports D/H parmi les comètes (certaines ont même un rapport D/H très proche de celui de la Terre)
- Ne permet pas de contraindre l'origine de l'H₂O sur Terre (Lis et al. 2019), **ni de distinguer les comètes des astéroïdes !**



Jargon: signature isotopique

'Xenon is the King of Nobility'

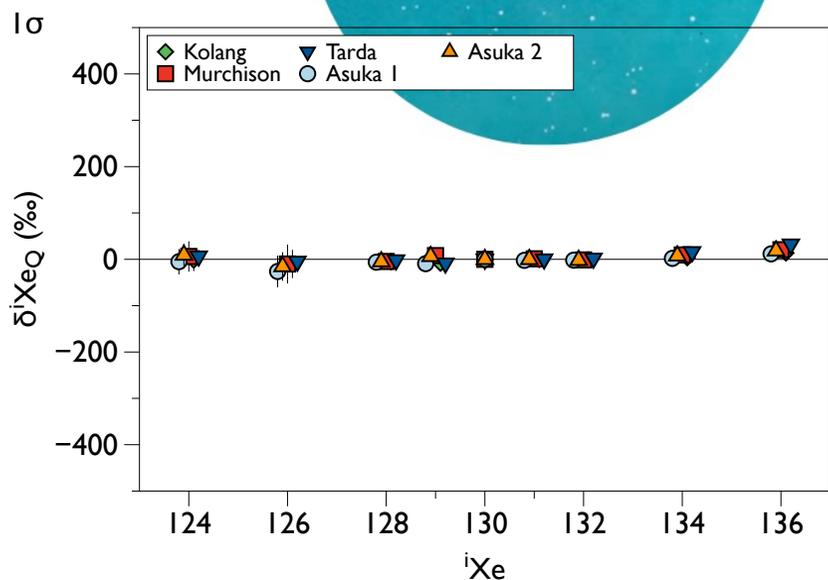
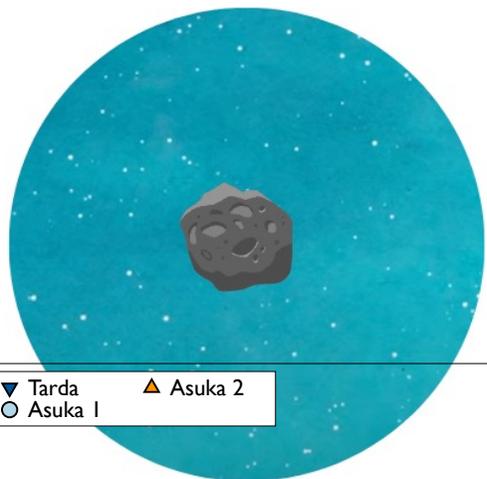
Kevin Zahnle

- **Gaz rare** : excellent traceur des processus dynamiques du système solaire
- 9 isotopes stables

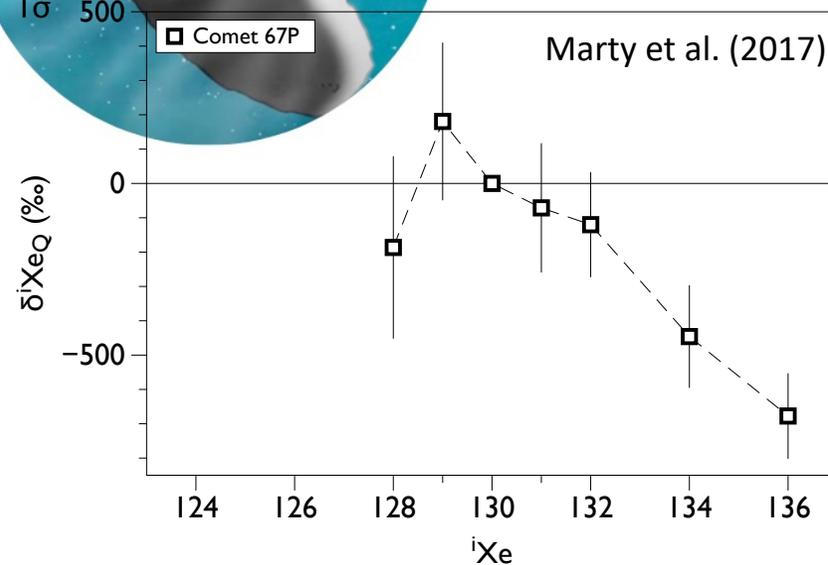
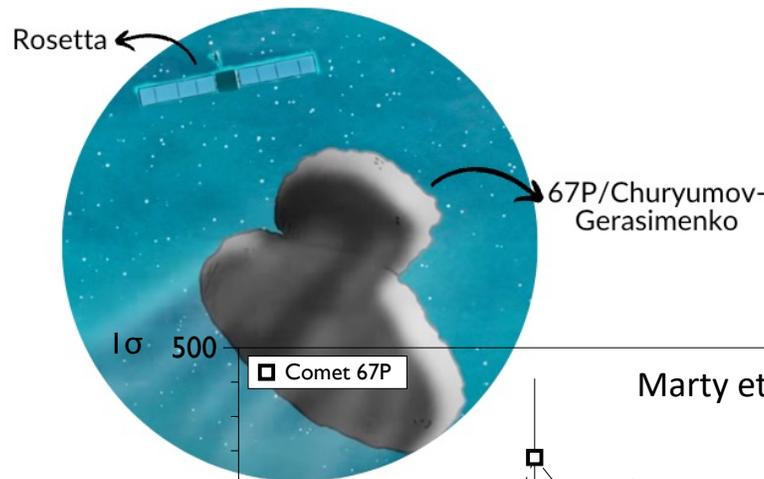


Jargon: signature isotopique

Astéroïde



Comète



- Les astéroïdes et les comètes ont des signatures isotopiques de **xénon très distinctives !**
- **La signature isotopique du xénon permet de distinguer les astéroïdes et les comètes**



Le bombardement cométaire



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

- Il y a ~ 4.5 milliards d'années

4-5 Myr après t₀:
Dissipation du disque
gazeux protoplanétaire

100 Myr après t₀

Formation du système solaire
il y a 4.567 milliards d'années

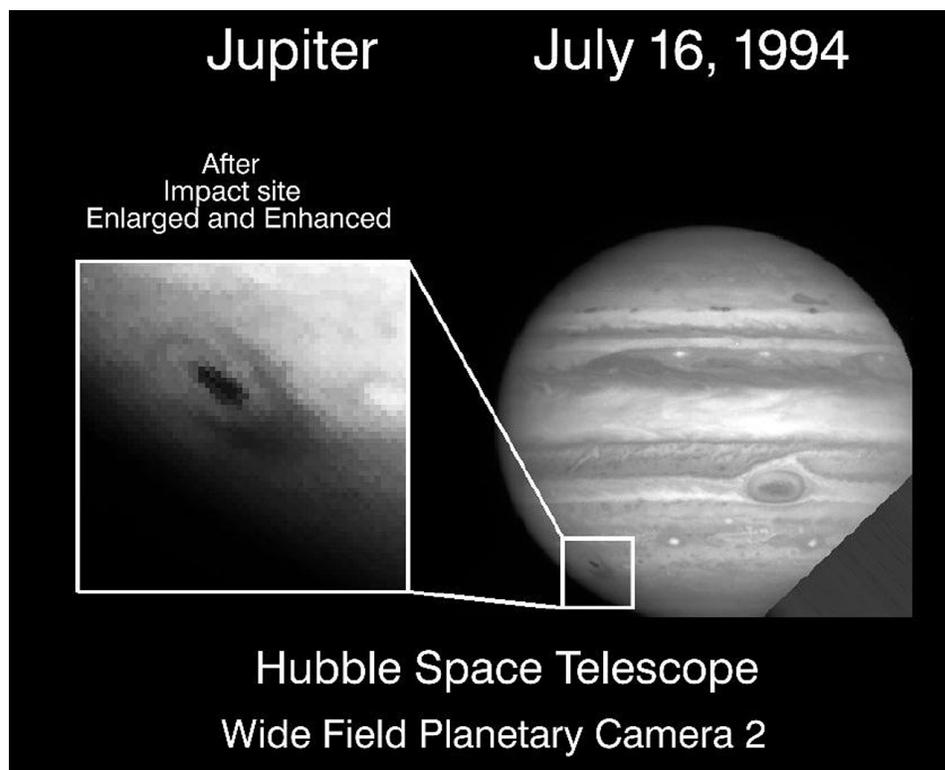
[...]

Présent



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

- De nos jours, probabilité de collision des comètes avec la Terre: très faible
- Sur Jupiter, collision + probable (cf. comète Shoemaker-Levy 9 en 1994)



Taux de collision des comètes sur un corps

$$\propto \sum_{\text{comètes}} P_i (R+r)^2 f_{\text{grav}}$$

Probabilité intrinsèque de collision entre chaque paire comète-corps (i.e. lorsque la somme de leurs rayons est égale à 1 km)

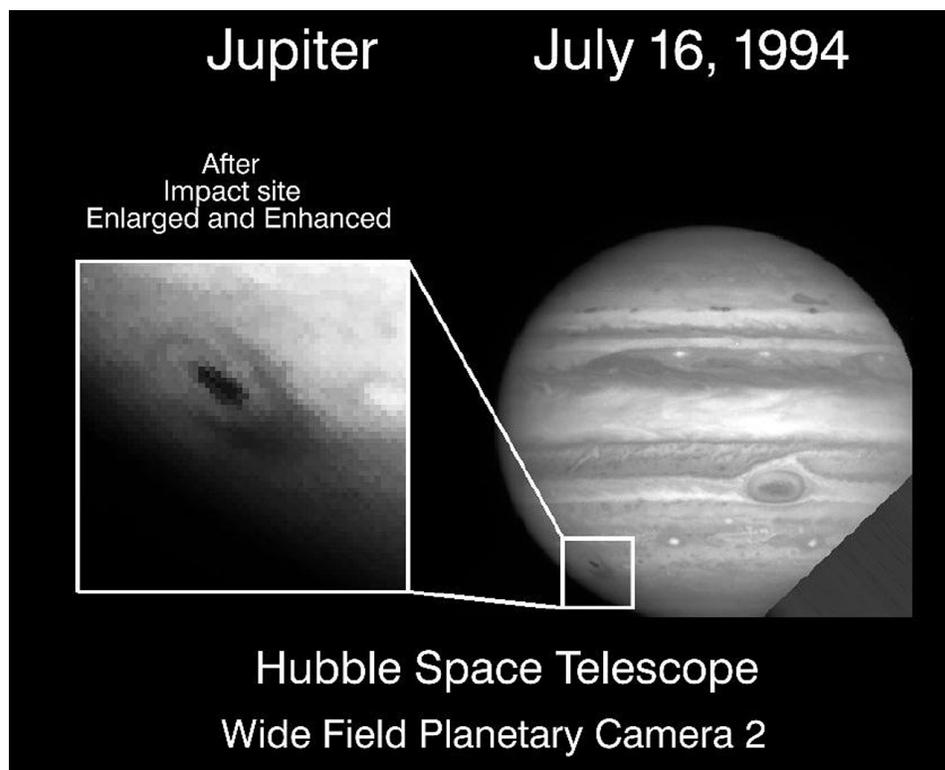
Section collisionnelle

Facteur de focalisation gravitationnelle à l'approche du corps
 $= 1 + V_{\text{esc}}^2/V_{\text{rel}}^2$



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

- **De nos jours**, probabilité de collision des comètes avec la Terre: très faible
- Sur Jupiter, collision + probable (cf. comète Shoemaker-Levy 9 en 1994)

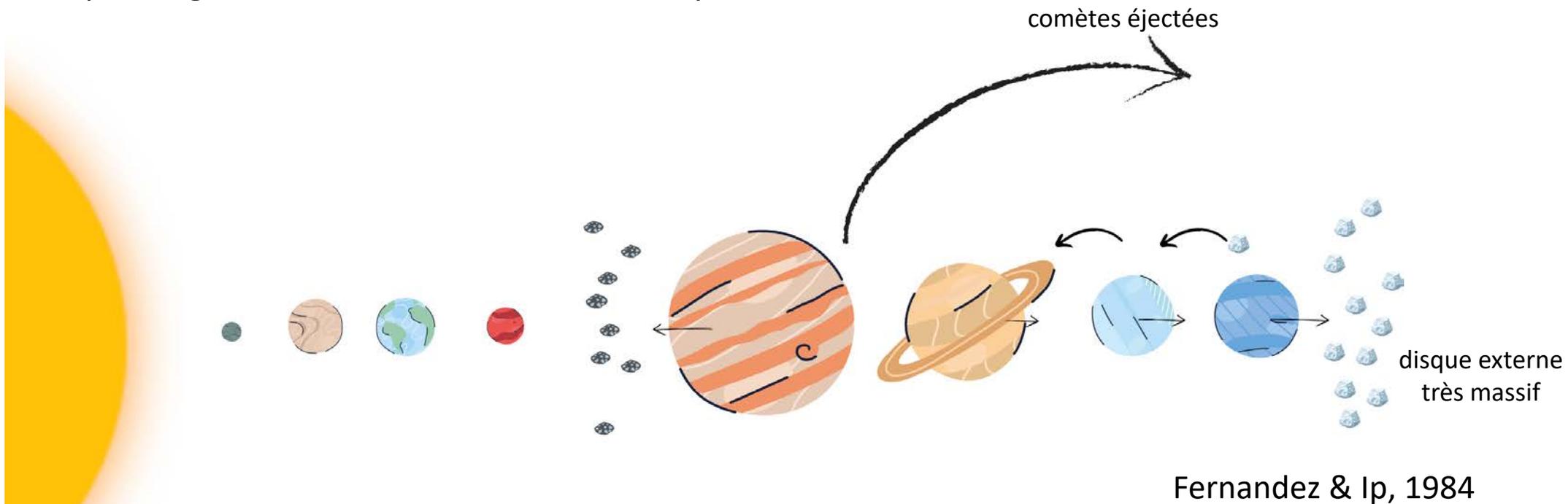


Si périhélie de la comète dans la région des planètes terrestres: perte de matériel et comète de + en + petite ($q < 2.5$ AU: sublimation de la glace d'eau)



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

- Il y a ~ 4.5 milliards d'années, beaucoup plus de comètes et beaucoup plus grosses
- Jupiter agit comme une barrière vers le système solaire interne



5 Myr après t_0

100 Myr après t_0

[...]

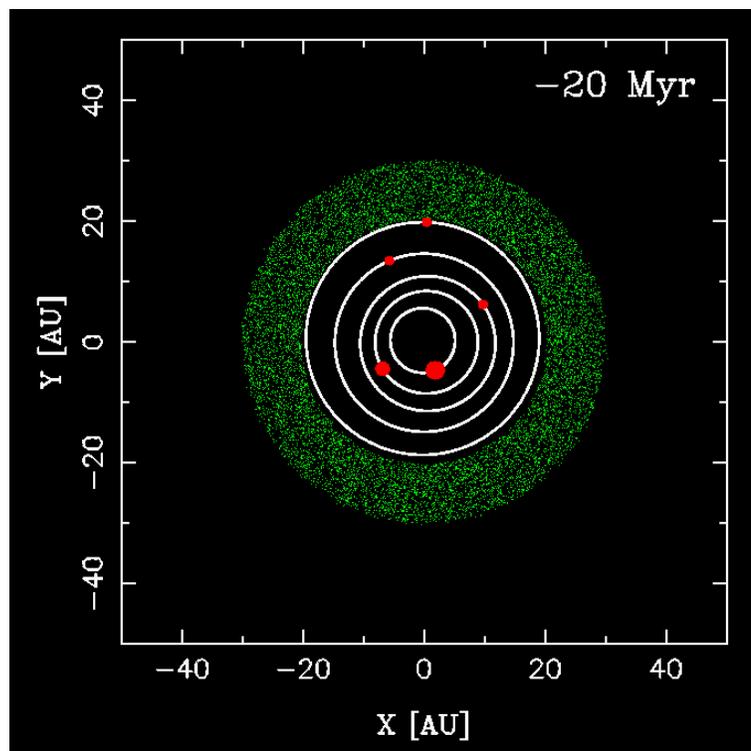
t_0

Présent



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

- Il y a ~ 4.5 milliards d'années, beaucoup plus de comètes et beaucoup plus grosses
- **Modèle de Nice:** instabilité des planètes géantes et ejection de comètes vers l'intérieur du système solaire notamment. Proba de collision des comètes augmente !



5 Myr après t_0

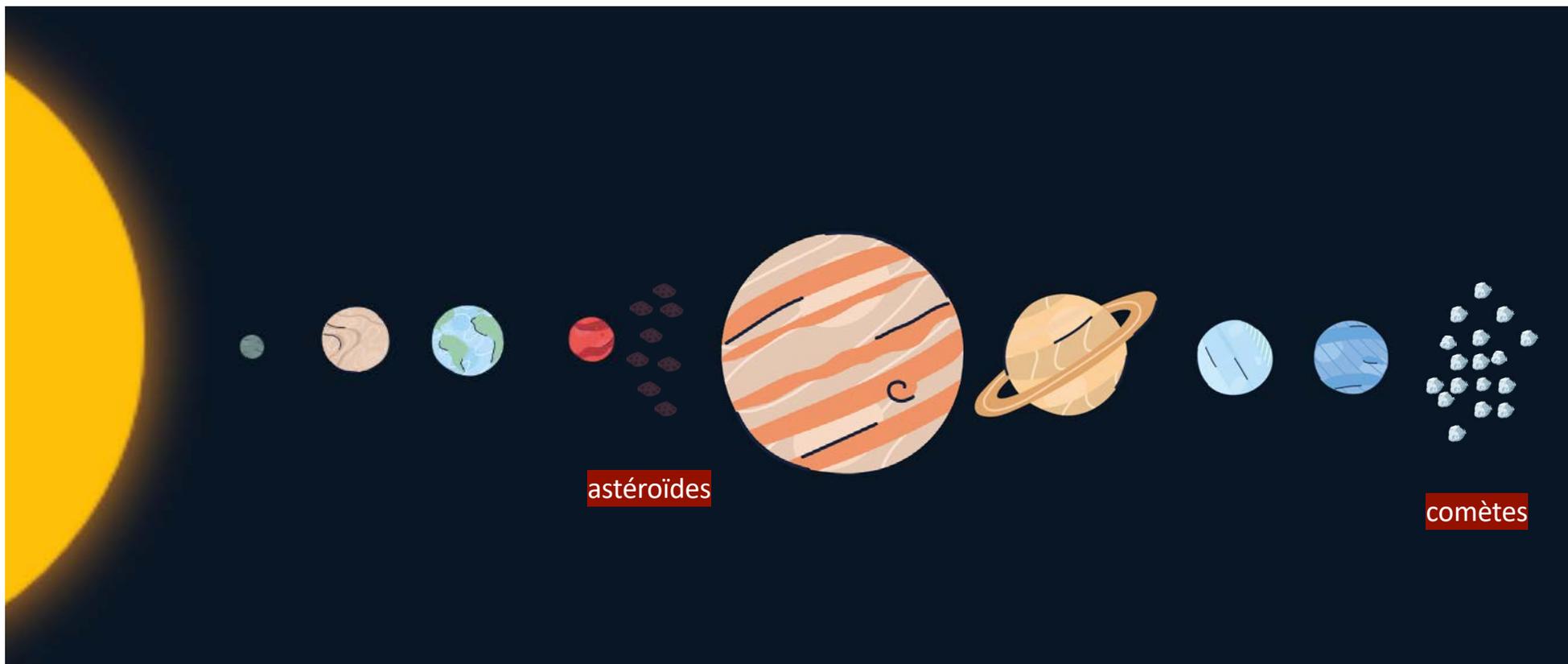
100 Myr après t_0

t_0

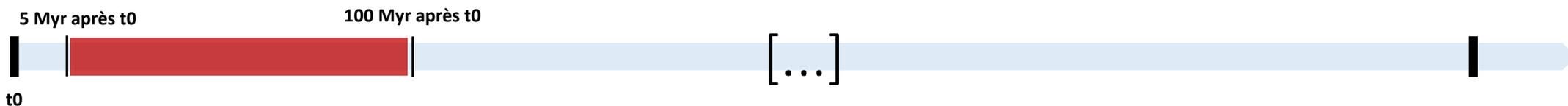
[...]



Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?

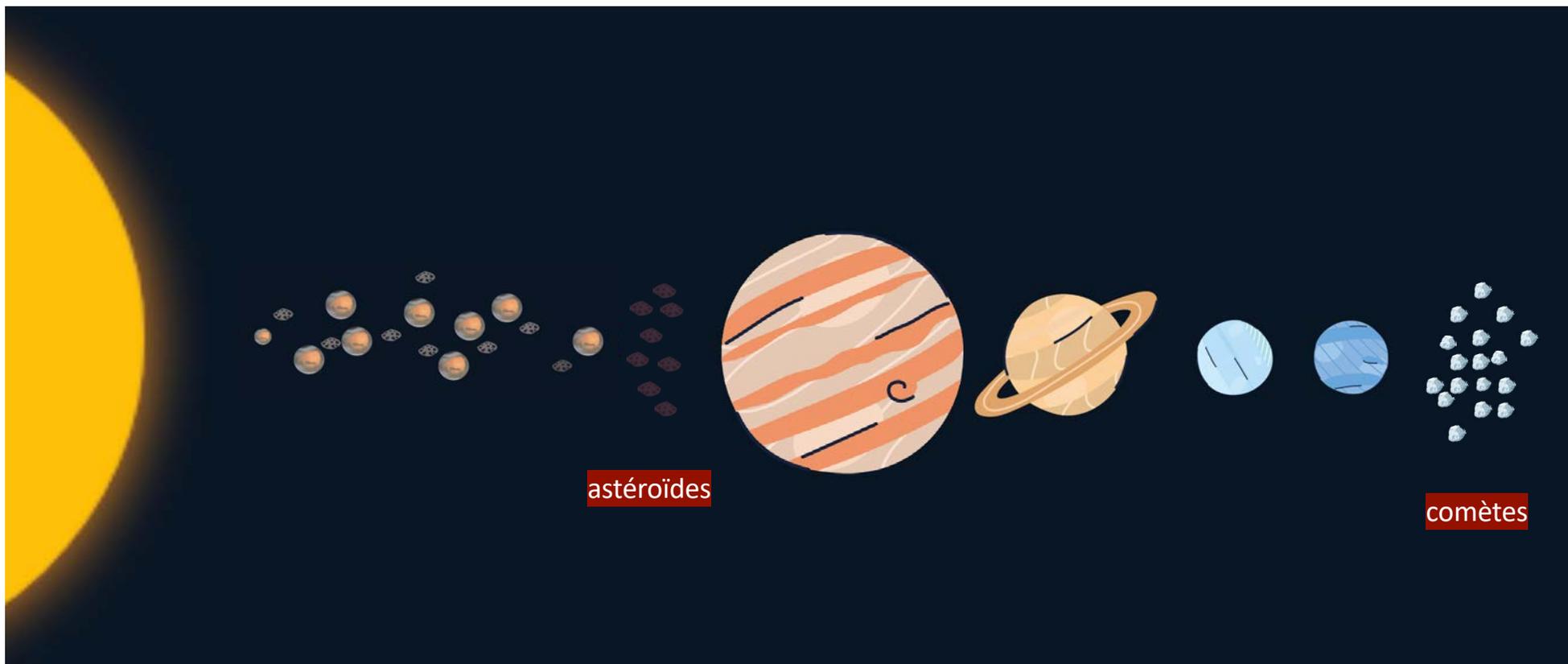


- L'instabilité des planètes géantes a dû se produire dans les 100 premiers millions d'années du système solaire, mais incertitudes sur le timing exact (Morbidelli et al. 2018)





Le bombardement cométaire: de quoi parle-t-on ?



- Incertitudes sur le timing de l'instabilité: il s'est possiblement produit avant que la Terre ait fini de se former: **modèle de l'instabilité précoce** (Raymond et al., 2010; Clement et al. 2018; Ribeiro et al., 2020; Liu et al., 2022; Edwards et al. 2024)





La contribution cométaire sur Terre et sur les autres planètes du système solaire interne



Avons-nous des preuves du bombardement cométaire sur Terre ?

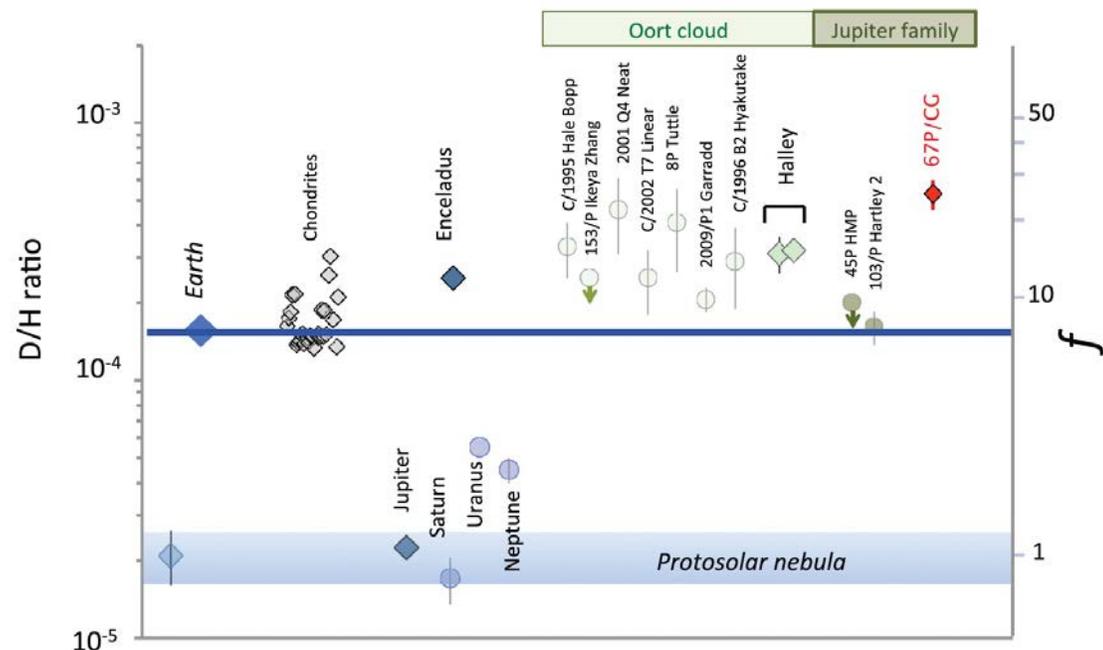
- Molécules organiques prébiotiques ?



➔ Pas une preuve

- Rapport D/H ?

- Rapport D/H dans les océans terrestres plus proche de celui des astéroïdes
- Mais grande diversité des rapports D/H parmi les comètes
- Impossible de contraindre la contribution cométaire à partir de ce rapport



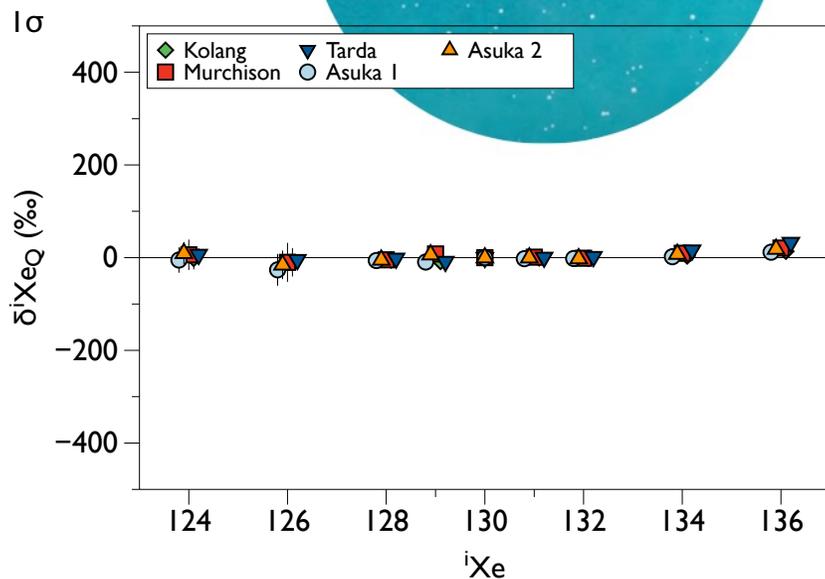
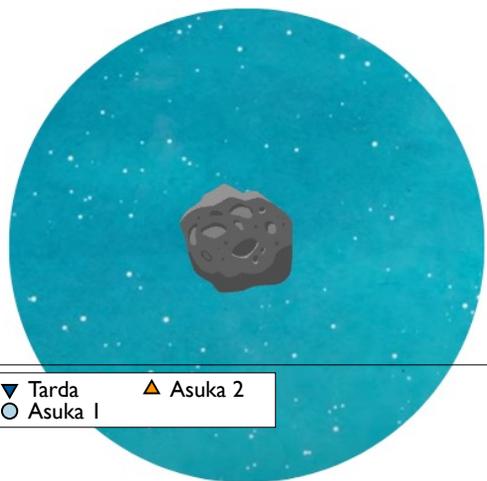
➔ Pas une preuve



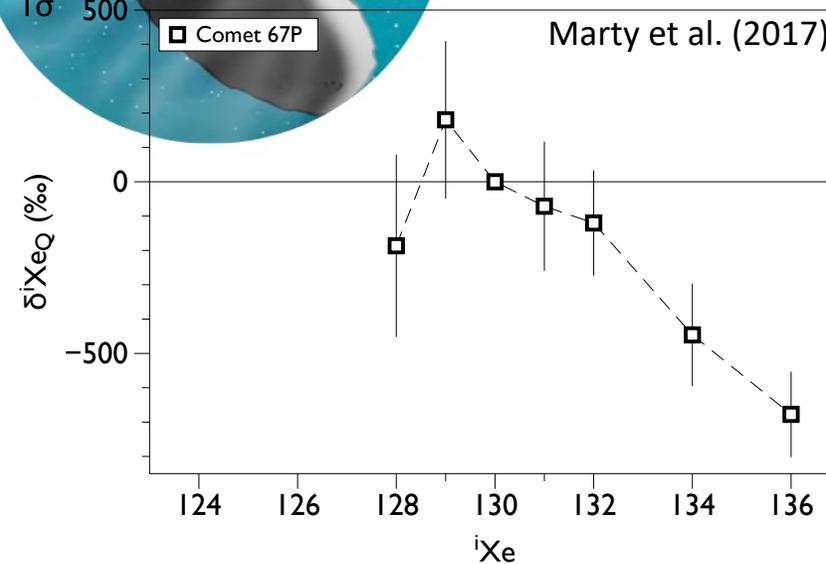
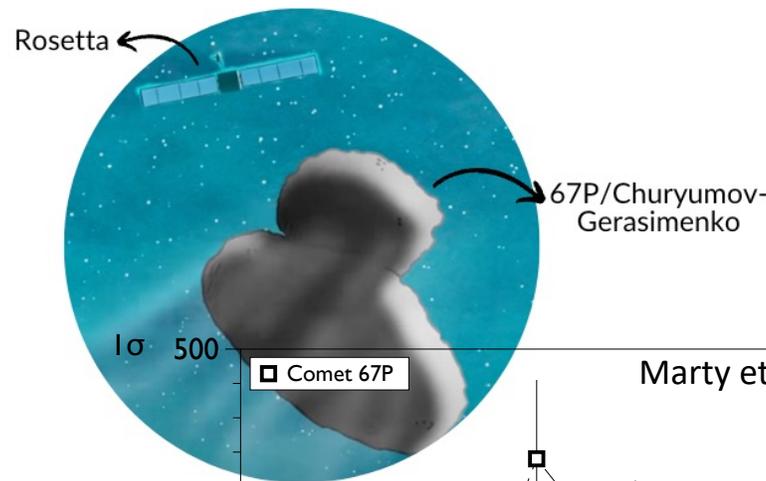
Avons-nous des preuves du bombardement cométaire sur Terre ?

➔ Le xénon est notre meilleur atout pour contraindre la contribution cométaire sur Terre

Astéroïde



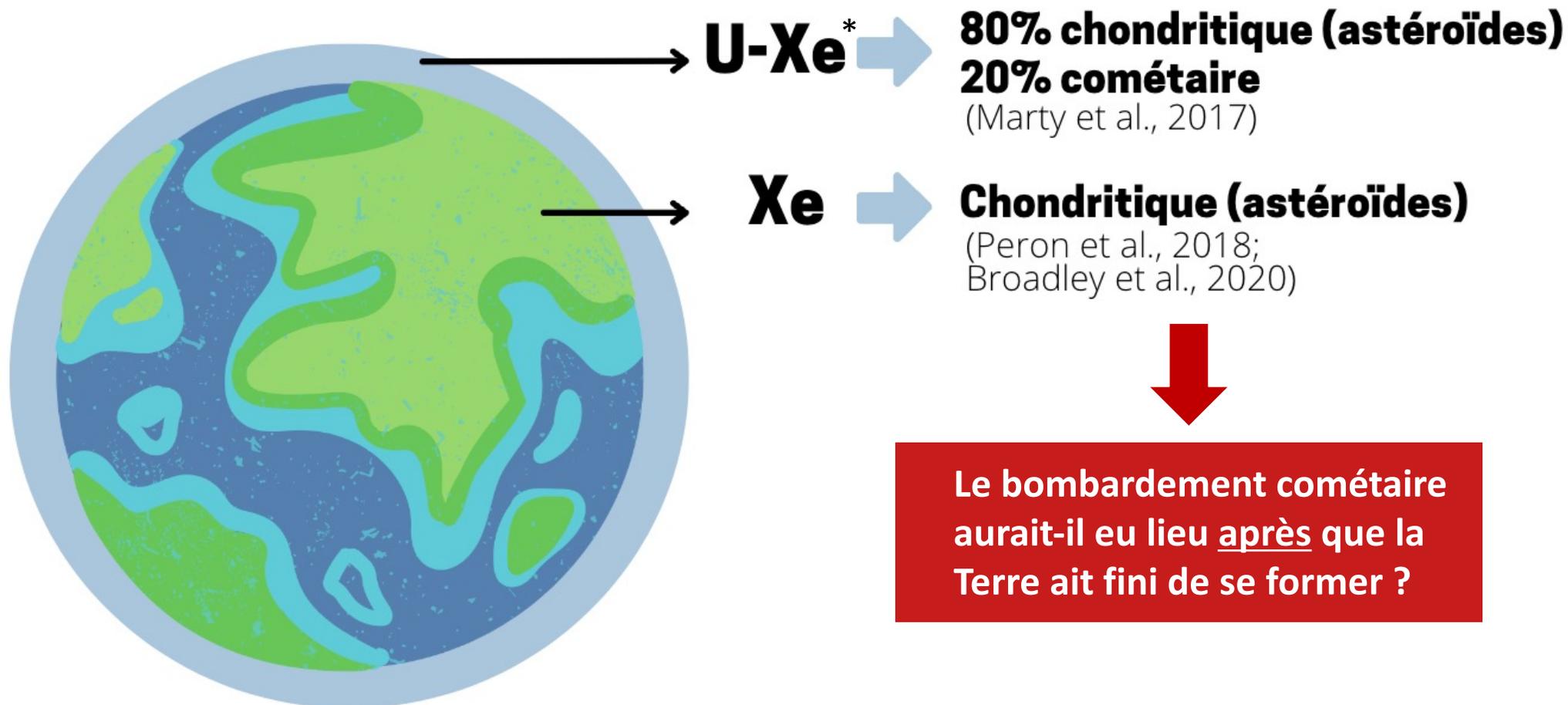
Comète



- Les astéroïdes et les comètes ont des signatures isotopiques de xénon **très distinctives** !
- Le xénon est beaucoup plus abondant dans les comètes que dans les astéroïdes.



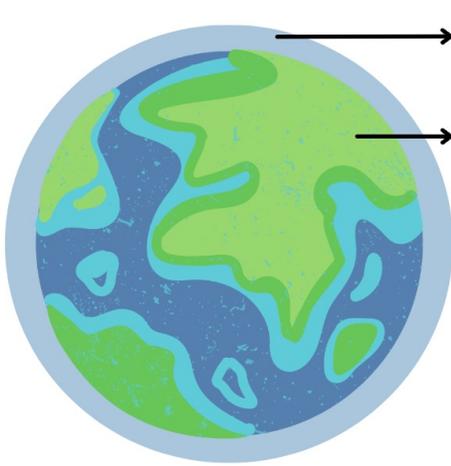
Avons-nous des preuves du bombardement cométaire sur Terre ?



* U-Xe = signature isotopique du xénon dans l'atmosphère de la Terre, corrigée pour le fractionnement dépendant de la masse = signature isotopique du xénon telle qu'elle était dans l'atmosphère de la Terre il y a 4.5 milliards d'années



Compatible avec une instabilité précoce ?



U-Xe → **80% chondritique (astéroïdes)**
20% cométaire
(Marty et al., 2017)

Xe → **Chondritique (astéroïdes)**
(Peron et al., 2018;
Broadley et al., 2020)



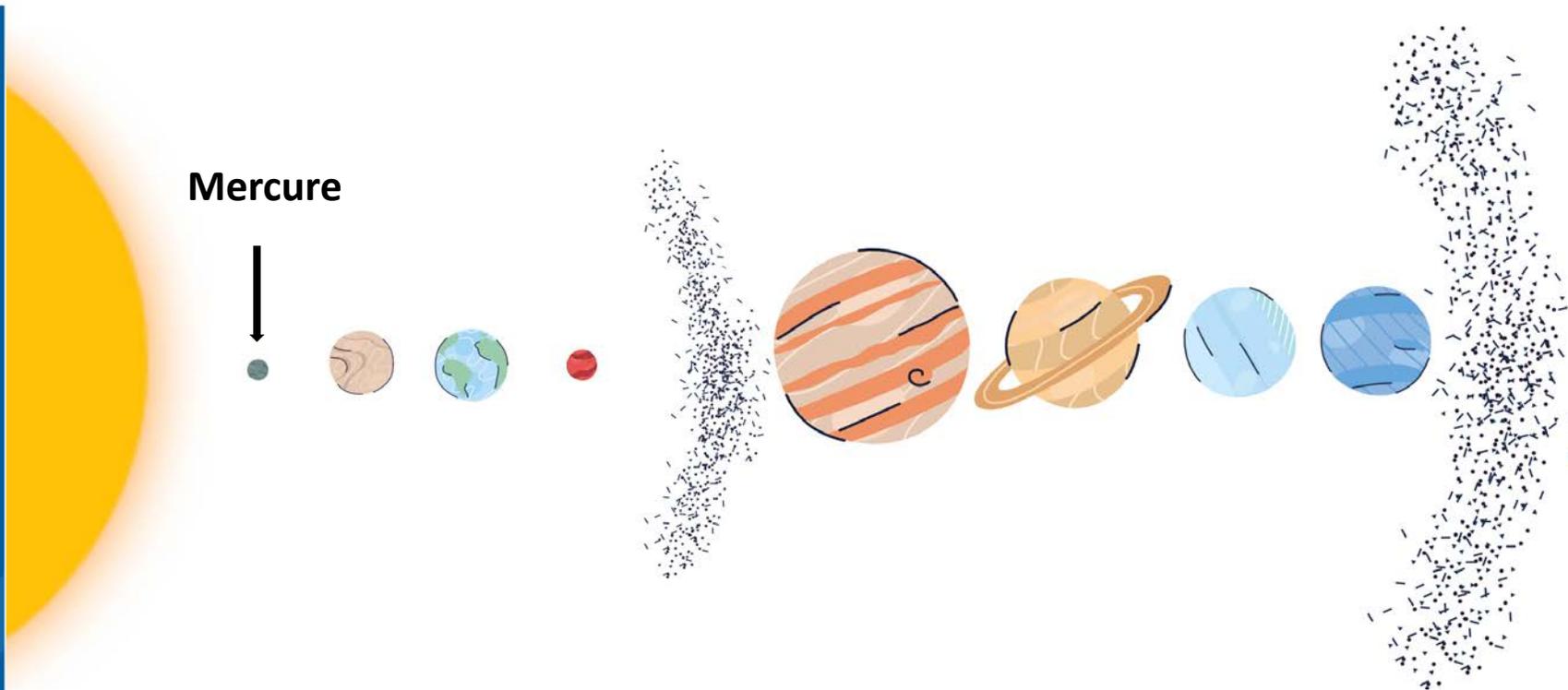
Modèle d'instabilité précoce: Le bombardement cométaire aurait eu lieu avant que la Terre ait fini de se former (xénon cométaire plutôt dans le manteau ?)



Le bombardement cométaire aurait plutôt eu lieu après que la Terre ait de se former



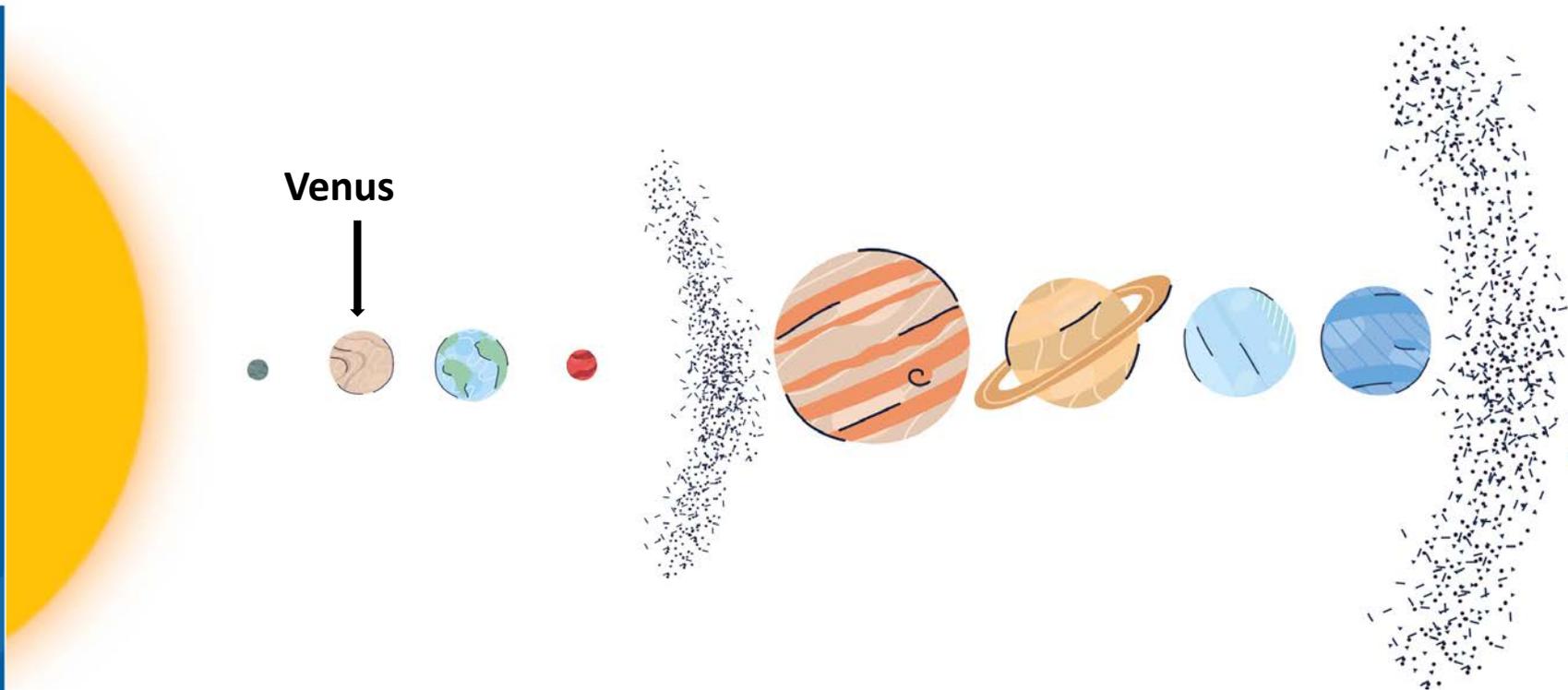
Et sur les autres corps du système solaire interne ?



- Pas de données



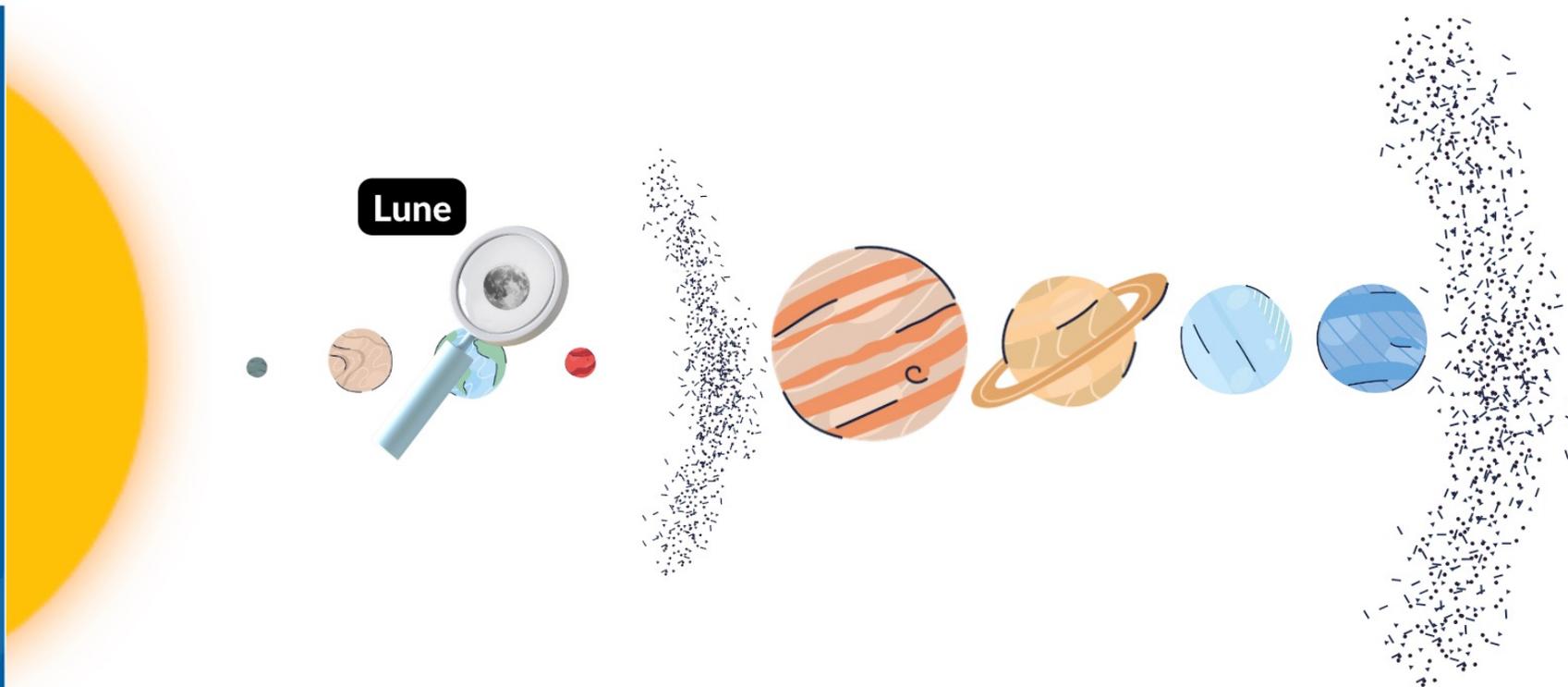
Et sur les autres corps du système solaire interne ?



- Pas **encore** de données
- Mission **DAVINCI+**: mesures des compositions élémentaire et isotopique de gaz rares (donc xénon) dans l'atmosphère de Vénus
- Rapport $^{36}\text{Ar}/^{22}\text{Ne}$ élevé, suggérant une contribution cométaire importante (Avice et al. 2022)



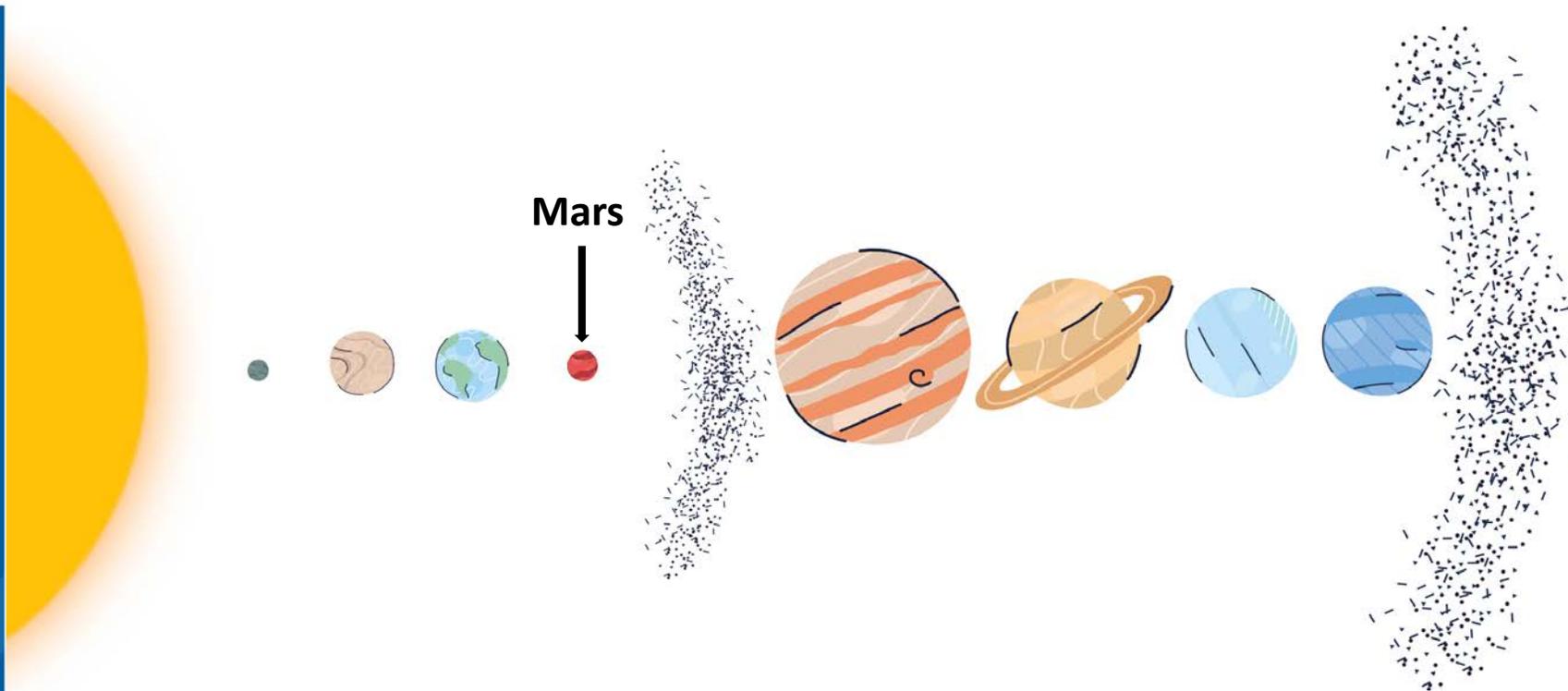
Et sur les autres corps du système solaire interne ?



- **Xénon cométaire** dans anorthosites lunaires (Bekaert et al. 2017, Pernet-Fisher et al. 2020), et dans échantillons lunaires issus de la mission Chang'e 5 (Zhang et al. 2024)



Et sur les autres corps du système solaire interne ?



- Données pour le manteau et l'atmosphère
- **Pas de xénon cométaire**



Et sur les autres corps du système solaire interne ?



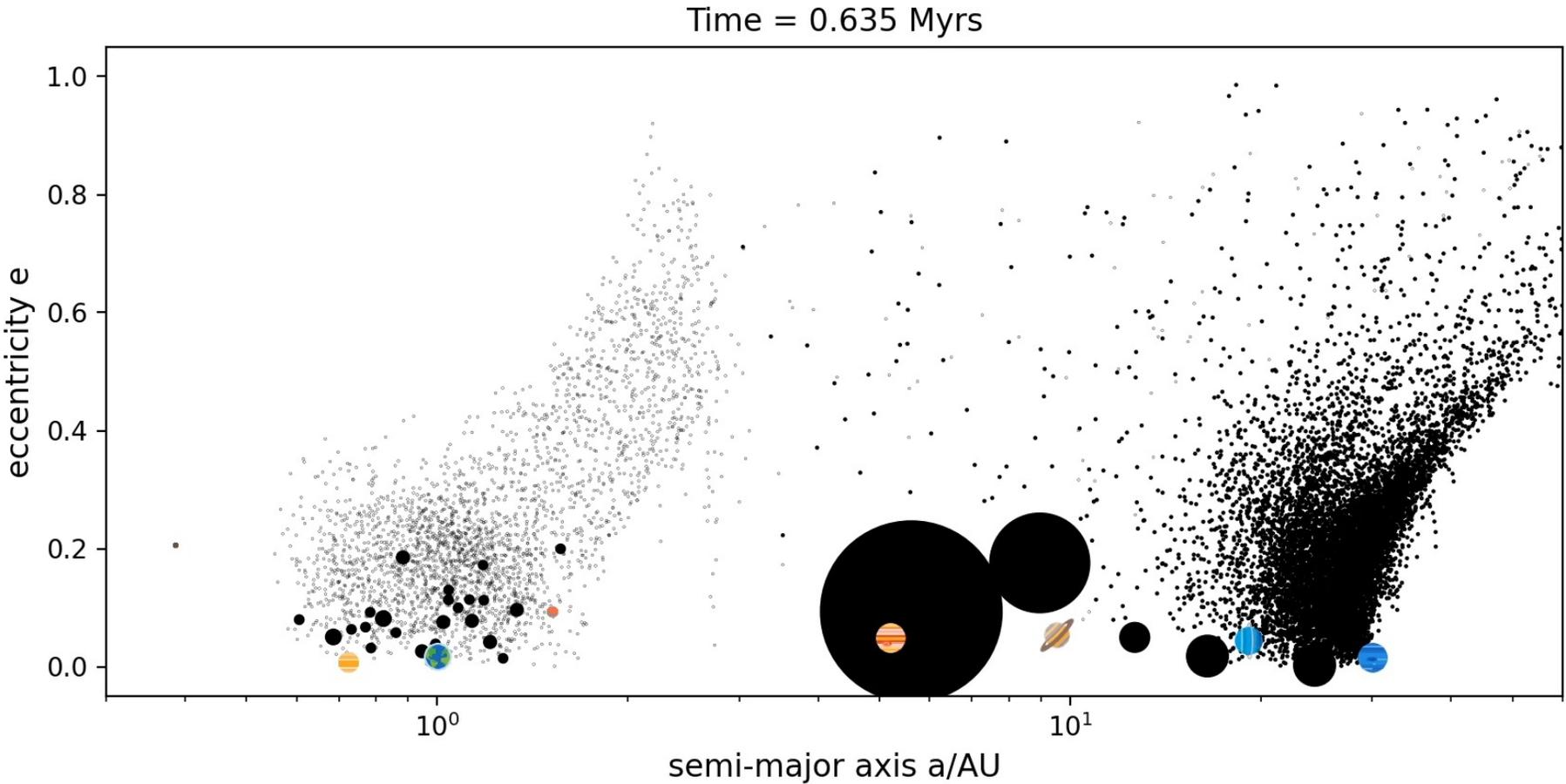
- Plus gros astéroïde de la ceinture d'astéroïde
- Énormément de météorites HED (qui proviennent de la croûte de Vesta) sur Terre
- Dans les années 1990, du U-Xe (contribution cométaire) avait été annoncé mais cela n'a été confirmé par aucune étude suivante.



**De l'importance de la *stochasticité*,
Des contributions relatives,
Et de l'efficacité d'accrétion**



Simulations de l'évolution précoce du système solaire



Contribution cométaire sur Terre à un certain pas de temps $\propto \sum_{\substack{\text{embryons} \\ \text{terrestres}}} \sum_{\text{comètes}} P_i (R_{\text{embryon}} + r_{\text{comète}})^2 f_{\text{grav}}$

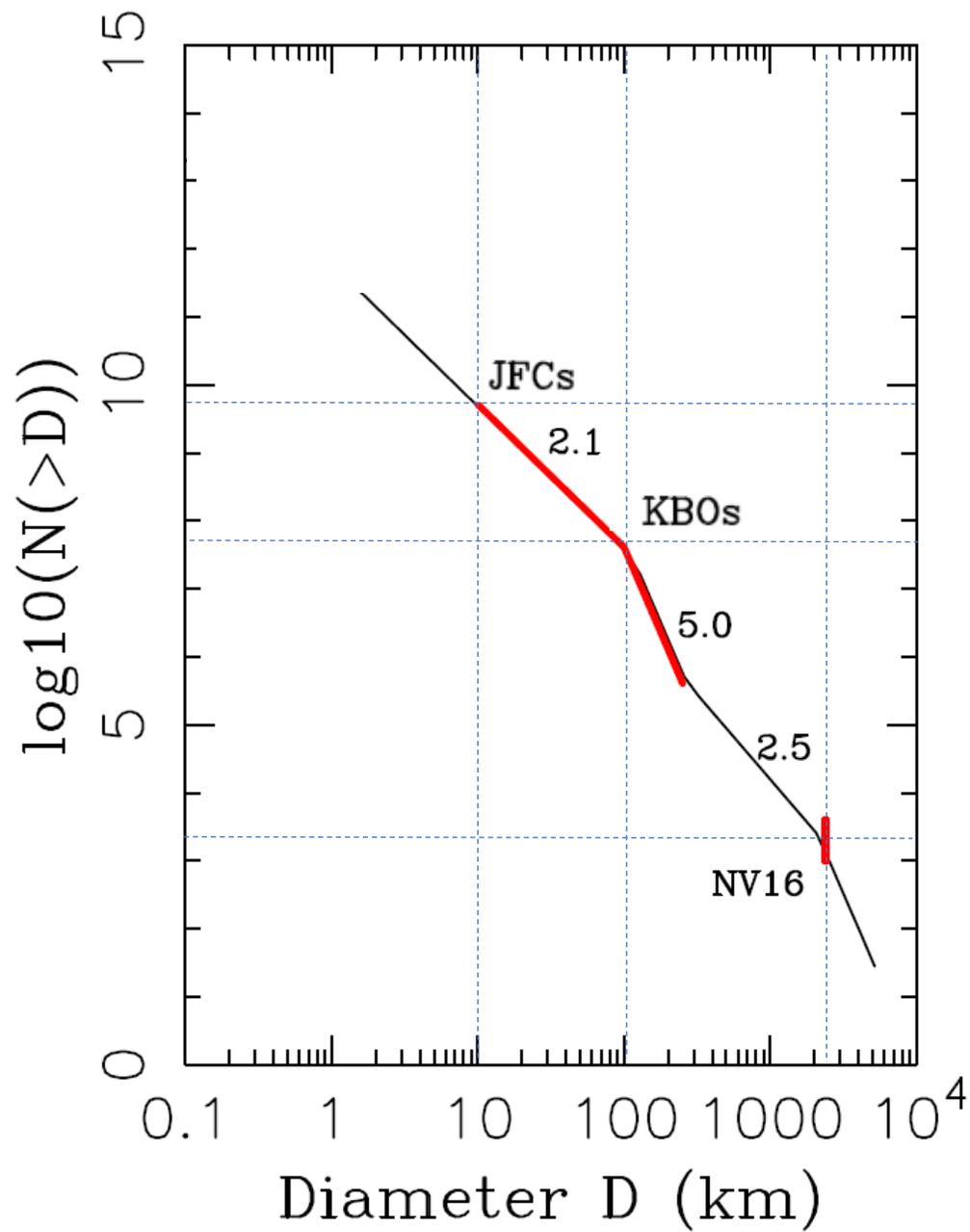


Distribution des tailles des planétésimaux du disque trans-Neptunien

Contraintes pour les simulations

- $\sim 10^{10}$ objets de $D > 10$ km
- $6 \pm 3 \times 10^7$ objets de $D > 100$ km
- **2×10^3 objets de $D > 2.500$ km**

Cette distribution des tailles est en très bon accord à celle actuellement observée dans la population chaude + Plutinos, mais ~ 1.500 fois supérieure





De l'importance de la stochasticité



bombardement régulier



bombardement régulier + stochastique



De l'importance de la stochasticité

- Permet d'expliquer la diversité des signatures cométaires dans le système solaire
- Permet d'expliquer une contribution cométaire tardive, même dans le cas d'une instabilité précoce



bombardement régulier

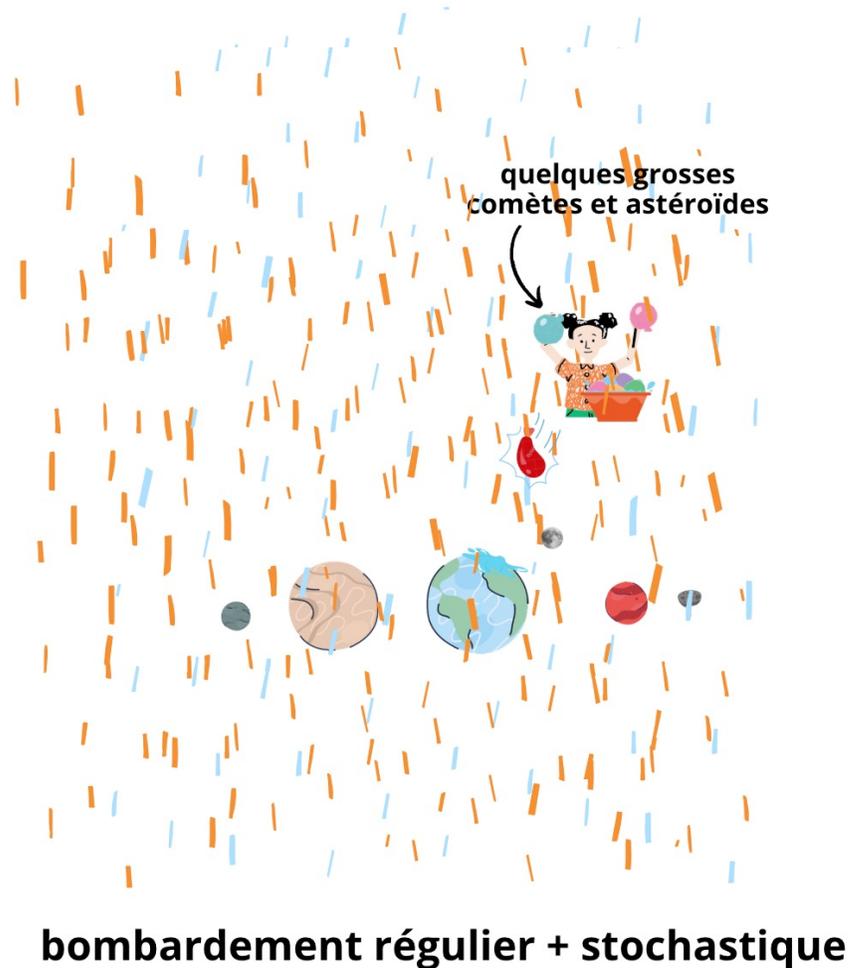


bombardement régulier + stochastique



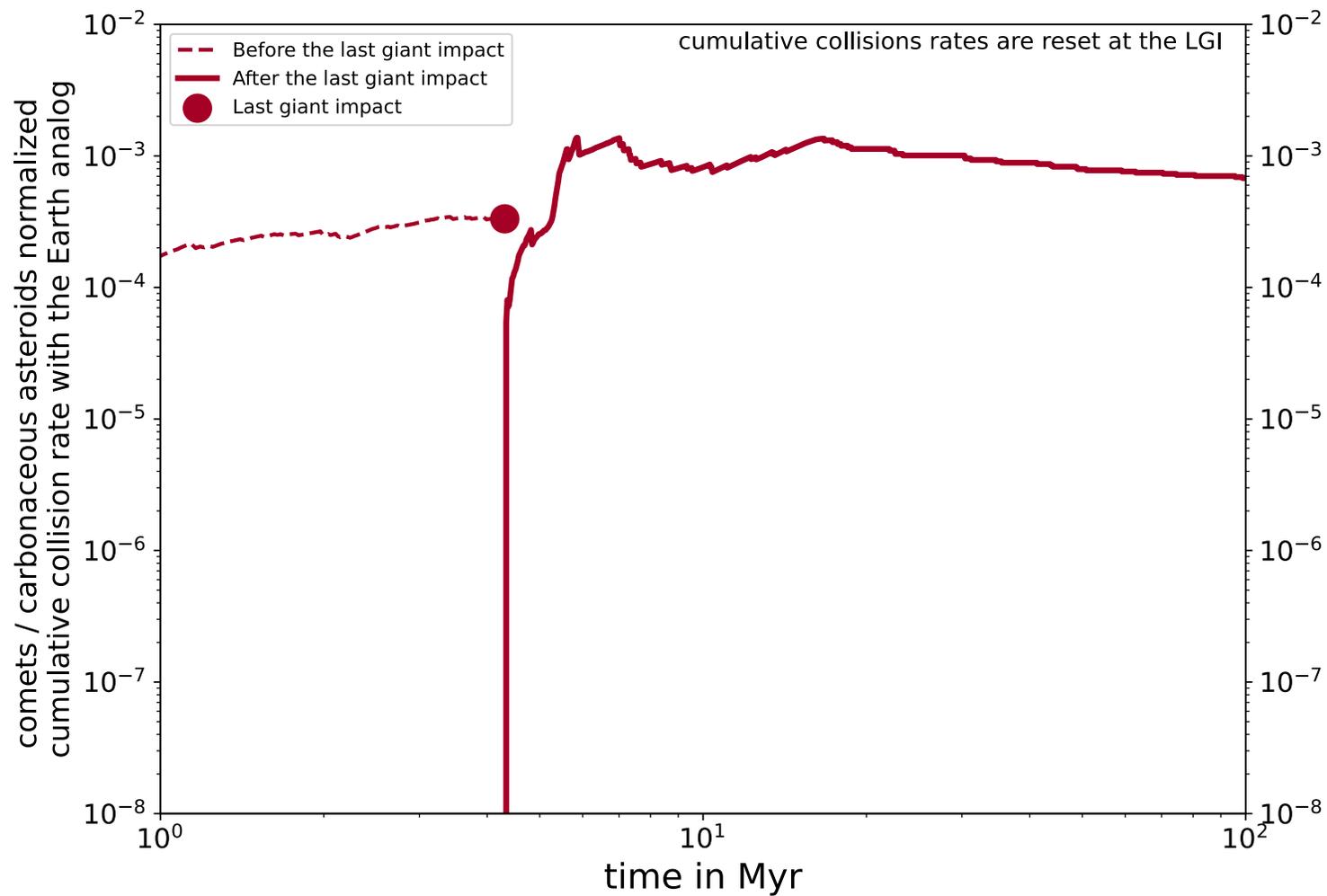
De l'importance des contributions relatives

- Permet d'expliquer pourquoi la signature cométaire passe *inaperçue* dans les mesures de xénon du manteau terrestre



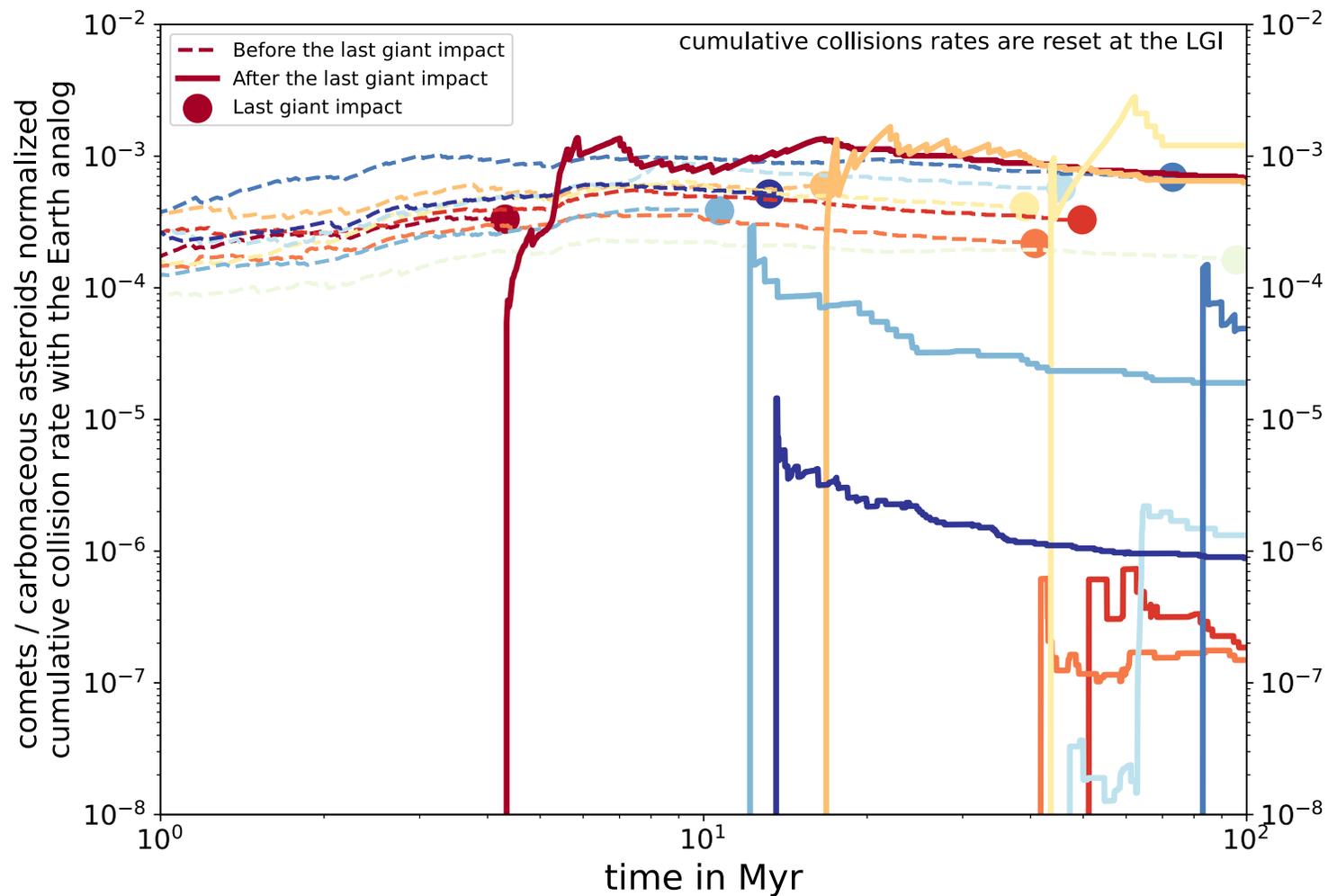


De l'importance des contributions relatives



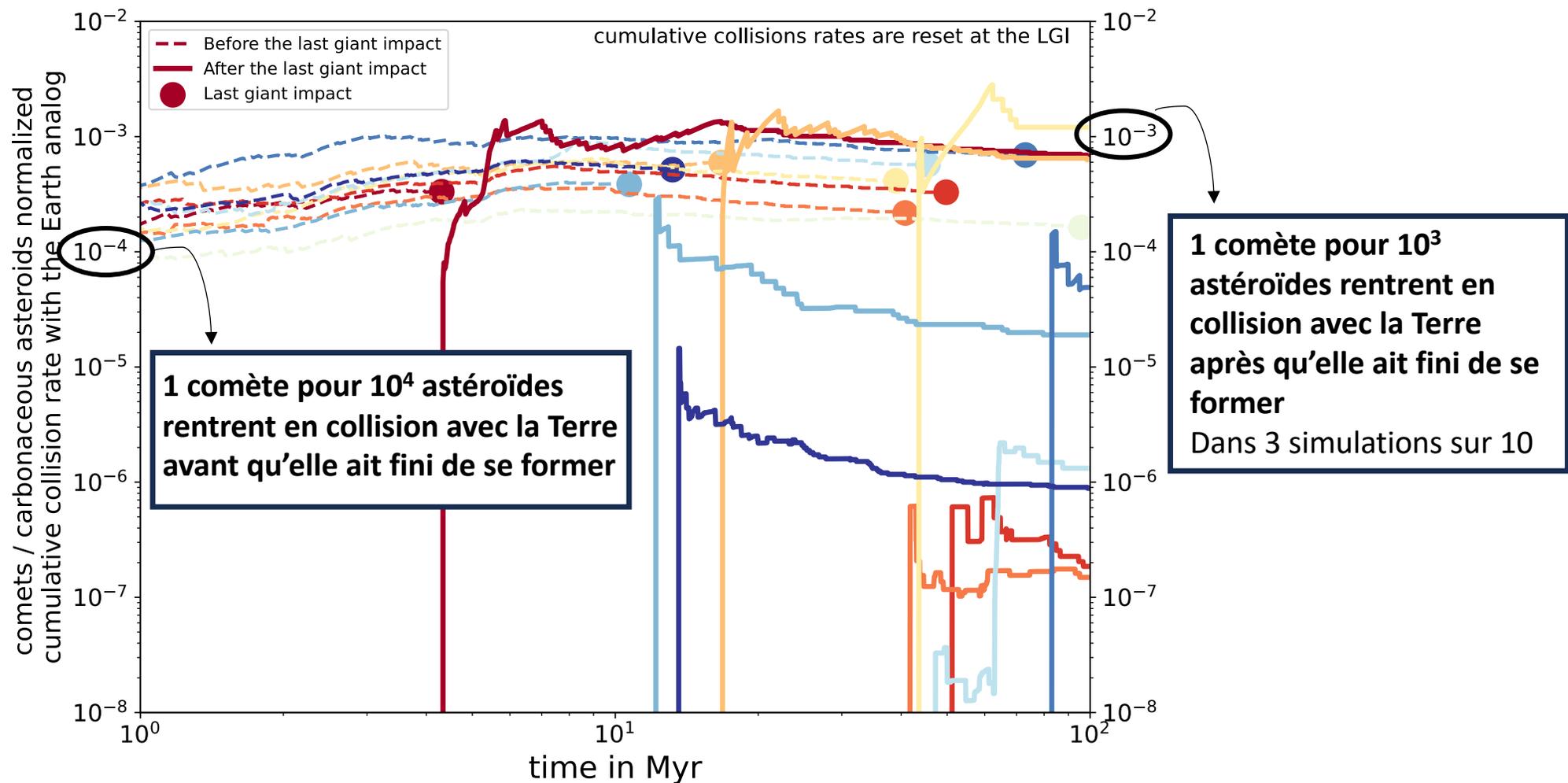


De l'importance des contributions relatives





De l'importance des contributions relatives

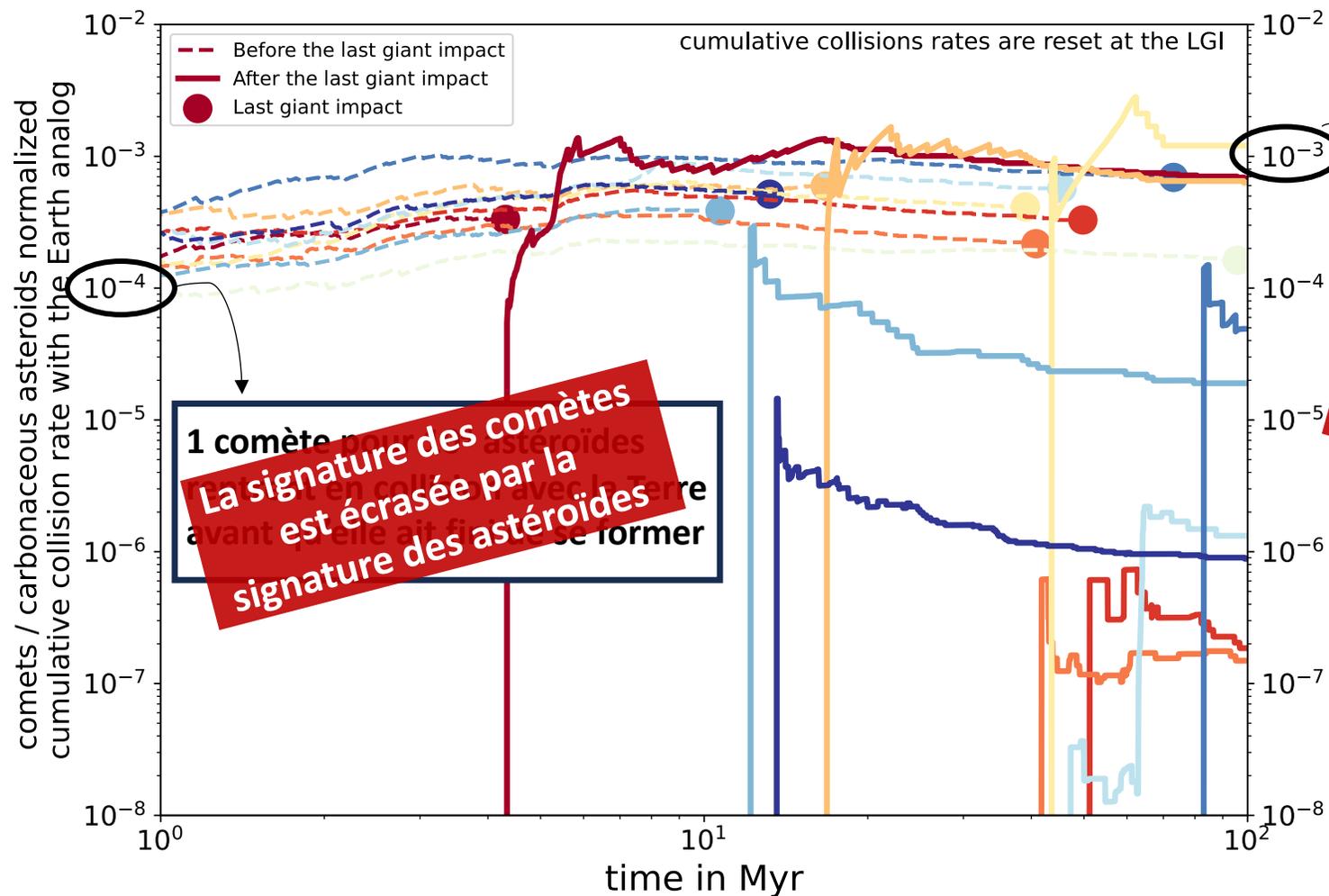


Le xénon est $\sim 10^3$ fois plus abondant dans les comètes que dans les astéroïdes

Joiret et al. (2024) *Icarus*



De l'importance des contributions relatives



1 comète
La signature des comètes
est écrasée par la
signature des astéroïdes

1 comète pour 10^3
La signature des comètes
n'est PAS écrasée par la
signature des astéroïdes
Dans 3 simulations sur 10

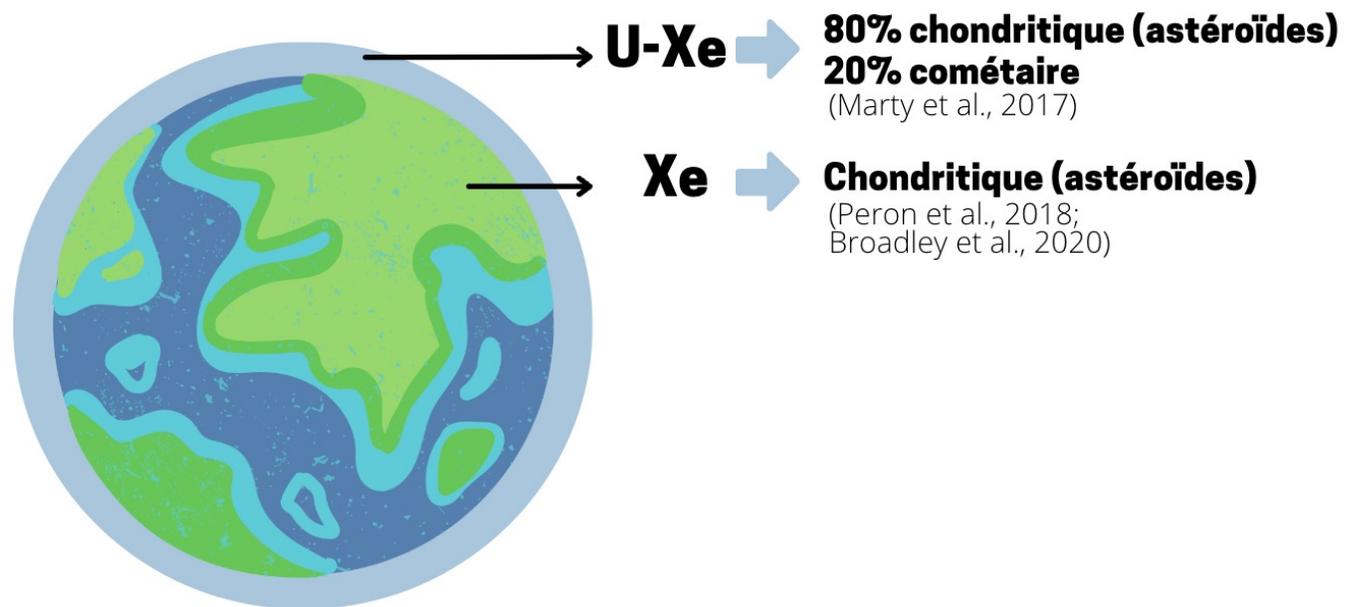
Le xénon est $\sim 10^3$ fois plus abondant dans les comètes que dans les astéroïdes

Joiret et al. (2024) *Icarus*



De l'importance des contributions relatives

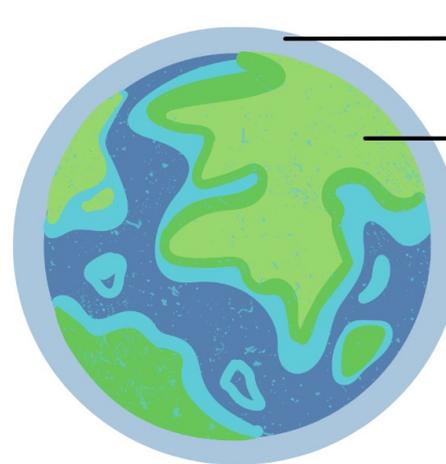
- Il y a eu une contribution cométaire avant que la Terre ait fini de se former mais elle a probablement été compensée par la **contribution relative des astéroïdes beaucoup plus importante** (la signature cométaire passe donc *inaperçue* dans les mesures de xénon du manteau terrestre)



- Après que la Terre ait fini de se former, la composante stochastique du bombardement cométaire rend possible une importante contribution cométaire **tardive (même dans le cas d'une instabilité très précoce)** qui compense la contribution des astéroïdes.



Compatible avec une instabilité précoce ? OUI



U-Xe → **80% chondritique (astéroïdes)**
20% cométaire
(Marty et al., 2017)

Xe → **Chondritique (astéroïdes)**
(Peron et al., 2018;
Broadley et al., 2020)



Modèle d'instabilité précoce: Le bombardement cométaire aurait eu lieu avant que la Terre ait fini de se former



Le bombardement cométaire aurait plutôt eu lieu après que la Terre ait de se former

Les contraintes géochimiques du xénon sur Terre n'indiquent donc pas forcément instabilité tardive



De l'importance de l'efficacité d'accrétion

- L'efficacité d'accrétion est largement déterminée par la vitesse de l'impacteur et la gravité du corps impacté.

Sur Terre : 11.2 km/s

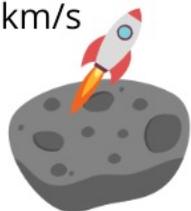


Vitesse d'échappement d'un corps

$$= \sqrt{\frac{2GM_{\text{corps}}}{R_{\text{corps}}}}$$

= vitesse minimale pour échapper à l'attraction gravitationnelle d'un corps

Sur Vesta : 0.36 km/s





De l'importance de l'efficacité d'accrétion

- L'efficacité d'accrétion est largement déterminée par la vitesse de l'impacteur et la gravité du corps impacté.

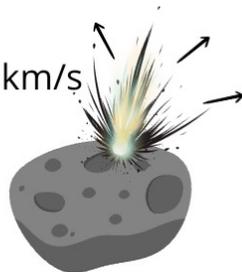
Sur Terre : 11.2 km/s



Ejecta = fragments de l'impacteur qui sont éjectés au moment de l'impact

Les ejecta s'échappent beaucoup plus facilement sur Vesta que sur Terre

Sur Vesta : 0.36 km/s



Pour une comète de même masse et vitesse d'impact, l'efficacité d'accrétion est beaucoup plus faible sur Vesta que sur Terre

C'est probablement la raison pour laquelle nous ne mesurons pas de xénon cométaire sur Vesta



Quelle est la contribution des comètes pour l'eau et les molécules organiques sur Terre ?



Contribution cométaire pour l'eau sur Terre

- Rapport D/H ne permet pas de trancher
- Le rapport Xe/H₂O dans les comètes est beaucoup plus élevé que dans les astéroïdes. Cela veut dire que **les comètes ont pu apporter une grande fraction du xénon sur Terre sans apporter beaucoup d'eau**



Claude Monet, *La Vague Verte*, 1866-1867, Metropolitan Museum of Art

- **Les comètes ont contribué pour <1% à l'eau sur Terre (Marty et al. 2016, 2017)**



Contribution cométaire pour la matière organique prébiotique sur Terre

Cometary Delivery of Organic Molecules to the Early Earth

CHRISTOPHER F. CHYBA, PAUL J. THOMAS, LEIGH BROOKSHAW, AND CARL SAGAN [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 27 Jul 1990 • Vol 249, Issue 4967 • pp. 366-373 • DOI: 10.1126/science.11538074

Evaluating Cometary Delivery of Organics to the Early Earth

V. V. Svetsov

Institute for Dynamics of Geospheres, Russian Academy of Sciences, Leninskii pr. 38/6, Moscow, 117334 Russia

Received February 22, 2001; in final form, August 31, 2001

Amino acid survival in large cometary impacts

E. PIERAZZO ✉ C. F. CHYBA

First published: 04 February 2010 | <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1999.tb01409.x> | Citations: 150

Can comets deliver prebiotic molecules to rocky exoplanets?

November 2023

R. J. Anslow¹, A. Bonsor¹ and P. B.

Rimmer²

¹Institute of Astronomy, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK

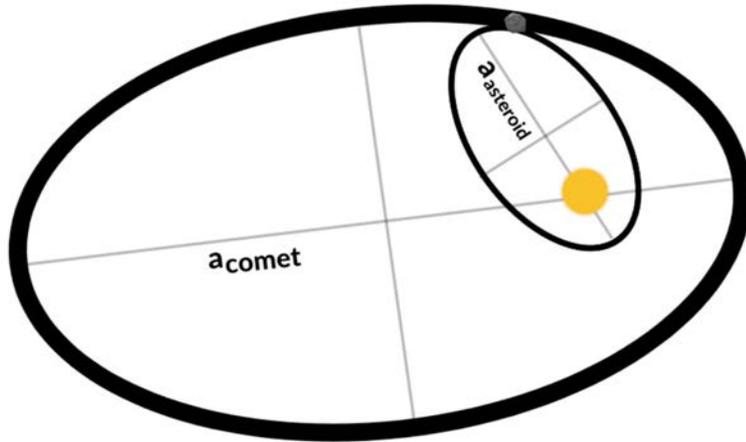
²Astrophysics Group, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, JJ Thomson Ave, Cambridge, CB3 0HE, UK

- Marty et al. (2016): 10^{18} g de matériel riche en acides aminés ont pu être apportés par les comètes (comparable à la masse de la biosphère actuelle)



Contribution cométaire pour la matière organique prébiotique sur Terre

Vitesse d'impact des comètes typiquement **très grandes** sur Terre



$$E = K + U = \frac{mv^2}{2} - \frac{\mathcal{G}M_{\text{Sun}}m}{r} = -\frac{\mathcal{G}M_{\text{Sun}}m}{2a}$$

$$\Rightarrow v^2 = \mathcal{G}M_{\text{Sun}}\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$$

Si l'orbite d'une comète et celle d'un astéroïde sont tangentes en un point (à une distance r du Soleil), la vitesse de la comète (avec un plus grand a) est toujours plus grande que la vitesse de l'astéroïde (avec un plus petit a) en ce point



Contribution cométaire pour la matière organique prébiotique sur Terre

Cometary Delivery of Organic Molecules to the Early Earth

CHRISTOPHER F. CHYBA, PAUL J. THOMAS, LEIGH BROOKSHAW, AND CARL SAGAN [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 27 July 1990 • Vol 249, Issue 4967 • pp. 366-373 • DOI: 10.1126/science.11538074

Evaluating Cometary Delivery of Organics to the Early Earth

V. V. Svetsov

Institute for Dynamics of Geospheres, Russian Academy of Sciences, Leninskii pr. 38/6, Moscow, 117334 Russia

Received February 22, 2001; in final form, August 31, 2001

Amino acid survival in large cometary impacts

E. PIERAZZO ✉ C. F. CHYBA

First published: 04 February 2010 | <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.1999.tb01409.x> | Citations: 150

Can comets deliver prebiotic molecules to rocky exoplanets?

November 2023

R. J. Anslow¹, A. Bonsor¹ and P. B.

Rimmer²

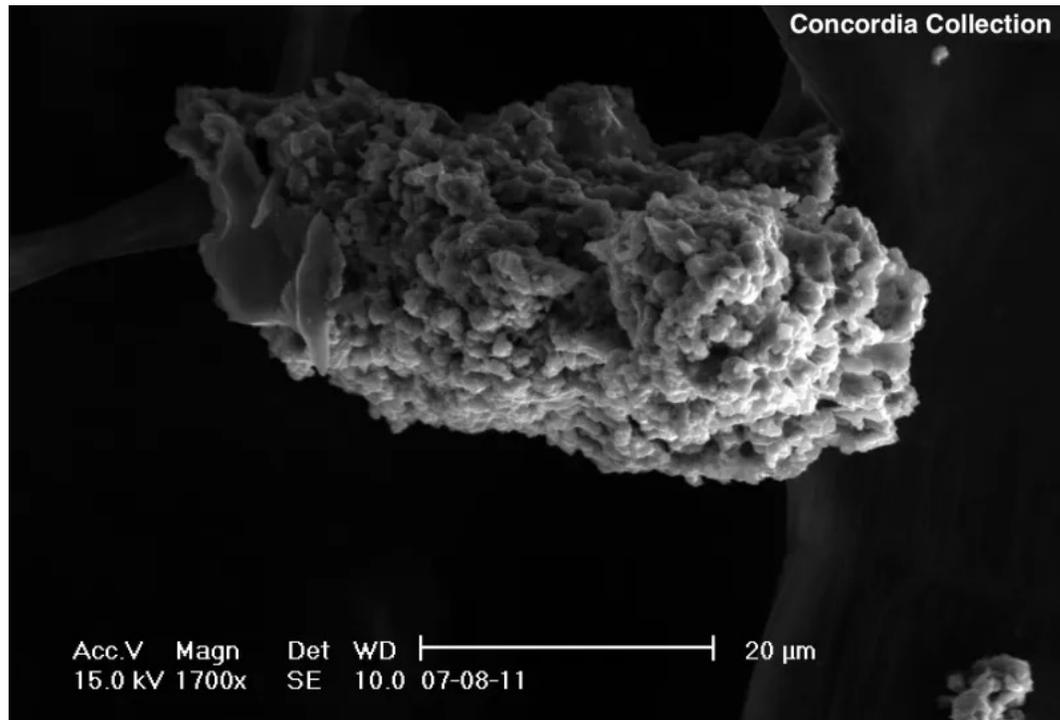
¹Institute of Astronomy, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK

²Astrophysics Group, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, JJ Thomson Ave, Cambridge, CB3 0HE, UK

- Marty et al. (2016): 10^{18} g de matériel riche en acides aminés ont pu être apportés par les comètes (comparable à la masse de la biosphère actuelle)
- **Vitesse d'impact** des comètes typiquement **très grandes**, difficile pour les composés organiques de survivre au **choc thermique** résultant de ces collisions violentes (Chyba et al. 1990; Chyba & Sagan 1997; Pierazzo & Chyba 1999). Les plus petites comètes: complètement ablatées dans l'atmosphère; et les plus grosses: pas suffisamment décélérées
- C'est potentiellement possible pour des **vitesse d'impact très faibles**, ou avec une **atmosphère** beaucoup plus **dense** (Terre précoce) qui aurait pu ralentir efficacement des impacteurs cométaires de 1 - 10 km (Svetsov et al. 2002)



Contribution cométaire pour la matière organique prébiotique sur Terre



Credits: CNRS/MNHN - C. Engrand/J.Duprat

- ~ 5200 tonnes de micrométéorites tombent sur Terre chaque année (Rojas et al. 2021)
- Parmi celles-ci les **UCAMMS** (**Ultra Carbonaceous Antarctic Micro-Meteorites**), particules micrométriques anormalement riches en carbone, proviennent probablement des comètes !
- Acides aminés ? Difficultés expérimentales

*



**Quelles informations les futures missions spatiales nous
apporteront-elles ?**



Futures missions

Sur Vénus :

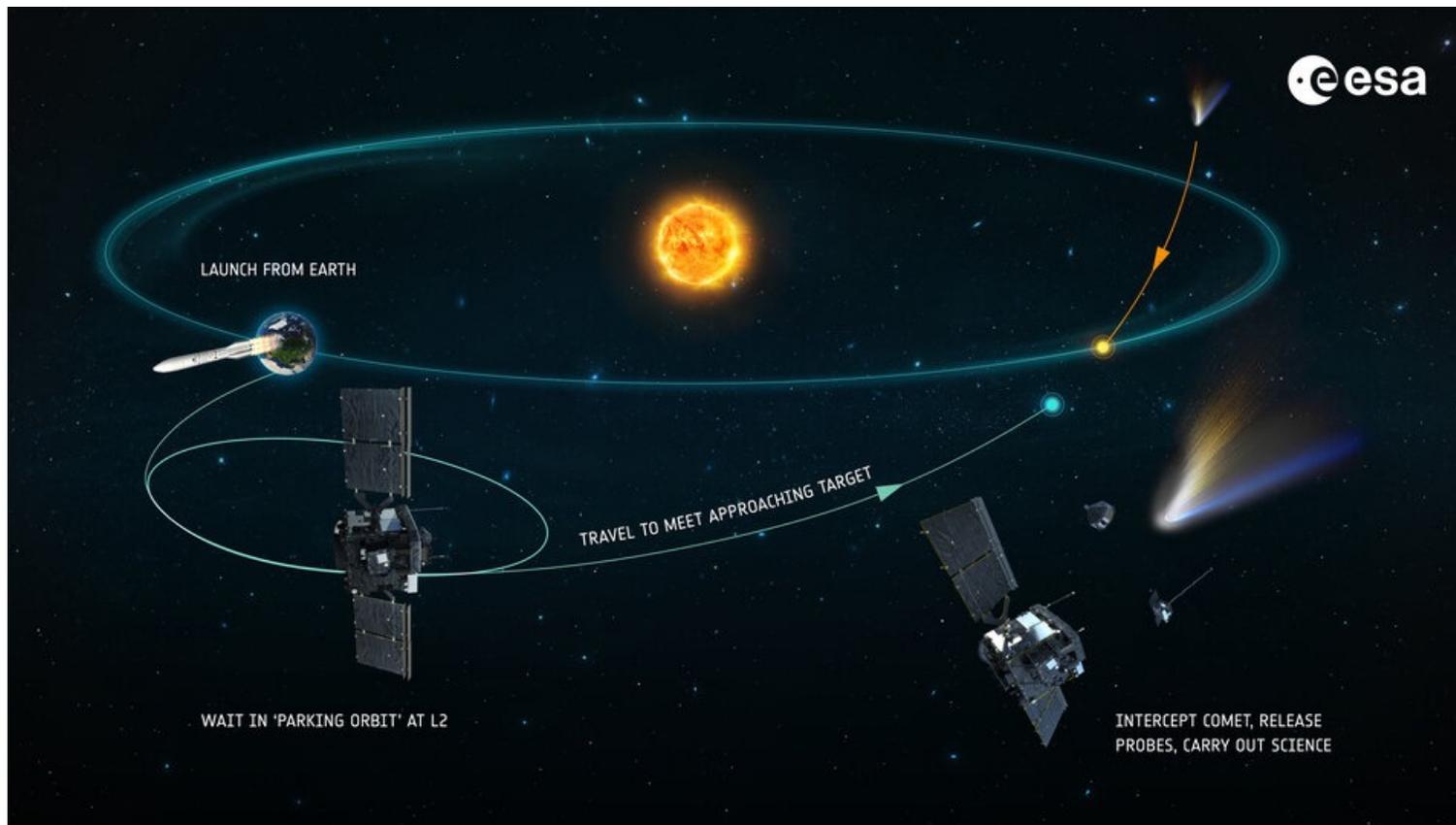


- NASA
 - Lancement prévu en 2030
 - Survol et sonde atmosphérique
 - Signature isotopique du xénon sur Vénus
- **Quelle est la contribution cométaire sur Vénus ?**



Futures missions

Sur une autre comète :



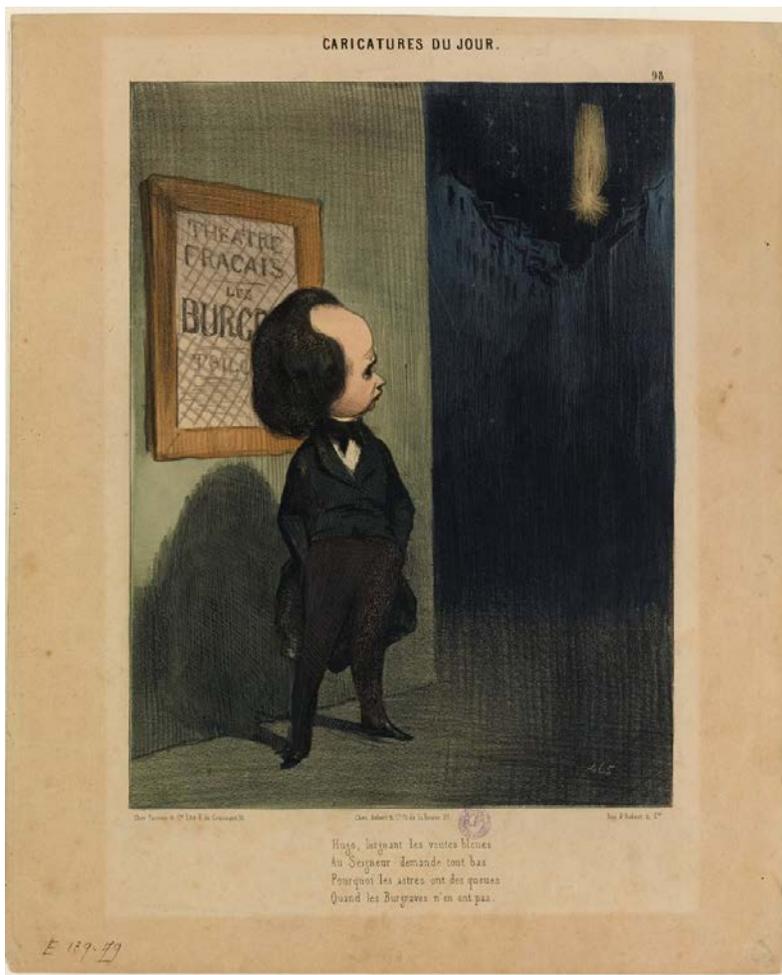
- ESA
 - Lancement prévu en 2029
 - Sera placée au point L2 en attendant une cible intéressante
 - Cible attendue: comète à longue période ou objet interstellaire
 - Pour l'instant nous n'avons visité que des comètes à courtes périodes
- **Quelle est la diversité des signatures cométaires?**



Mot de la fin



Un peu d'histoire...



« Les grands accidents sont la loi ; l'ordre des choses ne peut s'en passer ; et, à voir les apparitions de comètes, on serait tenté de croire que le ciel lui-même a besoin d'acteurs en représentation. Au moment où l'on s'y attend le moins, Dieu placarde un météore sur la muraille du firmament. Quelque étoile bizarre survient, soulignée par une queue énorme. **Et cela fait mourir César. Brutus lui donne un coup de couteau, et Dieu un coup de comète.** Crac, voilà une aurore boréale, voilà une révolution, voilà un grand homme ; 93 en grosses lettres, **Napoléon en vedette, la comète de 1811 au haut de l'affiche.** Ah ! la belle affiche bleue, toute constellée de flamboiements inattendus ! »

Victor Hugo. *Les Misérables*. (1862)

Victor Hugo regardant une comète, par Honoré Daumier. Gallica (BnF).



Un peu d'histoire...



Denier à l'effigie d'Auguste dont le revers représente la comète, qui a traversé le ciel à l'occasion de la mort de César, son divin père. 19 ou 18 av. J.-C. British Museum.

- Comète de 451 (Halley) ? défaite des Huns dirigés par Attila
- Comète de 1223 ? mort de Philippe-Auguste
- Comète de 1533 ? Atahualpa est persuadé que la comète présage sa mort prochaine
- Comète de 1556 ? dite "comète de Charles Quint" car elle aurait annoncé sa mort 2 ans plus tard
- Comète de 1607 (Halley) ? assassinat d'Henri IV trois ans plus tard
- Comète de 1811 ? naissance de Napoléon II



A retenir

- Les signatures isotopiques permettent de tracer l'origine et l'évolution des corps. En particulier, la signature isotopique du xénon permet de **distinguer les comètes des astéroïdes**.
- Le xénon est notre **meilleure preuve que des comètes ont impacté la Terre**.
- De nos jours, la probabilité de collision des comètes avec la Terre est très **faible**. Mais après l'instabilité dynamique des planètes géantes, elle était beaucoup plus élevée.
- Les contraintes isotopiques du xénon sur Terre ne sont **pas incompatibles avec une instabilité précoce**.
- Prendre en compte les très grosses comètes dans le disque d'objets transneptuniens primordial, apporte une composante **stochastique** au bombardement cométaire et permet de rendre compte de la diversité des signatures cométaires des corps du système solaire interne.
- La contribution des comètes pour **l'apport d'eau sur Terre** est **minime**.