

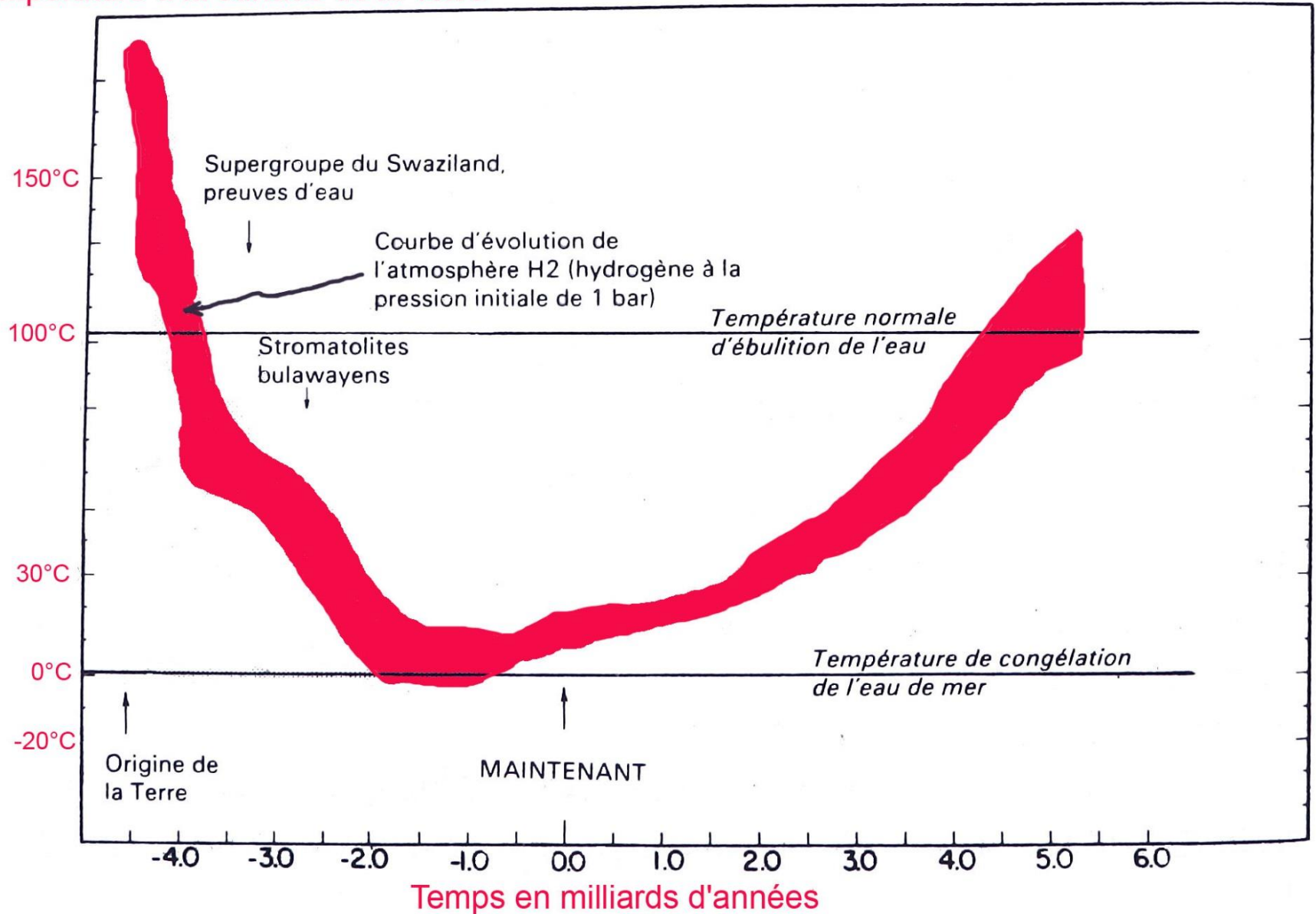


L'apparition de la vie sur Terre La vie est-elle menacée?

École d'été « l'univers à la portée de tous »
23-26 août 2017

Une longue évolution

Température à la surface de la Terre



Une longue évolution

- 4,52 milliards d'années : formation de la Lune
- 4,4 milliards d'années : formation de l'hydrosphère et de la croûte terrestre
- 4,1 milliards d'années : grand bombardement tardif
- 4 milliards d'années : apparition de la tectonique des plaques
- 3,8 milliards d'années : apparition des premières cellules (temp. entre 40 et 80 °C)
- 3,7 milliards d'années : apparition des premiers stromatolithes
- 3,5 milliards d'année: apparition de l'oxygène
- 3 milliards d'années : apparition de la photosynthèse
- 2,1 milliards d'années : apparition des premiers organismes multicellulaires
- **542 millions d'années : explosion cambrienne**
- 480 millions d'années : apparition des plantes terrestres
- 400 millions d'années : apparition des insectes, des graines et des « poumons »
- 365 millions d'années : apparition des tétrapodes
- 360 millions d'années : apparition des amphibiens
- 230 millions d'années : apparition des dinosaures
- 220 millions d'années : apparition des mammifères
- 150 millions d'années : apparition des oiseaux
- 135 millions d'années : apparition des plantes à fleurs
- 65 millions d'années : extinction du Crétacé (dinosaures)

La biosphère



← seulement quelques
kilomètres d'épaisseur

← ----- 12600 km de diamètre ----- →

Entre les deux infinis

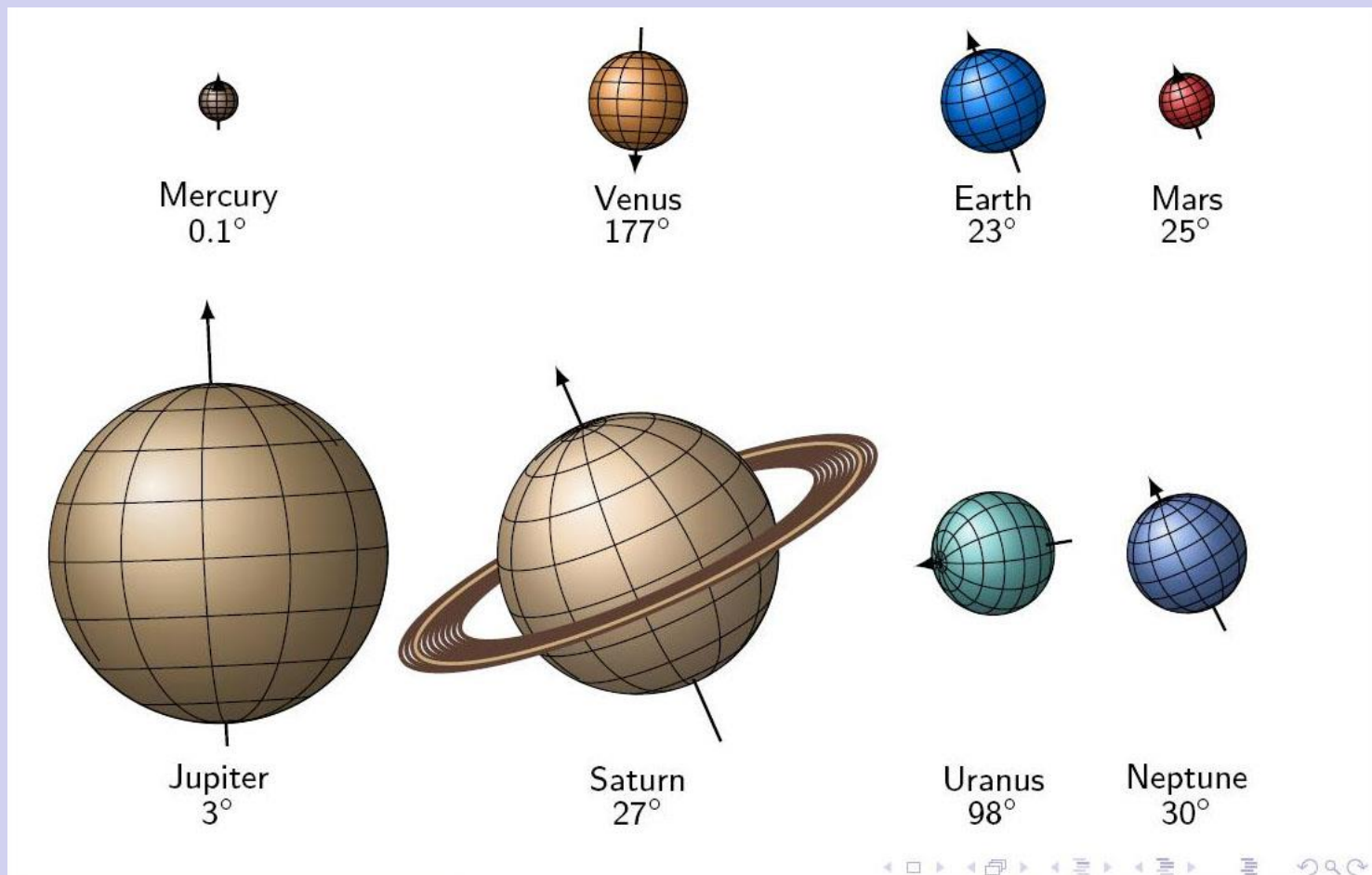
- Un infiniment petit très simple:
 - Particules élémentaires
 - Atomes
 - Molécules (0,000 000 001 mètre)
 - Plus petit être vivant (0,000 001 mètre)
- Un infiniment grand peu varié:
 - Plus grand être vivant (100 mètres)
 - Étoiles et Voie Lactée
(100 000 000 000 000 000 000 000 mètres)
 - Univers connu
(1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 mètres)

Des conditions draconiennes

- Milieu chimique favorable
- Température optimale
- Stabilité du climat
- Protection des agressions extérieures
- Des lois physiques « adaptées »

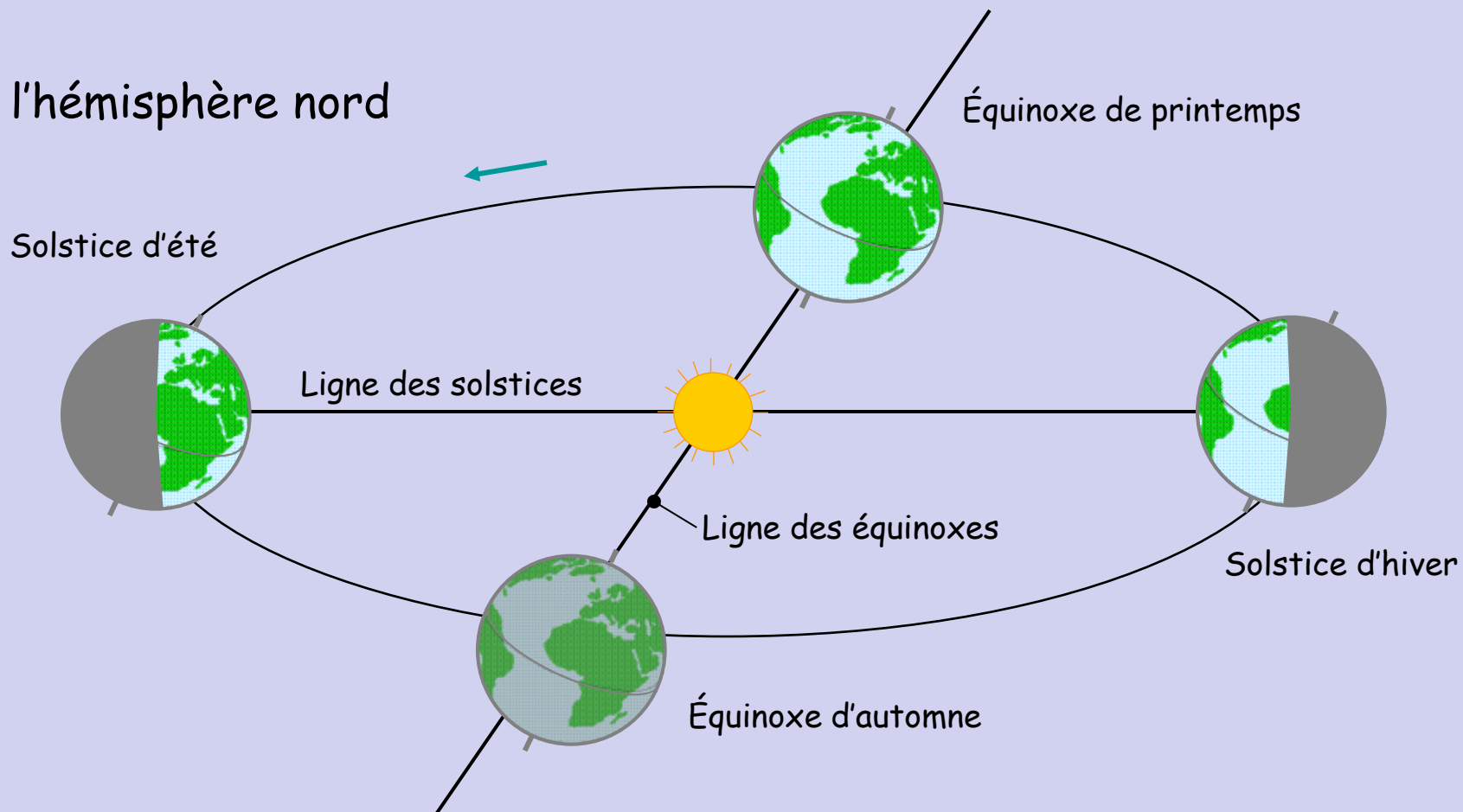
Les saisons, une chance pour la Terre

- L'axe de rotation des planètes est incliné sur le plan de leurs orbites et crée des saisons



Les saisons

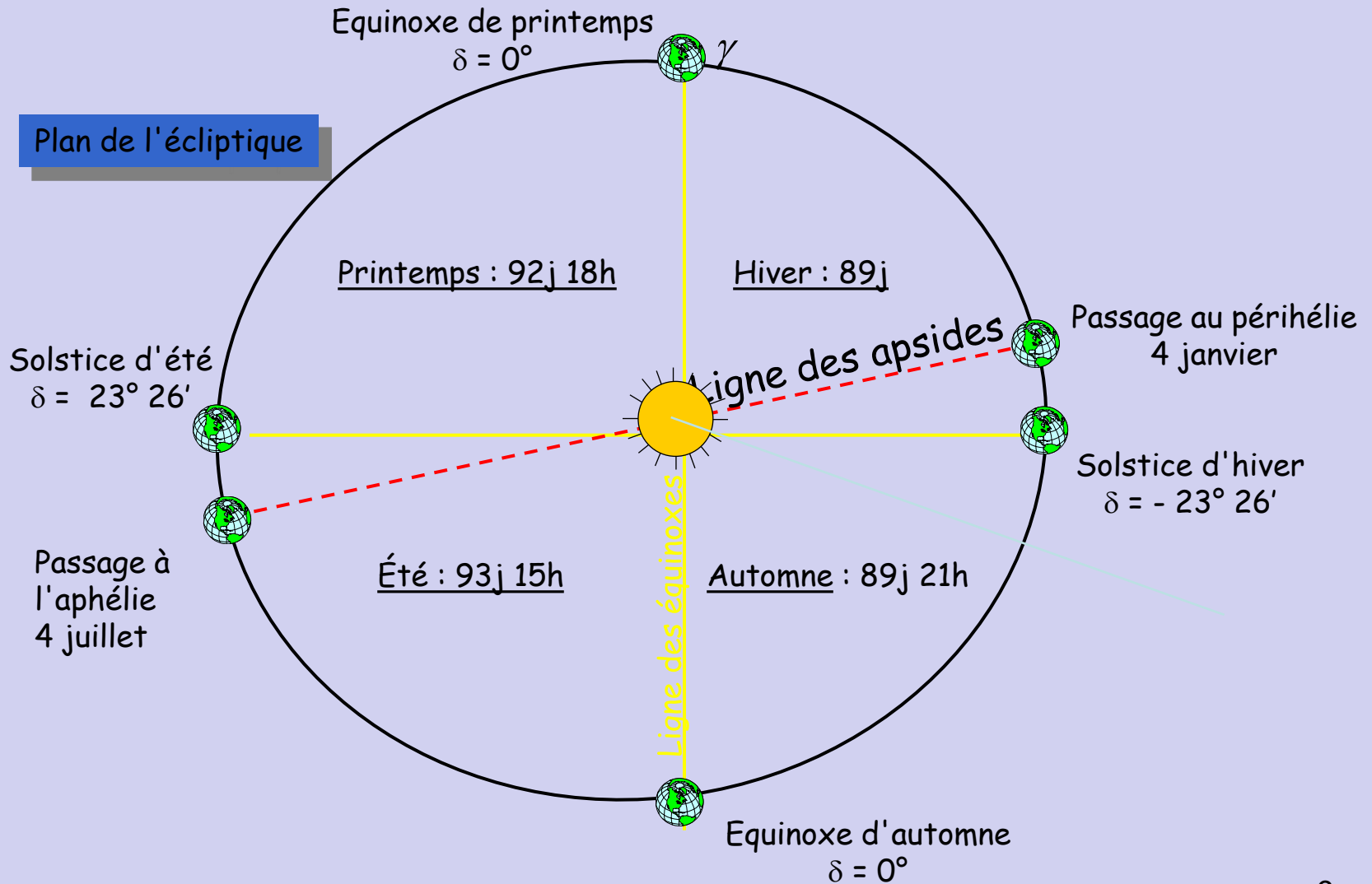
Dans l'hémisphère nord



Le Soleil est dans le plan de l'équateur terrestre le jour des équinoxes.

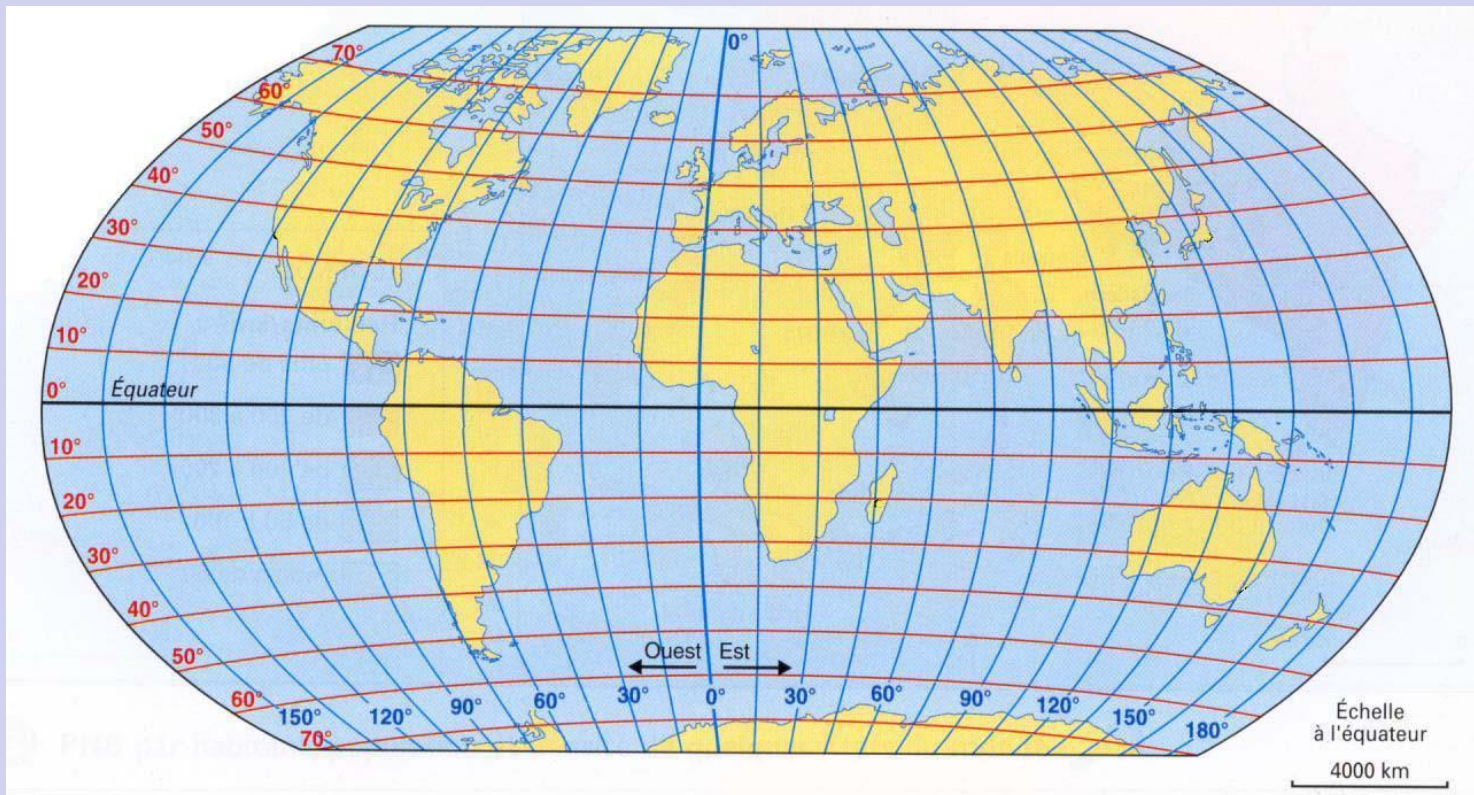
Le cycle des saisons est inversé dans l'hémisphère sud

La distance Terre-Soleil



Les saisons, une chance pour la Terre

- Une combinaison entre:
 - L'inclinaison de l'axe de la Terre
 - La variation de la distance Terre-Soleil
 - La répartition inégale des continents sur la Terre entre l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud



Le Soleil, indispensable à la vie



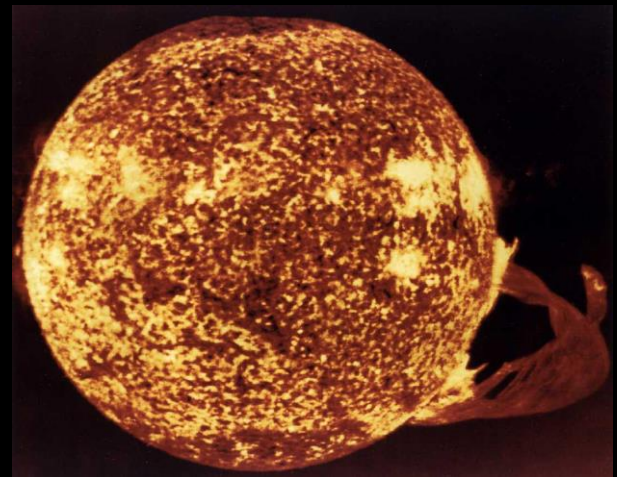
Les taches solaires: des émetteurs de particules qui pourraient être liées au climat sur Terre



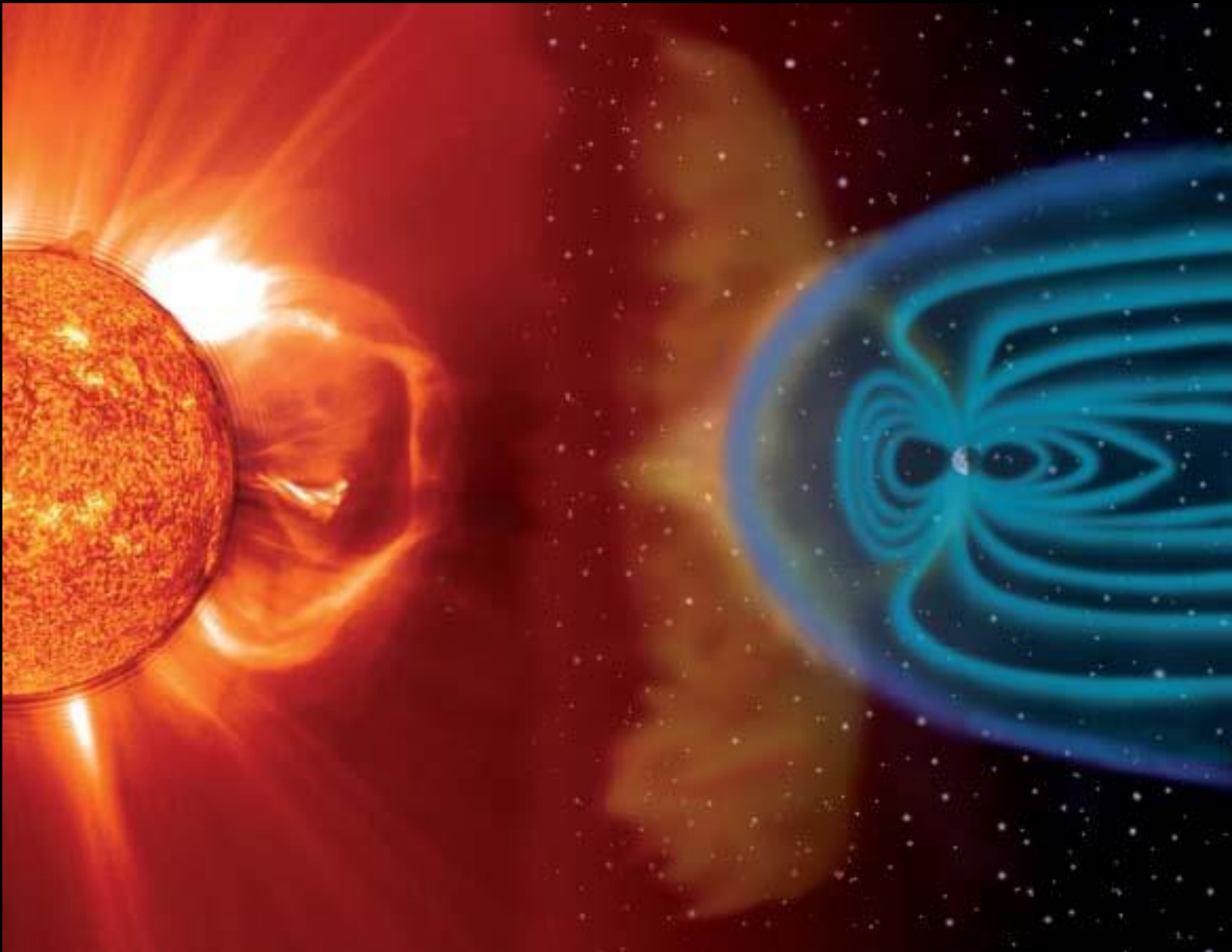


2011-06-07 04:00

Un danger plus immédiat: les éruptions solaires nous bombardent de particules radioactives.



Le champ magnétique terrestre: un bouclier qui nous protège des radiations dangereuses

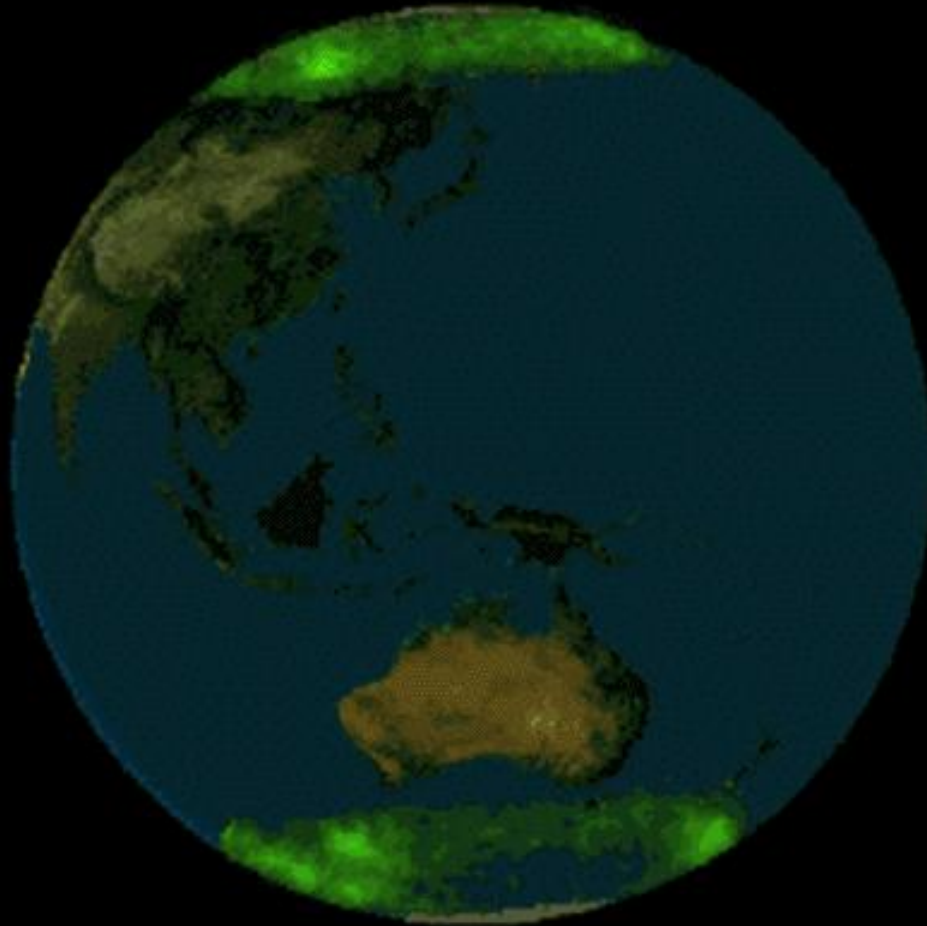


Les aurores boréales: belles mais pas inoffensives



Ce sont des pluies de particules mortelles... à éviter!

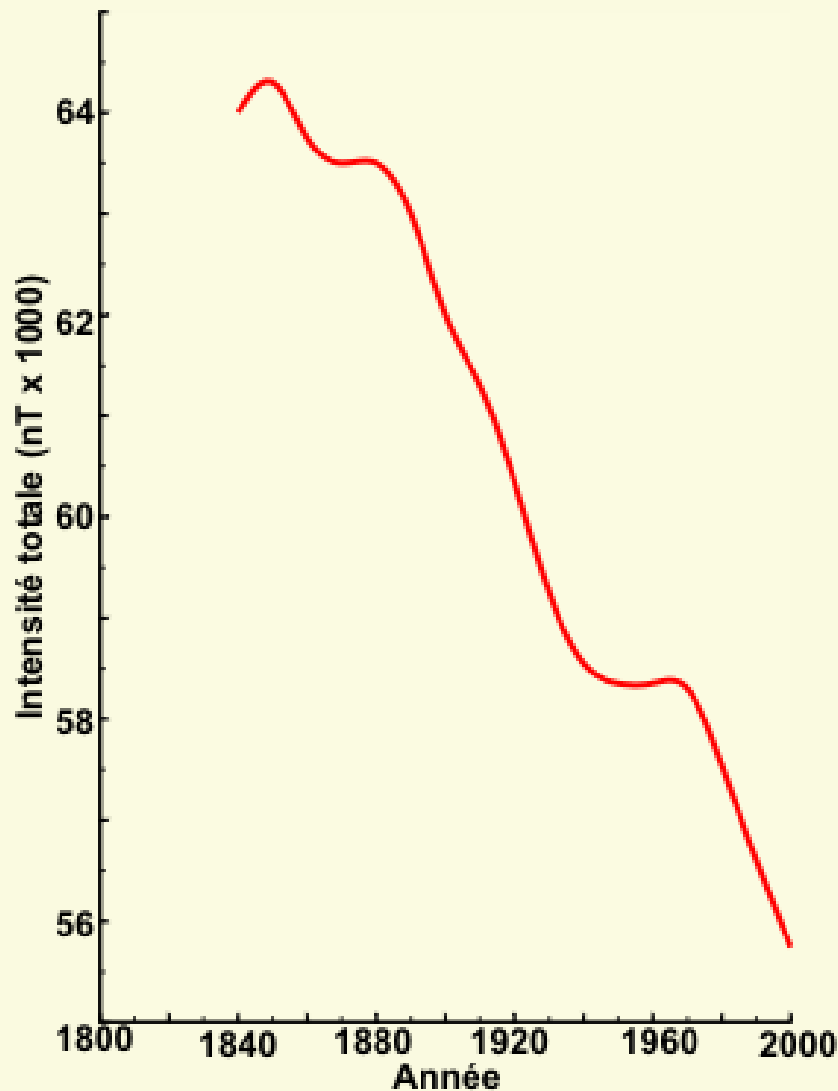
Danger près des pôles





Mais dès aujourd'hui, des perturbations dans notre vie courante





Dernière inversion, il y a 780 000 ans
Dernière annulation, il y a 41 000 ans

- Le champ magnétique terrestre qui nous protège diminue et semble devoir s'annuler dans 1600 ans ce qui rendrait la vie difficile sur Terre.
- Mais espérons que la tendance s'inverse bientôt !



... sauf aux pôles
où ces particules
peuvent
atteindre la Terre



- D'ici quelques centaines de millions d'années, il n'y aura plus d'eau sur Terre car le Soleil est de plus en plus chaud!

La mort du Soleil: il devient une étoile géante rouge qui avale la Terre



← Une géante rouge: Bételgeuse

La Lune, indispensable à l'apparition de la vie sur Terre



Sa présence stabilise l'inclinaison de l'axe de la Terre et les saisons.
Elle évite des variations trop fortes du climat terrestre.



La Lune, notre voisine très proche, risque-t-elle de nous tomber sur la tête?
Se rapproche-t-elle ou s'éloigne-t-elle de nous?



Terre

Lune

Non, pas de danger: la Lune s'éloigne...



La Lune s'éloigne grâce aux marées océaniques qui freine la rotation de la Terre

La Lune ne peut donc pas nous tomber sur
la tête!

elle s'éloigne...

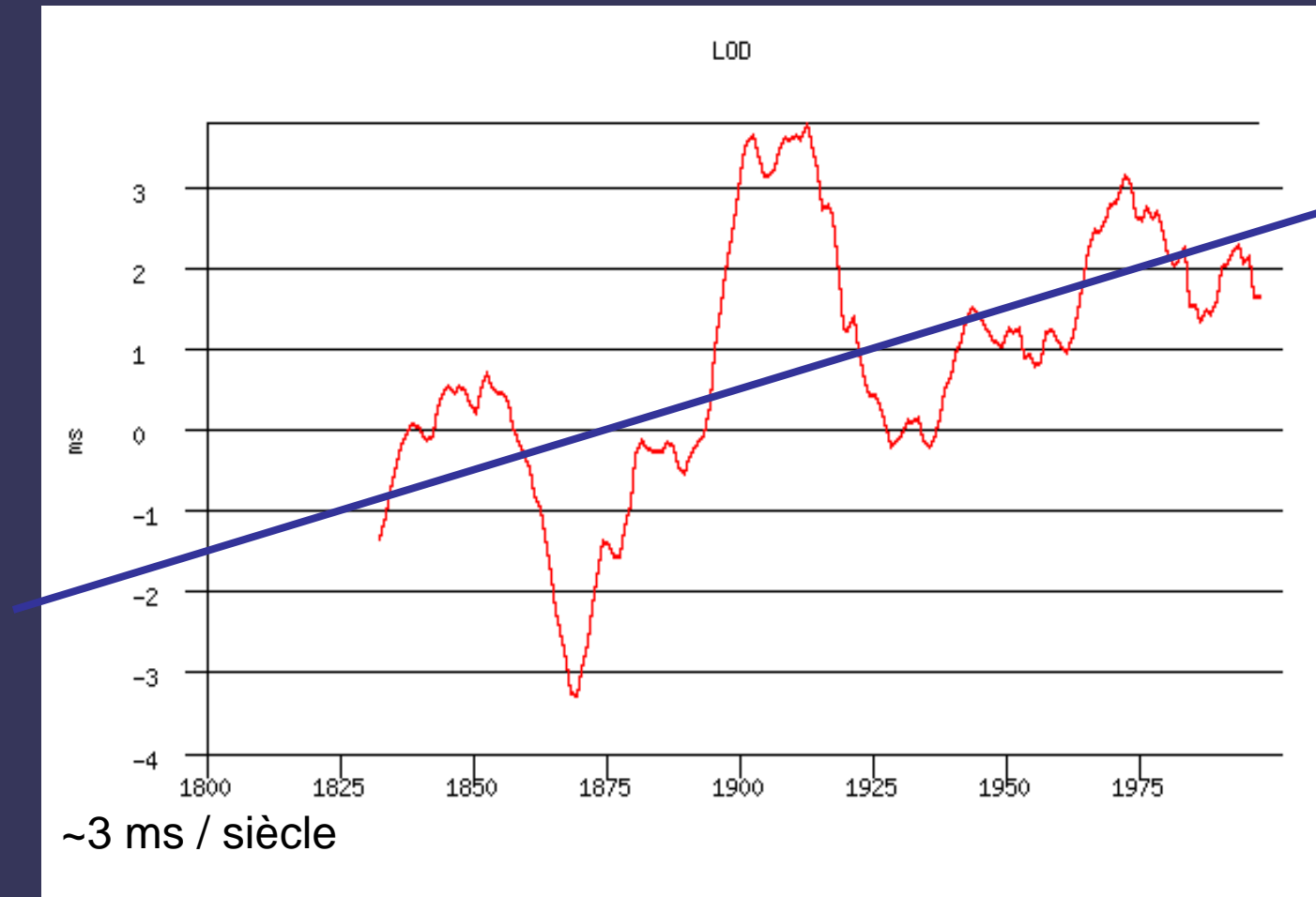
de 3 centimètres par an!

Et en conséquence, la Terre ralentit sa
rotation autour de son axe.

Et si la Terre s'arrêtait???

La durée du jour augmente ...

... de 3 millièmes de seconde par siècle



Mais l'arrêt de la Terre n'est pas pour demain !
Dans 5 milliards d'années, la durée du jour sera
peut-être de 40 heures... mais serons-nous encore là ?



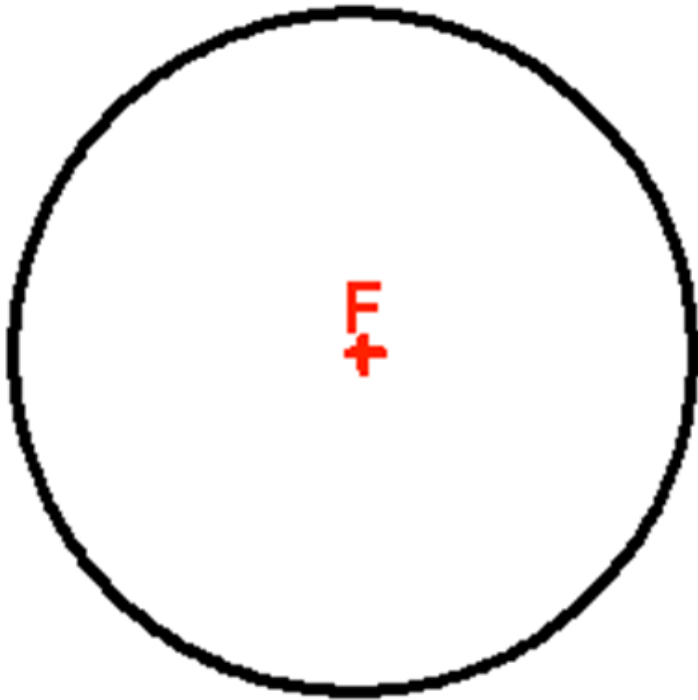
La Terre: une planète bleue
à 150 millions de km du Soleil

La Terre abrite la vie: sa température moyenne est de 15 degrés

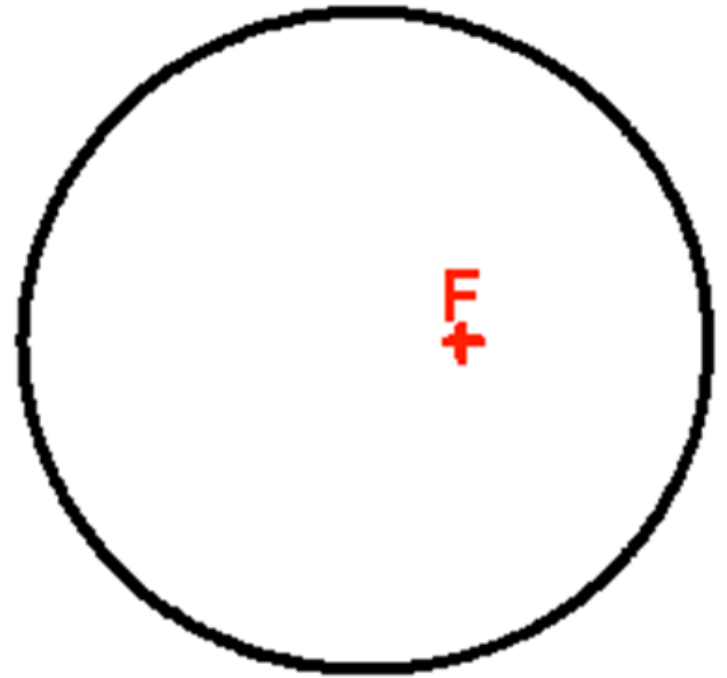


Le climat sur Terre dépend de l'excentricité de l'orbite terrestre

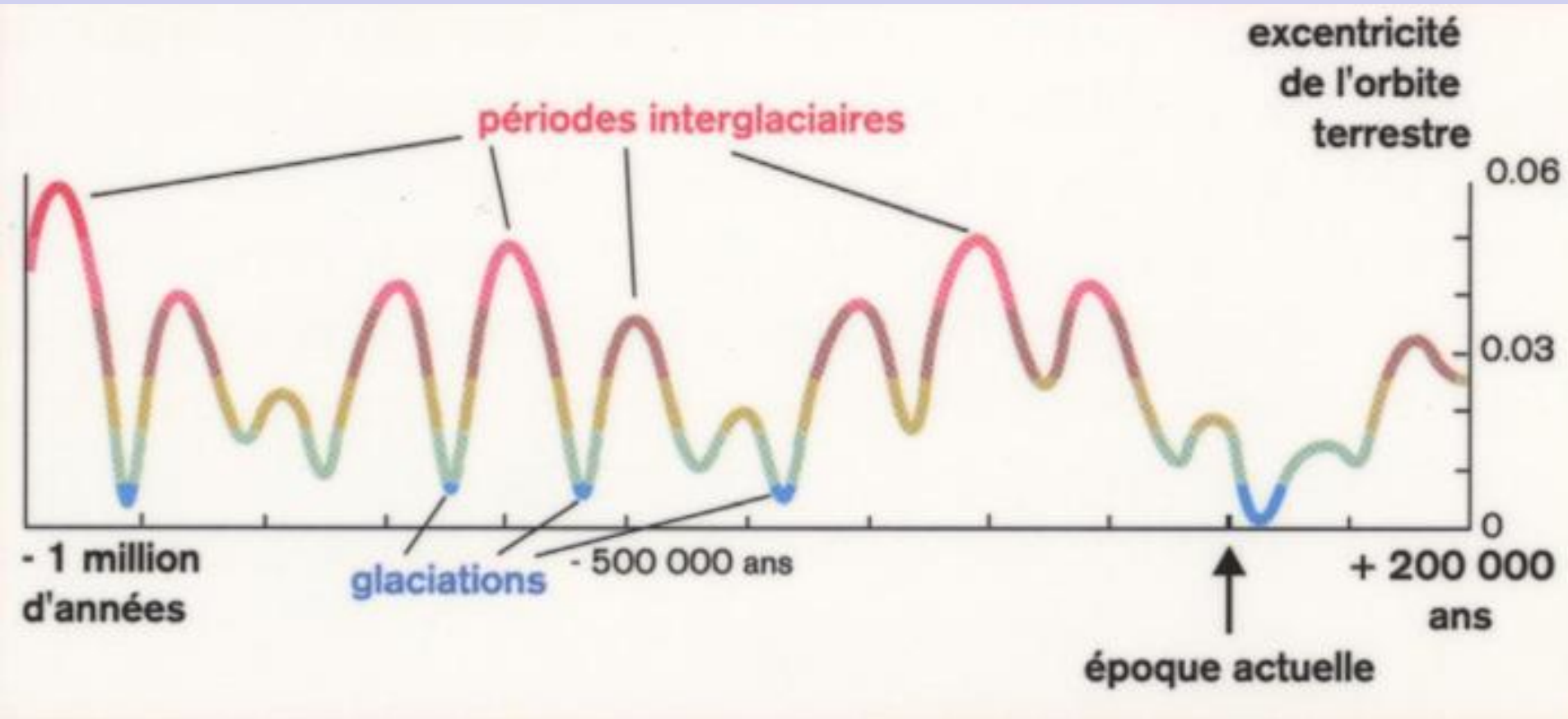
$e = 0.03$



$e = 0.28$



D'importantes variations climatiques



Le climat de la Terre dépend plus de son orbite que de sa distance au soleil

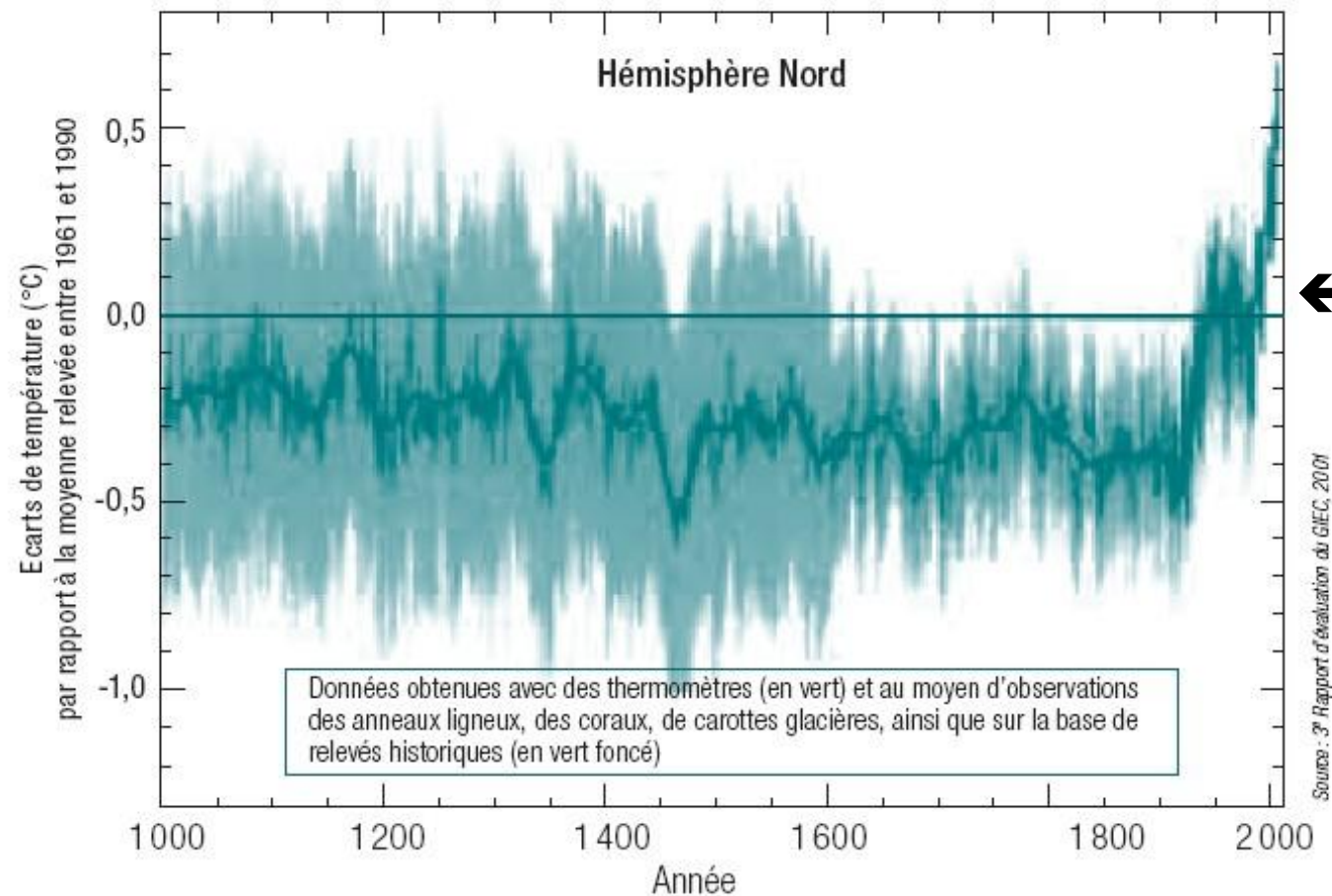


Et la Terre, va-t-elle ressembler à Mars ou à Vénus?



L'évolution de la température terrestre

Les variations de la température à la surface de la terre au cours du dernier millénaire



← Que se passe-t-il ici?

Malgré les marges d'incertitude plus importantes au fur à mesure que l'on s'éloigne dans le passé (zone vert clair du graphique), les résultats montrent que la rapidité et la durée du réchauffement ont été beaucoup plus élevées au 20^e siècle qu'au cours de n'importe lequel des neuf siècles précédents.

Pourquoi ces différences de climat?

→ les atmosphères des planètes telluriques

	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil (km)	108 000 000	150 000 000	228 000 000
Pression à la surface	92	1	0.007
Composition de l'atmosphère (%)			
Gaz carbonique (CO ₂)	96.5	0.0345	95.3
Azote (N ₂)	3.5	78.08	2.7
Oxygène (O ₂)	0.0001-0.0020	20.95	0.000013
Vapeur d'eau (H ₂ O)	0.0001-0.0050	1-3	<0.01



L'effet de serre

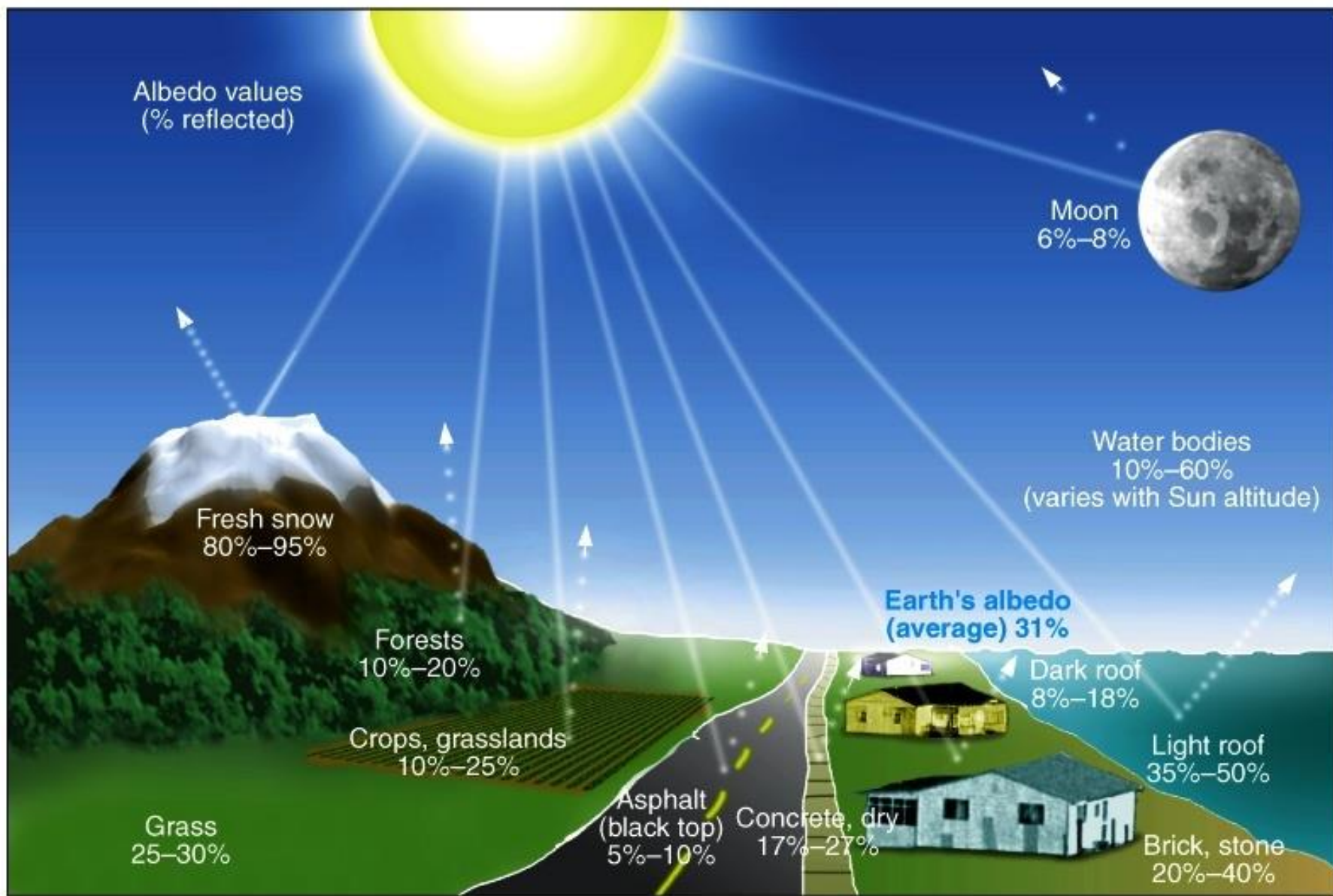
L'atmosphère
laisse arriver au sol
50 % du rayonnement
reçu du soleil.

Le rayonnement absorbé par le sol et
l'atmosphère est finalement réémis vers
l'espace en infrarouges, après de multiples
interactions avec les composants de
l'atmosphère, contribuant ainsi à en
réchauffer les couches inférieures.

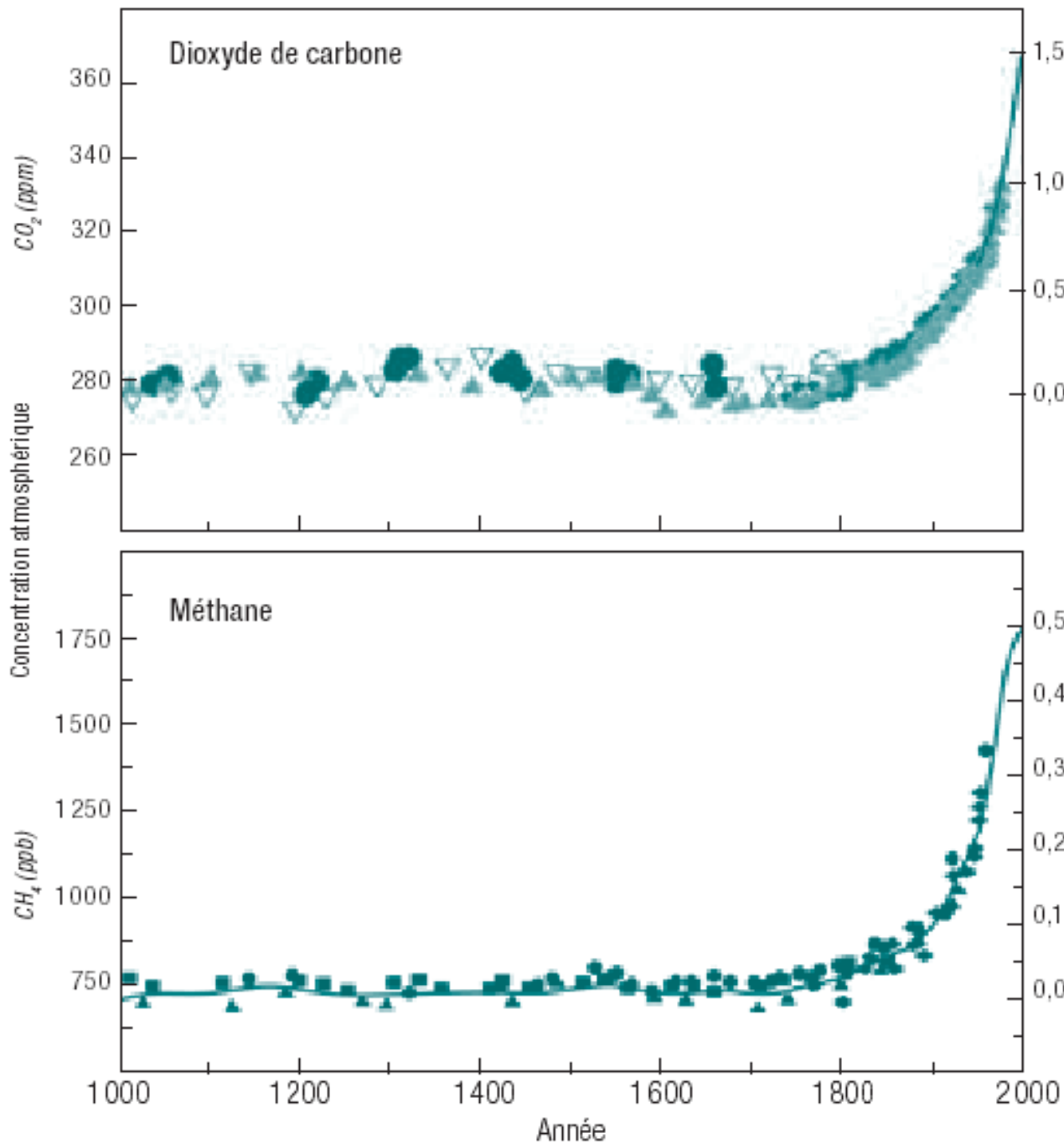
Agissant telles les vitres d'une serre,
certains gaz présents naturellement en
faible quantité dans l'atmosphère (vapeur
d'eau, gaz carbonique, éthane, ozone)
interfèrent avec les rayons infrarouges en
les empêchant directement de s'échapper
vers l'espace. Cela provoque une hausse
des températures.



Le problème de l'albédo (ou « réflectivité des sols »)



Concentrations atmosphériques globales de deux gaz à effet de serre bien mélangés

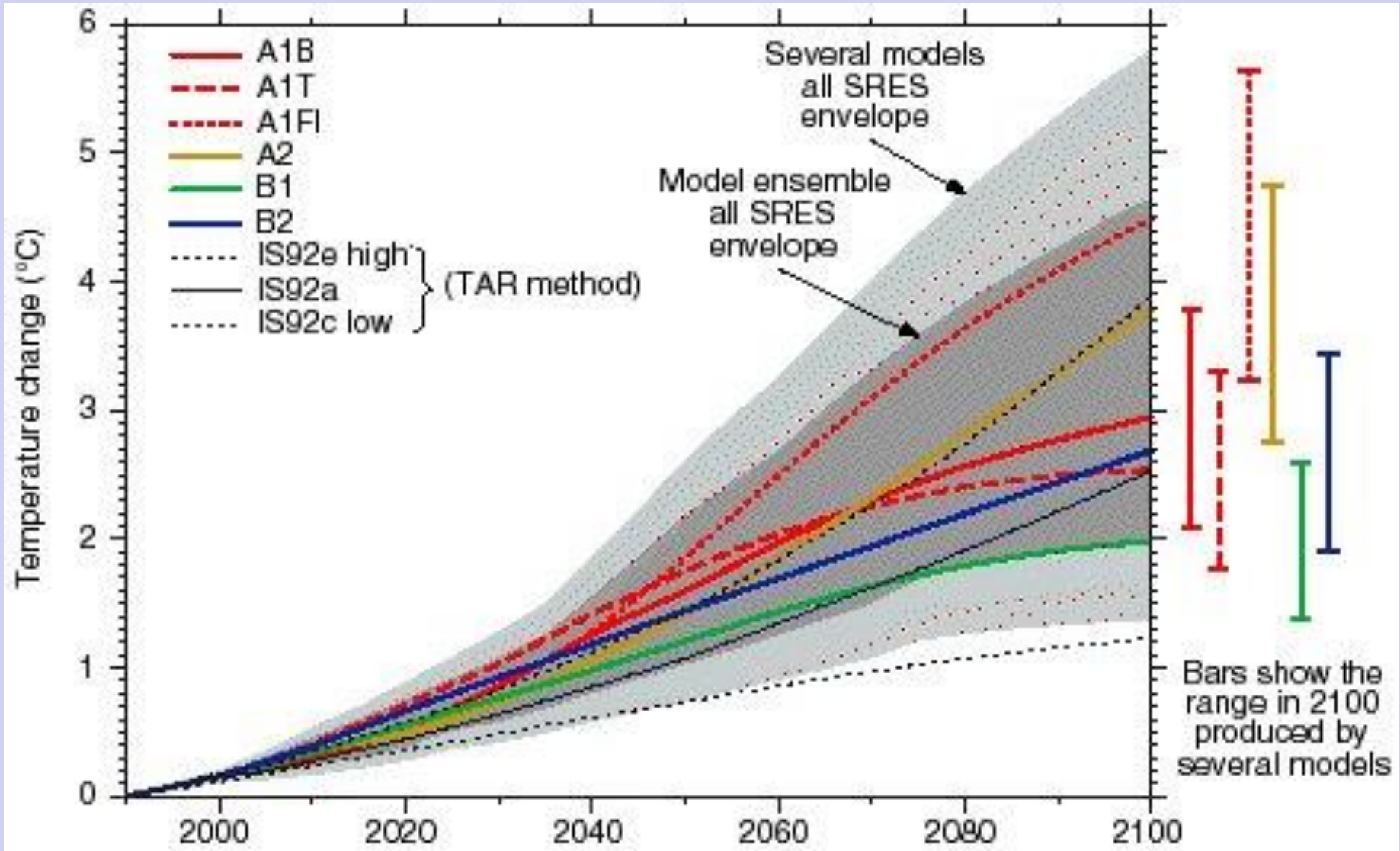


Source : 3^e Rapport d'évaluation du GIEC, 2001.

Forçage radiatif (Wm⁻²)

La nature anthropique de l'augmentation de CO₂ est prouvée par la simultanéité de la baisse de la concentration en oxygène.

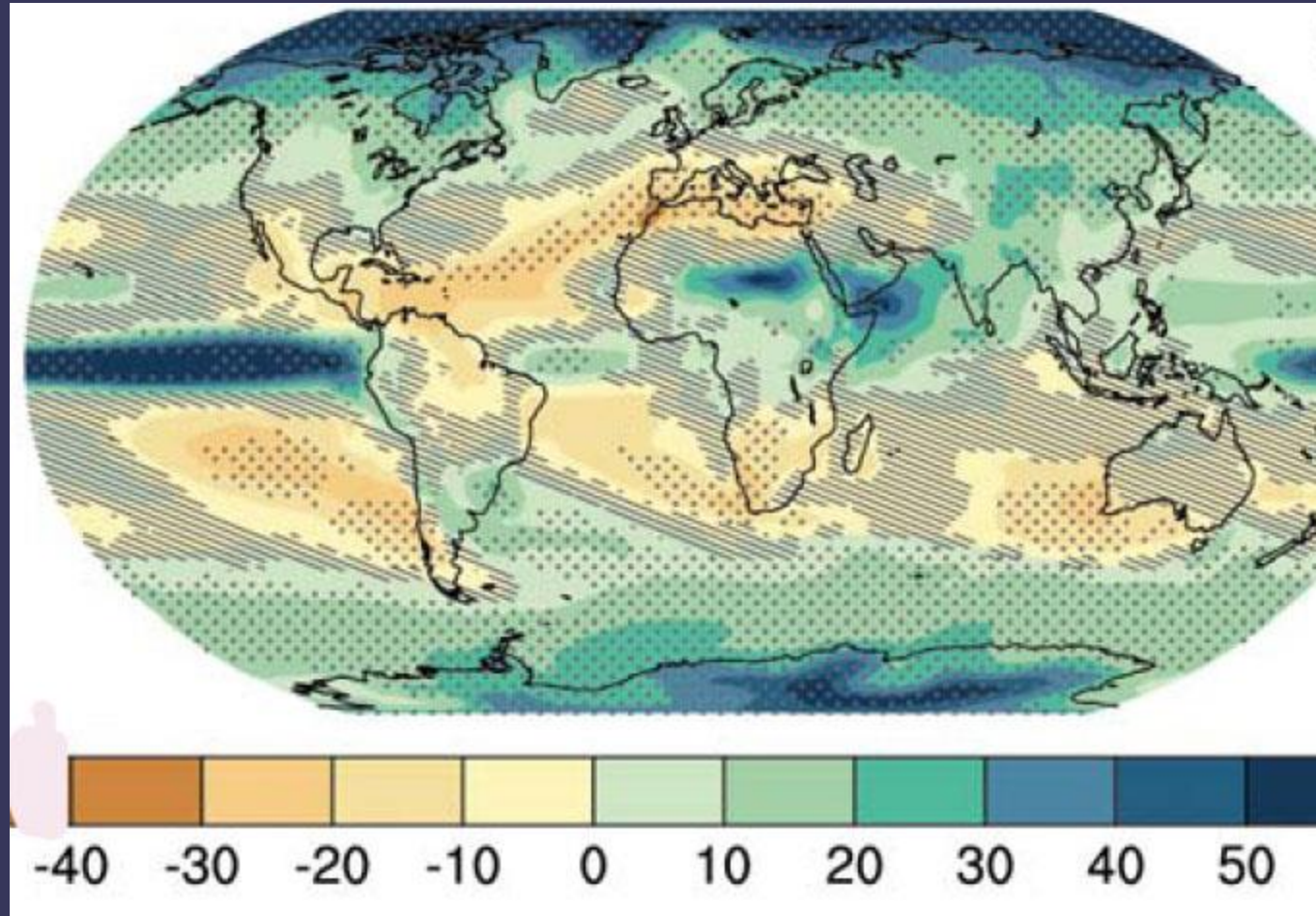
La Terre se réchauffe-t-elle? Va-t-on vers Mars ou vers Vénus?



La modification des précipitations (et de l'albédo)

plus de pluie au nord →

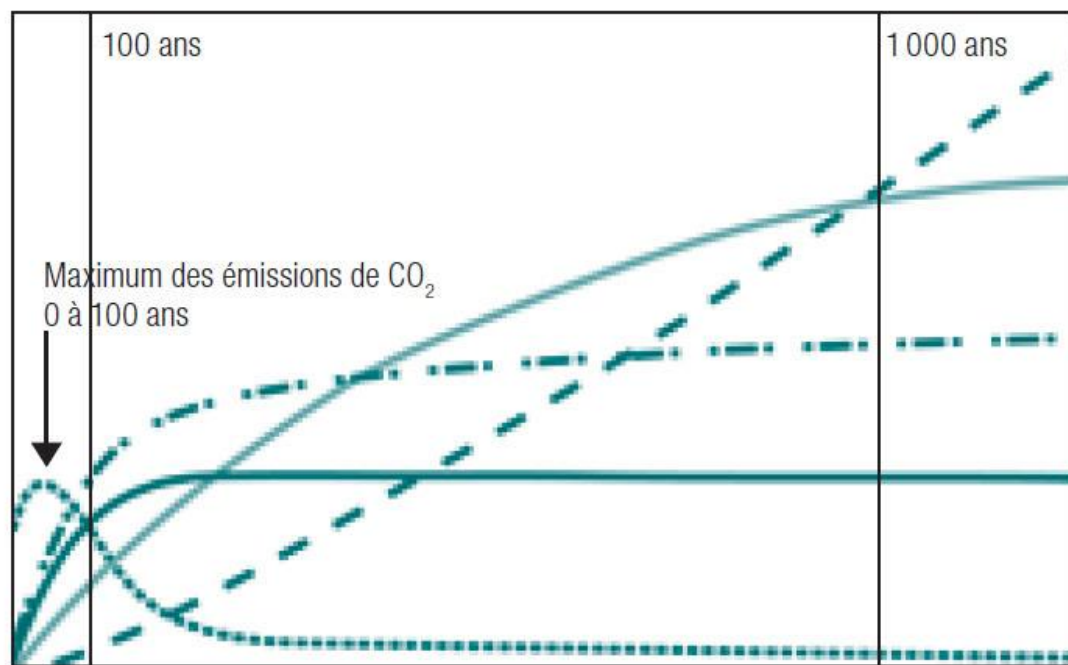
moins de pluie au sud →



La Terre n'est plus en équilibre thermique...



Inertie des gaz à effet de serre



Source : 3^e Rapport d'évaluation du GIEC, 2001

Temps nécessaire pour parvenir à l'équilibre

Élévation du niveau de la mer due à la fonte des glaces : **plusieurs milliers d'années**

Élévation du niveau de la mer due à la dilatation thermique : **des siècles et des millénaires**

Stabilisation de la température : **quelques siècles**

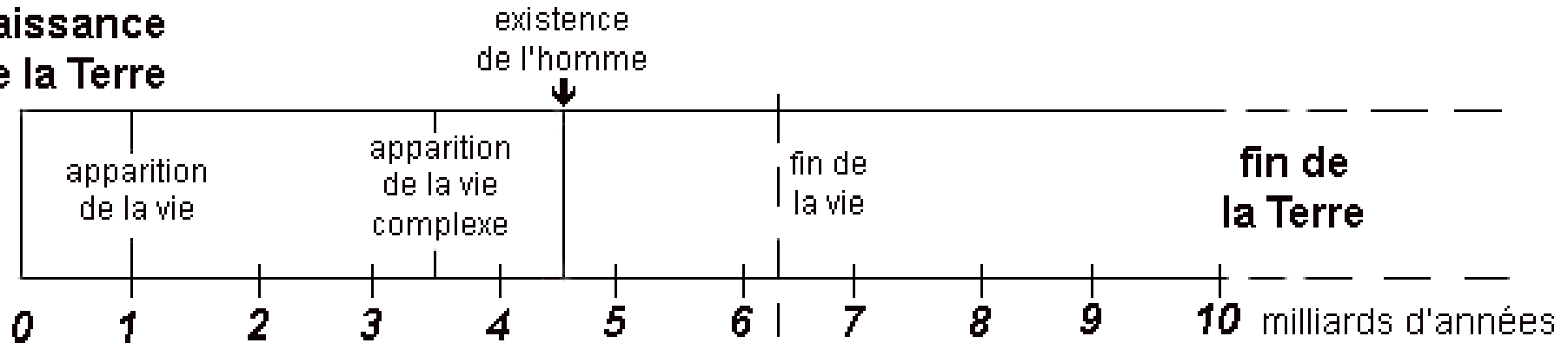
Stabilisation du CO₂ : **100 à 300 ans**

Emissions de CO₂

Ce graphique montre comment la température et le niveau des océans continuent à augmenter une fois que les concentrations de CO₂ se sont stabilisées.

- À plus long terme, nous allons vers une période glaciaire mais le Soleil chauffe de plus en plus! L'eau disparaîtra de la surface de la Terre dans ... plusieurs centaines de millions d'années.

**naissance
de la Terre**



← Atmosphère trop chaude (gaz carbonique) →

← Soleil trop chaud →

- Le Soleil a encore du carburant pour 4 à 5 milliards d'années...



Vénus et Mars, nos voisines? Dangereuses?



Nos voisines, Mars, Vénus, Mercure: un risque de collision avec la Terre?



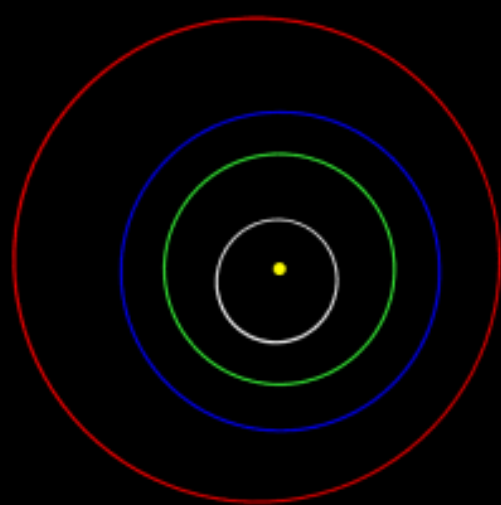
Nos voisines, Mars, Vénus, Mercure: un risque de collision avec la Terre?



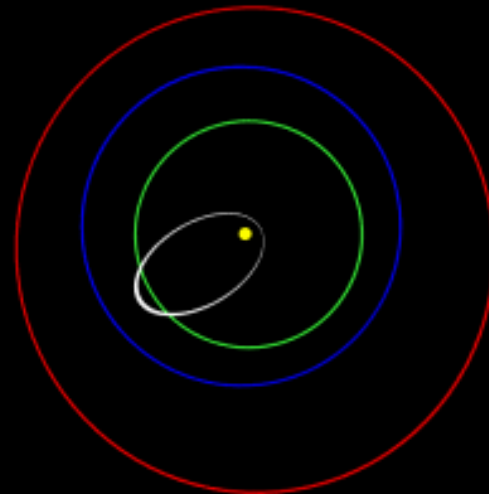
Nos voisines, Mars, Vénus, Mercure: un risque de collision avec la Terre?



Mars, Vénus, Mercure: une collision avec la Terre?



(a)

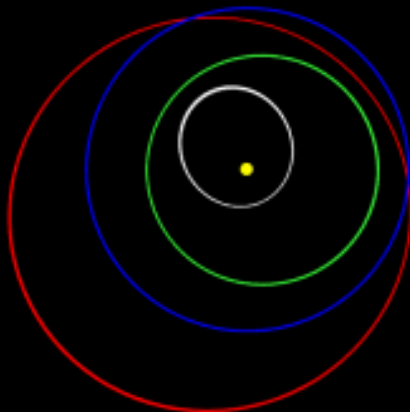


(b)

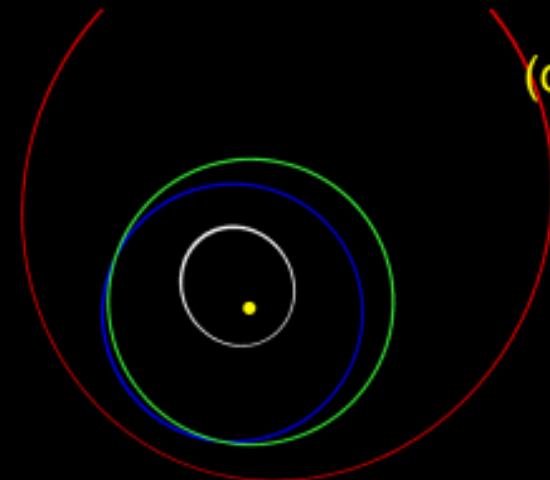
1 kyr

(c) ASD/MCCE-ONRS 3305800 kyr

(c) ASD/MCCE-ONRS



(c)



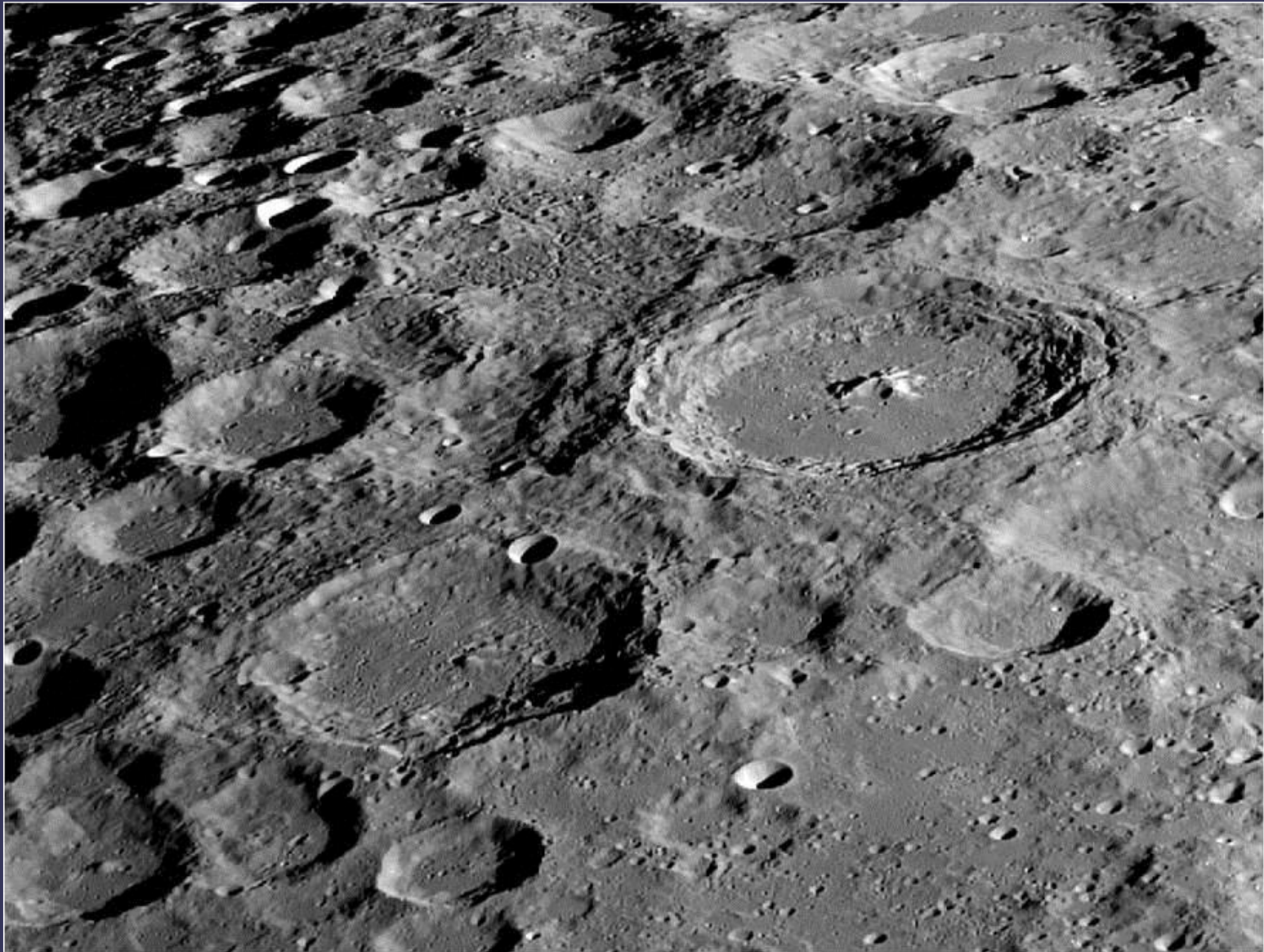
(d)

3330060 kyr

(c) ASD/MCCE-ONRS 3347431 kyr

(c) ASD/MCCE-ONRS

Des formations curieuses sur la Lune:
des volcans? Non! Des impacts!

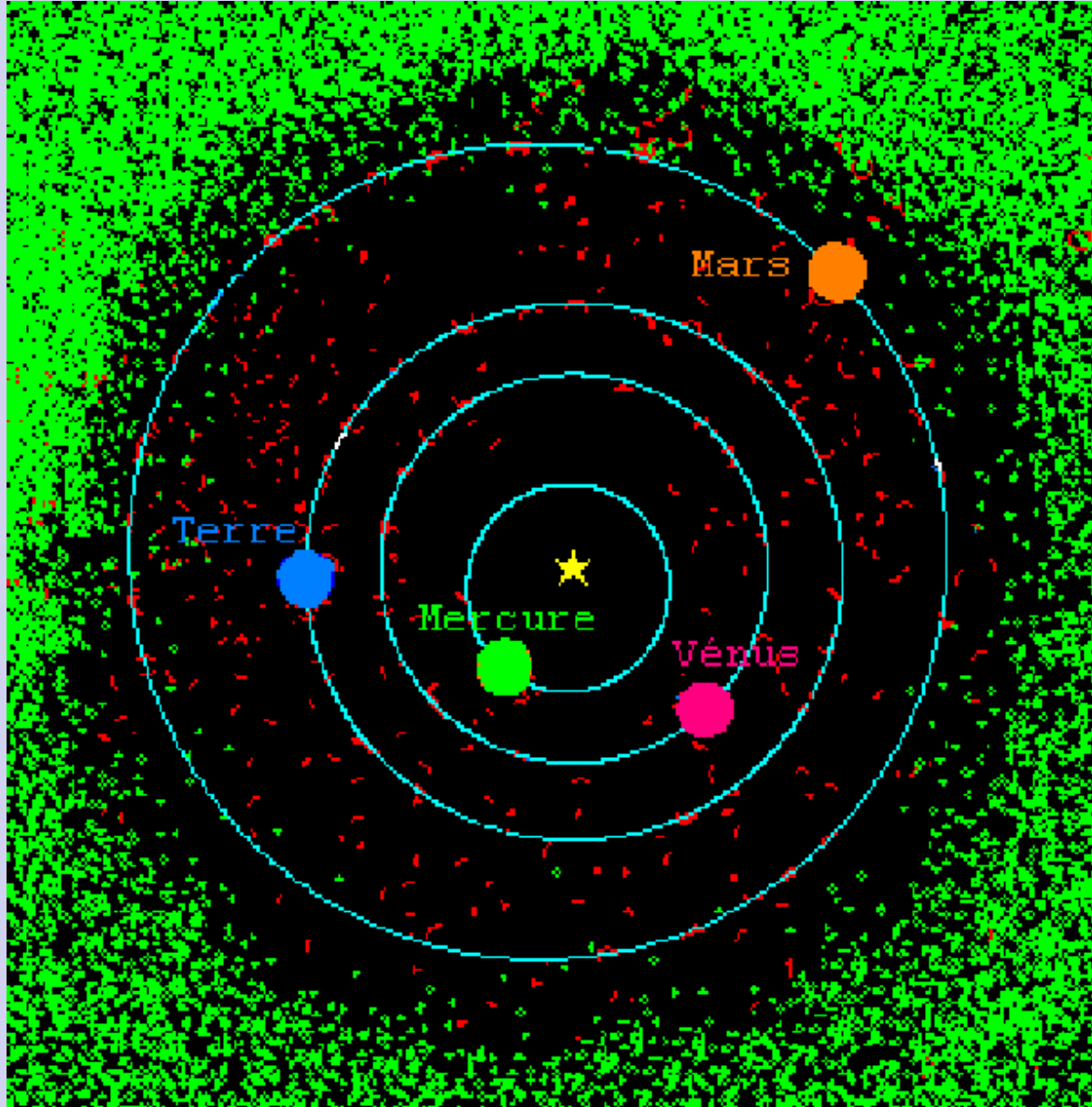


Des cratères d'impact aussi sur la Terre mais créés par quels objets?



Cratère Manicouagan, Canada (200 millions d'années)

Un autre danger pour la vie sur Terre: les astéroïdes géocroiseurs



A Ride With The Earth

An animation centered on Earth showing the known objects that have approached to within 20 million km between July 2007 and June 2008.

See the Animations Page on the MPC website for a description of the symbols used in this animation.

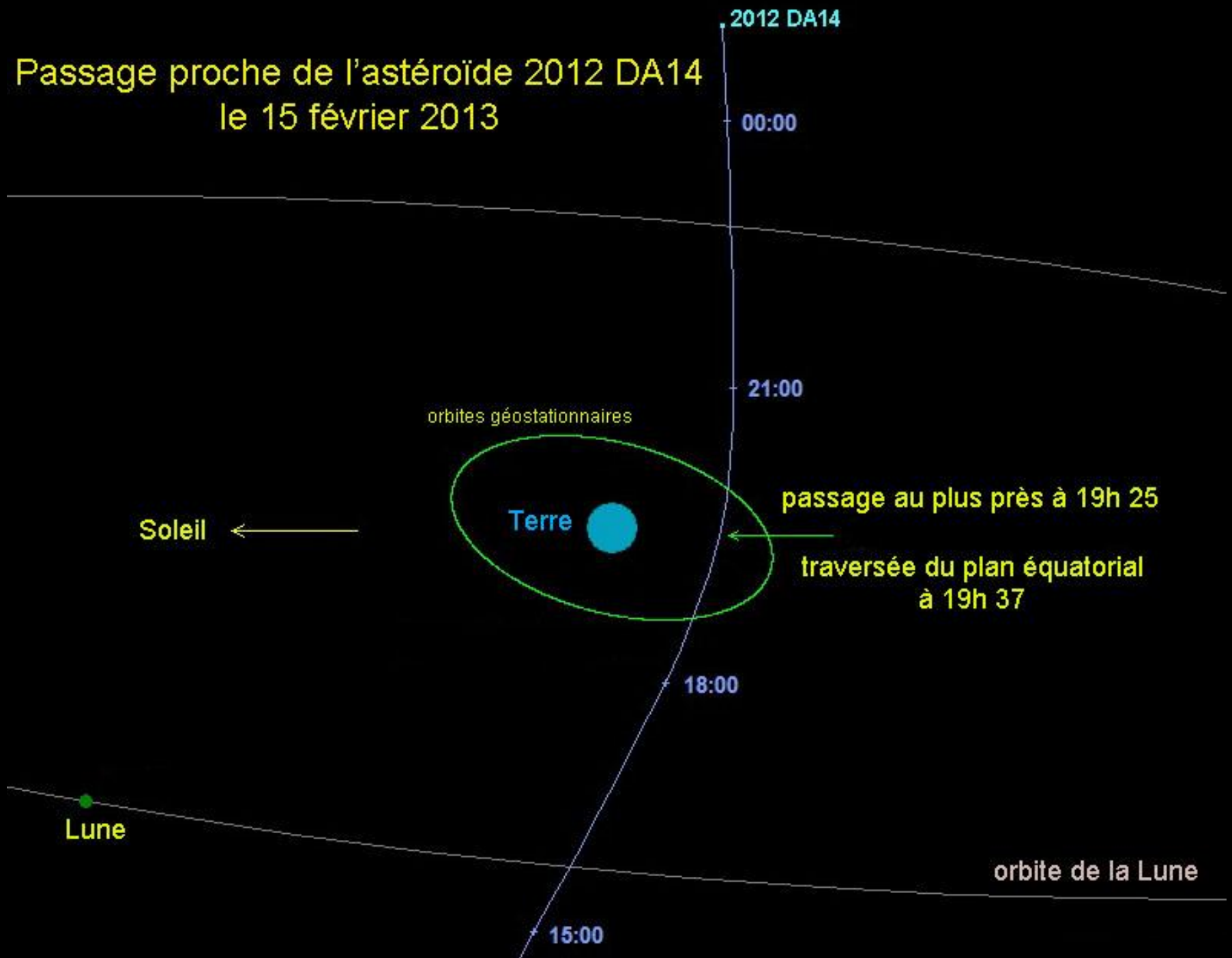


- La majorité des cailloux du ciel sont petits !



- D'autres sont plus importants mais plus rares (ici au Pérou en 2007)

Passage proche de l'astéroïde 2012 DA14 le 15 février 2013



Le passage proche de 2012 DA14 vu du Pic du Midi

(taille: 15m)



L'aventure de 2008 TC3





- L'orbite de 2008 TC3 devait rencontrer la Terre le 7 juillet 2008: le point d'impact se situant au Soudan.
- L'impact eut lieu! Et les astronomes vinrent vérifier leurs calculs sur place...





← La traînée laissée dans le ciel par la chute de l'objet

Les morceaux découverts dans le désert →



Arrivée de poussières de moins d'un millimètre



Arrivée d'un objet de quelques centimètres



Okie-Tex Star Party
September 30, 2008
Howard Edin

Arrivée d'un objet de quelques mètres



Tchéliabinsk le 15 février 2013



Tchéliabinsk le 15 février 2013: plus brillant que le Soleil!

Les dégâts causés par l'objet de Tchéliabinsk



Arrivée d'un objet de quelques dizaines de mètres

Arizona, il y a 100 000 ans



Tunguska, Sibérie, en 1908



Arrivée d'un objet de quelques kilomètres

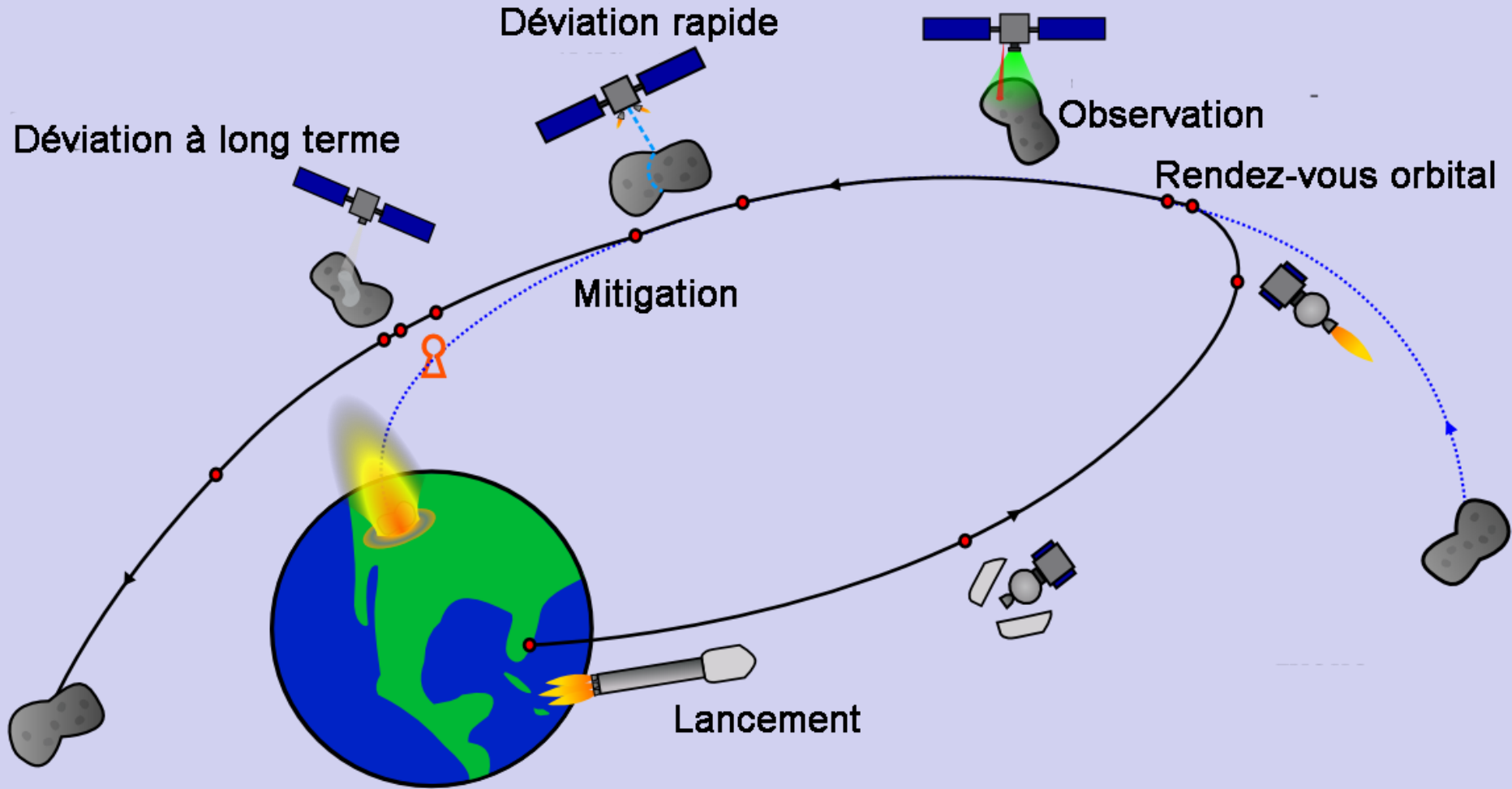


Arrivée d'un objet de quelques kilomètres



L'extinction d'un grand nombre d'espèces vivantes

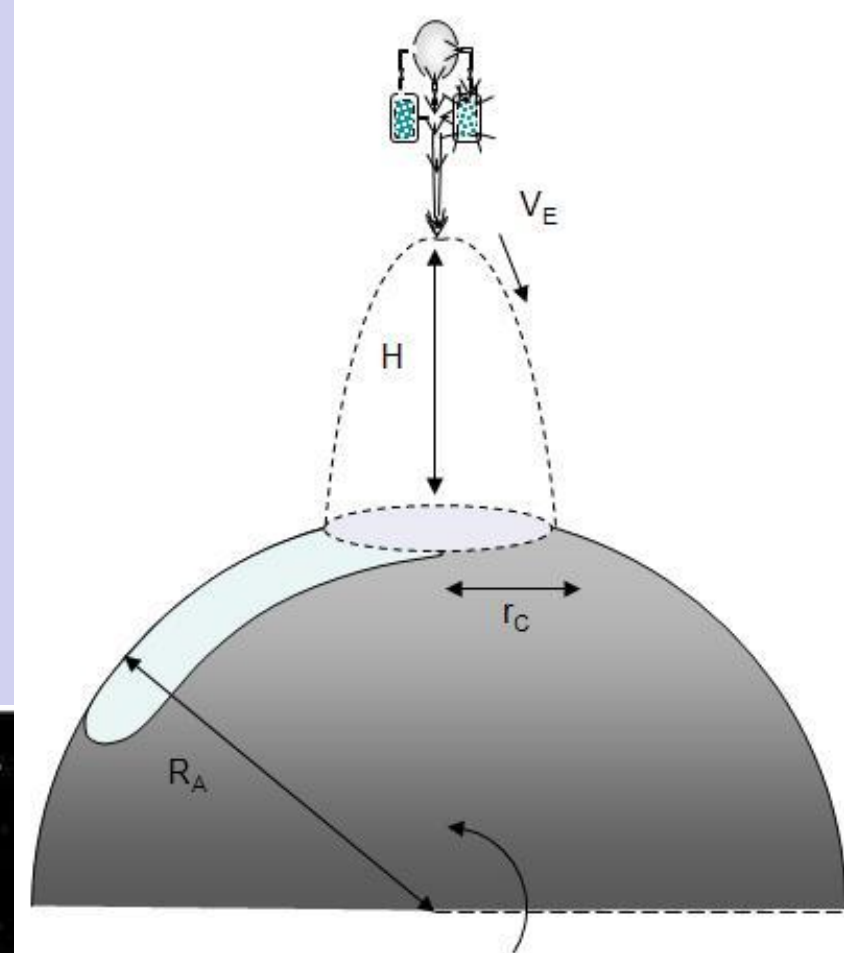
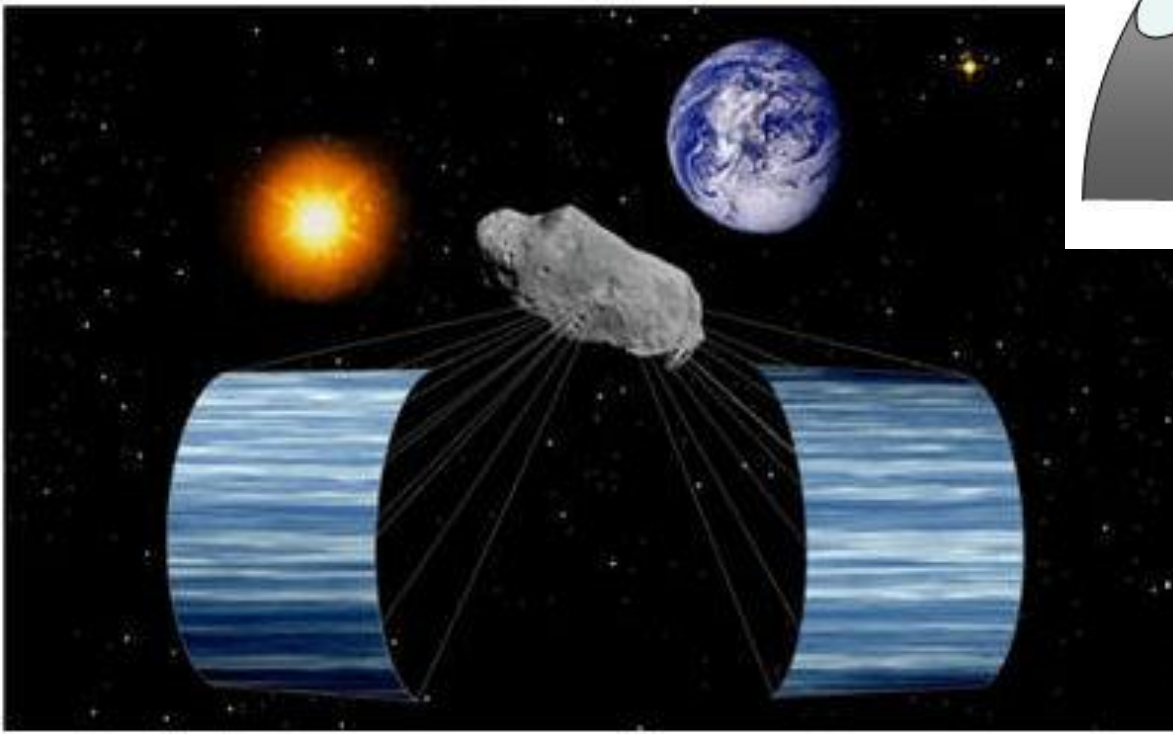
Comment dévier un objet dangereux: la mitigation



Mitigation

dévier un astéroïde

↓ avec une voile solaire

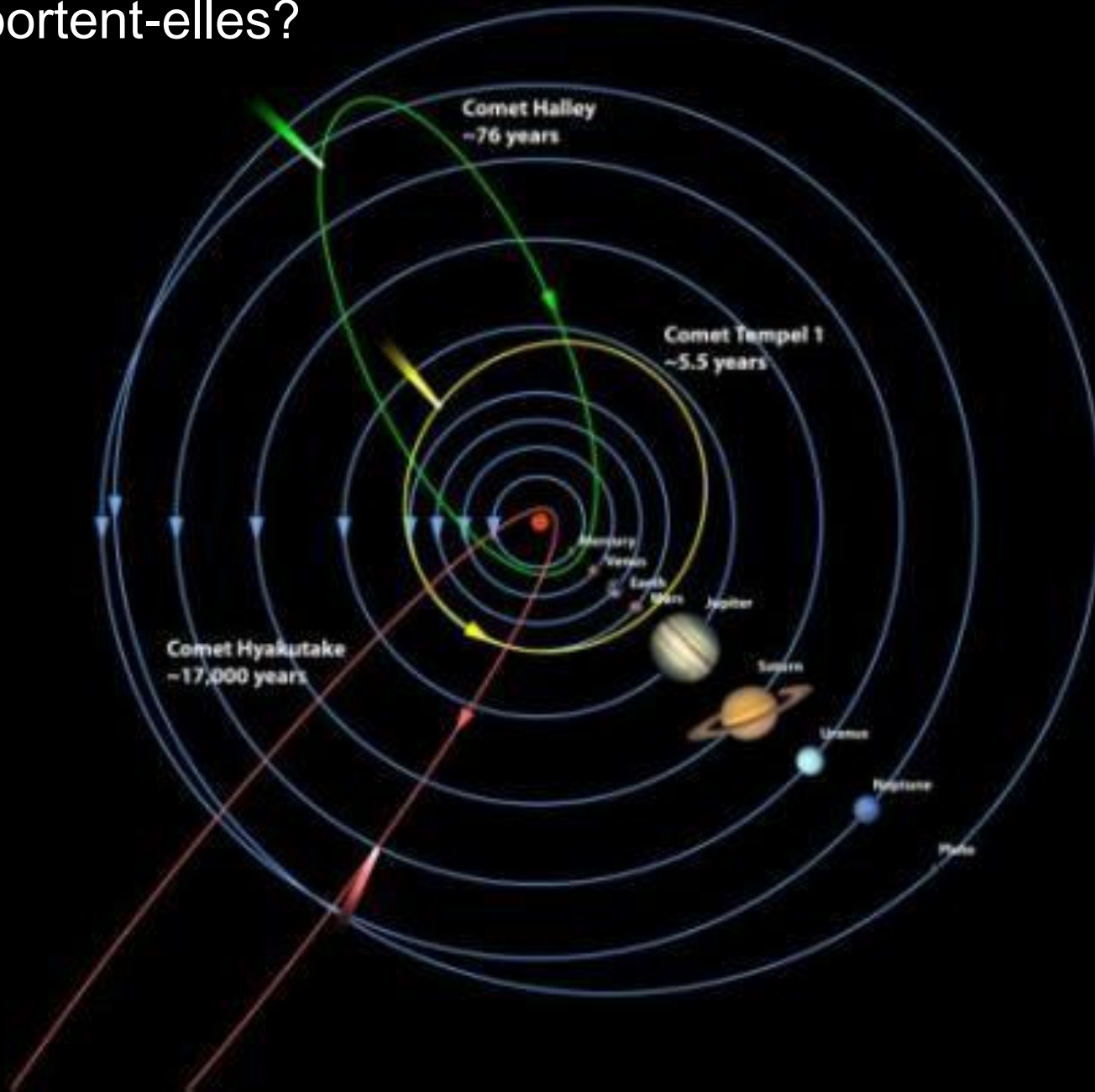


peindre un
astéroïde en blanc!

D'autres corps atypiques: les comètes, des messagères de l'infini...



D'où viennent-elles?
Qu'apportent-elles?

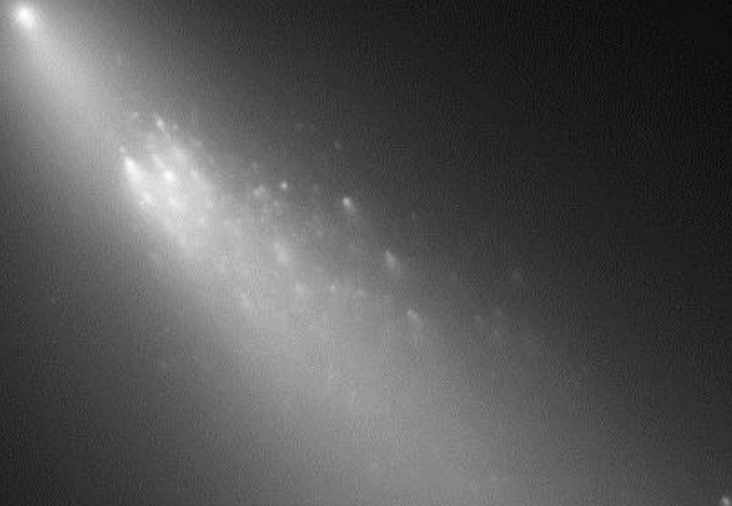


Comète Hale-Bopp (1997)



- Période: 4000 ans
- Noyau: 60 km

Les comètes, génératrices des pluies d'étoiles filantes



Les comètes, génératrices des pluies d'étoiles filantes

Les Léonides en 1998





Les comètes: messagères ou transporteuses?

- Peuvent-elles venir d'autres systèmes solaires?
- Peuvent-elles apporter de nouvelles formes de vie?
- Est-ce que cela peut représenter un danger?

Le transfert d'un système à l'autre

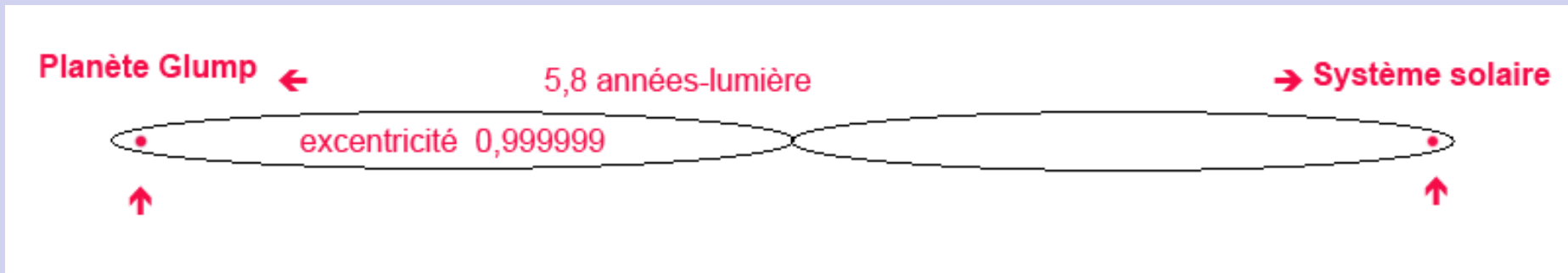
La planète Glump et les Glumpiens

La planète Glump tourne autour de son étoile –qui est identique au Soleil- à une distance de 150 millions de kilomètres. Ce système extra-solaire est situé à 5,8 années lumière de la Terre et les Glumpiens sont des petits êtres vivants qui ont appris à hiberner très longtemps dans la glace pour survivre aux longues périodes glaciaires que la planète subit régulièrement. Malheureusement pour eux, une collision avec un énorme astéroïde va détruire leur planète et l'éclater en petits morceaux dont certains sont faits de roche et de glace –qui abrite des Glumpiens qui hibernent-. Ce sont ainsi des comètes qui sont lancées à travers leur système extra-solaire. L'une de ces comètes va frôler l'étoile (elle va passer à 15 millions de kilomètres) et repartir dans l'espace sur une orbite dont l'excentricité atteint 0,999999 dans la direction de notre système solaire.

Au bout de combien de temps les Glumpiens pourraient-ils envahir la Terre ?

Le transfert d'un système à l'autre

La planète Glump et les Glumpiens



$a^3/T^2=1$ si a est en UA et T en années

$a \times 0,000001 = 15 \text{ Mkm}$

donc $a = 15 \times 10^6 \times 10^6 \text{ km} = 3,1 \text{ années-lumière} = 10^5 \text{ UA}$

et $T^2 = (10^5)^3$ d'où $T = (10^{15})^{-2} \text{ années} = 10^{-2} \times 10^7 = 31 \text{ millions d'années}$

Si la comète parcourt les deux demies orbites, elle mettra environ 31 millions d'années pour arriver à proximité de la Terre.

Un danger peut-il venir des étoiles...?



Les supernovae



C'est la même étoile à gauche (avant) et à droite (après)

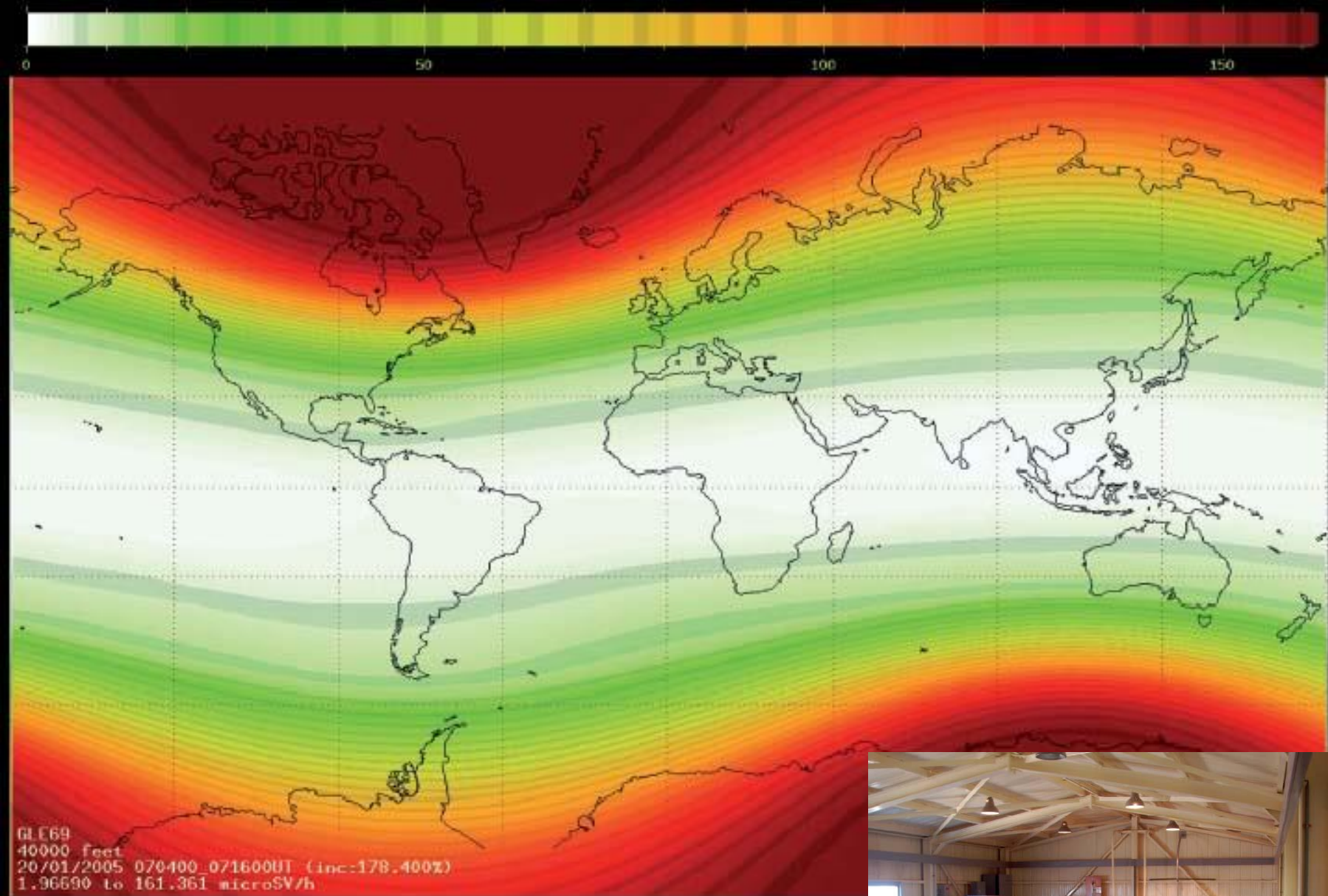


Le Soleil → X

L'explosion finale d'une étoile: une supernova générant des rayons cosmiques



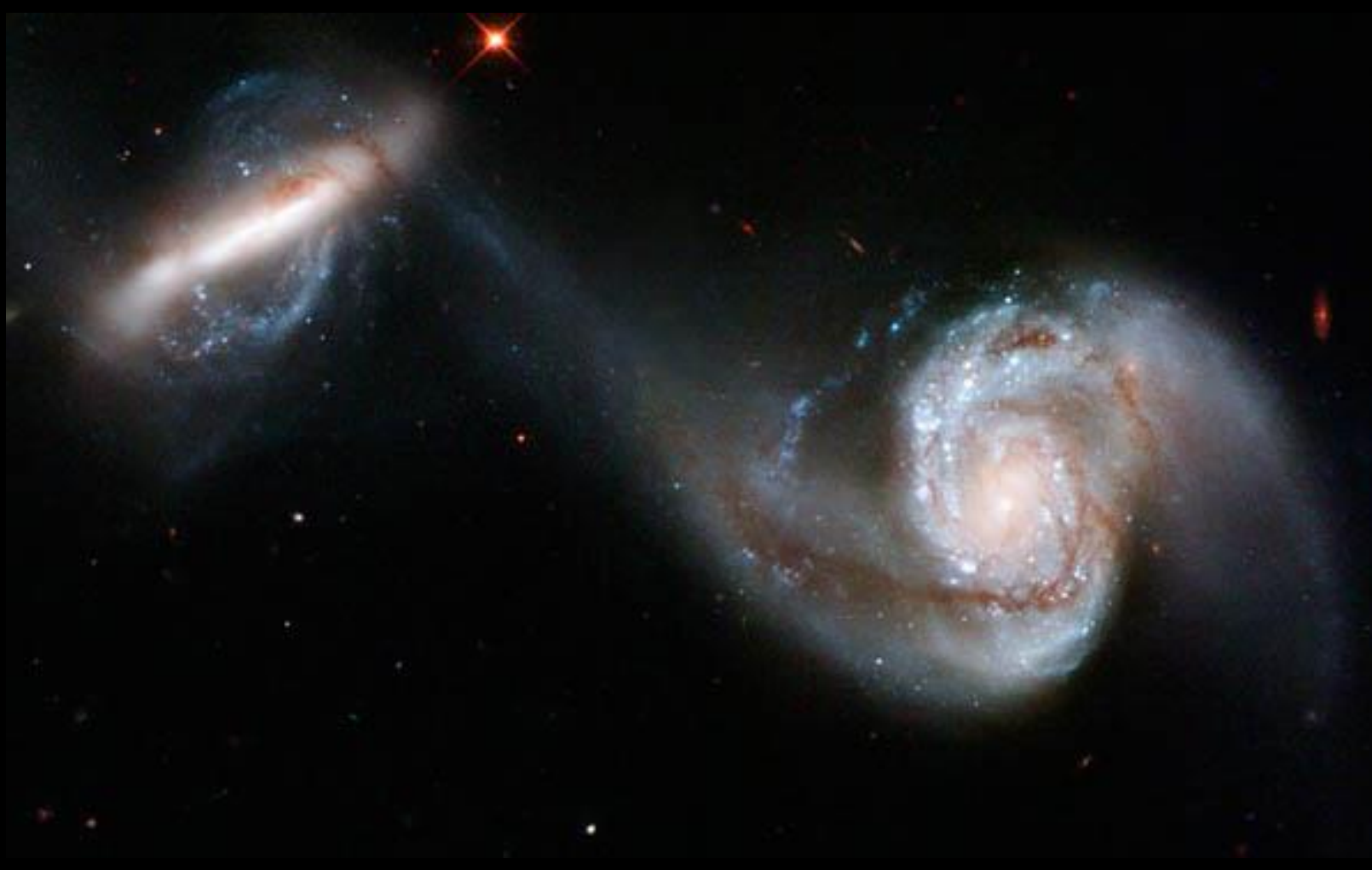
La nébuleuse du Crabe: les restes d'une supernova, visible en plein jour en 1054



**Les rayons cosmiques:
un danger pour la navigation aérienne**



Nous sommes dans la Voie Lactée: où va-t-elle?




La galaxie Andromède se précipite vers nous à 1000 km/s

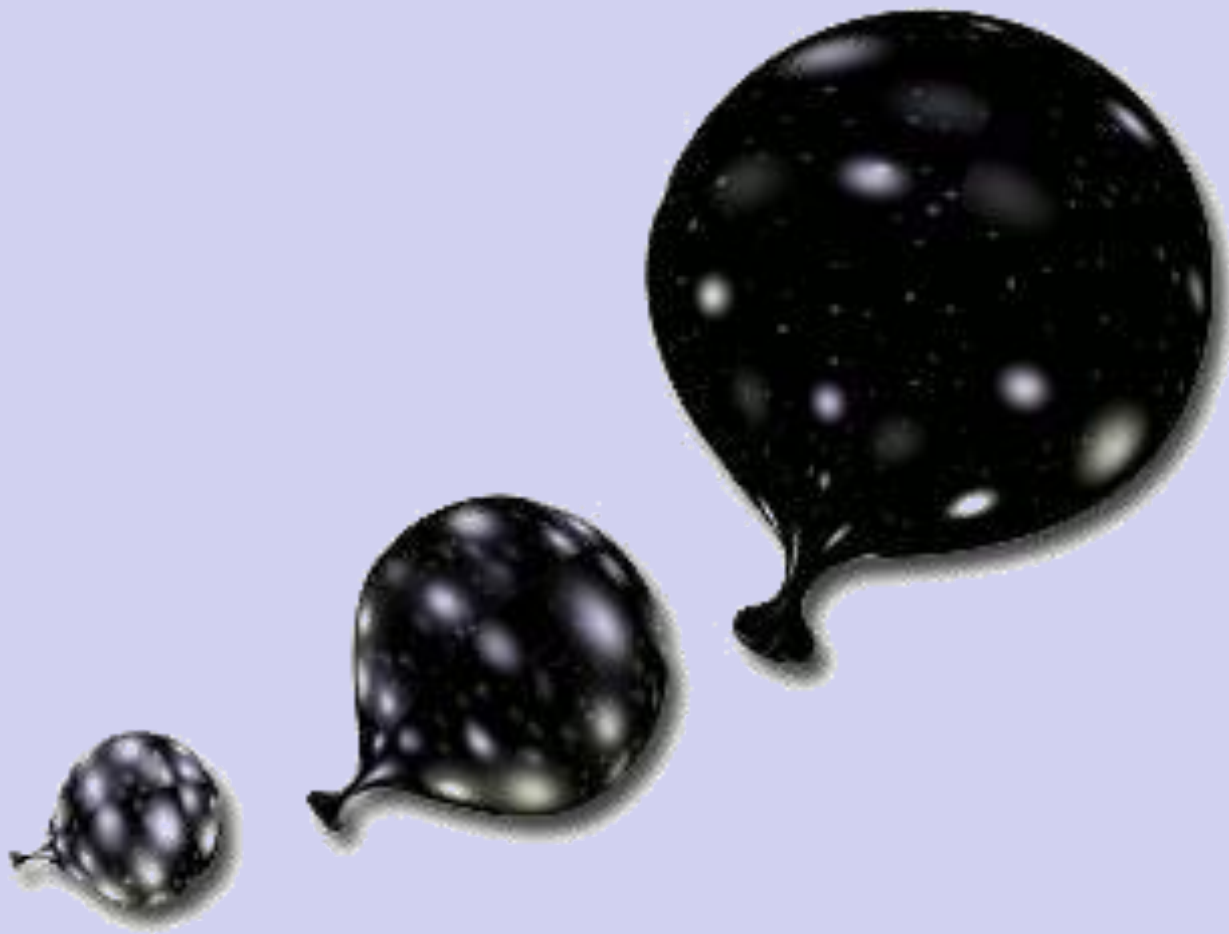
Le cataclysme est-il pour bientôt ?







L'univers est-il éternel?
Pourquoi est-il en expansion?
Où nous mène cette expansion?



L'expansion s'accélère... alors?

Conclusion

- La vie sur Terre est le fruit d'un concours de circonstances exceptionnelles
- La vie de l'homme sur Terre est constamment menacée
- L'espérance de vie de l'homme sur Terre est courte mais peut cependant atteindre plusieurs millions d'années!