



Le vrai destin

Deux chercheurs américains

Textes : Émilie Martin
Illustrations : Lionel Bret

"NOTRE PLANÈTE peut espérer durer encore 7 milliards d'années avant d'être avalée par le Soleil. Tous les modèles affirment cependant que la vie terrestre complexe aura disparu bien avant que la planète elle-même ne parte en fumée." Dans leur ouvrage *Vie et Mort de la planète Terre*, les chercheurs Peter Ward et Donald Brownlee ont passé en revue tous les travaux récents prédisant l'avenir de la Terre. Et leur conclusion est

sans appel : l'ère de la vie évoluée, qui a commencé il y a seulement 600 millions d'années, est sur le déclin. Sur la base de cet ouvrage et après enquête, voici les principaux bouleversements que notre planète va traverser, illustrés par des vues d'artiste exclusives à *Ciel & Espace*. Un par un, les systèmes d'habitabilité vont se gripper et les plantes, puis les animaux, pourraient bien avoir disparu dans moins de 1 milliard d'années.

+ C À voir sur www.cieletespace.fr/node/6545

Retrouvez le film du destin de la Terre sur notre site web

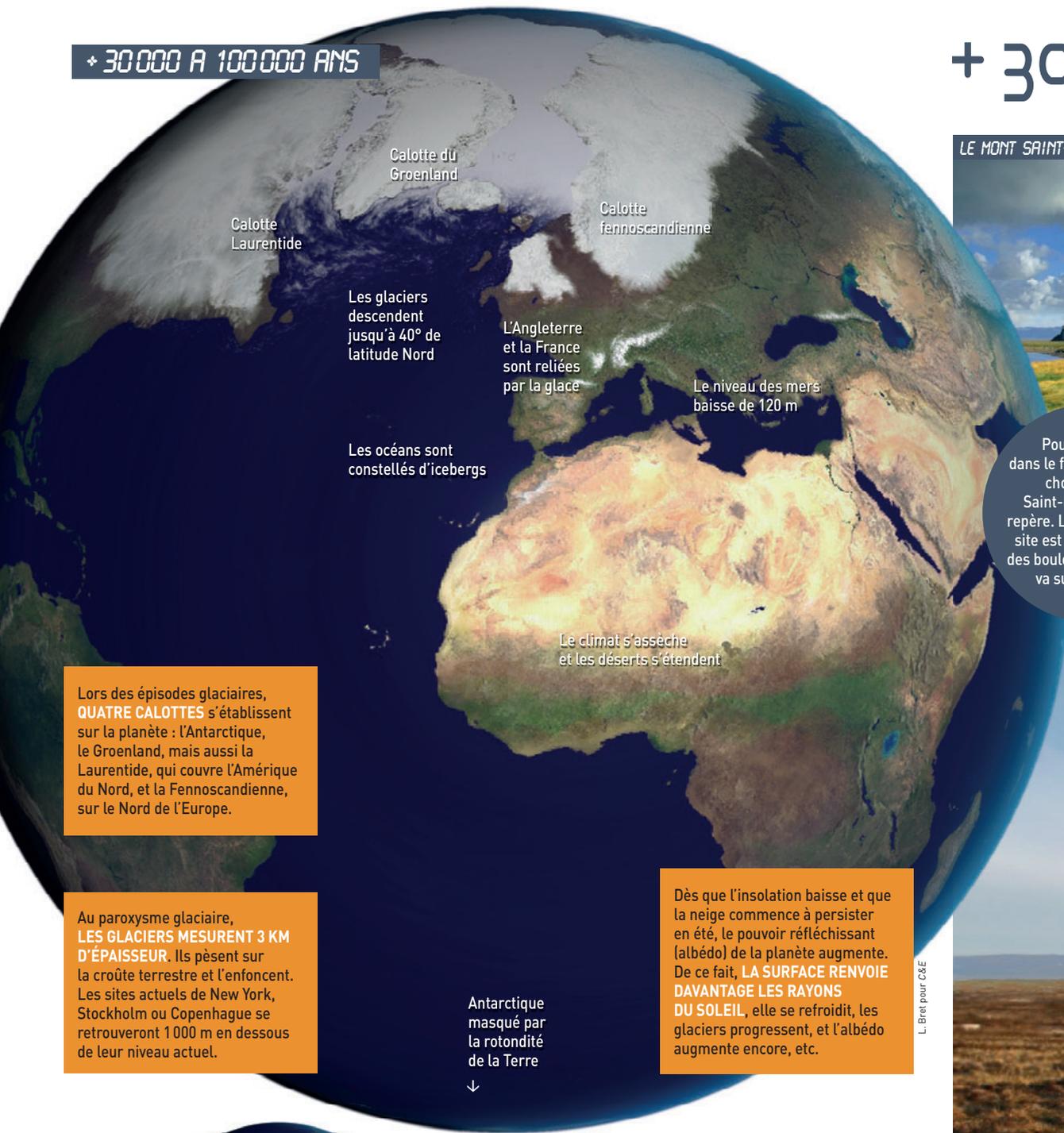


de la Terre

détaillent l'évolution future de la planète

+ 30 000 A 100 000 ANS

+ 30 000



Calotte Laurentide

Calotte du Groenland

Calotte fennoscandienne

Les glaciers descendent jusqu'à 40° de latitude Nord

L'Angleterre et la France sont reliées par la glace

Le niveau des mers baisse de 120 m

Les océans sont constellés d'icebergs

Le climat s'assèche et les déserts s'étendent

Lors des épisodes glaciaires, **QUATRE CALOTTES** s'établissent sur la planète : l'Antarctique, le Groenland, mais aussi la Laurentide, qui couvre l'Amérique du Nord, et la Fennoscandienne, sur le Nord de l'Europe.

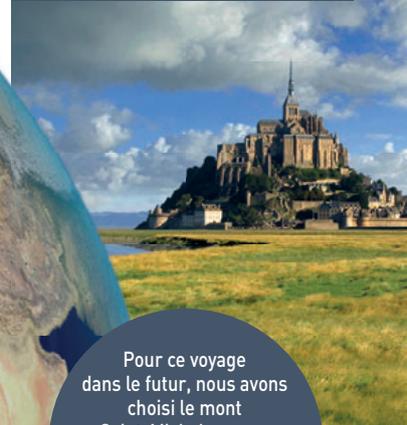
Au paroxysme glaciaire, **LES GLACIERS MESURENT 3 KM D'ÉPAISSEUR**. Ils pèsent sur la croûte terrestre et l'enfoncent. Les sites actuels de New York, Stockholm ou Copenhague se retrouveront 1000 m en dessous de leur niveau actuel.

Antarctique masqué par la rotondité de la Terre

Dès que l'insolation baisse et que la neige commence à persister en été, le pouvoir réfléchissant (albédo) de la planète augmente. De ce fait, **LA SURFACE RENVOIE DAVANTAGE LES RAYONS DU SOLEIL**, elle se refroidit, les glaciers progressent, et l'albédo augmente encore, etc.

L. Bret pour C&E

LE MONT SAINT-MICHEL AUJOURD'HUI



Pour ce voyage dans le futur, nous avons choisi le mont Saint-Michel comme repère. L'évolution de son site est symptomatique des bouleversements que va subir la Terre.

Fonte de la calotte du Groenland

Le niveau des mers s'élève de 6 m

+ 3 000 ANS

Le chaud avant la glace

D'ici quelques siècles, le réchauffement climatique induit par les activités humaines va provoquer la fonte de la calotte du Groenland. Celle-ci s'est établie quand le niveau de gaz carbonique dans l'atmosphère (jadis plus important) est tombé à 280 ppm. Or, aujourd'hui, il a atteint 390 ppm et continue de croître.

L. Bret pour C&E

David Rouault - Lionel Bret pour Ciel & Espace

à 100 000 ans : le retour des glaciers



L. Bret pour C&E et DR

LE monde relativement tiède dans lequel nous vivons est trompeur. Depuis 3 millions d'années (Ma), la Terre traverse en réalité une ère glaciaire, une période exceptionnellement froide, où alternent glaciations et interglaciations. Lors des premières, qui durent environ 80 000 ans, quatre calottes de glace s'établissent (voir dessin page de gauche). À ce pic de froid succède une période plus clémente de 20 000 ans. "C'est à la faveur d'un tel intermède doux, en place depuis 14 000 ans et appelé l'Holocène, que la civilisation humaine s'est développée, explique

Gilles Ramstein, du CEA. Mais c'est une certitude : les glaciers vont faire leur retour." Combien de temps encore avant un nouvel âge de glace ? "Environ 30 000 à 40 000 ans si l'on tient compte des paramètres astronomiques⁽¹⁾ qui font varier la quantité de lumière reçue par la Terre." L'intermède que nous traversons est donc particulièrement long. Il pourrait l'être encore davantage. Car d'autres paramètres entrent en jeu, comme le taux de gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère. "Les activités humaines ont porté ce taux à 390 ppm⁽²⁾ et il continue d'augmenter. De ce fait, la calotte du

Groenland, plus instable que l'Antarctique, va fondre d'ici plusieurs siècles. Le réchauffement climatique actuel pourrait bien retarder la prochaine glaciation", estime Gilles Ramstein.

La Terre a déjà connu plusieurs épisodes glaciaires similaires, mais ils ne représentent que 5 % de la durée de son histoire. Le régime "normal" de notre planète, c'est un monde chaud, dans lequel les pôles sont tempérés et dépourvus de calottes.

(1) La forme de l'orbite terrestre, l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre et la précession des équinoxes.

(2) ppm : parties par million. Avant l'ère industrielle, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère était de 280 ppm.

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 30 000 ANS

Lors du prochain âge de glace, la région du mont Saint-Michel, aujourd'hui tempérée, sera transformée en steppe. La calotte fennoscandienne se trouvera à seulement quelques centaines de kilomètres plus au nord.





LE MONT SAINT-MICHEL DANS 250 MILLIONS D'ANNÉES

La dérive des continents a complètement remodelé le paysage. La région du mont Saint-Michel se retrouvera au cœur de l'Ultime Pangea. Elle connaîtra un climat continental rude marqué par la sécheresse.

+ 250 millions d'années : un continent unique

La tyrannie des glaces prendra fin lorsque la tectonique des plaques aura éloigné des pôles les masses continentales, véritables assises des glaciers, ce qui devrait se produire dans 2 à 10 millions d'années (Ma). Les continents dérivent de 5 cm par an. Dans 50 Ma, l'océan Atlantique aura grandi de 2000 km, l'Afrique aura percuté l'Europe, et une vaste chaîne de montagnes s'étendra à la place de la Méditerranée. Et après ? Selon le scénario "classique", la dérive actuelle se poursuit jusqu'à ce que l'océan Pacifique se referme. Chris Scotese, directeur du projet Paleomap, penche quant à lui pour un modèle plus complexe : "Il est probable que l'actuelle microzone de subduction située près de la fosse de Porto Rico s'étende tout le long des deux Amériques. D'ici 100 Ma, la région sera constellée de volcans et c'est plutôt l'océan Atlantique qui se refermera." Dans 250 Ma, un continent unique se dessinera alors : l'Ultime Pangea (voir dessin de droite).

Une nouvelle géographie aux lourdes conséquences sur le climat. Sans air océanique pour le tempérer, l'intérieur de cet immense continent centré sur l'équateur sera soumis à des conditions extrêmes de chaleur et de sécheresse. Isolé de l'immense Pacifique et des courants pourvoyeurs d'oxygène, l'océan central sera moribond. Le gaz carbonique s'y accumulera en couches sédimentaires. "Un sorte de goudron très dangereux, pré-

dit Chris Scotese. *En se libérant, cette bombe chimique sous-marine empoisonnerait la biosphère. Certains chercheurs suggèrent qu'un phénomène de ce type est à l'origine de l'extinction du Permien, il y a 250 millions d'années."*

(1) Le projet Paleomap vise à reconstituer l'emplacement des continents dans le passé depuis le Précambrien et à prédire leur emplacement futur (www.scotese.com).

Lionel Bret pour Ciel & Espace

Un monde sans glace

Dans 100 millions d'années, l'Antarctique ayant dérivé vers le nord, sa glace va fondre. Les océans s'élèveront de plus de 100 m. Le bassin Amazonien, le golfe des Antilles ou encore l'ouest de l'Afrique seront submergés.

Le niveau des mers s'est élevé de 100 m

Le bassin Amazonien est inondé

+ 100 MILLIONS D'ANNÉES

L'Afrique de l'Ouest est inondée

L'Antarctique a dérivé vers le nord



✦ 250 MILLIONS D'ANNÉES

Selon le modèle de Chris Scotese, **LES CONTINENTS SE REGROUPENT** en un seul. La Terre a déjà connu pareille configuration voici 250 millions d'années, à la fin du Permien. Le continent unique de l'époque s'appelle le Gondwana.

Avec cette nouvelle géographie, **LE CLIMAT MONDIAL SERA BOULEVERSÉ**. La Terre retrouvera les conditions du Mésozoïque, quand il faisait beaucoup plus chaud et que les écarts de températures de l'équateur vers les pôles étaient très faibles.

Ex Amérique du Nord

Ex-Afrique

Ex-Europe

Ex-Asie

Ex-océan Indien
(l'océan central)

Ex Amérique du Sud

Ex-Indonésie

Ex-Patagonie

Isolé, **L'OCÉAN CENTRAL SERA STAGNANT**, comparable à l'actuelle mer Noire. Du gaz carbonique s'y déposera en couches sédimentaires. S'il se libère, à la faveur d'un tremblement de terre, il empoisonnerait la biosphère.

Libre pour Ciel & Espace

+ 500 à 900 millions d'années : la fin des plantes...

LE règne végétal est sur le déclin. Car l'élément essentiel à la photosynthèse, le gaz carbonique, se raréfie dans l'atmosphère. Bien sûr, son taux augmente depuis le début de l'ère industrielle, mais à l'échelle des temps géologiques, la tendance est nettement à la

baisse : depuis plusieurs centaines de millions d'années, ce taux a été divisé par 100. En cause notamment, la formation de l'Himalaya. Car tout comme les plantes, les roches fixent le CO₂ de l'atmosphère. Le CO₂ est dissous dans les pluies qui érodent les roches et entraînent

les silicates vers la mer. Là, il se dépose sous forme de calcaire. Il retourne ensuite dans le manteau terrestre par la subduction et rejaillit enfin dans l'atmosphère par le biais des volcans.

"Ce cycle bien rodé connaît parfois de petits déséquilibres, explique James Kasting, de l'université Penn State. Le gaz carbonique est davantage pompé lorsque de vastes chaînes de montagnes telles l'Himalaya sont érigées, ou lorsque sous l'effet d'un réchauffement climatique, l'évaporation des océans et donc les précipitations augmentent."

Or, le climat se réchauffe : le Soleil est aujourd'hui 30 % plus brillant qu'à sa naissance et sa luminosité ne cesse de croître. Le

pompage du CO₂ par les roches ne fait que commencer. Bientôt, il aura raison des plantes.

Dans les années 1980, une équipe⁽¹⁾ avait révélé que le niveau critique en dessous duquel les végétaux ne peuvent plus assurer la photosynthèse se situait à 150 ppm et qu'il serait atteint dans seulement 100 Ma. *"C'est vrai pour la plupart des plantes, commente James Kasting. Mais 5 % des espèces peuvent se contenter de beaucoup moins de CO₂ et survivre au-delà de 10 ppm."* Le règne végétal obtient donc un sursis. Mais sa fin est relativement proche : le niveau de 10 ppm devrait être atteint dans 500 à 900 Ma.

(1) Lovelock et Whitfield.

+ 500 A 900 MILLIONS D'ANNEES

NB : les modèles ne peuvent prédire la dérive des continents au-delà de 900 millions d'années. La géographie de ces globes est donc maintenant spéculative.

Sombres, les plantes absorbent efficacement la lumière solaire. Une fois la roche mise à nu, **LA SURFACE RÉFLÉCHIRA DAVANTAGE DE LUMIÈRE**, ce qui refroidira momentanément la planète et contrebalancera l'intense réchauffement dû à l'augmentation de la luminosité du Soleil.

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 800 MILLIONS D'ANNEES

Peu à peu, les arbres vont disparaître et laisser place aux herbes, arbustes, cactus. Ceux-ci finiront par s'éteindre à mesure que le taux de gaz carbonique chutera encore.



Au fil du temps, **LES PLANTES INVENTENT UNE MANIÈRE DE SURVIVRE** avec moins de gaz carbonique dans l'atmosphère. Elles ont mis au point un type de photosynthèse basé sur un composé à 4 atomes de carbone (C4) au lieu de 3 (C3). Quand le taux de CO₂ sera tombé à 150 ppm, dans 100 millions d'années, seules les plantes C4 subsisteront.

QUELQUES MILLIONS D'ANNÉES PLUS TARD

En l'absence de source biologique d'oxygène, le taux d'oxygène (O_2) dans l'atmosphère est divisé de moitié tous les 2 millions d'années. Sans les plantes pour l'approvisionner, **L'ATMOSPHÈRE VA PERDRE CE GAZ ESSENTIEL** à la survie des animaux.

LES végétaux terrestres et marins sont à la base de la chaîne alimentaire. Leur disparition aura un effet dévastateur sur l'ensemble de la vie terrestre. Privés de nourriture, les animaux vont s'éteindre en quelques décennies. Les rares végétaux survivants — uniquement des lichens et des champignons — serviront à maintenir en vie quelques insectes. Eux aussi

finiront par mourir asphyxiés. Car, en l'absence de plantes, l'atmosphère ne sera plus fournie en oxygène.

“Quatorze millions d'années après la fin des plantes, le taux d'oxygène dans l'atmosphère sera réduit à 1 %, contre 21 % aujourd'hui, révèle David Catling, de l'université de Washington. À ce stade, même les organismes unicellulaires auront du mal à respirer.”

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 1 MILLIARD D'ANNÉES

La vie a presque déserté la surface de la Terre. Dans ce monde minéral, les tempêtes de poussière sont fréquentes. Le ciel chargé n'est plus bleu, mais brumeux et beige.

LA TEMPÉRATURE MOYENNE MONDIALE ATTEINT BIENTÔT 40 °C. La vie qui subsiste encore se niche en sous-sol ou émigre vers les pôles. Dénué de plantes, le sol subit une violente érosion, les reliefs sont peu à peu gommés.

... entraîne très vite
la disparition des animaux

+ 1,2 à 1,4 milliard d'années : les océans s'évaporent

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 1,2 A 1,4 MILLIARD D'ANNEES



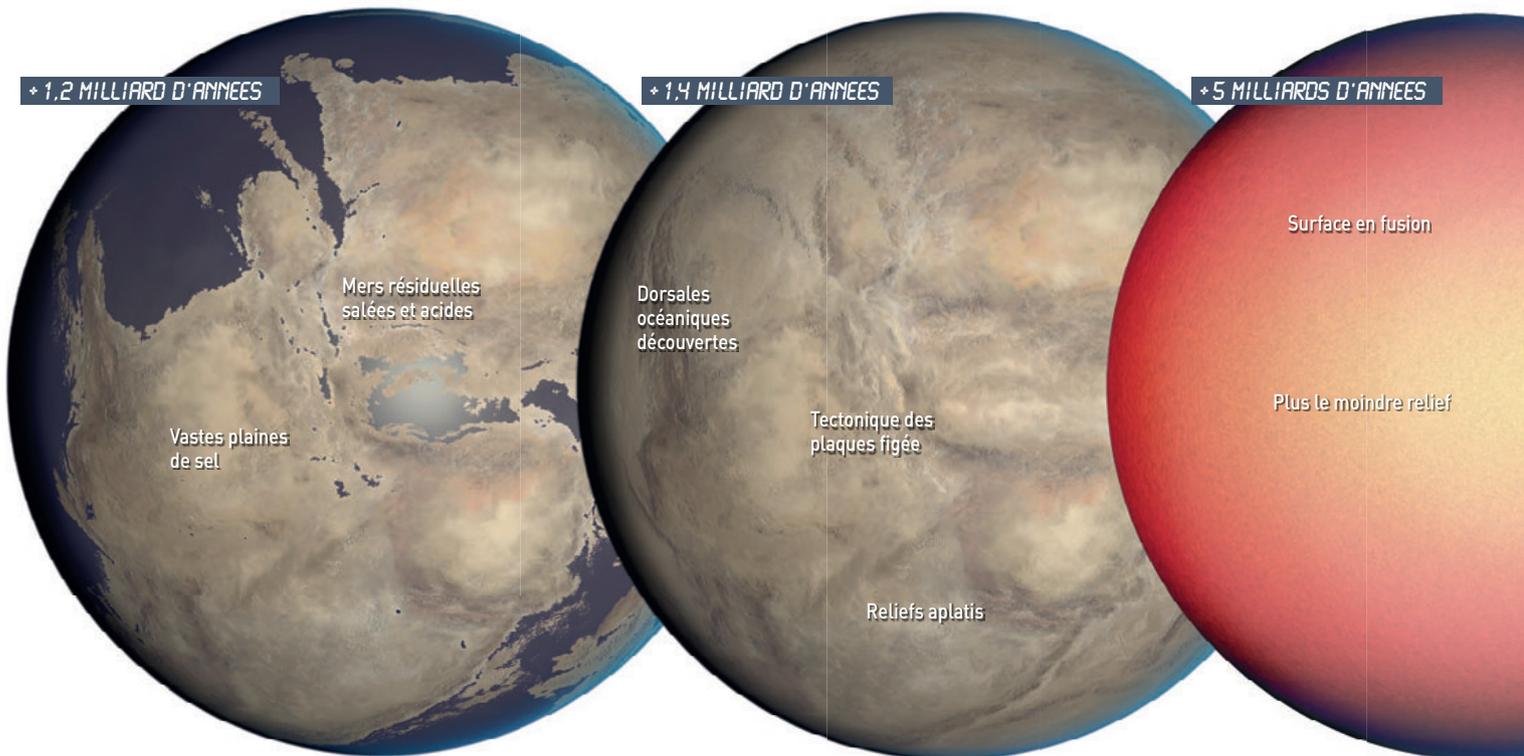
Images : Lionel Bret pour Ciel & Espace et DR

DANS 1 milliard d'années, les organismes survivants se seront réfugiés aux pôles, au fond des mers ou en sous-sol, où la température est supportable. Car, en surface, celle-ci atteindra 50 °C en moyenne. Bientôt, les océans seront si chauds qu'ils commenceront à s'évaporer dans l'espace. Si ce n'est pas le cas actuellement, c'est parce que la troposphère, située vers 10 km d'altitude, est froide et sèche. Elle constitue donc une barrière qui condense les molécules d'eau (H₂O) et les empêche de s'échapper dans l'espace. "Mais dans 1,2 milliard d'années, quand la température de surface aura atteint 70 °C, la troposphère,

plus humide et chaude, ne jouera plus son rôle de barrière, prédit James Kasting. Les molécules d'eau seront alors soumises aux ultraviolets du Soleil qui les casseront. Une fois séparés, l'hydrogène et l'oxygène s'échapperont. Toute l'eau terrestre pourrait disparaître en seulement 200 millions d'années."

Durant le processus, des quantités colossales de vapeur d'eau, puissant gaz à effet de serre, seront injectées dans l'atmosphère, ce qui provoquera un emballement thermique. Comme sur Vénus, la pression sera accablante et la température atteindra 400 °C. Toute vie, y compris bactérienne, sera éradiquée.

Les océans ont fait place à une couche de sel de plus de 100 m d'épaisseur. Le ciel, chargé en vapeur d'eau est ultratourmenté. D'énormes nuages se forment, des pluies acides tombent et des éclairs frappent continuellement la surface.



+ 4,5 milliards d'années : le Soleil à l'agonie

UNE fois la vie disparue, notre planète aura encore des milliards d'années devant elle. Le Soleil amorcera son agonie dans 4,5 milliards d'années. À court de combustible, son cœur s'effondrera et les réactions de fusion nucléaire s'enclencheront dans ses couches externes. Devenu une géante rouge, il sera 1000 à 10 000 fois plus lumineux, et 100 fois plus grand qu'aujourd'hui. Mercure et Vénus seront englouties dans son brasier. Et la Terre ? "En gonflant,

le Soleil va perdre jusqu'à 40 % de sa masse, ce qui (en raison de la conservation du moment cinétique, en lien avec les lois de Kepler) va éloigner les planètes de lui, explique Bruno Lopez, de l'observatoire de la Côte d'Azur. Ce décalage seul serait suffisant pour que la Terre échappe au brasier. Mais des études récentes montrent que les effets de marée entre la Terre et la géante rouge vont ralentir la Terre sur son orbite et la rapprocher inéluctablement du Soleil."

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 4,5 MILLIARDS D'ANNÉES

Le Soleil est 100 fois plus grand qu'à présent. Il occupe presque tout le ciel. La Terre est une boule de lave en fusion. En surface, il fait 2000 °C. Si l'orbite terrestre ne se décale pas vers l'extérieur, notre planète sera vaporisée dans les flammes du Soleil.

+ 7 MILLIARDS D'ANNÉES

Surface inerte
de magma refroidi

LE MONT SAINT-MICHEL DANS 7 MILLIARDS D'ANNÉES

Si notre planète survit à l'agonie du Soleil, elle se refroidira peu à peu. Quand il deviendra naine blanche (une étoile très compacte de la taille de la Terre), elle ne sera plus qu'une boule inerte, faite de magma froid.