

L'origine de l'élévation du niveau des océans

Le niveau des mers monte : lors de la dernière période glaciaire, il y a 21 000 ans, le niveau moyen des mers était inférieur de 120 mètres à celui d'aujourd'hui. D'où viennent les quelque 50 millions de kilomètres cubes d'eau supplémentaires ? Cet excès d'eau était alors stocké sous forme d'immenses calottes glaciaires, au Nord du continent américain et de l'Europe. Les glaciers continentaux étaient également plus étendus qu'aujourd'hui, et, dans nos régions, ils remplissaient le fond des vallées alpines. À mesure de la déglaciation, la température moyenne de la surface de la planète a augmenté d'environ 5 °C. Ces calottes et glaciers se sont rétractés, le niveau des mers a augmenté à une vitesse moyenne supérieure à cinq millimètres par an. Puis, il y a 6 000 ans, cette élévation s'est ralentie jusqu'à 0,5 millimètre par an, pour atteindre 0,1 à 0,2 millimètre par an seulement, en moyenne, au cours des derniers 2 000 ans.

En revanche, elle aurait brusquement augmenté au xx^e siècle, d'après les mesures effectuées depuis le début du siècle par des marégraphes. Toutefois, les marégraphes ne sont pas assez nombreux, ni assez bien répartis sur tous les océans pour que nous reconstituions sans ambiguïté les variations du niveau moyen global des mers. En outre, ils mesurent l'altitude de la surface de la mer par rapport à leur point d'ancrage, qui n'est pas forcément immobile. Ce dernier peut varier en fonction de l'activité tectonique, ou encore des mouvements de la croûte terrestre. La valeur de l'élévation du niveau des mers au xx^e siècle n'est, par conséquent, pas connue avec précision, mais elle est probablement comprise entre 10 et 20 centimètres.

Cette élévation rapide du niveau des mers provient-elle du réchauffement climatique actuel, qu'il soit dû ou non à l'activité humaine ? Des observations en surface montrent une augmentation moyenne globale de la température comprise entre 0,4 et 0,8 °C depuis la fin du xix^e siècle. Ce réchauffement climatique récent aurait peut-être provoqué une rétraction des glaciers et des calottes polaires. On observe en effet, depuis plus d'un siècle, un recul de nombreux glaciers dans le monde, dans les vallées alpines par exemple. Il n'est cependant pas régulier. La fonte est parfois interrompue par des périodes d'extension, et certains glaciers se sont même développés au cours des dernières décennies, preuve que le changement climatique n'est pas réparti de façon homogène sur le Globe. Dans certaines régions, la température aurait même diminué de un à deux dixièmes de degré lors de la seconde moitié du xx^e siècle. D'après les évaluations récentes, le retrait moyen des glaciers aurait contribué, au cours du xx^e siècle, à une élévation du niveau des mers comprise entre un à quatre centimètres.

Le retrait des glaciers est manifeste, mais l'évolution du volume des calottes polaires est moins marquée. Ainsi, le Groenland aurait contribué à l'élévation du niveau des mers pour un centimètre, au maximum, et l'Antarctique aurait contribué, non pas à une augmentation, mais à une diminution du niveau des mers ! Ce paradoxe n'est qu'apparent. La température de l'Antar-

tique reste tellement basse que la fonte est négligeable. En revanche, l'élévation de température de la planète provoque une augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère : les précipitations et le stock de glace augmentent sur la calotte. En résumé, les deux calottes auraient des contributions faibles et qui se compensent. En revanche, elles subissent toujours les conséquences de la déglaciation entamée voilà plus de 20 000 ans. À cause de cette déglaciation, les deux calottes auraient contribué à une élévation du niveau des mers atteignant cinq centimètres au xx^e siècle, bien supérieure à la contribution associée au seul changement climatique durant le xx^e siècle.

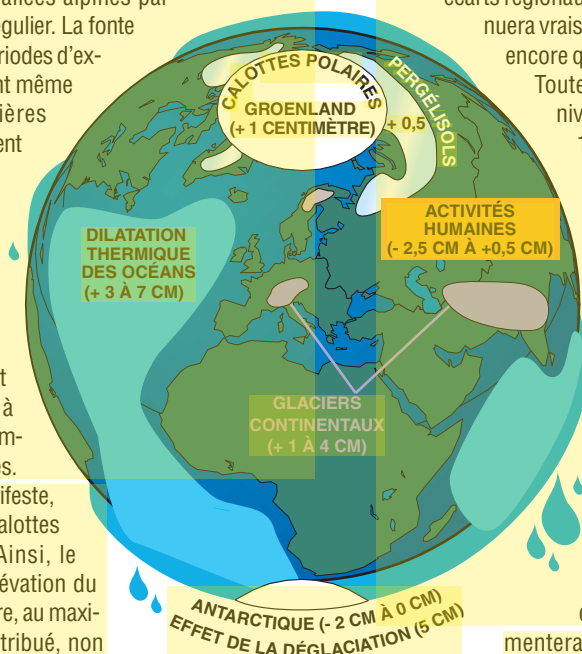
Une simple addition indique que la fonte des glaciers et des calottes ne peut expliquer l'augmentation du niveau des mers au xx^e siècle. D'où vient le reste ? Une partie de la glace stockée dans les sols gelés en permanence, les pergélisols, pourrait avoir fondu et avoir été évacuée vers l'océan. Ces pergélisols occupent 25 pour cent des terres dans l'hémisphère Nord, mais le contenu en eau de ces sols est faible : la fonte des pergélisols au xx^e siècle aurait contribué à moins de 0,5 centimètre.

D'autres contributions, liées à des activités humaines, telle l'agriculture, modifient le stockage d'eau sur les continents et les cycles d'évaporation. Cette contribution, mal connue, aurait représenté une baisse de un à deux centimètres par siècle. En fait, la contribution majeure à l'élévation du niveau des océans proviendrait de l'océan lui-même, par... dilatation ! L'eau se dilate avec la température et cette contribution atteint trois à sept centimètres en un siècle, soit un tiers de l'élévation totale estimée. Au total, l'évolution des glaciers, des calottes polaires et du pergélisol, la dilatation thermique des océans, et les stockages et déstockages d'eau sur les continents, toutes incertitudes confondues, peuvent expliquer l'élévation observée du niveau des mers au xx^e siècle.

Le réchauffement du climat qui est apparu au cours des dernières décennies va probablement se poursuivre et s'intensifier, avec des écarts régionaux considérables. Le niveau des mers continuera vraisemblablement à augmenter, mais on ignore encore quelles seront les régions les plus touchées.

Toutes origines confondues, une élévation du niveau des mers moyen global comprise entre 10 et 90 centimètres est prévue pour la fin du xxi^e siècle. Les glaciers, le Groenland et la dilatation thermique des océans auront sans doute une contribution positive. L'élévation du niveau des mers devrait s'accélérer à la fin du xxi^e siècle : même pour un réchauffement stabilisé à la fin de ce siècle, les glaciers pourraient disparaître presque totalement en moins de trois siècles, ce qui contribuerait à une élévation du niveau des mers de 50 centimètres. Si un réchauffement climatique, même modéré, persistait pendant plusieurs milliers d'années, le Groenland pourrait se réduire considérablement, voire même disparaître ! Le niveau des mers augmenterait alors de plusieurs mètres.

Christophe GENTHON, Catherine RITZ et Christian VINCENT, Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement



Contribution des divers facteurs identifiés à l'élévation du niveau des océans : elle aurait été de 10 à 20 centimètres au xx^e siècle.

Pétra, une capitale aux confins du désert

ROBERT WENNING

Longtemps tenus pour d'insignifiants imitateurs des Grecs, les Nabatéens sont à l'origine d'une civilisation arabe originale et prospère grâce au commerce de l'encens.

Les chevaux trottent nerveusement entre les parois rocheuses d'une gorge large de trois mètres et profonde de 70 mètres. Tout à coup surgit de l'ombre une façade monumentale taillée dans le roc par d'antiques artisans, éclairée par le soleil matinal. Indiana Jones suppose alors qu'elle abrite... L'Arche perdue.

Cette scène du film *Indiana Jones et la dernière croisade*, de Steven Spielberg, a rendu célèbre le site archéologique de Pétra, situé à 250 kilomètres au Sud d'Amman, la capitale de la Jordanie. L'ancienne métropole des Nabatéens attire aujourd'hui 1 500 touristes par jour, venus du monde entier admirer les gorges et les falaises qui jouxtent la vallée sèche et désertique de l'Araba, où passe actuellement la frontière entre la Jordanie et Israël. Sans doute espèrent-ils, eux aussi, découvrir l'un des trésors qu'une légende arabe récente place dans les tombes et dans les maisons creusées dans la roche.

Les Édomites sont les plus anciens occupants connus de la région. Du VIII^e au V^e siècle avant notre ère, ils dominèrent un territoire délimité à l'Est par le désert et à l'Ouest par l'Araba. Les Nabatéens leur succédèrent sur le site de Pétra et lui donnèrent le nom sémitique de *Requem* (la bigarrée), en raison de l'aspect multicolore des grès dont il est formé : blancs ou roses, ils sont veinés de jaune, d'ocre et même de bleu. La richesse légendaire des trésors enfouis explique que le site ait été quasi interdit aux Européens durant une bonne partie du XIX^e siècle. Ces vieilles ruines n'auraient d'ailleurs eu aucun intérêt pour les indigènes s'ils n'avaient cru qu'elles protégeaient d'anciens trésors, par quelque magie secrète ! Le premier Européen à braver l'interdiction fut le Suisse Johann Ludwig Burckhardt (1784-1817). Alors en mission pour le compte de l'Empire britannique, il se déguisa en Arabe, prit le nom de Cheikh Ibrahim et réussit à visiter Pétra en 1812. Dans son journal, il consigna ses premières impressions : «Un tombeau excavé, dont la situation et la beauté ne peuvent que faire une impression extraordinaire sur le voyageur qui vient de parcourir pendant une demi-heure un chemin d'accès si sombre qu'il semble presque souterrain... Les autochtones l'appellent Khaznet Firaoun, c'est-à-dire le château du pharaon, et prétendent qu'il s'agit d'une ancienne résidence princière. Sans doute s'agissait-il plutôt du tombeau d'un prince ; la richesse de

la ville capable d'élever un monument aussi impressionnant à la mémoire de ses souverains a dû être considérable».

L'espion britannique avait raison : la façade grandiose que l'on découvre à l'extrémité du Siq, une étroite faille rocheuse de 1,2 kilomètre de longueur, décorait autrefois un tombeau à trois chambres funéraires creusées dans le grès par des tailleurs de pierre alexandrins. La Khaznet Firaoun pourrait dater de 40 environ avant notre ère. Les habitants y ont peut-être inhumé le roi Malichos I^{er}, mort en -30. Quoi qu'il en soit, la plus grande chambre, au milieu, contenait sans doute, dans l'Antiquité, un sarcophage royal. Le précieux mobilier funéraire ayant attiré les pillards, la plupart des tombeaux de Pétra sont vides aujourd'hui.

La Khaznet Firaoun est sans conteste l'une des plus belles façades de Pétra. Avant de se sédentariser et de créer une ville, les Nabatéens habitaient dans des tentes. Le site qu'ils avaient choisi n'offrait en lui-même pas de source en eau pérenne, mais il présentait l'avantage d'être difficile d'accès, donc facile à défendre. Dès qu'une menace se présentait, ils se réfugiaient sur l'un des massifs rocheux dont la Pétra grecque tire son nom (en grec, Pétra signifie roche). Les archéologues pensent avoir identifié le «rocher fondateur», celui où les premiers pasteurs nomades se réfugiaient en cas de danger : il s'agirait de Umm al-Biyara, montagne qui domine le site au Sud-Ouest.

Le site de Pétra s'étend sur plusieurs kilomètres carrés que les archéologues s'efforcent de fouiller depuis 1929, recherchant les traces laissées par les habitants de l'ancienne cité. Ils ont découvert qu'elle était équipée de citernes alimentées par des canalisations qui assuraient l'approvisionnement en eau durant les mois d'été. Afin de prévenir les dégâts causés régulièrement par les flots des pluies hivernales, imprévisibles et torrentielles, les habitants de Pétra avaient même dû construire, à l'entrée du Siq, un barrage et un tunnel de dérivation afin d'éviter que les crues du wadi Mousa ne s'engouffrent dans le Siq (un wadi est un cours d'eau).

Les Nabatéens ne nous ont laissé ni textes littéraires ni annales royales. Nous ne disposons donc, pour les connaître, que des témoignages, en grec ou en latin, de quelques auteurs

1. SUR LE SITE où Pétra a été construite, les grès ont un aspect multicolore (ci-contre). Une façade monumentale taillée dans le roc (à droite) surgit de l'ombre quand on quitte le Siq, une faille qui mène à Pétra.