



LES CAHIERS DE L'UNIVERSITE DES LYCEENS

Quelle élévation du niveau des mers dans le cadre du réchauffement climatique ?

SEANCE DU 7 NOVEMBRE 2005

Avec Anny Cazenave, océanographe

Lycée des Métiers Le Garros (Auch, Gers)

Cette séance de l'Université des Lycéens a été organisée dans le cadre des Assises Régionales de la Recherche, de l'Innovation et du Transfert de Technologies, avec le soutien du Conseil Régional Midi-Pyrénées.

144 lycéens et enseignants y ont participé, issus de 4 classes de première S et d'une classe de Terminale S venus du lycée d'accueil, mais aussi du Lycée Polyvalent Alain Fournier, à Mirande et du Lycée agricole Beaulieu, à Auch.



L'UNIVERSITE DES LYCEENS

UNE EXPERIENCE PILOTE EN MIDI-PYRENEES

En France et en Europe, la régression des effectifs étudiants dans certaines filières scientifiques préoccupe les pouvoirs publics. Ce phénomène pose à moyen terme le problème du renouvellement des cadres scientifiques et techniques, des enseignants et des chercheurs. De plus, la faible inscription des sciences dans le champ de la culture générale risque de nuire au nécessaire débat démocratique sur les choix d'orientation de la recherche et de ses applications. Sur ces considérations, la Mission d'Animation des Agrobiosciences (MAA) a initié l'Université des Lycéens, à partir de la rentrée scolaire 2003.

La connaissance et la culture scientifiques au cœur des rapports entre la science et la société

La MAA, créée dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région Midi-Pyrénées, a pour vocation aux plans régional et national de favoriser l'information et les échanges sur les questions vives que pose la science dans la société, ainsi que de contribuer à éclairer la décision publique. Elle est à l'initiative de l'Université des Lycéens : une série de rencontres dans les établissements de Midi-Pyrénées, visant à rapprocher les chercheurs, les professionnels, les lycéens et leurs enseignants. Une démarche menée en partenariat avec le Conseil Régional Midi-Pyrénées, l'Académie de Toulouse et le Cercle Pierre de Fermat.

Faire lien et donner du sens

Les principaux objectifs de l'Université des Lycéens :

- Inscrire les sciences, les technologies et les techniques dans la culture générale afin de permettre aux jeunes de se forger un esprit critique,
- Contribuer à donner du sens aux savoirs scientifiques en montrant les passerelles existant entre les différentes disciplines, mais aussi les relations entre la science et le contexte économique et socioculturel d'une

société donnée, sans oublier le lien entre les savoirs et les métiers,

-Incarnant la science et la recherche, à travers le parcours de scientifiques venus à la rencontre des lycéens pour raconter la science et dialoguer.

Une question, une trajectoire, un champ disciplinaire

- La découverte d'un champ disciplinaire à travers la conférence d'un scientifique, qui aborde sa trajectoire individuelle, l'histoire de sa discipline, ses grands enjeux, ses questionnements, ses perspectives.

- La confrontation des approches : en contrepoint du conférencier, un second intervenant apporte le point de vue d'une autre discipline ou d'un secteur professionnel en lien avec les recherches présentées,

- Un dialogue avec les lycéens : à l'issue de ces exposés, une heure entière est consacrée au débat entre lycéens et intervenants

La diffusion des contenus

Chaque séance donne lieu à un « Cahier », restituant l'intégralité de la conférence et du débat, enrichie de notes explicatives et de ressources bibliographiques. Ces documents, mis en ligne et accessibles gratuitement sur le site de la MAA font l'objet de 4 000 à 5 000 téléchargements en moyenne chaque année.

La conférence

Quand la mer monte...

Il n'y a plus de doute : le niveau des mers augmente de plus en plus depuis le début du 20^{ème} siècle, et cette élévation semble s'accélérer depuis quelques années. A partir de quels instruments et quelles informations les scientifiques parviennent-ils à mesurer ce phénomène, au millimètre par an près ?

C'est ce qu'explique Anny Cazenave au cours de cette conférence où il est question de fonte des glaces polaires, de la dilatation des eaux océaniques et d'érosion des côtes.

Pour certaines régions du monde, situées à un mètre seulement au-dessus du niveau de l'océan, il y a de quoi avoir le mal de mer...

« Je vais vous parler des variations du niveau de la mer en liaison avec le réchauffement climatique actuel, dont vous avez certainement tous entendu parler. Depuis quelques décennies en effet, la Terre se réchauffe en raison de l'émission dans l'atmosphère de gaz dits à 'effet de serre' (gaz carbonique, méthane) causée par l'industrialisation, les transports etc. Ce réchauffement a plusieurs conséquences, dont la hausse du niveau des mers, sujet que je vais aborder aujourd'hui.

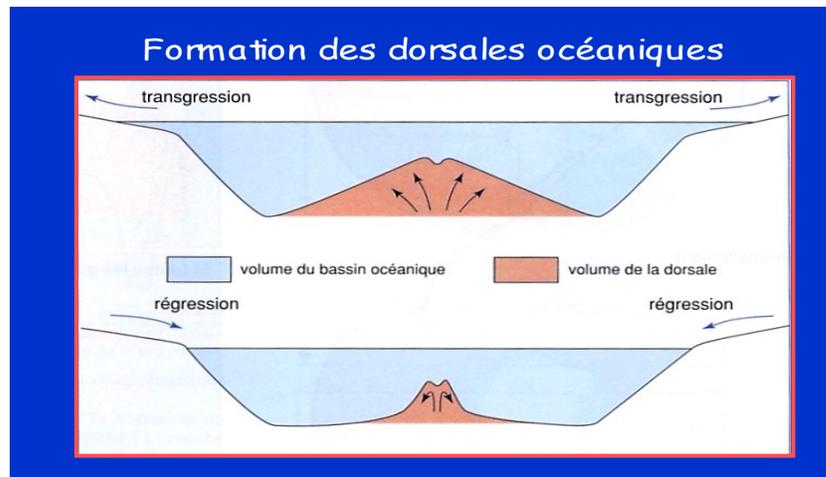
ANNY CAZENAVE

Chercheur et directrice adjointe du Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale (LEGOS, Observatoire Midi-Pyrénées) à Toulouse.

Membre de plusieurs structures internationales, notamment dans le domaine de l'évolution du climat, elle est l'auteur de très nombreuses publications scientifiques. Parallèlement, passionnée par la transmission des connaissances, Anny Cazenave a publié des ouvrages grand public dont *La Terre vue de l'espace* (Ed. Belin, 2004) : un livre dans lequel elle montre comment, à partir des satellites, on peut étudier la planète Terre sous plusieurs aspects, comme par exemple cartographier les fonds marins plus sûrement qu'en sillonnant les océans en bateau.

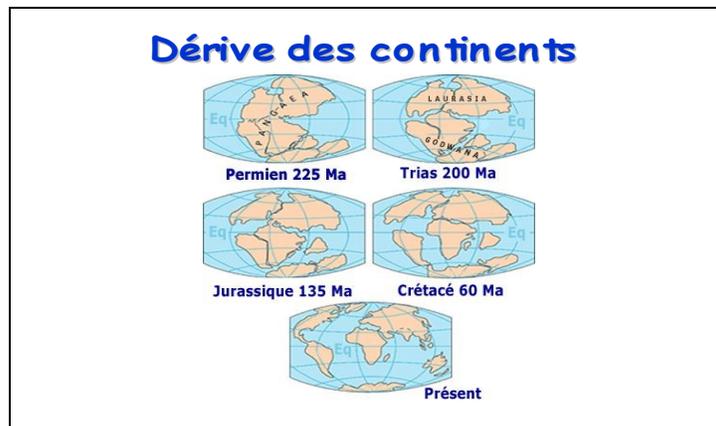
Des océans naissent, d'autres se ferment

Au cours de l'histoire de la Terre, le niveau de la mer a constamment fluctué, pour des raisons diverses. Il y a 100 millions d'années par exemple, à l'époque des dinosaures, le niveau de la mer était plus haut qu'aujourd'hui car le climat était plus chaud. Mais ce n'est peut être pas la seule raison. Sur des échelles de temps de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années, la dynamique interne de la Terre –et tout particulièrement le phénomène de tectonique des plaques, appelé aussi 'dérive des continents'- peut jouer un rôle important.



La surface de la terre est constituée de plaques rigides qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Ces mouvements lents mais incessants sont responsables de la formation de nouveaux océans (c'est le cas de l'Atlantique il y a environ 135 millions d'années) et de la disparition d'océans anciens. Les déplacements des plaques résultent de la formation de dorsales océaniques, structures allongées à la surface terrestre créées par la remontée de roches en fusion provenant du manteau terrestre. La formation des dorsales océaniques s'accompagne d'un rétrécissement des bassins océaniques et donc d'une remontée du niveau des mers (transgressions marines). A l'inverse, dans d'autres régions de la Terre, quand des océans se ferment, ce qui est actuellement le cas de la Méditerranée (vestige de l'immense océan ancien appelé Thétys), les bassins régressent et le niveau de la mer baisse.

Sur des échelles de temps plus courtes (dizaines de milliers d'années), la cause des fluctuations du niveau des mers est principalement liée à la croissance de grandes calottes glaciaires. Il y a environ deux millions d'années, la Terre est entrée dans un climat de type glaciaire/interglaciaire : de grandes glaciations se succèdent à peu près tous les 100 000 ans. Or la quantité d'eau sur la planète étant constante depuis à peu près un milliard d'années, de sorte que quand les calottes glaciaires croissent, la mer baisse. Ainsi, il y a 20 000 ans, le nord de l'Amérique et de l'Europe étaient recouverts par une couche de glace épaisse de 3 à 4 kilomètres! Le niveau de la mer était 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui. Il y a 18 000 ans, les glaces polaires ont commencé à fondre. Aujourd'hui dans l'hémisphère nord subsiste seulement la calotte groenlandaise.



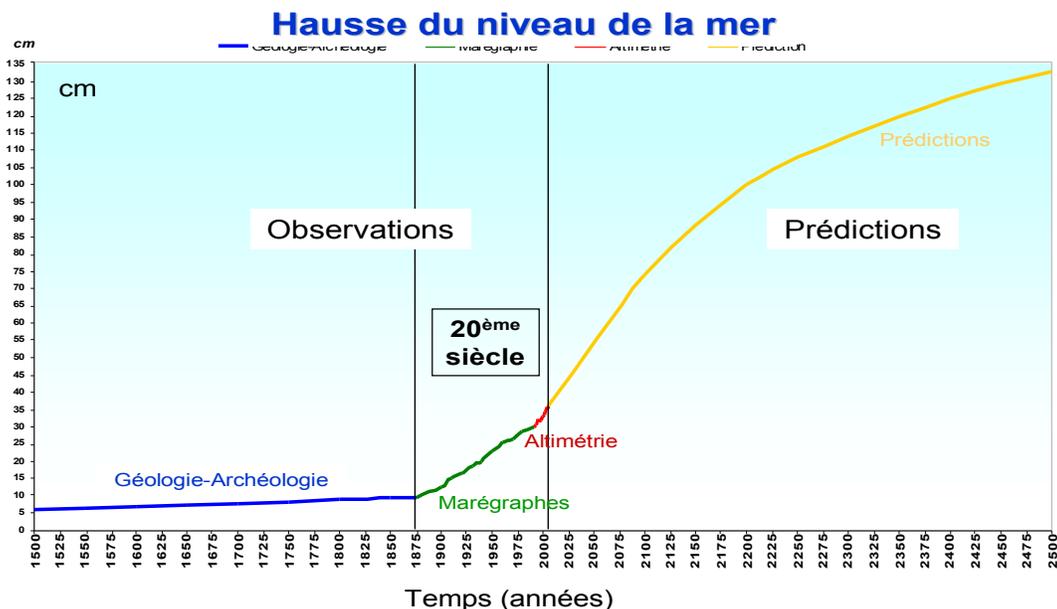
20 CENTIMETRES DE PLUS AU 20^{ème} SIECLE

Cela fait donc 18 000 ans que la mer remonte progressivement. En réalité, cette remontée ne s'est pas faite de façon totalement 'linéaire'. Il y a eu des épisodes de remontée très rapide, de l'ordre de un mètre par siècle. Il y a environ 6000 ans, le niveau de la mer a atteint son maximum et a peu varié au cours des quelques derniers millénaires. A la fin du 19^{ème} siècle, le niveau de la mer a commencé à remonter.

Au cours des 100 dernières années, cette hausse est d'environ 20 cm. Et quand nous faisons des projections pour le futur, nous prévoyons que le niveau de la mer devrait continuer à monter pendant plusieurs siècles. Vers 2100, ce niveau devrait être plus haut qu'aujourd'hui d'environ 50 cm en moyenne.

Comment avons-nous déterminé la hausse du niveau de la mer au cours du 20^{ème} siècle? Grâce à des instruments appelés « marégraphes », qui ont été développés il y a un peu plus d'un siècle et installés dans les ports pour mesurer les marées.

Aujourd'hui, des milliers de marégraphes sont installés le long des côtes continentales et sur quelques îles. Bien entendu, les marégraphes historiques installés depuis plusieurs décennies sont beaucoup moins nombreux. Mais leurs enregistrements sont très précieux car ils nous renseignent sur la hausse du niveau de la mer au cours du siècle passé. A New York, ou à Brest par exemple, la courbe du niveau de la mer est très nettement ascendante depuis environ 1900. A l'aide de ces observations, nous pouvons calculer une courbe moyenne à l'échelle de la Terre. Nous trouvons qu'en moyenne globale, le niveau de la mer s'est élevé à une vitesse d'environ 2 millimètres par an au cours du 20^{ème} siècle.



L'OCEAN VU DU CIEL

Depuis le début des années 1990, nous disposons de nouveaux 'outils' pour mesurer le niveau de la mer : les satellites. Contrairement aux marégraphes installés le long des côtes, les satellites survolent l'ensemble du domaine océanique et nous renseignent donc sur l'océan du large. Grâce à un instrument appelé 'altimètre', nous mesurons l'altitude du satellite au-dessus de la surface de la mer. Nous en déduisons ensuite la hauteur du niveau de la mer par rapport à une référence fixe (par exemple le centre de la Terre). En l'espace de quelques jours (environ 10 jours), un quadrillage complet de l'ensemble des océans est ainsi réalisé. De 10 jours en 10 jours, le satellite repasse toujours au-dessus des mêmes points, ce qui permet de suivre les variations du niveau de la mer à un endroit donné ; mais aussi, en moyennant les mesures collectées en 10 jours sur l'ensemble des océans, nous pouvons suivre l'évolution du niveau moyen global de la mer.

Grâce au satellite altimétrique Topex/Poseidon développé par le CNES (France) et la NASA (USA) –et lancé en 1992-, nous avons ainsi pu établir que, depuis début 1993, la mer a monté d'environ 3 mm par an. Valeur confirmée par le satellite Jason-1, successeur de Topex/Poseidon lancé en 2001.

Les satellites nous ont également fait découvrir un élément très intéressant : la mer ne monte pas du tout de manière uniforme sur l'ensemble de sa surface. Il y a des régions où elle monte plus, d'autres où elle peut même baisser. Cela signifie que certaines zones du monde sont beaucoup plus vulnérables que d'autres, notamment la partie ouest du Pacifique où la mer a monté dix fois plus vite qu'en moyenne, d'environ 15 à 20 centimètres en dix ans, ce qui fait beaucoup sur des échelles de temps aussi courtes.

UNE EAU QUI CHAUFFE SE DILATE

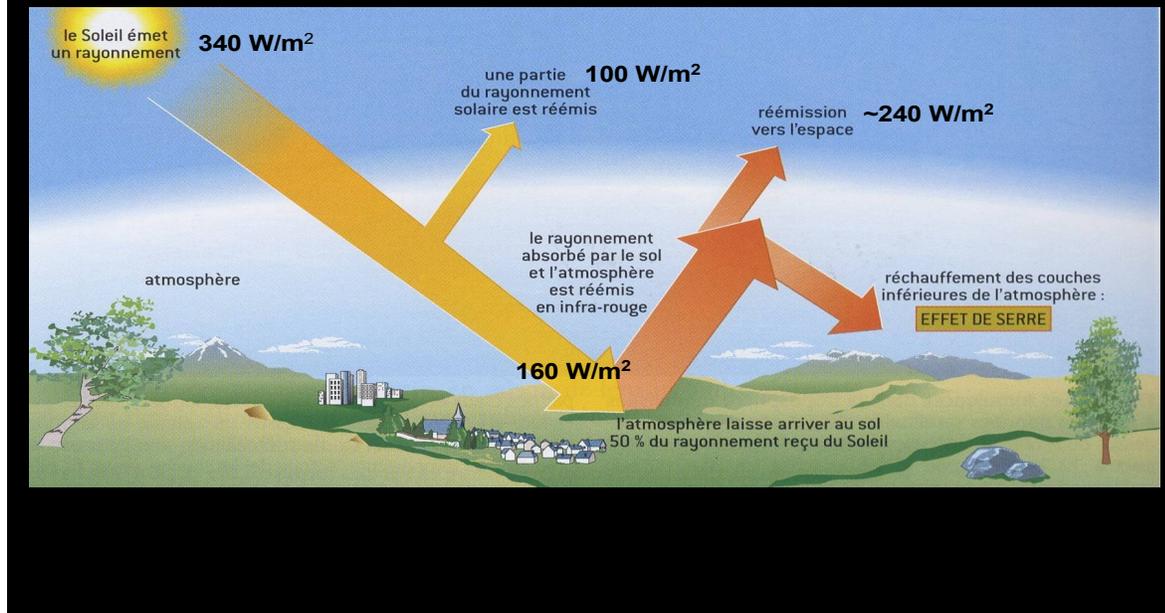
Pour beaucoup d'observateurs, la hausse importante du niveau de la mer constatée à partir du début du 20^{ème} siècle est liée à l'élévation significative de la température moyenne de la planète, de 0,6 à 0,7° C en moyenne globale.

Ce chiffre peut paraître faible mais il s'agit d'une moyenne globale. Ceci veut dire que dans certaines régions (en particulier les régions arctiques), la hausse de température est beaucoup plus importante. Pour mémoire, sachez qu'au moment de la dernière glaciation, il y a 20 000 ans, quand il y avait 4 km d'épaisseur de glace en Scandinavie et au Canada, la température moyenne de la Terre était inférieure à celle d'aujourd'hui de seulement 5°C...

Le réchauffement actuel de la planète est la conséquence de l'émission de gaz à effet de serre (principalement le gaz carbonique) dans l'atmosphère issus de la combustion des énergies fossiles - charbon, pétrole, gaz naturel - nécessaires aux activités humaines (industrialisation, agriculture, transports, consommation domestique).

Chaque année, environ 6 gigatonnes (une gigatonne = un milliard de tonnes) de gaz carbonique sont ainsi éjectées dans l'atmosphère. Sur ces 6 gigatonnes émises, 2 sont absorbées par l'océan, notamment par le phytoplancton qui en a besoin pour respirer, et 2 par la végétation terrestre qui a également besoin du gaz carbonique pour croître. Il en reste donc environ 2 dans l'atmosphère. C'est ce qui déséquilibre le bilan énergétique moyen de la planète.

Bilan radiatif de la terre et effet de serre



Qu'est-ce que le bilan énergétique de la planète ? Vous le savez sans doute, le Soleil émet un rayonnement dont le flux moyen annuel énergétique est de 340 watts par m^2 . Un tiers de rayonnement est directement réémis dans l'espace et les autres deux-tiers sont absorbés par la surface des continents et des océans. Ces surfaces réémettent un rayonnement infra-rouge qui devrait normalement repartir dans l'espace de manière à ce que le bilan total soit en équilibre. Or les gaz à effet de serre agissent comme une sorte d'écran, empêchant le rayonnement émis par la surface terrestre de repartir dans l'espace. Ils en absorbent une partie puis à leur tour réémettent du rayonnement infrarouge dans toutes les directions, ce qui contribue à un réchauffement supplémentaire de la planète. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

L'effet de serre est certes utile pour que la Terre emmagasine un peu de chaleur – sans effet de serre, la planète serait trop froide pour que la vie se développe. Mais ce dont nous parlons aujourd'hui est un effet de serre additionnel qui fait augmenter la température moyenne de la Terre. Tous les compartiments du système climatique se réchauffent : atmosphère, surfaces

continentales, océans. Or, quand l'océan se réchauffe, il se dilate. Vous savez en effet que si vous chauffez de l'eau, ou n'importe quel fluide, son niveau augmente. Grâce à des observations sur la température de la mer, collectées depuis plusieurs dizaines d'années par des bateaux et des bouées jusqu'à environ mille mètres de profondeur, on a pu déterminer précisément la hausse de la température des océans. On a pu aussi calculer de combien l'océan s'est dilaté. Ainsi pour les cinquante dernières années en moyenne, on constate que 25% de la hausse de ce niveau est due à la dilatation thermique de l'océan. Mais sur les dix dernières années, cette dilatation thermique explique environ 50% de l'élévation des mers.

LA FONTE DES GLACES

Qu'en est-il des 50% restant ? Le réchauffement des mers n'explique en effet qu'une partie de leur élévation. L'autre partie est due à la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires – l'Antarctique et le Groenland. Vous avez dû entendre parler de la régression mondiale des glaciers de montagne : la Mer de Glace à ChamoniX est un exemple. On observe ce recul dans presque toutes les régions du monde.

Les glaciers de montagne sont très sensibles à l'élévation de température de la planète et réagissent très rapidement au réchauffement. Les calottes polaires, elles, sont certes moins sensibles à l'augmentation des températures de l'air du fait de leur masse. Mais elles perdent aussi une partie de leur volume de glace. Ainsi, au Groenland, la région côtière de la partie Sud de la calotte a fondu au cours des dernières années. En plus du phénomène de fonte, une partie de la glace est déversée dans la mer par les glaciers côtiers dont la vitesse de déplacement vers la mer s'accélère de façon vertigineuse depuis quelques années.

En Antarctique, on observe le même phénomène dans la partie Ouest du continent. En revanche, la partie Est bouge peu. Certaines observations suggèrent même une accumulation de glace en Antarctique de l'Est. Ceci n'est pas du tout contradictoire avec le réchauffement climatique.

En effet dans certaines régions du globe, le réchauffement climatique s'accompagne d'une évaporation accrue de l'océan et d'un accroissement des précipitations. C'est ce qui se passe au centre de l'Antarctique qui enregistre une augmentation des précipitations neigeuses et donc un accroissement de la calotte dans cette région. L'Antarctique est donc aujourd'hui à peu près en équilibre et contribue peu à la hausse du niveau des mers. Au total, durant la dernière décennie, la fonte des glaces contribue pour à peu près 1,2 mm par an à la hausse du niveau des mers.

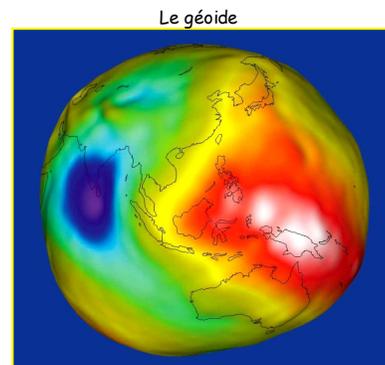
FLEUVES, LACS ET NAPPES SOUTERRAINES

Il existe une autre contribution potentielle à la hausse du niveau de la mer : c'est l'apport d'eau à l'océan venant des eaux continentales. A cause du cycle global de l'eau, celle-ci est en permanence échangée entre l'océan, l'atmosphère et les réservoirs continentaux.

Ces échanges se font via les phénomènes d'évaporation, de précipitation et d'écoulement dans les réseaux hydrographiques. Une conséquence est que les stocks d'eau sur les terres émergées (dans les sols, les nappes souterraines, les fleuves, les lacs et le manteau neigeux) varient dans le temps. Or un excès d'eau sur les continents correspond à un déficit

d'eau dans les océans et inversement - le réservoir atmosphérique contient très peu d'eau ; de plus le temps de résidence de l'eau atmosphérique est très court, de l'ordre d'une semaine seulement.

Pour estimer la contribution des eaux continentales au niveau de la mer, il faudrait avoir des observations des stocks d'eau à l'échelle globale. Or de telles observations n'existent pas. D'où une grande incertitude sur cette contribution. Depuis peu, nous bénéficions de nouvelles observations par satellite nous renseignant sur les variations des stocks d'eaux continentales.. Il s'agit d'une mission spatiale, GRACE, lancée en 2002 qui mesure les variations de la gravité terrestre. Les masses de la Terre - le manteau, le noyau, la surface...- et donc sa gravité, ne sont en effet pas réparties de manière uniforme, avec, entre autres, des conséquences sur la forme de la Terre qui n'est pas vraiment ronde : elle comporte des creux et des bosses. La répartition complexe des masses internes correspondent au champ de gravité permanent. A celui-ci se superpose une composante variable dans le temps -et géographiquement- résultant des redistributions de masse dans les enveloppes superficielles de la Terre (océans, terres émergées) en liaison avec le cycle de l'eau. En mesurant cette composante variable du champ de gravité avec les observations de la mission GRACE, on en déduit les variations des stocks d'eaux continentales au cours du temps et l'impact de ces variations sur la montée du niveau de la mer. Des résultats très récents suggèrent une contribution petite mais non négligeable sur cette élévation.



INONDATIONS ET RECU DES CÔTES

L'accélération de la hausse du niveau des mers mise en évidence par les satellites altimétriques depuis 1993 n'est peut-être rien d'autre qu'une simple fluctuation dans l'histoire de l'océan.

En revanche, pour cette période très récente, nous en connaissons très précisément les causes. Reste à savoir ce que nous pouvons dire de l'évolution dans le futur. Pour cela, en l'absence d'informations, nous utilisons des modèles climatiques. Ces modèles calculent l'évolution des paramètres climatiques (température de la surface terrestre, température de l'océan, précipitations, niveau de la mer, etc.) dans le futur en fonction de différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, de développement industriel des pays du sud et d'accroissement de la population mondiale. Pour ce qui concerne le niveau de la mer, les modèles prédisent une poursuite de la hausse du niveau de la mer pour les prochains siècles.

A l'horizon 2100, cette hausse devrait être de 50 cm en moyenne, par rapport au niveau actuel. Mais ce chiffre correspond très certainement à une limite inférieure. En effet, nous ne savons pas encore modéliser le comportement futur des calottes polaires. Celles-ci contiennent pourtant assez de glace pour élever le niveau de la mer de mètres au cours des prochaines décennies si la perte de masse de glace des régions côtières enregistrée ces dernières années s'accélérait .

Conséquences : les populations vivant dans les régions basses du globe, notamment sur les atolls, risquent d'être touchées par des inondations de plus en plus fréquentes et par l'érosion des côtes. De nombreuses zones seraient ainsi menacées si la mer montait de 50 cm à 1 mètre. Comme 50% de la population mondiale vit à moins de 100 km de la mer, cela concerne des millions d'êtres humains. Un exemple de région menacée est le delta du Gange où la densité humaine est très forte et l'altitude des terres émergées très basse ».

Élévation du niveau de la mer et érosion des côtes



Questions et Réponses

Tsunamis, cyclones et Gulf Stream...

Entre la récente actualité - cyclone aux Etats-Unis, tsunami dans le Pacifique – les inquiétudes légitimes en terme de réchauffement climatique et la simple curiosité, lycéens et enseignants avaient beaucoup de questions. Certaines d'entre elles témoignaient d'ailleurs, comme l'a noté Anny Cazenave à la fois surprise et amusée, d'un excellent niveau d'information sur ce sujet de société. Morceaux choisis de ce débat.

Une question en lien avec l'actualité : est-ce que les tsunamis ont été vus par satellite ?

Anny Cazenave : Oui en effet. L'onde du tsunami du 26 décembre 2004 dans l'océan indien a été vue par le satellite altimétrique Jason-1. Celui-ci a mesuré l'amplitude de l'onde, de 50 cms à 1 mètre en pleine mer, et son évolution. Ces mesures ont servi à améliorer les modèles de propagation des ondes de tsunami, modèles utilisés pour les alertes aux populations.

Vous dites que l'émission de gaz à effet de serre entraîne par leur action une augmentation du niveau des mers. Dans le cas d'une diminution voire d'un arrêt d'émission de ces gaz, le niveau des mers continuerait-il à augmenter ?

C'est parce qu'il y a émission de gaz carbonique que la température de la planète augmente. Mais pas seulement la température de l'air. L'océan s'est également beaucoup réchauffé depuis cinquante ans. A cause de la dilatation thermique de l'eau, le niveau de la mer a monté. Même si on cessait aujourd'hui toute émission de gaz à effet de serre, la mer continuerait à monter pendant plusieurs siècles. Parce que la chaleur emmagasinée dans l'océan au cours des dernières décennies est transportée par les courants océaniques profonds, celle-ci ne sera que très lentement restituée à l'atmosphère.

Le réchauffement va-t-il significativement modifier les climats ?

Oui. D'ailleurs, nous constatons déjà cette modification. La plupart des scientifiques en est convaincue. Le changement climatique ne concerne pas que la température mais bien d'autres paramètres : le régime des pluies, la fréquence des ouragans, la fonte du Groenland, la fonte de la banquise dans l'Arctique ... Ces vingt dernières années, sa surface a régressé de 40 %. Les conséquences du réchauffement climatique sont très variables d'une région à l'autre du monde. Elles sont plus importantes dans les régions arctiques en raison d'un effet de rétroaction positive due à la fonte des glaces

Même si on freine l'émission de gaz à effet de serre, il reste toujours des poches de méthane sous la glace. Or si la glace fond, on peut penser que cela libèrera ce gaz...

On appelle cette glace le permafrost (un sous-sol gelé en permanence, au moins pendant deux ans). Et vous avez tout à fait raison d'évoquer ce problème, car le méthane est un autre gaz à effet de serre extrêmement dangereux. Actuellement, dans l'océan, notamment sur les marches continentales et en Sibérie, du méthane se trouve piégé sous forme solide. Si ce méthane solide passe à l'état gazeux du fait du réchauffement, sa libération dans l'atmosphère aurait des conséquences que personne n'est encore capable de prédire.

On dit que la fonte de la calotte glaciaire diminuerait la concentration de sel dans les océans et entraînerait alors un changement des courants marins. C'est vrai ?

Vous êtes tous drôlement calés sur le sujet ! Effectivement, c'est une autre préoccupation des climatologues: l'apport d'eau douce provenant de la fonte de la banquise et du Groenland fait baisser la salinité de l'océan arctique. Or c'est dans cette région que plongent chaque hiver les eaux froides salées (donc denses). Ce phénomène est le moteur de la circulation à grande échelle dans l'océan, dont le Gulf Stream est une des branches superficielles qui transporte vers le nord la chaleur des océans tropicaux. L'apport d'eau douce dans l'Arctique pourrait empêcher la plongée des eaux froides et ralentir la circulation thermohaline. Le Gulf Stream ne remonterait plus autant vers le nord.

En cas de réchauffement, le climat de l'Europe pourrait donc paradoxalement se refroidir, à un horizon assez lointain. C'est un sujet de recherche en cours, pour lequel nous n'avons pas encore de certitudes.

Dans le cadre de cette élévation du niveau des mers, quels sont les risques pour les Pays-Bas ?

J'y vais bientôt, justement ! Toute une partie des Pays-Bas se situe sous le niveau de la mer. Les Hollandais ont donc construit tout un système de digues pour se protéger d'une hausse du niveau de la mer. Si, actuellement, la partie Est de l'Atlantique ne monte pas de manière considérable, d'ici une à plusieurs centaines d'années, cela pose un réel problème.

ce qui est beaucoup plus inquiétant à plus court terme - les prochaines décennies - ce n'est pas cette hausse graduelle, mais la fréquence accrue des événements extrêmes. Les ondes de tempêtes par exemple. Les îles basses du Pacifique, telles que l'Archipel de Tuvalu, qui culminent à un ou deux mètres au-dessus du niveau de la mer, sont régulièrement soumises à des inondations catastrophiques. Dans ces régions, ce n'est pas seulement la montée graduelle de la mer qui est en cause, mais aussi une fréquence plus grande de grosses tempêtes, associées à des vagues de plusieurs mètres.

Un autre exemple est la Nouvelle-Orléans, submergée suite à la rupture de digues lors du cycle Katrina.

Parallèlement à l'augmentation de la teneur en CO2 dans l'atmosphère, on observe une acidification des océans. Est-ce dangereux pour sa biodiversité ?

Concernant l'acidification, effectivement, nous avons mesuré cette augmentation. Je connais mal les conséquences sur la biodiversité, mais je peux imaginer que cela a un impact sur les espèces marines. Une autre conséquence concerne le stockage du carbone dans l'océan. Si l'océan devient plus acide – et on commence à l'observer – il perd de sa capacité à absorber le carbone, ce qui amplifie le réchauffement. Il s'agit d'un exemple d'emballement du système climatique. Il en existe bien d'autres.

La déforestation amplifie-t-elle aussi ce bilan de carbone ?

Absolument. Car la végétation est, elle aussi, un puits de carbone : elle en absorbe une partie. Donc la régression de la végétation fait qu'une plus grande quantité de carbone reste dans l'atmosphère.

La France est-elle un pays qui émet beaucoup de gaz à effet de serre en comparaison avec d'autres pays industrialisés ?

De mémoire, je crois qu'environ 80% de son énergie est d'origine nucléaire. Elle utilise donc peu d'énergie fossile, contrairement aux Etats-Unis. On peut noter par ailleurs que les pays européens consomment trois fois moins d'énergie que les Américains. Il me semble qu'il y a là l'influence de l'éducation des populations pour qu'elles changent leur comportement. Nous faisons de plus en plus attention à économiser l'énergie et nous faisons des progrès sur cet aspect.

Sur quoi portent plus précisément vos travaux ?

J'ai abordé différents sujets depuis que j'ai commencé ma carrière de chercheur dans le domaine des sciences de la planète.

J'ai fait ma thèse sur la rotation de la terre et sur les raisons pour lesquelles elle est irrégulière. Puis, j'ai étudié l'intérieur de la planète, ses structures, leurs mouvements etc. J'ai également passé du temps à étudier la gravité de la Terre et les raisons pour lesquelles notre planète n'est pas vraiment ronde. Depuis quelques années, toujours en utilisant les données des satellites, je m'intéresse au sujet que je vous ai exposé aujourd'hui. Parallèlement, je m'occupe d'un autre sujet, assez nouveau : l'utilisation des observations par satellite pour étudier le cycle de l'eau. Par exemple, comment varient les stocks

d'eau sur les continents, en particulier dans les nappes souterraines.

Y a-t-il, pour les jeunes, des métiers d'avenir dans la recherche ?

Le métier de chercheur est un métier passionnant. Je

considère d'ailleurs qu'il n'y a pas un domaine plus intéressant qu'un autre. Si on a la vocation d'être chercheur, quelque soit le sujet qu'on aborde, on est forcément guidé par la passion de la découverte.

Le seul problème de ce métier, c'est qu'il n'y a peu postes en France dans les grands organismes de recherche. En revanche, les disciplines scientifiques utilisées pour la recherche (physique, chimie, mathématiques, techniques spatiales, biologie, etc.), sont aussi très utiles dans différents secteurs d'applications utilisant les technologies de pointe.

Pour en savoir plus

Les livres

La Terre vue de l'espace, de Anny Cazenave et Didier Massonet. Ed.Belin. Collection « Pour la Science ». 2004.

Un beau livre, qui aide à comprendre comment fonctionne la Terre grâce aux observations des satellites. Où l'on apprend que la Terre n'est pas si ronde, où l'on ausculte son cœur, où l'on « voit » les fonds marins, les ressources en eau, les effets de la pollution et les nombreux phénomènes liés au climat.

Jusqu'où la mer va-t-elle monter ? de Roland Paskoff. Ed. Les Petites Pommes du Savoir. 2004.

Un petit ouvrage à la portée de tous, écrit par un géographe spécialiste du littoral, sur les raisons de la montée des mers, les prévisions et les conséquences possibles, les solutions suggérées pour endiguer ce problème.

2050, rendez-vous à risque, de Adolphe Nicolas. Ed.Belin. 2004

Un livre au titre évocateur d'ouvrages de science-fiction, et que recommande Anny Cazenave. Son auteur, un grand géologue spécialisé dans la compréhension de la dynamique terrestre, y aborde toutes les grandes préoccupations concernant l'avenir proche de notre planète : le réchauffement climatique, la pénurie du pétrole, l'environnement, la pression démographique... Un ouvrage illustré et très accessible.

Chroniques du ciel et de la vie, de Hubert Reeves. Editions du Seuil. 2005.

Rassemblant les chroniques que fait Hubert Reeves chaque samedi sur France Culture, ce livre aborde, en une série de courts chapitres, une foule de sujets liés aux problèmes environnementaux. Depuis les pluies acides jusqu'au gaz carbonique en passant le niveau de la mer et le Gulf Stream.

Sur Internet :

<http://www.legos.obs-mip.fr> Le site du laboratoire de Anny Cazenave, présentant les recherches que mène son équipe et qui fait le point sur les connaissances actuelles en matière de variations du niveau moyen des mers.

<http://www.ifremer.fr> Le site de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, qui comporte des dossiers entre autres sur l'environnement littoral et l'océan en mouvement.

<http://www.ipev.fr> L'Institut Polaire Français présente les régions polaires et les recherches qu'il y effectue.

<http://www.ipgp.jussieu.fr> L'Institut de physique du globe de Paris a notamment une mission d'observation des phénomènes naturels et de transmission des savoirs. De nombreuses recherches y sont menées sur la Terre physique comme sur ses enveloppes fluides, dont les mers.

<http://fr.wikipedia.org> Un dossier solide sur le niveau de la mer, réalisé par cette encyclopédie libre. Avec de nombreux liens vers d'autres chapitres, des définitions, la chronologie des variations...