

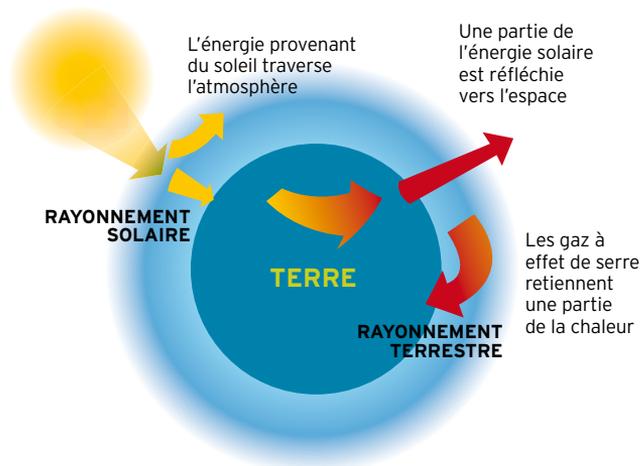


CHANGEMENTS CLIMATIQUES

HAUSSE DU NIVEAU DES MERS

Comprendre et anticiper

LA TERRE SE RÉCHAUFFE ET LE CLIMAT SE DÉRÈGLE



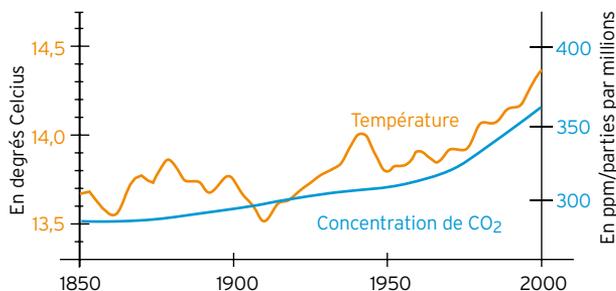
L'EFFET DE SERRE

L'effet de serre est un phénomène naturel. Les gaz à effet de serre (GES) comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, etc., retiennent une partie de la chaleur solaire dans l'atmosphère. Sans cet effet de serre, il ferait -18°C sur la planète et toute vie serait impossible.

TROP DE GES AUGMENTE L'EFFET DE SERRE

Depuis la révolution industrielle, on constate une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, issus principalement des transports, de l'agriculture, de l'habitat, de la production d'énergie ou de l'industrie.

Résultat : depuis 1870, notre planète s'est réchauffée en moyenne de 0,8°C. En suivant la tendance actuelle, la planète pourrait se réchauffer jusqu'à 6,4°C d'ici à 2100¹.



Évolution des concentrations de CO₂ et des températures moyennes depuis 1850¹.

1 - Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) .

DES IMPACTS BIEN RÉELS

Aux quatre coins du globe, ces dérèglements climatiques ont et auront **des conséquences importantes pour les populations**: raréfaction de l'eau douce, modification des productions et rendements agricoles, extension des zones arides, extinctions et migrations d'espèces, développement de maladies, submersion d'îles et de côtes, acidification de l'océan, grands exodes climatiques, etc.



Sécheresses



Canicules



Fortes pluies



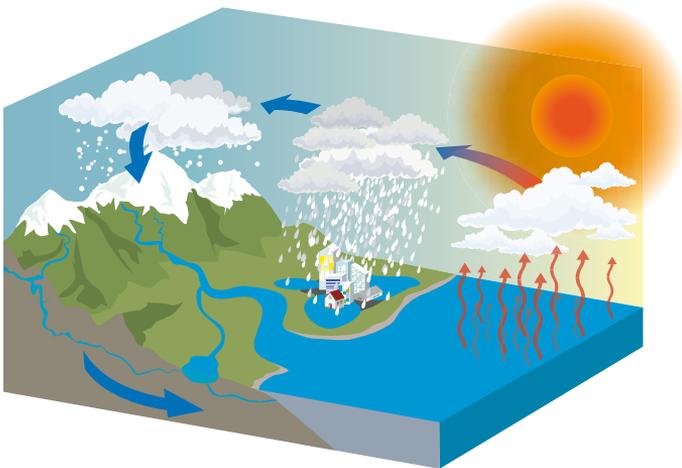
Fonte de la banquise



Fonte des glaciers terrestres



Hausse du niveau de la mer



Le parcours de l'eau sur Terre

L'eau s'évapore des mers ou du sol pour former les nuages. Ceux-ci « précipitent » sous forme de neige ou de pluie. Cette eau peut alors ruisseler vers les cours d'eau ou pénétrer dans le sol pour rejoindre les nappes souterraines, qui à leur tour, alimentent les cours d'eau, etc.

LE CYCLE DE L'EAU S'EMBALLÉ

Avec l'augmentation des températures, le circuit naturel de l'eau est perturbé. L'eau s'évapore en plus grande quantité (occasionnant des sécheresses) et retombe lors d'épisodes de pluie plus forts. Les importantes quantités d'eau ont davantage tendance à ruisseler directement vers les cours d'eau plutôt que de s'infiltrer dans les sols. Dans ces conditions, le niveau des nappes d'eau souterraines peine à se reconstituer.

COMPRENDRE CES PHÉNOMÈNES

La planète est recouverte aux deux tiers par de l'eau. Le niveau des mers a très peu varié depuis les trois derniers millénaires. Mais depuis la fin du XIX^e siècle, on constate une élévation accélérée.

POURQUOI LE NIVEAU DE LA MER MONTE-T-IL ?

Cette hausse peut s'expliquer principalement par deux phénomènes, tous deux intimement liés au réchauffement global de la planète :



► La dilatation thermique

Sous l'effet de la hausse des températures, l'eau des mers se dilate et occupe naturellement plus de volume.



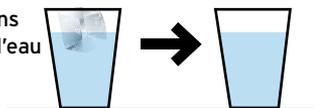
► Fonte des glaciers

En fondant, les glaces qui se situent sur la terre (glaciers et calottes) déversent leur eau dans les mers, ce qui en augmente le niveau.

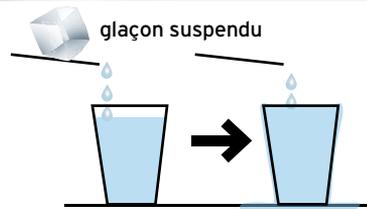
GLACE DE MER CONTRE GLACE DE TERRE

On distingue les **glaces terrestres**, constituées d'eau douce (glaciers de montagne, calotte glaciaire recouvrant le Groenland et l'Antarctique) et les **glaces d'eau de mer** flottantes (banquise de l'Arctique). Elles n'ont pas le même impact sur le niveau de la mer car lorsque la banquise fond, selon le principe du glaçon, le niveau moyen de la mer n'augmente pas. En revanche, **si un glacier terrestre fond, son volume d'eau s'ajoute à celui de la mer**, et fait donc monter son niveau.

glaçon dans
un verre d'eau



Le niveau de l'eau ne bouge pas

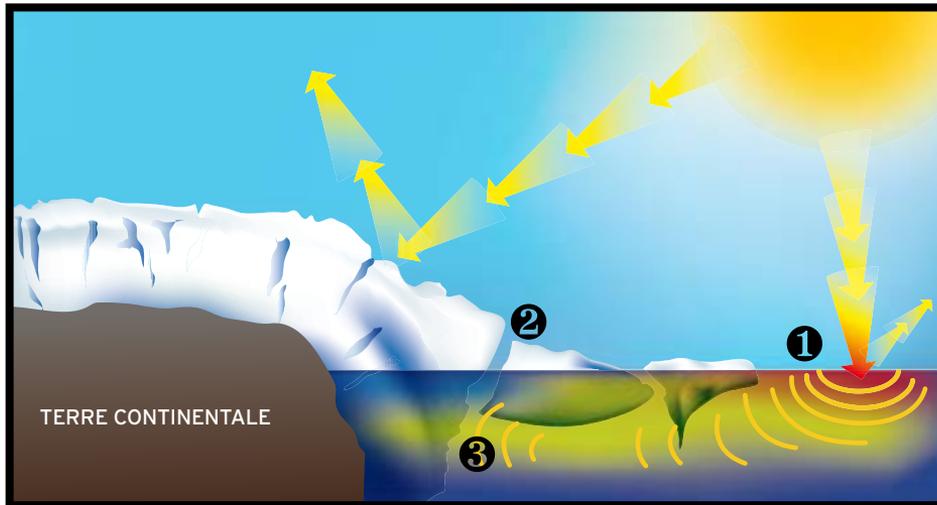


Le verre déborde

Les glaces terrestres influent donc directement la hausse du niveau de la mer. Sur Terre, la plupart de ces glaces d'eau douce se trouve sur l'Antarctique (91,4%), sur le Groenland (8%) et dans les glaciers de montagne (0,6%). Si ces glaces venaient à fondre totalement, le niveau de la mer augmenterait théoriquement **d'environ 80 mètres²**.

CES PHÉNOMÈNES QUI AGGRAVENT LA FONTE DES GLACIERS

La hausse récente et rapide des températures engendre des phénomènes qui contribuent à aggraver encore la situation :



- 1** **L'effet d'albédo**
 Les océans (surfaces sombres) absorbent les rayons solaires et se réchauffent alors que les glaciers (surfaces claires) les renvoient vers l'atmosphère. Avec la fonte des glaces, ces surfaces claires réfléchissantes vont se réduire, et les surfaces sombres absorbantes vont augmenter.
- 2** **L'effet de « cale »**
 En fondant, la glace flottante qui entoure les calottes polaires ne forme plus d'appui pour retenir la glace continentale qui a tendance à glisser vers la mer. Une fois tombés dans l'eau, ces gigantesques blocs de glace font monter le niveau de la mer.
- 3** **L'effet « bain chaud »**
 Les glaciers du Groenland ou de l'Antarctique sont entourés de mers en réchauffement. Les extrémités de ces glaciers, souvent immergés dans l'eau, sont donc soumises à une fonte plus rapide.

LA HAUSSE DU NIVEAU DES MERS S'AMPLIFIE

LA MER A MONTÉ AU COURS
DU XX^E SIÈCLE

Il y a 21 000 ans, lors de la dernière ère glaciaire, le niveau des mers était de 130 mètres inférieur à celui que nous connaissons aujourd'hui³, une grande partie de l'eau étant stockée sous forme de glace. Ce niveau a ensuite progressivement augmenté jusqu'à se stabiliser, il y a environ 3 000 ans et a très peu varié jusqu'au XIX^e siècle.

En revanche, depuis 1880, le niveau de la mer a de nouveau augmenté (+21 cm⁴) à un rythme 5 fois supérieur à celui des derniers millénaires. Et la hausse s'amplifie : **depuis 1993, la mer s'élève de 3,2 mm par an³.**



© Mithygrity/SWC.HU

LES OCÉANS NE SONT PAS PLATS

La hausse du niveau des mers n'est pas ressentie partout de la même manière. On constate des différences de niveaux qui peuvent être liées, entre autre, à :

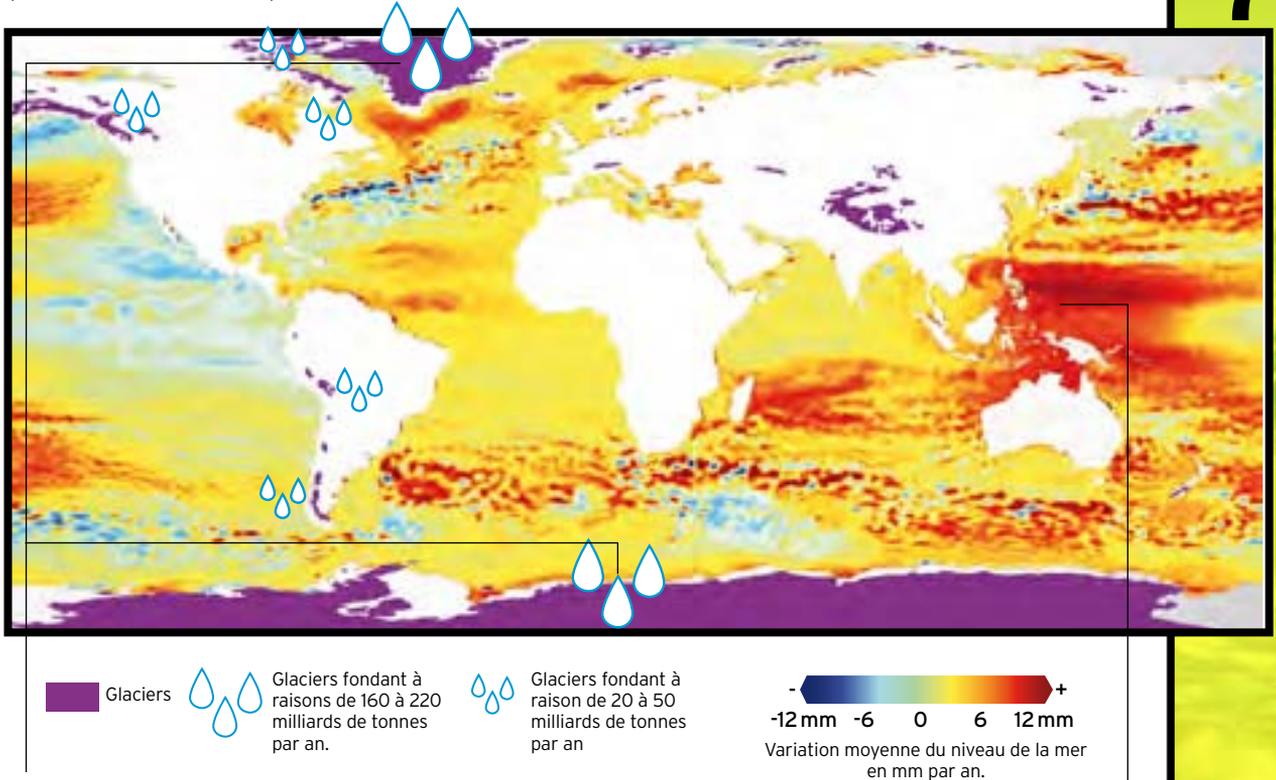
- **La température et la salinité de l'eau** : plus l'eau est froide et salée, et plus elle est dense et « s'enfonce ».
- **La localisation** : à l'embouchure d'un fleuve, le niveau de l'eau est naturellement supérieur car l'eau s'y déverse en flots continus (deltas, estuaires).
- **La pression atmosphérique** « appuie » plus ou moins sur l'eau (1 cm par 1 mbar). Ainsi, entre une zone soumise à un anticyclone (1 050 mbar) et une autre soumise à une forte dépression (950 mbar) la différence du niveau moyen de la mer atteint 1 mètre.
- **L'irrégularité de la gravité** s'exerce différemment selon la surface terrestre.
- **Les mouvements de marées**, par l'effet conjugué des forces d'attraction de la lune et du soleil.

3 - Source : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC).

4 - Source : Church & al. 2011.

ÉLÉVATION MONDIALE DU NIVEAU DES MERS ENTRE 1993 ET 2010 et fonte des glaciers entre 2003 et 2010.

(Source : ESA et Jacob & al. 2012.)



ANTARCTIQUE ET GROENLAND

Les terres d'Antarctique et du Groenland abritent 98% des réserves totales d'eau douce du monde. Jusqu'à présent, l'impact de leur fonte sur la hausse du niveau des mers était modéré et moins important que l'effet de la dilatation thermique. Mais récemment, cette tendance s'est inversée à cause de la rapide augmentation des températures moyennes dans ces deux zones. Entre 2003 et 2010, la fonte du Groenland a triplé, sa contribution à l'élévation du niveau de la mer passant de 0,21 mm/an à 0,61 mm/an⁵. Désormais, ces territoires fondent à raison de 387 milliards de tonnes de glaces par an, en 2010 (soit plus de 4 lacs Léman!). Et cette fonte s'accélère chaque année.

LES ÎLES DU PACIFIQUE TROPICAL

Dans la région Pacifique, l'altitude des terres dépasse rarement 5 mètres au dessus du niveau de la mer. Ces îles sont donc très vulnérables à la montée des eaux. Or, c'est dans cette zone du monde que la hausse du niveau de la mer est la plus forte: depuis 60 ans, à Funafuti, la capitale de Tuvalu, la mer s'est élevée de 30 cm soit 1,5 fois plus que la moyenne mondiale⁶. Cette vulnérabilité s'explique par plusieurs facteurs:

- ces territoires se trouvent dans des zones d'affaissement de la croûte terrestre;
- d'une année sur l'autre, en fonction des phénomènes climatiques El Niño (eaux chaudes) ou La Niña (eaux froides), les hausses peuvent atteindre entre 20 et 30 cm par rapport aux niveaux normaux.

5 - Source : Jacob & al. 2012.

6 - Source : Becker & al. 2012.

DES TERRITOIRES EN DANGER

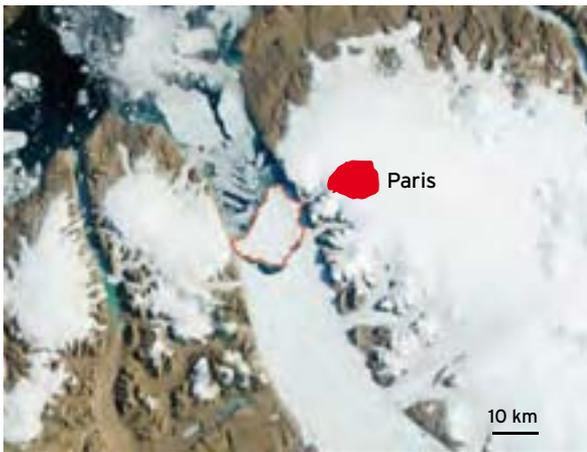


LE GROENLAND FOND ET SE DISLOQUE

À l'été 2012, le Groenland a montré des signes de fonte sur l'intégralité de sa surface alors qu'habituellement, même au plus fort de l'été, seule la moitié du territoire est concernée.

Quelques jours auparavant, un bloc de glace de 120 km² s'était décroché du glacier de Peterman, et ce 2 ans après qu'un premier iceberg (de 260 km², soit plus de deux fois la taille de Paris) se soit désolidarisé du glacier.

À titre de comparaison, le volume d'eau de ce gros iceberg équivalait à la consommation d'eau potable des États-Unis pendant 120 jours.



Iceberg se décrochant du glacier de Peterman à l'été 2012.

© National Aeronautics and space administration (NASA)



Langue de terre entre le lagon et l'océan sur l'atoll de Funafuti, dans l'archipel de Tuvalu.



© Christopher Horner/AlcotaTuvalu

TUVALU AFFLEURE AU NIVEAU DE L'EAU

L'archipel de Tuvalu est formé de 9 confettis de terre au milieu de l'océan Pacifique. Ce pays est l'un des plus vulnérables car la plupart du territoire se situe à 1,5m au dessus du niveau de la mer. Depuis 1993, le niveau de la mer s'y élève à raison de 5 mm par an soit bien plus que la moyenne mondiale de 3,2 mm⁷.

En plus du grignotage des côtes, la hausse du niveau de la mer a pour conséquence la salinisation de l'eau du sous-sol, ce qui la rend impropre à la consommation courante et à l'irrigation, notamment du taro, une racine qui constitue la base de l'alimentation tuvaluenne. Sans nappe phréatique exploitable, c'est la pluie qui constitue la ressource principale d'eau douce. Pour compenser l'absence de production locale, les Tuvaluens importent massivement riz, pommes de terre et racines de tapioca. Le manque de vitamines et de diversité nutritionnelle risque à terme de poser d'importants problèmes sanitaires.

Effondrement d'un immeuble en construction à Shanghai en 2009



SHANGHAI S'ENFONCE SOUS LA MER

En chinois, Shanghai signifie «sur la mer». Ce nom, la cité chinoise le doit à sa très faible altitude : seulement 3 à 4 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette ville, la plus peuplée de Chine (23 millions d'habitants), est également une des plus menacées par l'élévation des mers. Elle se situe à l'embouchure du fleuve Yangtze qui prend sa source dans les montagnes tibétaines. Avec le changement climatique, le débit du fleuve se renforce et fait monter le niveau de la mer. Depuis 1977, elle s'y est élevée de 12 cm alors que la moyenne de cette élévation en Chine est de 9 cm⁸.

La menace liée à l'eau est aggravée par l'affaissement de la ville. En effet, à force de puiser l'eau des sous-sols pour ériger ses gratte-ciel, la cité chinoise a rendu son sol instable. Résultat : au cours du XX^e siècle, la ville s'est enfoncée de 3 m. Les projections indiquent que le niveau de la mer devrait augmenter de 43 cm d'ici à 2100, plongeant la moitié de Shanghai sous les eaux⁹.

DAVANTAGE DE FONTE, UN NIVEAU PLUS HAUT

Au cours du XXI^e siècle, la fonte des glaces va s'accélérer et occasionner une hausse du niveau de la mer.

LA FONTE S'EMBALLÉ

Suivant le rythme soutenu d'émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement actuel, **la planète est sur la voie d'une élévation du niveau des mers de 62 cm à 1,32 m¹⁰** en moyenne d'ici à 2100. En cause, un renforcement de la dilatation des océans, de la fonte des glaciers de montagne et surtout l'accélération de la fonte des glaciers du Groenland et de l'Antarctique.

Depuis 18 ans, leur fonte annuelle (et non totale) augmente chaque année de 36 milliards de tonnes¹¹ supplémentaires (*Voir page 5 pour comprendre tous les facteurs de fonte d'un glacier*).

QUE DIT LE PASSÉ ?

D'autres études comparent la situation actuelle à celle du dernier âge interglaciaire, il y a environ 110 000 ans. À cette époque, les températures étaient de plus de 2°C supérieures à celles d'aujourd'hui et le niveau de la mer était supérieur... de 4 à 6 m¹². Cette comparaison nous éclaire sur le niveau des mers dans un monde réchauffé de 2°C.

L'EAU PUISÉE DANS LE SOUS-SOL ÉLÈVE LE NIVEAU DES MERS

Sur Terre, on retrouve l'eau à l'état gazeux, liquide ou solide mais sa quantité ne varie pas. Ainsi, l'eau puisée des sous-sols pour l'irrigation, la consommation courante et les utilisations industrielles se rajoute au volume d'eau disponible à l'air libre et se retrouve tôt ou tard dans les océans. En 1900, l'impact de ce puisage était négligeable et ne représentait qu'une élévation du niveau de la mer de 0,035 mm/an. En 2000, elle a été responsable d'une élévation de 0,57 mm/an. Suivant la tendance actuelle, on s'attend en 2050 à un niveau de 0,87 mm/an soit une multiplication par 25 en 150 ans¹³.



© Peter ten Broecke

10 - Source : Bamber & al. 2013.

11 - Source : Rignot & al. 2011.

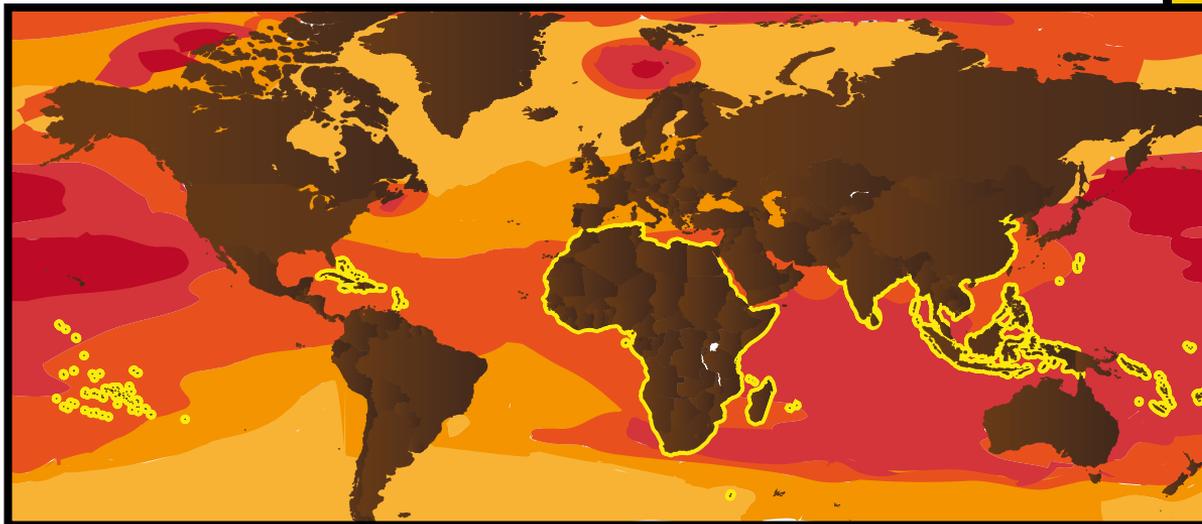
12 - Source : Rohling & al. 2007.

13 - Source : Wada & al. 2012.

ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER AU COURS DU XXI^e SIÈCLE CORRESPONDANT À UN RÉCHAUFFEMENT DE 3,5°C

Slangen & al. 2011, à partir du scénario médian du GIEC.

11



Zones côtières
vulnérables

+80 cm +1m +1,2m

LES ZONES CÔTIÈRES EN DANGER

D'une part, la quantité et le volume des eaux des mers vont augmenter dans le futur. D'autre part, le renforcement des tempêtes au bord des côtes et le phénomène d'affaissement des sols (deltas urbanisés) pourraient exposer les zones côtières à encore plus de difficultés.

Ainsi, sous l'effet combiné de la hausse des mers et de l'abaissement des sols, l'élévation maximale perçue du niveau des mers pourrait atteindre environ 2 m¹⁴.

L'Asie Pacifique, particulièrement touchée

La région de l'Asie Pacifique est considérée comme la plus vulnérable aux changements climatiques. Elle est à la fois perturbée par des phénomènes climatiques réguliers (El Niño et La Niña) et soumise à des affaissements de croûte terrestre. De plus, les îles et archipels qui s'y trouvent culminent à seulement quelques mètres au dessus du niveau de la mer.

Au cours du dernier siècle, l'élévation des mers y a été la plus spectaculaire, jusqu'à 3 fois supérieure à la moyenne. On s'attend à ce que l'élévation au XXI^e siècle continue à être importante dans cette région, d'au moins 25 cm de plus qu'ailleurs¹⁵.

14 - Source : Nicholls & al. 2011.

15 - Source : Slangen & al. 2011.

IMPACTS EN FRANCE

Avec ses massifs montagneux et son large littoral, la France perçoit déjà les effets du réchauffement sur ses glaciers et son niveau des mers.

LES GLACIERS RUISSELLENT

En montagne, la hausse des températures se traduit par une fonte accélérée des neiges et glaces. Depuis 1967, les glaciers alpins ont perdu 26% de leur surface, atteignant seulement 275 km²¹⁶. Dans les Pyrénées, le constat est encore plus grave puisque les glaciers ont perdu 85% de leur surface depuis 150 ans et devraient totalement disparaître dans les prochaines années¹⁷.

La fonte soudaine des glaciers a pour effet l'augmentation des risques d'éboulements et le renforcement du débit des cours d'eau qui peut occasionner de graves inondations.



Comparaison de la couverture du glacier d'Ossoue (Pyrénées) entre 1911 et 2007

© L. Gaurier / P. René



© U. Dornbush University of Sussex

LES LITTORAUX FRANÇAIS MENACÉS

En France, si l'élévation du niveau des mers est dans la moyenne mondiale, le territoire métropolitain est particulièrement vulnérable car il est bordé de mers sur près de 5500 km. Sur ces côtes vivent des millions d'habitants, notamment dans les villes comme Marseille, Bordeaux ou Nice. Le tissu économique y est souvent tributaire de la mer (pêche, marais, tourisme).

Les basses terres comme le littoral aquitain sont très vulnérables à l'érosion. Dans certains endroits, **la mer a avancé de 100 à 150 m en 150 ans**¹⁸.

Par ailleurs, les falaises de Haute-Normandie, comme celle d'Étretat, subissent aussi un grignotage rapide: à Criel-sur-Mer (photo), les falaises, qui s'érodaient de 11 cm par an entre 1830 et 1966, ont reculé de 10 m entre 1995 et 1998¹⁷. Ce retrait s'explique par la fragilisation des falaises liée à l'attaque répétée de vagues et à l'infiltration des eaux de pluie. À noter que cette érosion a été aggravée par l'homme au cours des 100 dernières années, par le prélèvement massif de galets. Ceux-ci jouent en effet un rôle majeur dans la protection des fondations des falaises.

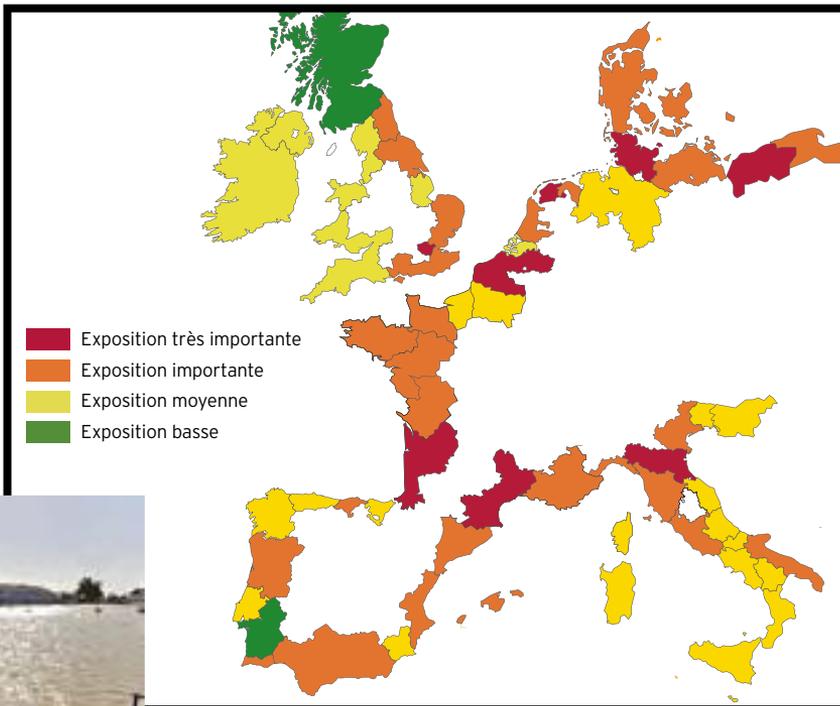
16 - Source : Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement.

17 - Source : Observatoire Midi-Pyrénées.

18 - Source : Ministère de l'Écologie.

EXPOSITION DES RÉGIONS FRANÇAISES ET EUROPÉENNES À L'ÉROSION CÔTIÈRE

Classement selon la sensibilité des régions (élévation de la mer, déficit de sédiments, urbanisation côtière, etc.) au regard des risques d'impacts encourus (population, valeur écologique, surfaces industrielles, etc.).



- Exposition très importante
- Exposition importante
- Exposition moyenne
- Exposition basse

Source : EuroSION.



© Pep.per de Ré

XYNTHIA : EXEMPLE D'UNE TEMPÊTE DE MER

L'élévation d'environ 1 m du niveau des mers prévue au cours du XXI^e siècle en France renforcera mécaniquement l'ampleur et l'impact des tempêtes de mer comme Xynthia.

Le 26 février 2010, des vents forts ont soufflé sur le littoral atlantique français. Cette tempête a été aggravée par un coefficient de marée élevé (102), une marée haute et par un épisode dépressionnaire qui « soulevait » la mer. Les vents violents et la houle ont eu raison de nombreuses digues et protections naturelles. L'eau a déferlé dans les terres de Vendée et de Charente-Maritime.

Les conséquences humaines et matérielles furent énormes : plus de 50 décès, des milliers

de personnes déplacées, des maisons détruites, des axes routiers et ferroviaires coupés, etc. L'île de Ré, au cœur de la tempête, fut littéralement coupée en deux (photo) et certains villages se retrouvèrent partiellement sous les eaux.

Un rapport de la Cour des comptes, publié en 2012, a estimé que cet épisode extrême avait provoqué près de deux milliards d'euros de dommages à l'État et aux compagnies d'assurance.



COMPRENDRE, S'UNIR, ANTICIPER

L'élévation du niveau des mers menace des millions de personnes. Des solutions pour s'adapter sont déjà mises en place dans certains pays, mais le plus efficace reste de réduire nos émissions de gaz à effet de serre afin de ne pas aggraver le réchauffement climatique et les phénomènes qu'il engendre.

LES « RÉFUGIÉS » DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les territoires qui ne seront pas en mesure de s'adapter à l'élévation de la mer verront leur population migrer vers des régions à l'abri. En tout, ce sont près de 250 millions de personnes¹⁹ qui, d'ici 2050, vont devoir changer de lieu d'habitation, poussés par le changement climatique. Mais aujourd'hui, ces réfugiés climatiques ne sont pas reconnus comme tels et font l'objet de vives interrogations : où les accueillir ?



© EPA/STR

UNE MENACE POUR DES MILLIONS DE PERSONNES

450 millions de personnes vivent en zone côtière à moins de 5 m d'altitude, principalement dans des mégalo-poles comme Bangkok, Londres ou New York. En Chine, les côtes abritent 25% de la population et 55% du PIB du pays. Une montée rapide et durable du niveau de la mer aurait pour conséquence la destruction des habitats et infrastructures côtières et de graves inondations. Petit à petit, cette eau participerait à l'érosion des côtes et à la salinisation des sous-sols. Les impacts sur l'agriculture et les activités économiques côtières comme le tourisme seraient alors immenses.

S'ADAPTER À LA MONTÉE DE LA MER

S'il est impossible de contenir l'élévation du niveau des mers, on peut réduire la vulnérabilité des côtes en les mettant à l'abri grâce à :

- l'aménagement du territoire (arrêt des constructions dans les zones inondables, recul des habitations),
- l'édification ou le renforcement de digues aptes à faire face à une élévation extrême (grandes marées, tempêtes, etc.),
- la stabilisation des sols pour éviter leur affaissement (renforcement des fondations).

Ces solutions s'accompagnent de coûts économiques très importants qui iront croissants à mesure de l'élévation des mers. Le plus efficace et le moins onéreux reste d'anticiper en amont ces aléas dans les documents d'urbanisme pour ne pas avoir à employer de mesures correctives.

LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT POUR ENDIGUER LA MONTÉE DES MERS

Au delà d'une hausse de 1 à 2 m, les solutions d'adaptation deviennent trop chères, même pour les pays riches. Ainsi, la mesure la plus efficace reste la réduction massive et immédiate des émissions de gaz à effet de serre qui sont à l'origine du réchauffement planétaire. En effet, on ne pourra stabiliser le niveau de la mer qu'en maintenant la température de la planète.

Des mesures doivent être prises immédiatement par les gouvernements régionaux, nationaux et au niveau international car les changements climatiques ne connaissent pas de frontière.



LES PAYS-BAS, AVEC OU SANS DIGUE

Sans digue, un quart du territoire hollandais se situerait sous les eaux. Ce pays est l'un des plus menacé par la montée des mers.



© Tim Aubry/Greenpeace

Fonte des glaces : ceux qui se frottent les mains

La fonte des glaces ne fait pas que des malheureux. Les compagnies pétrolières se réjouissent de pouvoir accéder à de nouvelles zones vierges qui semblent receler de trésors de pétrole et de gaz. De même, le secteur du transport maritime envisage la création de nouvelles voies commerciales dans ces zones polaires libérées des glaces. Une hausse du trafic et des exploitations dans ces régions serait synonyme de pollutions renforcées, et aggraverait les changements climatiques... et l'élévation du niveau des mers.

