

Modèle climatique – Exercices – Devoirs

Exercice 1

« Troisième gaz à effet de serre au monde, le N_2O (protoxyde d'azote) joue un rôle important dans le réchauffement du climat, à quantités égales, il contribue environ 300 fois plus au réchauffement de l'atmosphère par effet de serre que le dioxyde de carbone. » (Météo France, 2020). À l'échelle mondiale, une part de sa production est d'origine naturelle (majoritairement issue des sols et dans une moindre mesure de l'océan) et l'autre part est d'origine anthropique.

On cherche à étudier l'implication du protoxyde d'azote (N_2O) comme gaz à effet de serre et caractériser la part des activités humaines dans ces émissions.

1- Utiliser vos connaissances pour choisir la (ou les) proposition(s) correcte(s) dans chacune des séries a), b), c), et d). Indiquer sur votre copie la (ou les) lettres correspondant.

a) Le sol terrestre émet un rayonnement dans :

1. le visible
2. l'infrarouge
3. l'ultraviolet

b) Un gaz à effet de serre se caractérise par le fait qu'il :

1. absorbe une partie du rayonnement visible.
2. réfléchit une partie du rayonnement visible.
3. absorbe une partie du rayonnement infrarouge.
4. réfléchit une partie du rayonnement infrarouge.

c) Les deux principaux gaz à effet de serre impliqués dans le forçage radiatif sont :

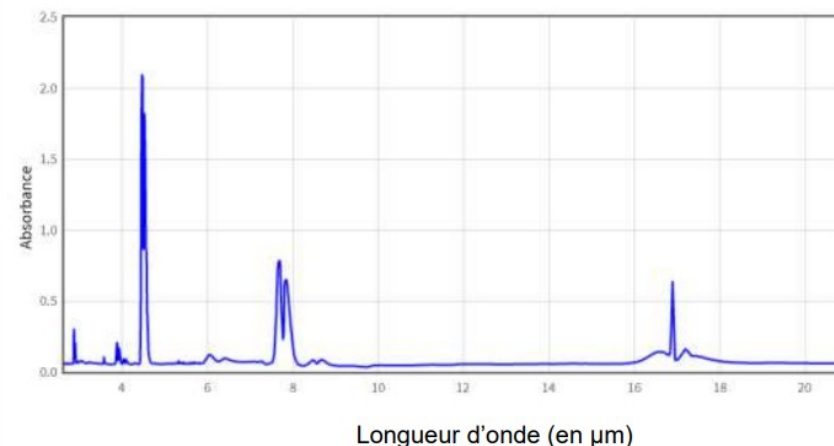
1. le dioxyde de carbone (CO_2)
2. le dioxygène (O_2)
3. la vapeur d'eau (H_2O)
4. le diazote (N_2)
5. le méthane (CH_4)

d) Depuis un siècle, l'ordre de grandeur d'augmentation de la température moyenne du globe est de :

1. $0,2^\circ\text{C}$
2. 1°C
3. 2°C
4. 5°C
5. 20°C

2- Sachant que le sol émet un rayonnement de longueur d'onde comprise entre 7 et $15\text{ }\mu\text{m}$, montrer que le protoxyde d'azote est un gaz à effet de serre, en exploitant le document 1.

Document 1 : spectre d'absorption infrarouge du protoxyde d'azote (N_2O)



D'après la base de données du National Institute of Standard and Technology (USA)

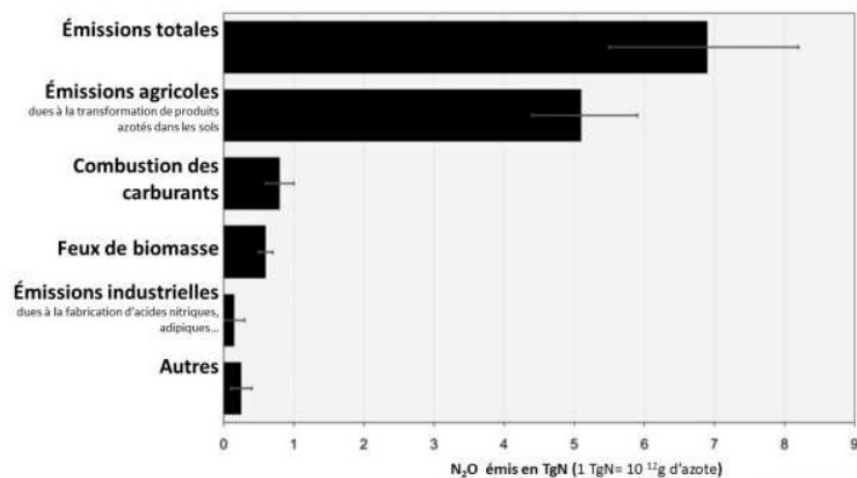
3- Utiliser les informations du document 2 pour :

- a) exprimer les émissions totales de N_2O anthropiques en tonnes d'azote pour l'année 2005 ;
- b) calculer le pourcentage des émissions de N_2O anthropiques par rapport aux émissions totales pour 2005.

Document 2 : émissions mondiales de protoxyde d'azote en 2005

En 2005, la production mondiale de protoxyde d'azote, toutes origines confondues était estimée à 14,5 millions de tonnes.

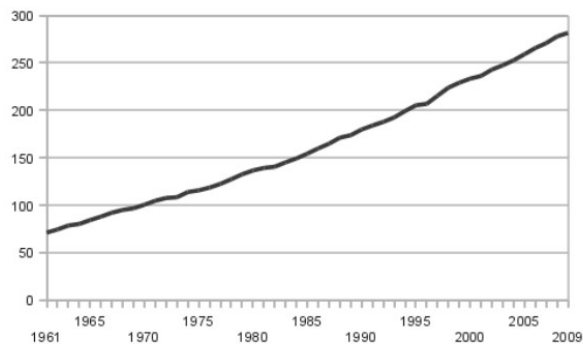
Le graphique ci-dessous présente les émissions anthropiques de N₂O en 2005



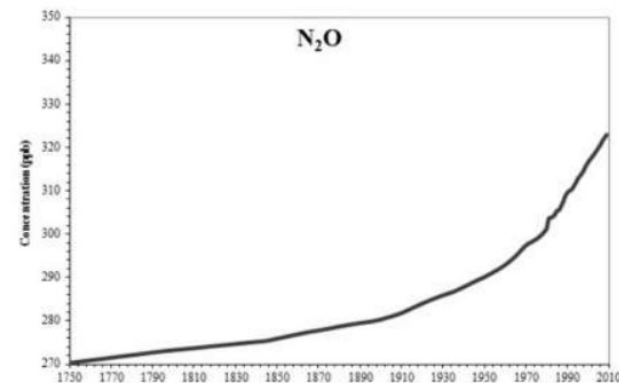
Les émissions de N₂O d'origine agricole proviennent essentiellement de la transformation des produits azotés tels que les engrais dans les sols, les déjections des animaux d'élevage (lisier, fumier) ou les résidus de récolte.

4- Rédiger un texte argumenté présentant la participation des différentes activités agricoles aux émissions de protoxyde d'azote (N₂O) et leurs conséquences sur le réchauffement climatique, en utilisant les documents et vos connaissances.

Document 3 : évolution de la production mondiale de viande de 1961 à 2009 en millions de tonnes (source FAOSTAT)



Document 4 : évolution de la concentration atmosphérique en N₂O de 1750 à 2010. Une concentration de 1ppb, signifie qu'une molécule sur un milliard (soit 10⁻⁹) dans un échantillon d'air est du N₂O.

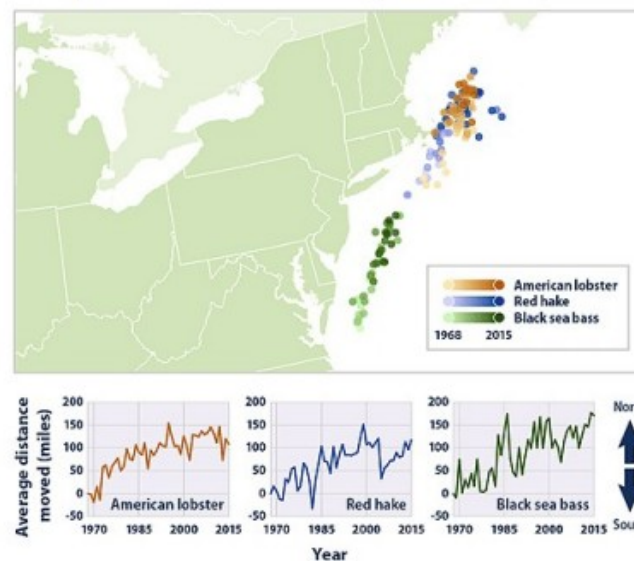


D'après l'EEA (agence européenne pour l'environnement)

Exercice 2

Montrer en quoi le changement climatique a un impact sur certaines populations de poissons et quelles pourraient en être les conséquences.

Average Location of Three Fish and Shellfish Species in the Northeast, 1968–2015



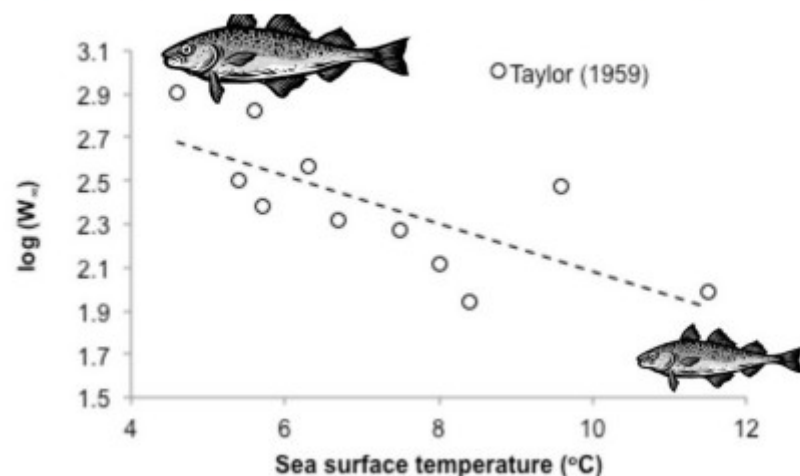
Des équipes de recherche ont travaillé sur 892 espèces importantes de poissons et d'invertébrés exploitées commercialement et ont croisé leurs résultats avec les données concernant 261 zones économiques exclusives (ZEE). En prenant pour référence la période 1950-2014, ils notent que, dans le monde, 23 % à 35 % de ces ZEE sont susceptibles de recevoir de une à cinq nouvelles populations de poissons, crustacés ou coquillages ayant traversé les frontières à cause du changement du climat d'ici à 2090-2100.

Mais cette future répartition sera fatalement inégale. Dans l'hémisphère Nord, autour de la mer Baltique et plus encore de la mer de Béring, jusqu'à douze espèces pourraient faire leur apparition. Les plus favorisées devraient être les zones de pêche partagées de l'Antarctique. Les Tropiques, à l'inverse, devraient voir les poissons quitter leurs eaux chaudes, sans en accueillir de nouveaux.

Certes, les auteurs disent qu'il s'agit de tendances, pas de projections précises, mais leur travail illustre l'ampleur des futurs défis à relever face aux rivalités qui se manifesteront entre pêcheurs.

https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/06/14/climat-les-poissons-migrent-les-tensions-montent-en-tre-pays-pecheurs_5315299_3244.html

Evolution de la taille des poissons en fonction de la température de leur milieu



Mais un phénomène parallèle à celui-ci vient bouleverser plus encore les équilibres marins. « Plus les eaux sont chaudes, moins elles contiennent d'oxygène or un lien clair a été établi entre la taille des poissons et la disponibilité en oxygène. Conséquence de quoi, le réchauffement des eaux fait rapetisser les poissons, résume le scientifique. Or les écosystèmes marins sont intimement liés à la taille de leurs habitants. » (voir graphique ci-contre)

Exercice 3

La préfecture de Charente-Maritime annonce, fin 2020, la mise en vente de onze emplacements permettant la réalisation de pontons de pêche au carrelet sur 6 communes du littoral. La pêche au carrelet utilise un filet mis à l'eau à partir d'une cabane sur pilotis.



Ces petites cabanes en bois perchées, construites sur les rochers ou la vase des zones côtières, font partie du patrimoine de Charente-Maritime et sont très recherchées. Elles transmettent souvent de génération en génération.

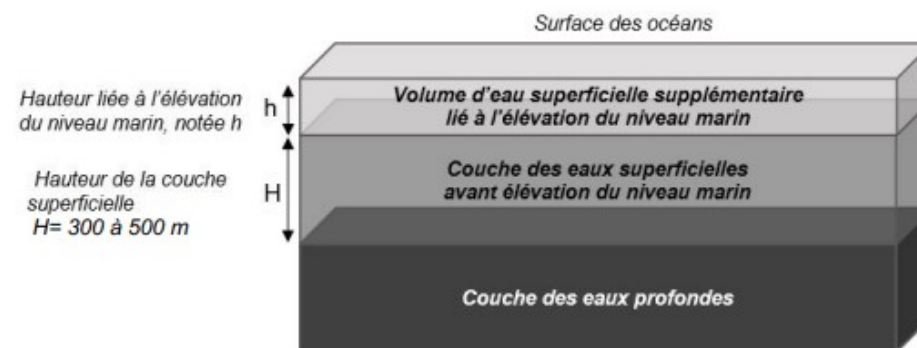
D'après Franceinfo.fr / octobre 2020

On cherche à comprendre les conséquences du réchauffement climatique sur le niveau marin et son impact sur le littoral, en particulier concernant la pêche au carrelet.

Document 1 : variation du niveau des océans par dilatation thermique

L'un des indicateurs du réchauffement climatique global est l'élévation du niveau marin. L'une des causes de cette augmentation est la dilatation thermique de l'eau.

On peut modéliser les océans par un parallélépipède comme sur le schéma ci-dessous.



Seule la couche superficielle (de hauteur $H = 300$ à 500 m sur le schéma) est en fait sensible au réchauffement et donc impactée par cette dilatation thermique.

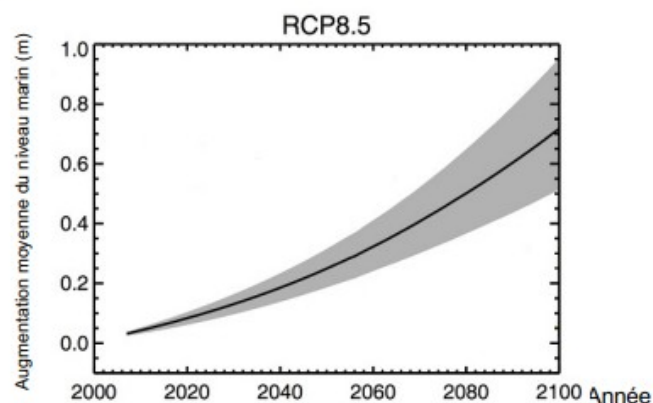
On peut modéliser l'élévation du niveau marin (notée h sur le schéma) grâce à la formule suivante :

$$h = \alpha \times H \times \Delta T$$

avec α = coefficient de dilatation thermique et ΔT = variation de température

Document 2 : scénarios du GIEC et projections climatiques

Le 5^{ème} rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) propose plusieurs scénarios, établis à l'aide de modélisations climatiques, en fonction du forçage radiatif estimé. Le scénario RCP 8.5 (forçage de $8,5 \text{ W.m}^{-2}$) est le plus pessimiste, mais c'est un scénario tout à fait envisageable car il correspond à la poursuite des émissions actuelles de gaz à effet de serre.



Le graphique ci-dessous montre les prédictions de l'élévation du niveau marin (en m) dans le scénario RCP 8.5 d'ici à 2100.

RCP (Representative Concentration Pathways) : profils représentatifs d'évolution de concentration de gaz à effet de serre

D'après Yale Climate connections.

1- Les scénarios RCP du GIEC prennent en compte les émissions anthropiques de gaz à effet de serre : citer deux des principaux gaz à effet de serre ainsi qu'une source liée à l'activité humaine pour chacun d'eux.

2- Expliquer en quoi l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre provoque un réchauffement climatique.

3- Dans le scénario RCP 8.5, on peut estimer qu'à l'horizon 2100, l'augmentation de la température moyenne des océans (ΔT) sera de l'ordre de 3°C . D'autre part, on considère que le coefficient de dilatation thermique des océans, dans la gamme des températures considérées, est $\alpha = 2,7 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. On considère une hauteur H de la couche superficielle de l'océan de 500 m. Calculer l'élévation h du niveau marin en 2100 selon le scénario RCP 8.5.

4- Par lecture graphique, estimer le niveau d'élévation moyen prédit en 2100 par le scénario RCP 8.5.

5- Indiquer si la dilatation thermique des océans est la seule cause de l'augmentation du niveau des océans. Justifier et proposer une autre cause possible.

6- À partir de l'exploitation du document 3, discuter de la durabilité d'une cabane sur pilotis pour la pêche au carrelet dans le contexte du scénario RCP 8.5. Justifier.

Exercice 4 corrigé disponible

Le but de cet exercice est d'évaluer l'élévation de température de la couche supérieure de l'océan et son impact sur la hausse du niveau de l'eau.

Partie 1. Étude de l'élévation de la température de la couche supérieure des océans

L'océan joue un rôle majeur le changement climatique en raison de sa grande masse et de sa capacité thermique élevée par rapport à l'atmosphère. De plus, en raison d'un albédo très bas, il absorbe le rayonnement solaire beaucoup plus facilement que la glace.

D'après : GIEC -Climate Change 2013: The Physical Science Basis

Données :

- La Terre peut être assimilée à une sphère dont 71 % de la surface est recouverte par les océans.
- Le rayon moyen de la Terre est $R = 6\,371\text{ km}$
- La surface d'une sphère est $S = 4 \times \pi \times R^2$
- La masse volumique de l'eau de mer est $\rho = 1,02 \cdot 10^3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

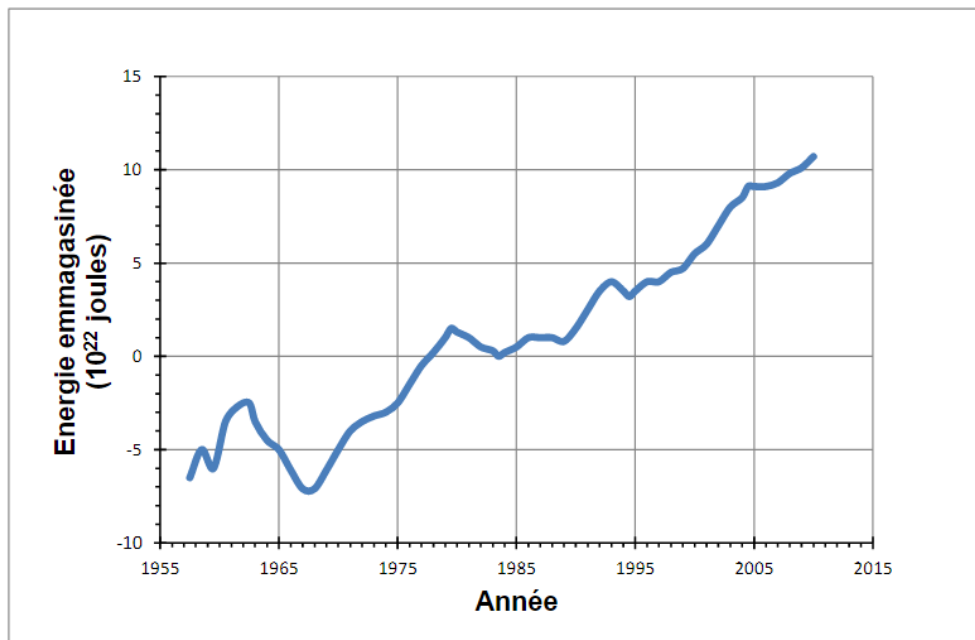
1. Calculer la surface S des océans sur Terre en m^2 .

2. L'élévation de température des océans concerne essentiellement la couche superficielle d'une profondeur $h = 300\text{ m}$.

Vérifier que le volume V de cette couche superficielle est de l'ordre de $1 \times 10^{17}\text{ m}^3$.

3. À partir du document 1, estimer l'énergie E emmagasinée par la couche supérieure des océans entre 1970 et 2010.

Document 1. Estimation de l'énergie thermique accumulée par la couche supérieure (0-700 m) des océans entre 1955 et 2013



D'après : <https://www.nodc.noaa.gov>

4. Lorsque l'eau emmagasine de l'énergie par transfert thermique, et s'il n'y a pas de changement d'état, sa température augmente. La variation d'énergie stockée, ΔE peut-être reliée à la variation de température par la relation : $\Delta E = m \times c \times \Delta T$ avec

m : masse d'eau, en kilogramme (kg)

ΔT : variation de température, en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

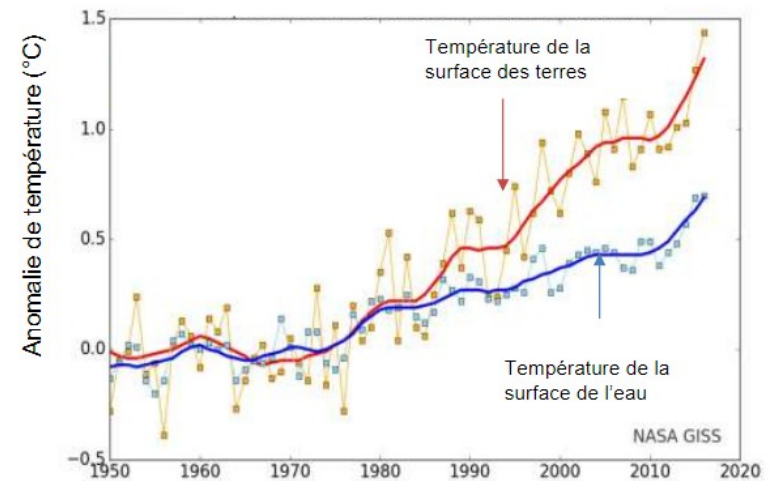
ΔE : variation d'énergie stockée, en joule (J)

c : capacité thermique de l'eau, $c = 3,98 \times 10^3\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ pour l'eau de mer

4.a. Calculer l'élévation de température de la couche supérieure de l'océan entre 1970 et 2010.

4.b. Indiquer si la valeur obtenue est-elle en accord avec les observations (document 2).

Document 2. Évolution de la température moyenne de la surface des terres et des océans



Partie 2. Étude de la dilatation thermique de l'océan

5. Lorsqu'un corps s'échauffe, son volume change. Le coefficient de dilatation β caractérise cette évolution.

Dans le cas de l'océan, on admet que seule la hauteur de la couche superficielle évolue alors que la surface reste inchangée.

Pour une augmentation de température ΔT , on a la relation :

$$\frac{\Delta h}{h} = \beta \times \Delta T$$

Δh étant la variation de la hauteur h , et h la hauteur initiale.

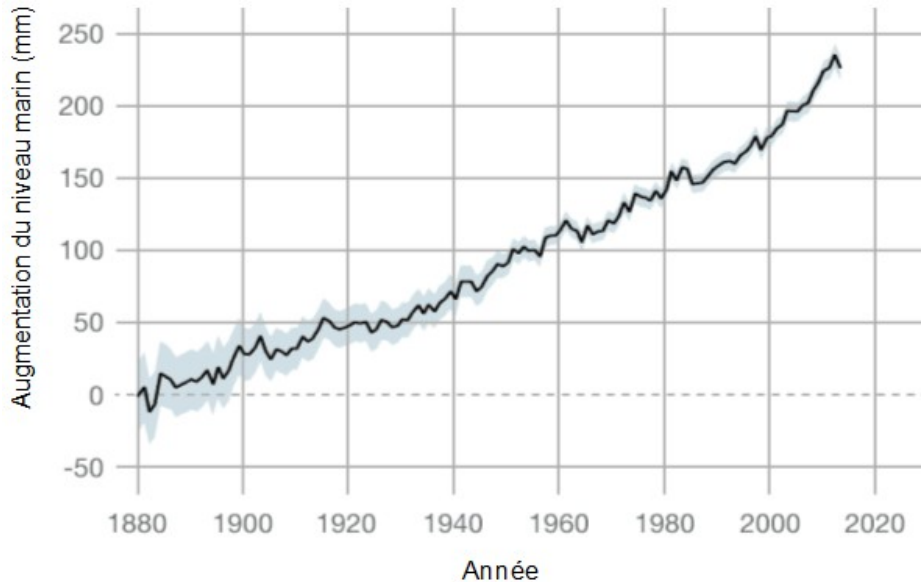
Le coefficient de dilatation de l'eau de mer est $\beta = 2,6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ à $15 \text{ } ^\circ\text{C}$.

5.a. En prenant en compte une élévation de température de la couche superficielle (d'épaisseur $h=300 \text{ m}$) de l'océan de $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ entre 1970 et 2010, calculer l'élévation du niveau de la mer provoquée par cet échauffement.

5.b. À l'aide du document 3, estimer l'élévation du niveau de la mer entre 1970 et 2010.

5.c. Indiquer un autre facteur intervenant dans l'élévation du niveau de la mer et expliquant l'écart entre les précédentes valeurs obtenues.

Document 3. Augmentation du niveau de la mer entre 1880 et 2016



Exercice 5

L'Agence de la transition écologique (ADEME) publie en octobre 2020 une prévision des impacts climatiques à venir d'ici 2050 en France. Ces impacts concernent principalement l'augmentation des températures et les risques d'inondation qui en découlent.

L'objectif de cet exercice est de comprendre quelques effets sur le climat de la variation du forçage radiatif.

1. **1.a** Définir la notion de « forçage radiatif ».
1.b Justifier que, par unité de temps et de surface terrestre, ce forçage radiatif s'exprime en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.
1.c Expliquer en quoi le forçage radiatif est lié à la variation de la température terrestre.
2. Expliquer les causes de l'augmentation du forçage radiatif depuis la révolution industrielle (1850).
3. On analyse l'effet du forçage radiatif sur le niveau des océans.

En tenant compte uniquement de la dilatation des océans, estimer la variation du niveau marin Δe à l'échelle du globe, en 2100, pour un RCP 4.5, qui correspond aux accords de Paris, à l'aide des données ci-dessous.

Données :

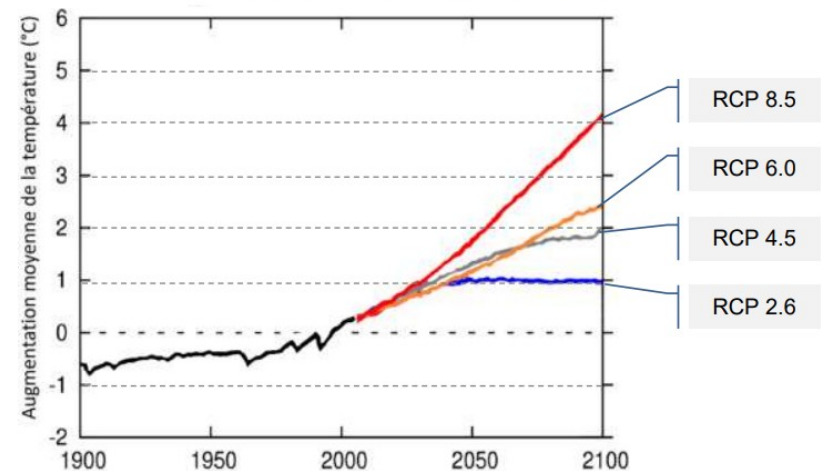
La variation ΔV d'un volume V_0 d'eau est proportionnelle à la variation de température ΔT :

$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T ;$$

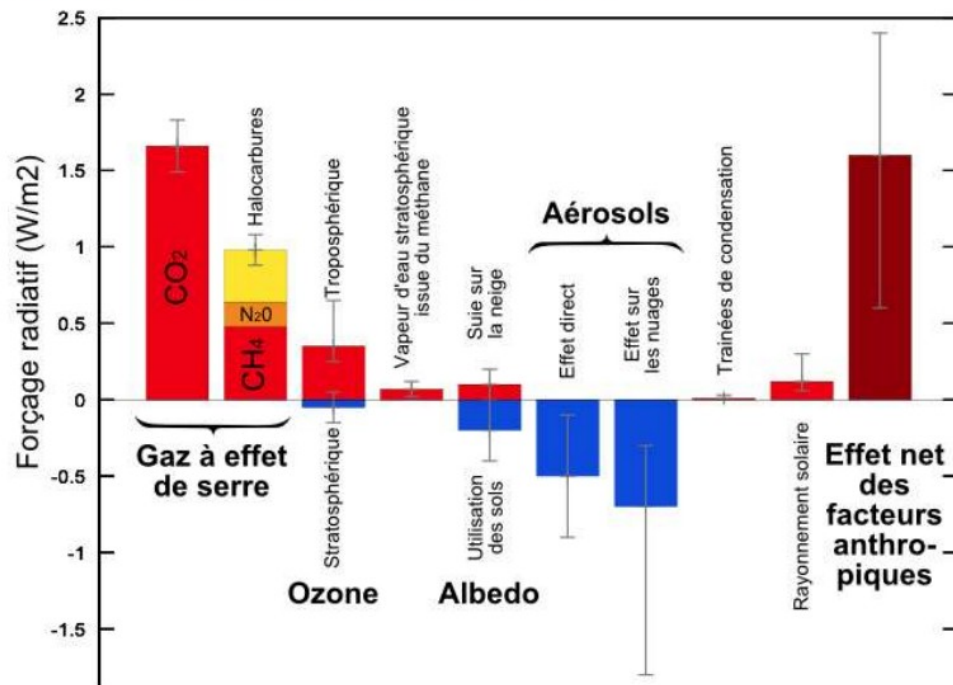
- coefficient de dilatation thermique de l'eau : $\beta = 2,6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- Surface totale des océans : $S = 360 \times 10^6 \text{ km}^2$;

Épaisseur de la couche superficielle océanique concernée : $e = 300 \text{ m}$.

Document 1 : les scénarios RCP (pour *Representative Concentration Pathway*) sont quatre scénarios de trajectoire du forçage radiatif jusqu'à l'horizon 2100.



Document 2 : composantes du forçage radiatif terrestre



Source : [Wikimédias](#)

4. À l'effet de la dilatation thermique, s'ajoutent d'autres causes qui pourraient conduire à une élévation du niveau des océans de l'ordre du mètre. Présenter les conséquences sur l'environnement et les activités humaines qu'aurait une telle élévation du niveau des océans.

Un des paramètres qui influe sur le forçage radiatif est l'albédo terrestre moyen. On rappelle que l'albédo d'une surface correspond au rapport de l'énergie lumineuse réfléchie sur l'énergie lumineuse incidente.

Le tableau suivant fournit quelques valeurs suivant la nature des surfaces.

Type de Surface	Albédo
Mer / Océan	0.26
Glace	0.6
Neige fraîche	0.85

Albédo de différentes surfaces (source : Météo France)

5. Préciser si une augmentation de l'albédo terrestre produit une augmentation ou une diminution du forçage radiatif. En déduire que la fonte des glaces (terrestres et marines) se traduit par une augmentation du forçage radiatif.

6. Expliquer pourquoi la fonte des glaces est un facteur de rétroaction positive de l'échauffement global du climat. Il est possible d'appuyer le raisonnement sur un schéma.