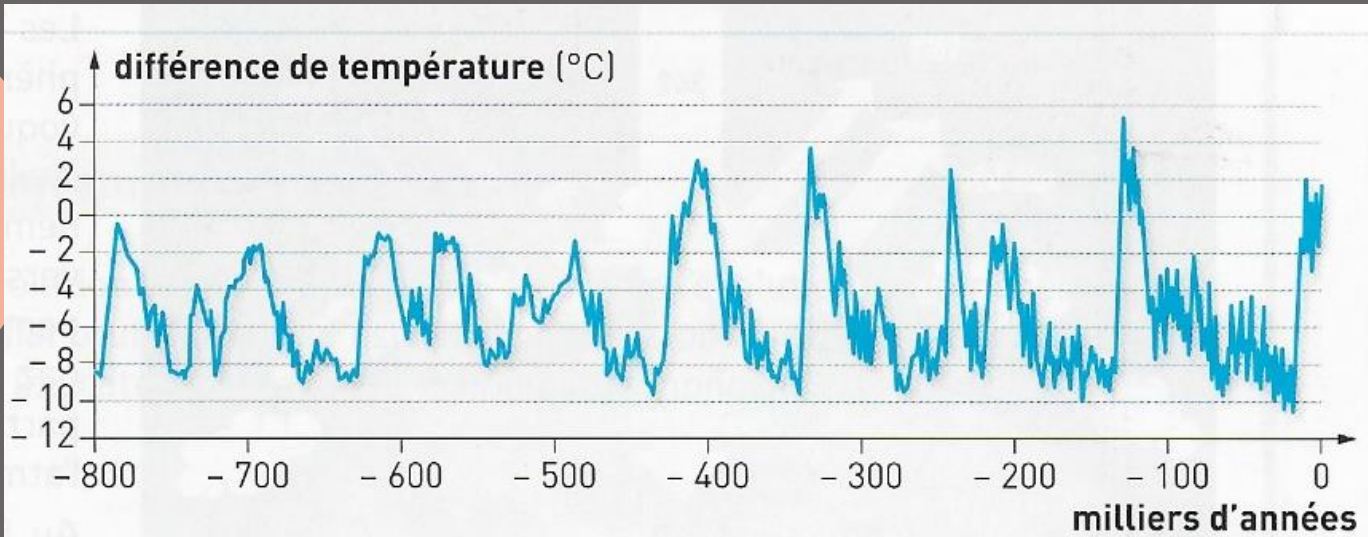


Chapitre 2

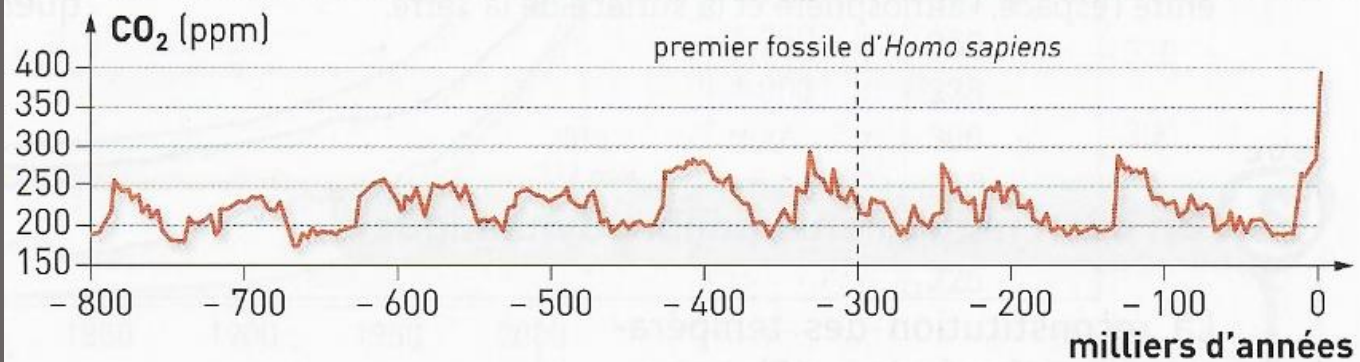
La complexité du système climatique



Correction activité 4



d Évolution de la température par rapport à la moyenne des 1 000 dernières années depuis 800 000 ans.



e Taux de CO₂ depuis 800 000 ans.

On observe depuis 800 000 ans une variation cyclique des différences de température. Les périodes de réchauffement succèdent à des périodes de refroidissement naturelles tous les 100 000 ans environ.

On observe une **corrélation** entre l'évolution du taux de CO₂ atmosphérique depuis 800 000 ans (reconstitué par l'étude des glaces de l'Antarctique) et les **variations de température**.

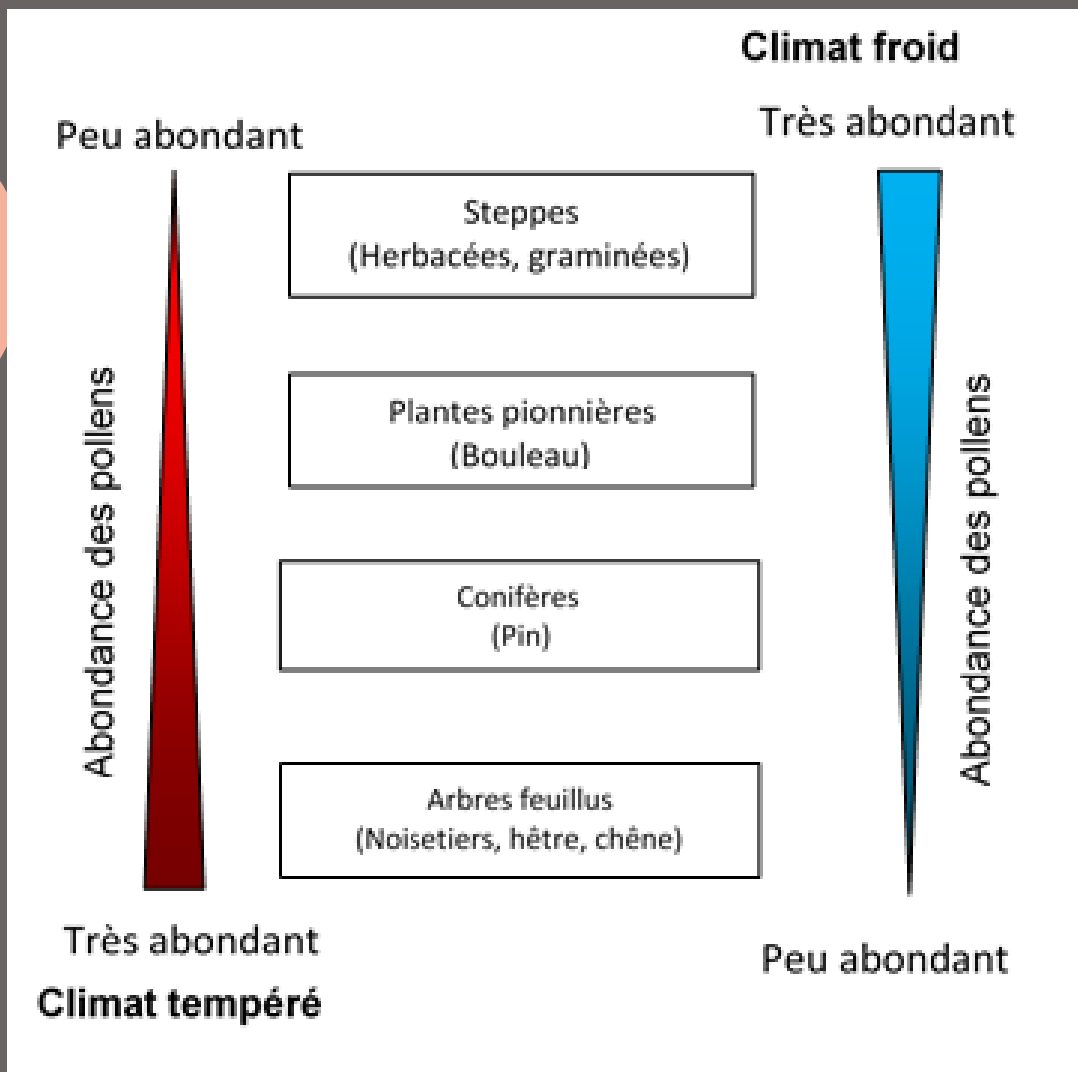
Ainsi, lors d'une augmentation naturelle de CO₂ atmosphérique, la température augmente et inversement lors d'une diminution du taux de CO₂.

Activité expérimentale : Etude palynologique

Dans le **prélèvement 1**, on observe une très grande quantité de pollens d'arbre : 76.7% et le reste en pollens d'herbacée : 23.3%

Dans le **prélèvement 2**, on observe une inversion des proportions, 10.3% de pollens d'arbre et 89.7% de pollens d'herbacée.

	Profondeur (cm)	Âge (ans)	Pollens d'arbres en %	Pollens d'herbacée en %
Prélèvement 1	-270	-12 500	76.7	23.3
Prélèvement 2	-320	-16 000	10.3	89.7



On observe que la présence en grande quantité de pollens d'arbre (Noisetiers, hêtre, chêne) est un indicateur de climat tempéré.

On peut donc en déduire qu'il y a -12 500 ans, le climat qui régnait à l'endroit du prélèvement était **tempéré**.

On observe que la présence en grande quantité de pollens d'herbacées est un indicateur de climat froid.

On peut donc en déduire qu'il y a -16 000 ans, le climat qui régnait à l'endroit du prélèvement était **froid**.

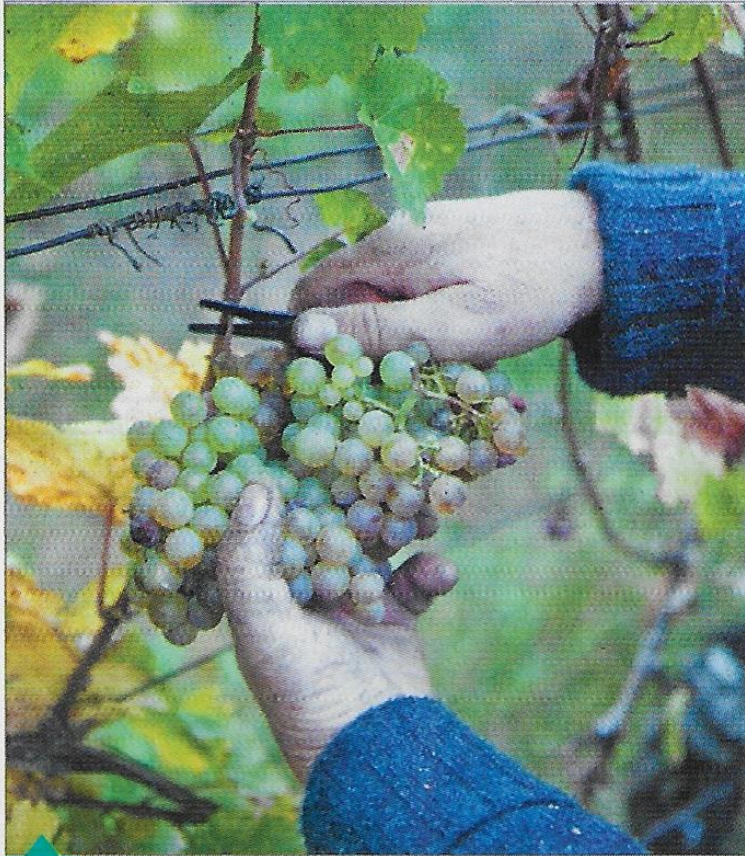
Il y a donc eu un **réchauffement climatique** entre ces deux périodes qui explique ces variations d'abondance de ces pollens.

Correction activité 5

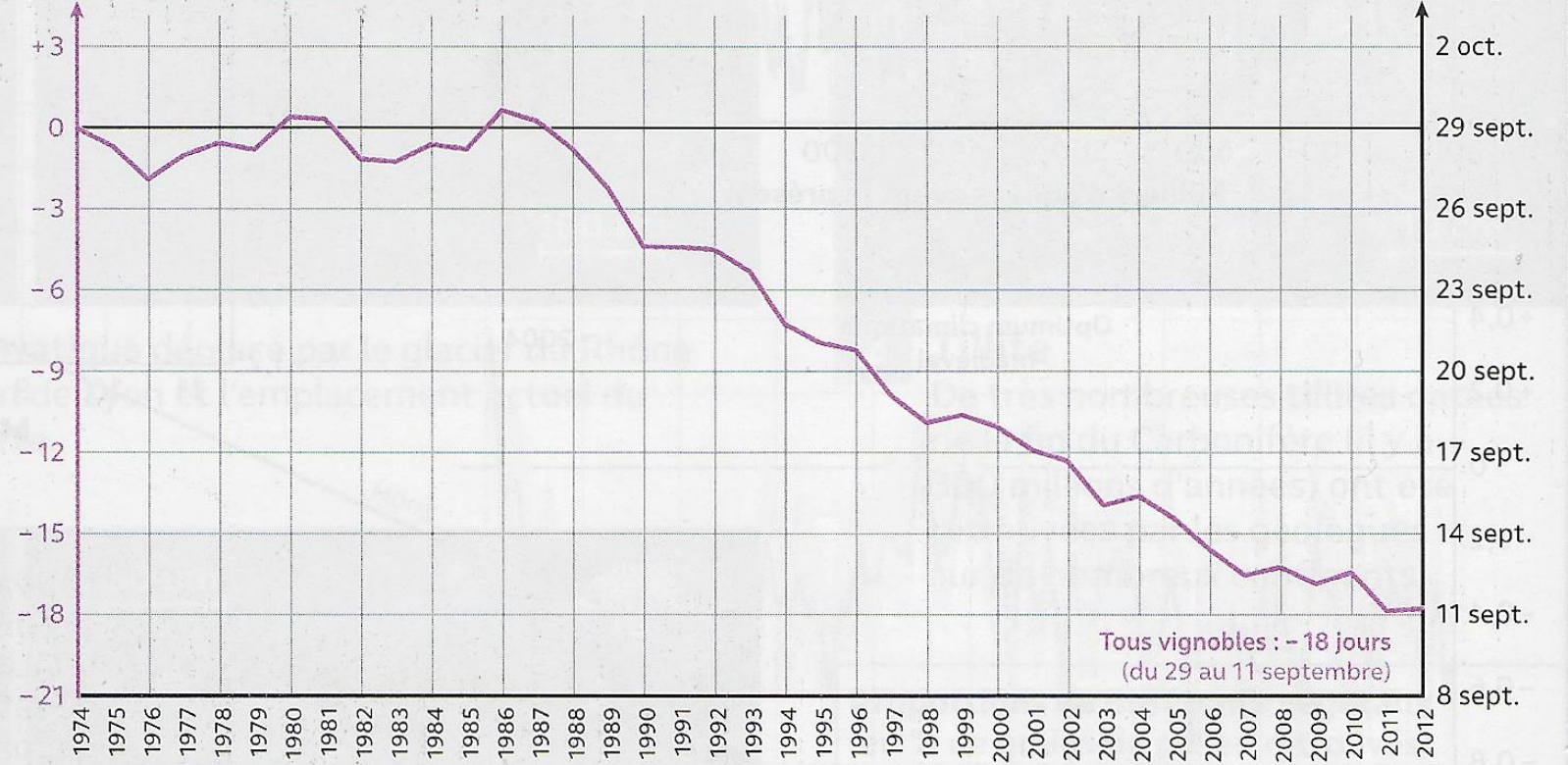
Votre mission est de présenter à l'oral à l'aide d'un diaporama illustré et durant 5 à 10 minutes environ, une **démonstration du caractère fulgurant du changement climatique actuel**.

L'idée sur laquelle il fallait insister pour la réalisation de ce travail était de mettre en avant la **rapidité** du changement climatique. Il fallait donc trouver des documents qui permettait d'illustrer cette notion.

La suite du diaporama en présente quelques uns...



Variation en nombre de jours (base 0 en 1974)

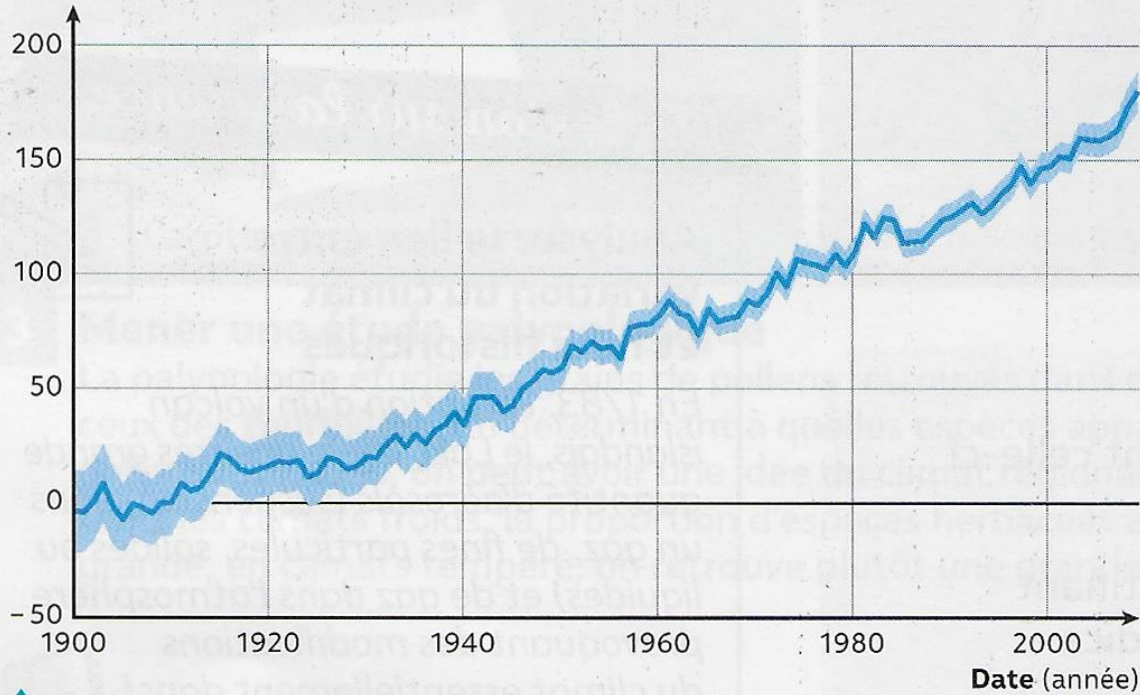


1 Évolution de la date des vendanges en France depuis 1974

La date des vendanges dépend de la maturité des raisins, celle-ci est en partie contrôlée par le climat (dans les régions au climat plus frais, la maturation des raisins est généralement plus tardive).

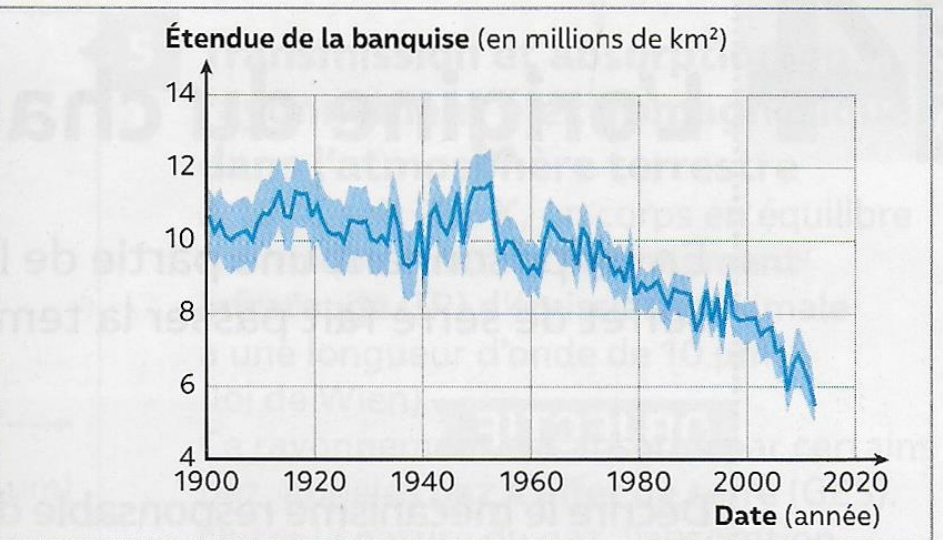
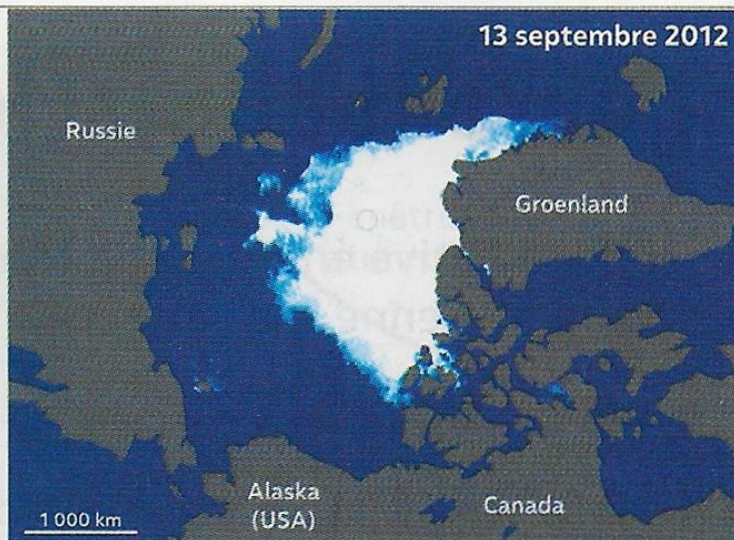
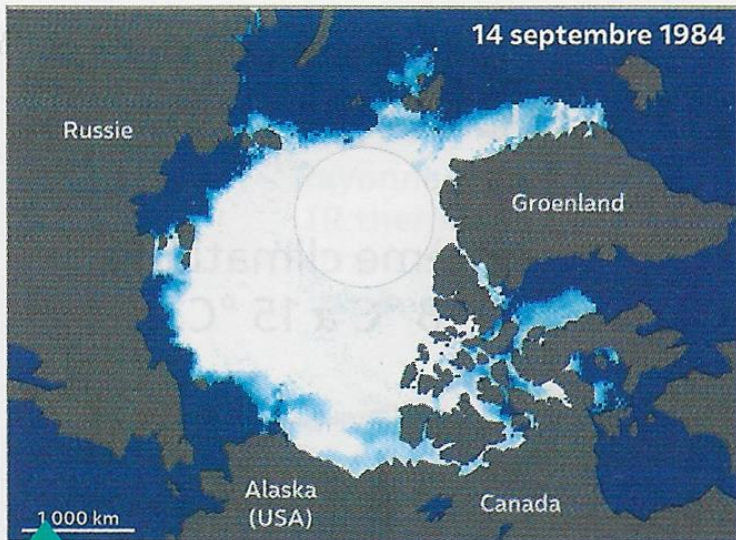
On observe que la date des vendanges devient plus précoce (-18 jours depuis 1986)

Différence par rapport à la moyenne du niveau des mers mesuré entre 1900 et 1905 (en mm)



2 Évolution du niveau des mers mondial entre 1980 et 2005

On observe que le niveau des mers mondial ne cesse d'augmenter depuis les années 1920.

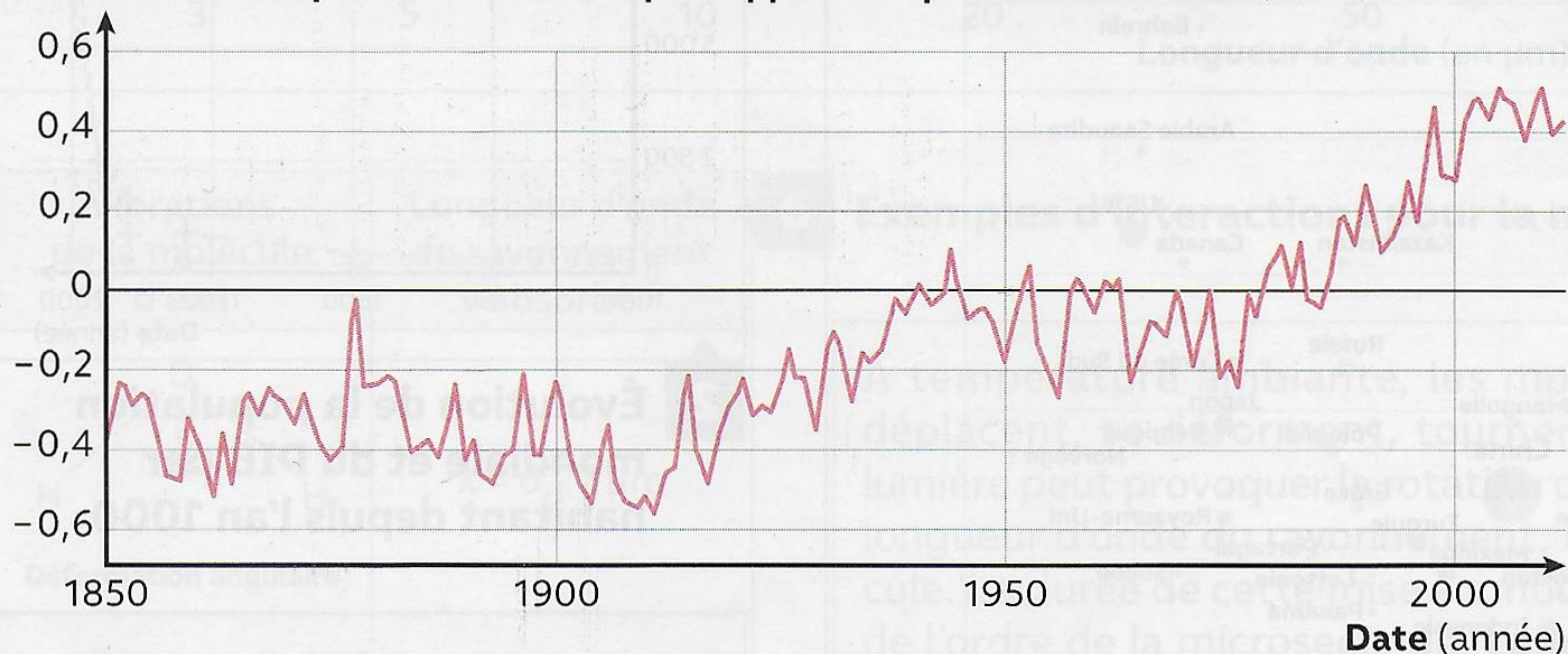


3 Évolution de la surface des glaces de l'Arctique en été

Le mois de septembre correspond à l'extension minimale de la banquise arctique.

On observe une réduction importante de la taille de la banquise depuis 1984. Elle passe de 10 km² en 1970 à 6 km² actuellement

Anomalie de température mondiale par rapport à la période 1961-1990 (en °C)



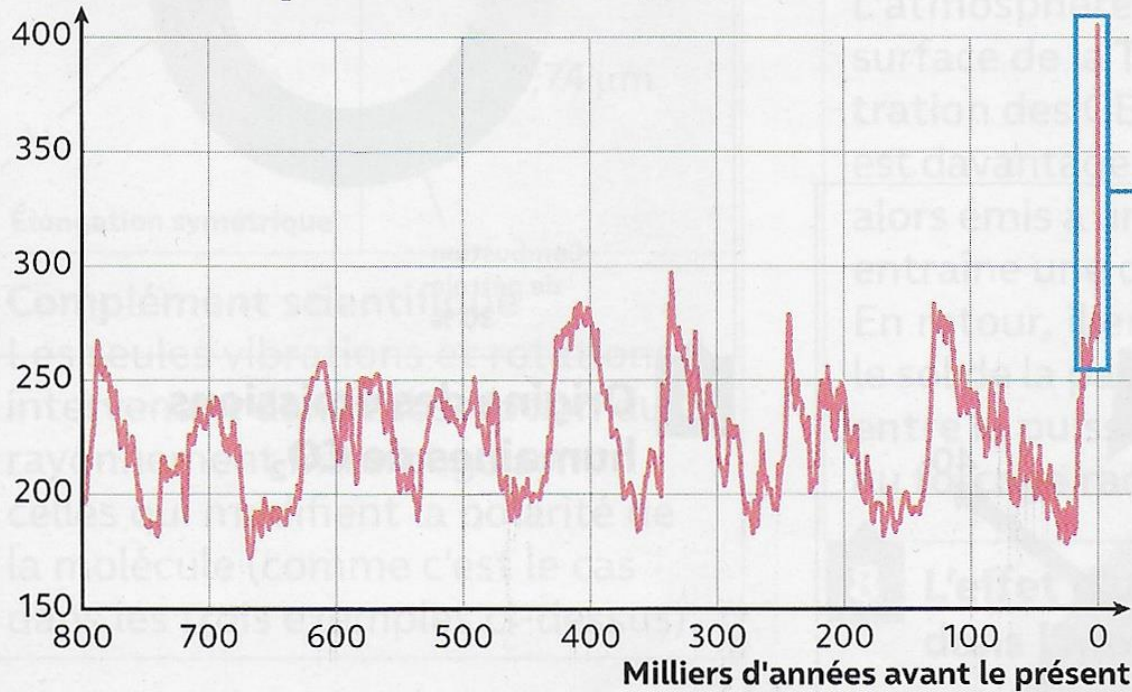
4

Évolution de la température mondiale entre 1850 et 2005

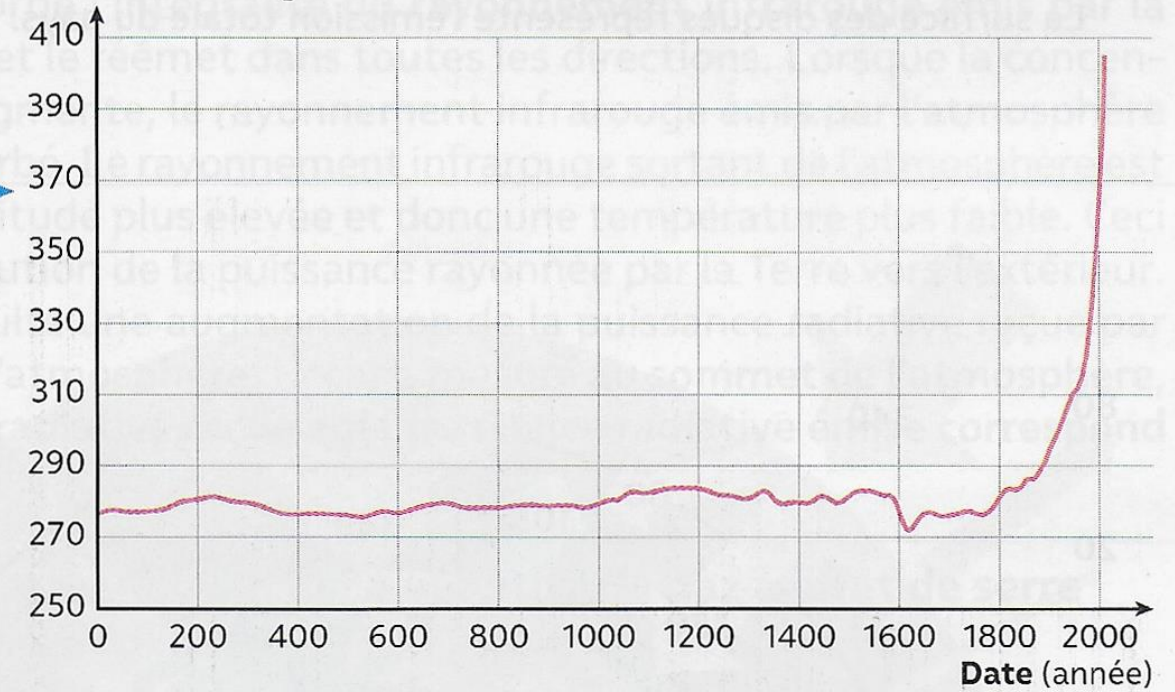
La température mondiale est calculée à partir des données des stations météorologiques et des mesures depuis l'espace par les satellites.

On observe une augmentation importante de la température depuis les années 1980. Cette augmentation existait déjà depuis les années 1920 mais semble s'accroître.

Proportion de CO₂ dans l'atmosphère (en ppm)



Proportion de CO₂ dans l'atmosphère (en ppm)



5

Évolution de la proportion en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère au cours des derniers 800 000 ans

Les proportions sont exprimées en parties par million (ppm).

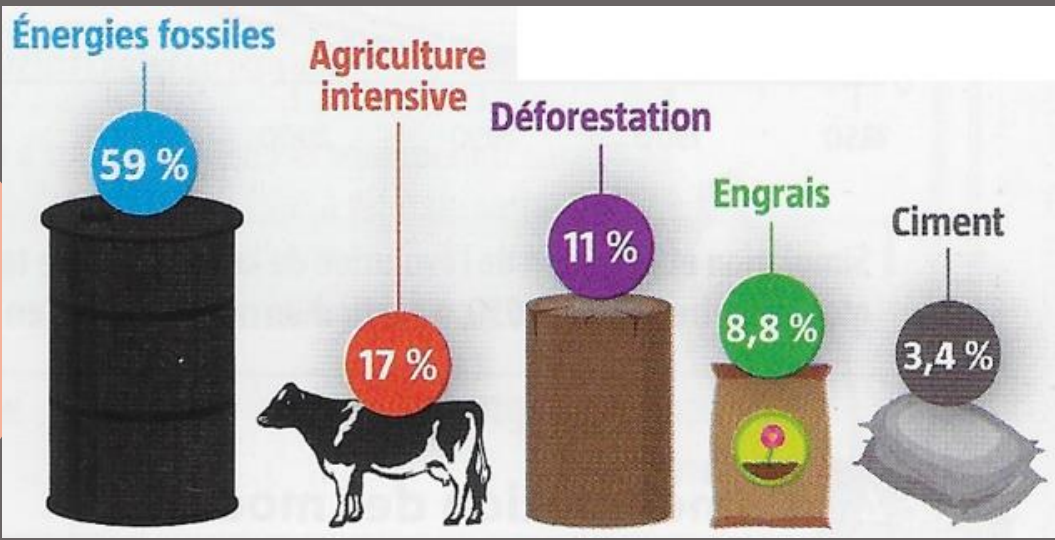
Depuis 800 000 ans, la proportion de CO₂ dans l'atmosphère oscillait naturellement entre 200 ppm et 300 ppm de manière assez cyclique (un cycle tous les 100 000 ans environ).

On observe que actuellement la proportion de CO₂ dépasse largement les variations naturelles, puisque l'on est actuellement à des valeurs supérieures à 410 ppm et une courbe qui augmente très fortement.

Correction activité 6

Sous la forme de votre choix : diaporama, affiche, vidéo, simulation de journal TV, article etc., vous présenterez les impacts du réchauffement climatique sur le domaine concerné par votre groupe.

Les diapositives suivantes tendent à présenter quelques prévisions du climat futur sur lesquelles vous pouvez vous baser pour la réalisation de votre travail.



Les GES sont émis par plusieurs sources :

Les **énergies fossiles** représentent encore plus de 80% de la production totale d'énergie primaire dans le monde.

En agriculture, la digestion des ruminants et des déjections animales produisent du **méthane**

La **déforestation** se traduit par un rejet important de **CO₂** dans l'atmosphère

La **fabrication du ciment** nécessite une décarbonation qui produit 0.393 kg de CO₂/Kg de ciment (4,6 milliards de tonnes de ciment sont utilisés chaque année.

Le **gaz naturel** est constitué essentiellement de **méthane**

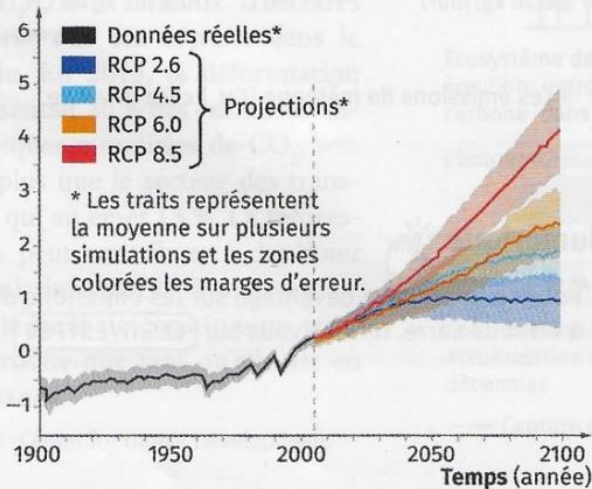
La **fermentation** des matières organiques dans les décharges produit un mélange de gaz, un biogaz (méthane) et du CO₂

Ce document permettait de préciser davantage les sources de CO₂ dans l'atmosphère et plus généralement les sources de GES (Gaz à Effet de Serre). Ainsi la combustion des énergies fossiles et la déforestation permettent un rejet de CO₂ qui est un GES, mais on observe également que la fabrication de ciment et la fermentation des matières organiques sont source de CO₂ dans l'atmosphère. On observe que le méthane est lui aussi un GES et qu'il est produit par les déjections animales et naturellement.



Les étapes de l'élaboration d'un rapport du GIEC.

Réchauffement global en surface (°C)



Quatre scénarios de changement climatique.

Le GIEC a été mis en place en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et par le Programme des Nations unies pour l'environnement. Ses auteurs proviennent de 195 États et rédigent des rapports synthétisant les travaux de milliers de chercheurs issus d'universités et d'institutions différentes (par exemple le CNRS et l'IRD en France). Le rapport de 2013 cite plus de 9 200 publications de 259 auteurs. Chaque rapport est relu et corrigé plusieurs fois.

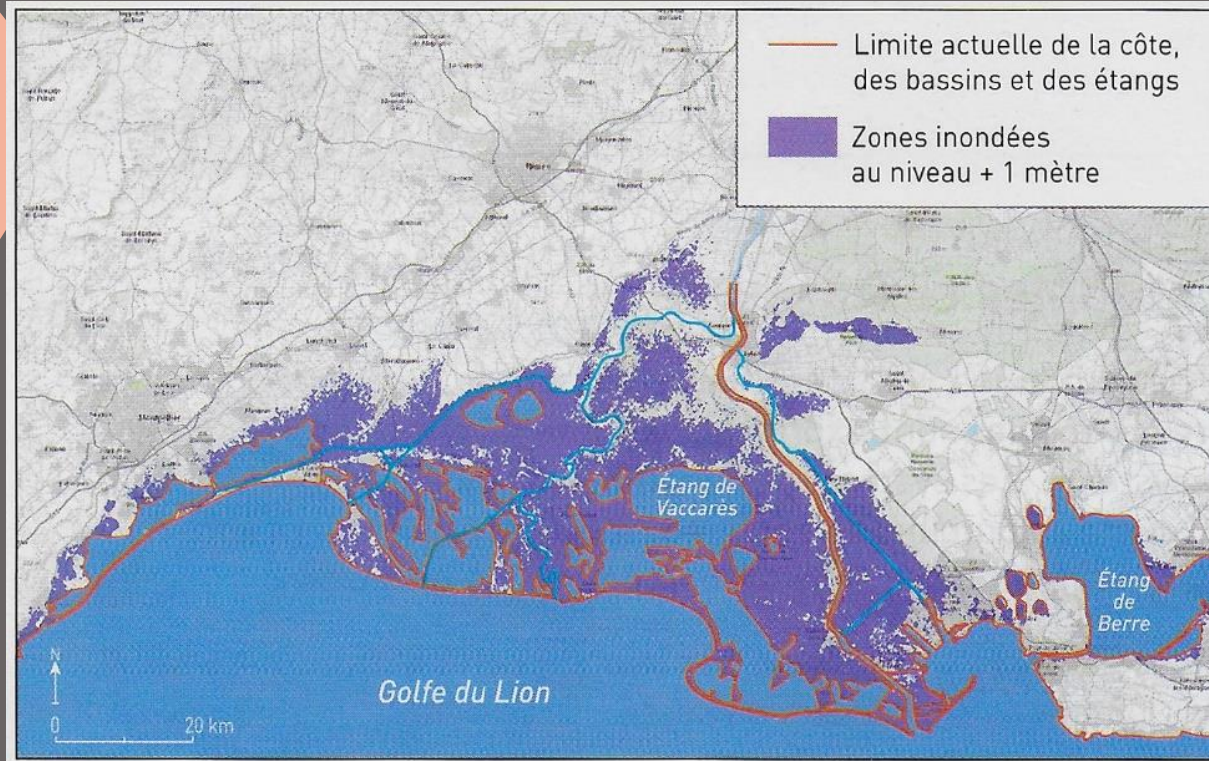
À l'aide de modélisations climatiques, les scientifiques du GIEC ont établi quatre scénarios possibles nommés RCP (*Representative Concentration Pathways* = scénarios de concentration représentative) en fonction de l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre (GES). Chaque numéro correspond au forçage radiatif estimé (ex. : RCP 2.6 = forçage de $2,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Scénario	Type de scénario	Augmentation moyenne de T prévue (en °C)
RCP 2.6	Forte atténuation des émissions de GES	1,5-2
RCP 4.5	Atténuation des émissions de GES où le forçage radiatif est stabilisé avant 2100	2,7
RCP 6.0	Atténuation des GES où le forçage radiatif est stabilisé après 2100	3,5
RCP 8.5	Scénario extrême où les émissions de GES s'accroissent	4-5

Source : Ojha (C.-S.-P.), et al., *Proceedings of IOE Graduate Conference*, 2015.

Les prévisions climatiques passent par des scénarios d'évolution. Ainsi, le GIEC à l'aide de modélisations climatiques et en fonction de l'évolution des GES prévoit 4 scénarios de réchauffement climatique : RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5.

Présentation des impacts sur le territoire.



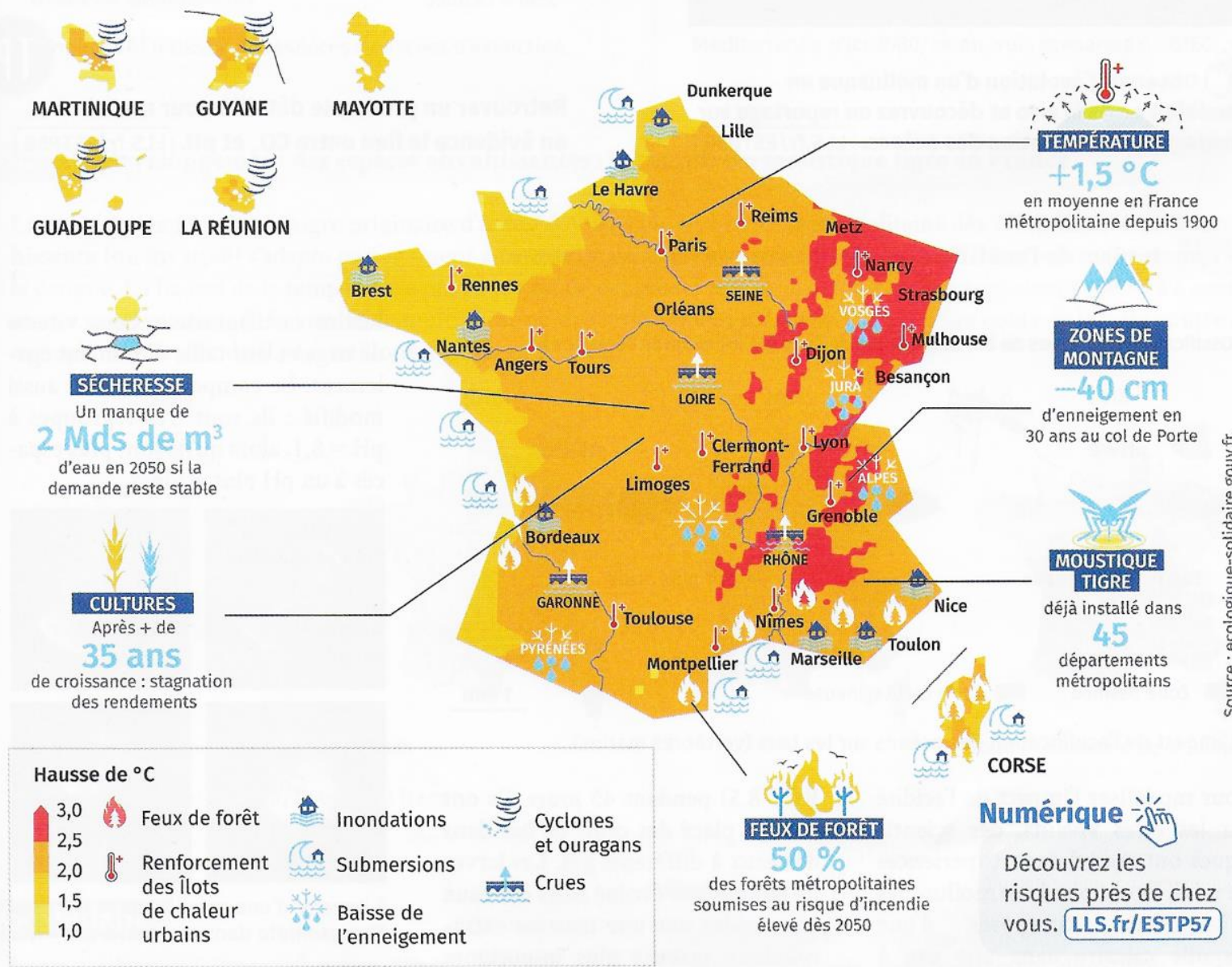
L'élévation du niveau de la mer a été estimée en fonction de différents scénarios du GIEC. Avec le RCP 4.5, on estime l'élévation à 0,32 m en 2010 et à 5 m en 2500 par rapport au début du XXI^e siècle. Avec le RCP 8.5, elle est estimée à 1 m en 2100 et à 13 m en 2500.



Cartes des terres émergées du département de la Manche en fonction de la montée du niveau marin.

Dans ces deux exemples, dans le cas du RCP 4.5 (augmentation de température de 2.7 °C), on observera une élévation du niveau de la mer ou des océans telle qu'une partie des territoires se retrouveront immergés. La Camargue notamment sera vouée à disparaître en grande partie. Le département de la Manche sera lui aussi en grande partie sous les eaux.

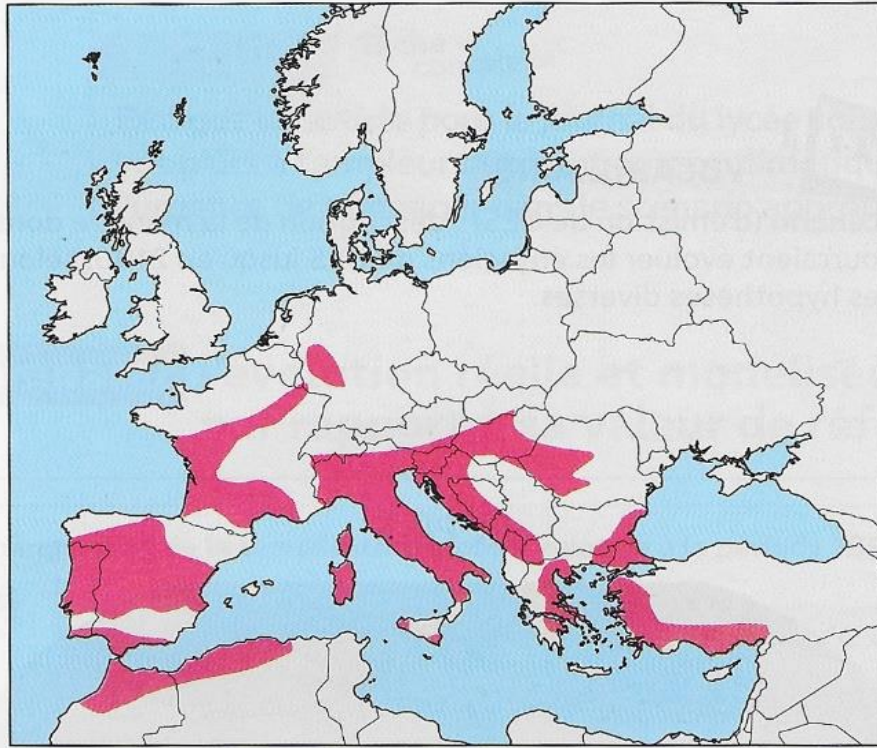
En France, les impacts du changement climatique s'observent d'ores et déjà à travers des phénomènes nombreux et variés qui touchent tous les écosystèmes. Ces risques sont amenés à s'amplifier dans le futur.



Carte des impacts du changement climatique déjà visibles ou à venir d'ici 2050, en France métropolitaine et dans les DROM.

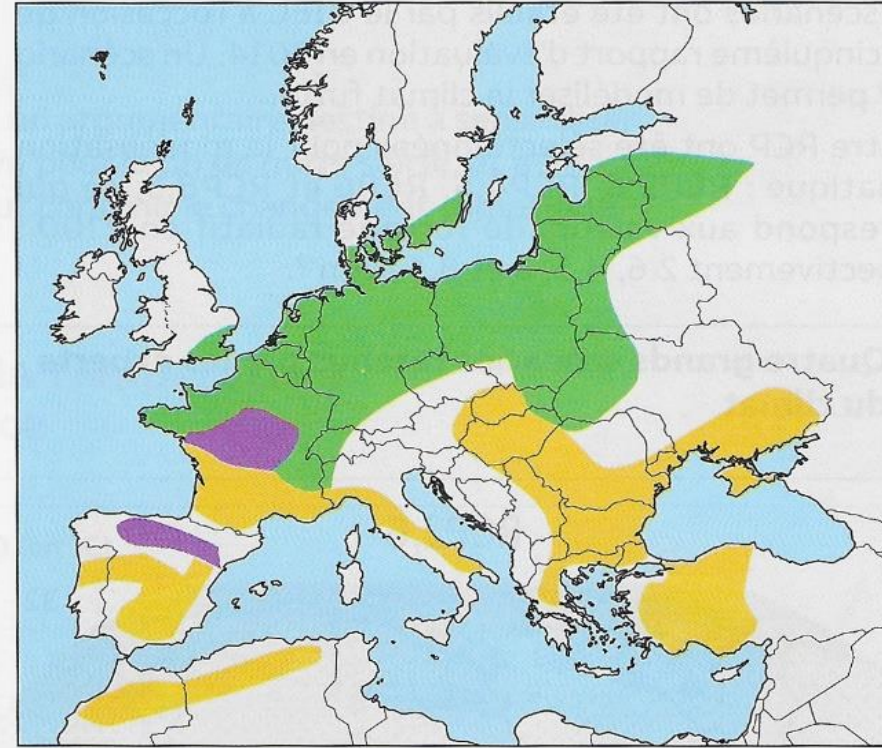
On observera également d'autres conséquences : une diminution de l'enneigement en montagne (la diminution des glaciers est déjà d'actualité), une augmentation des feux de forêt de près de 50%, une augmentation des périodes de sécheresse qui aura pour conséquence une diminution des rendements des cultures. En outre-mer, une augmentation des épisodes cycloniques est à prévoir.

Situation actuelle



Vignobles actuels

Prévisions pour 2050



Zones amenées à disparaître

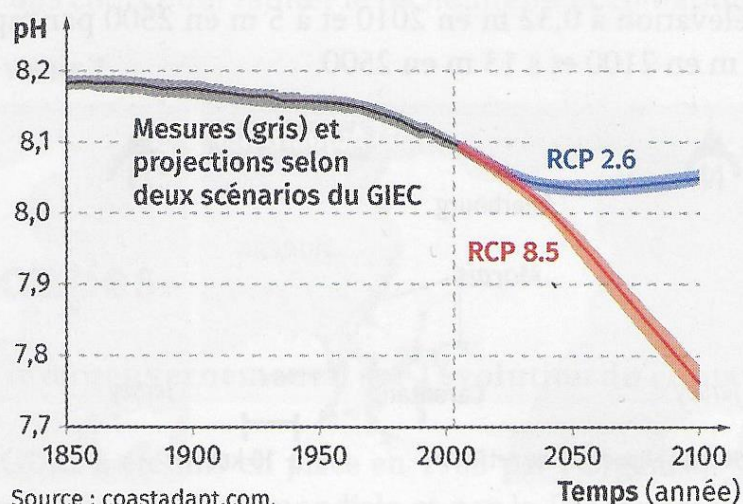
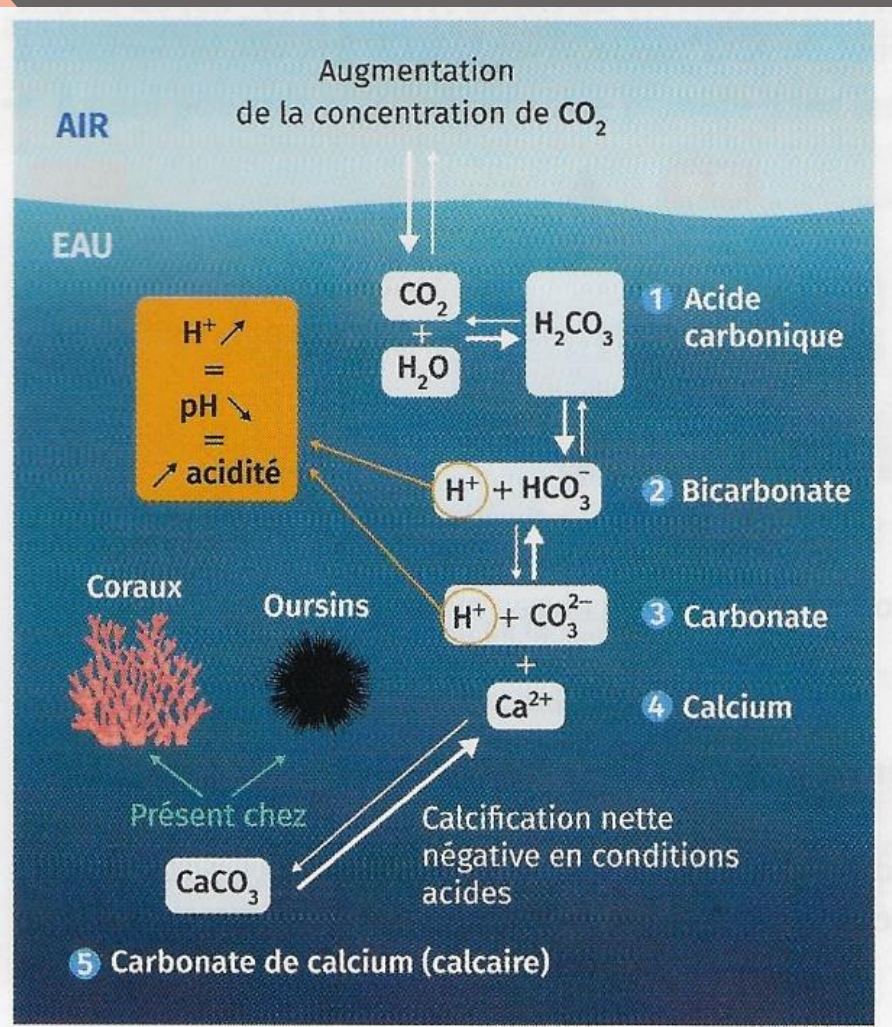
Zones qui resteront adaptées

Nouvelles régions productrices

Ce réchauffement climatique aura également pour conséquence une redistribution de certaines zones cultivables. Ainsi, les zones actuellement adaptées à la viticulture seront amenées à disparaître aux bénéfices de zones situées plus au Nord.

Notre région ne produira alors plus de vins mais c'est le nord de la France qui deviendra adapté à cette production.

Présentation des impacts au niveau des mers et des océans

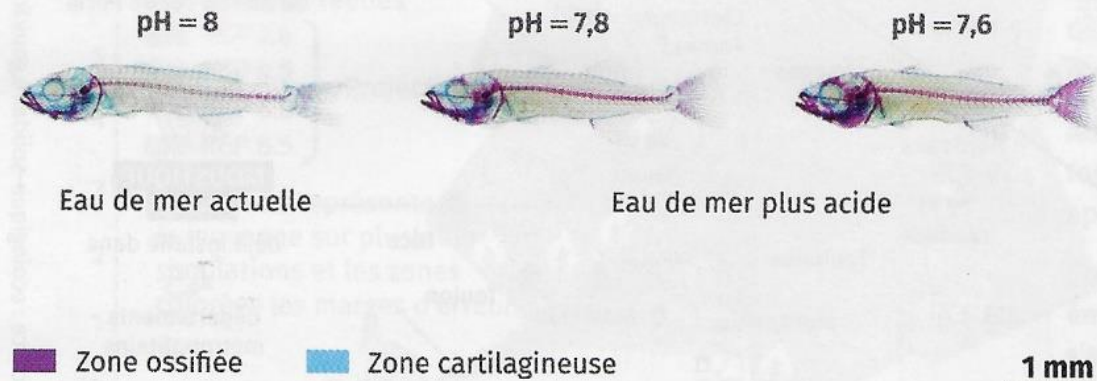


Le pH suit une échelle logarithmique : une solution à pH = 4 est dix fois plus acide qu'une solution à pH = 5. Une variation de pH est donc en réalité plus importante qu'il n'y paraît.

En plus d'une augmentation du niveau des mers et océans, le réchauffement climatique entrainera une acidification des océans à cause d'une augmentation de la dissolution du CO_2 atmosphérique dans l'eau.

Par réactions chimiques, le CO_2 dissout forme des ions H^+ qui entraîne une acidification (baisse de pH) des océans. Cette baisse est particulièrement marqué dans le cas du RCP 8.5 mais reste stabilisé avec le RCP 2.6

Ossification des larves de bar selon le pH de l'eau (45 jours après l'éclosion)

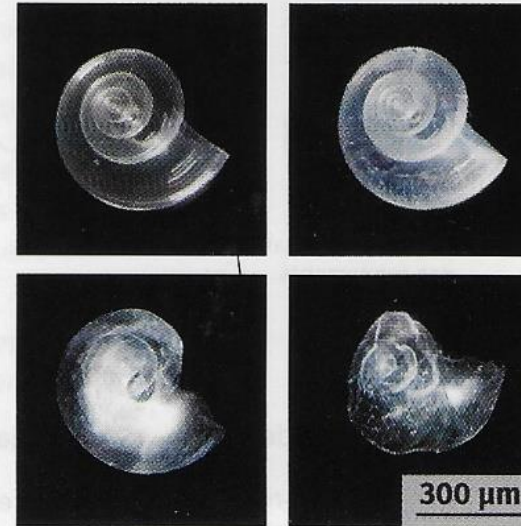


L'impact de l'acidification des océans sur les bars (vertébrés marins).

Pour modéliser l'impact de l'acidité sur les êtres vivants, des scientifiques ont réalisé deux expériences de suivi. Ils ont placé des mollusques (*Thecosomata*) composés d'une coquille calcaire dans une eau à pH = 7,8 (correspondant au scénario

RCP 8.5) pendant 45 jours. Ils ont ensuite placé des œufs de bar dans des eaux à différents pH. Les larves de bar qui ont évolué dans des eaux plus acides ont une matrice extracellulaire osseuse plus importante aux dépens de la matrice extracel-

lulaire cartilagineuse. Leur vitesse de nage et leur taille diminuent également. Le comportement est aussi modifié : ils sont très regroupés à pH = 8,1, alors qu'ils sont plus espacés à un pH plus acide.



Devenir d'une coquille de *Thecosomata* dans une eau à pH = 7,8.

Cette acidification n'est pas sans conséquence pour la faune marine. Ainsi, l'expérience présentée montre un impact sur la matrice extra-cellulaire osseuse qui devient plus importante ce qui entraîne une vitesse de nage et une taille qui diminuent. Le comportement est aussi modifié avec des poissons plus espacés.

Présentation des impacts sur la biodiversité et les écosystèmes

En 2019, l'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques), composée de 150 experts, a publié un rapport qui explique que 75 % des milieux terrestres sont sévèrement altérés par les activités humaines et qu'un million d'espèces sont menacées.

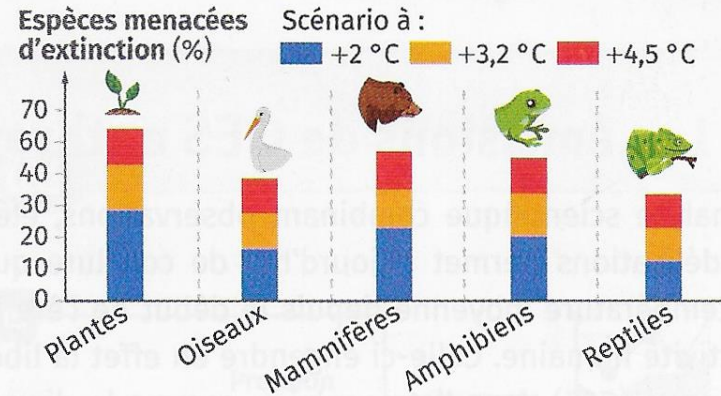


+ 70 %
d'espèces envahissantes

Source : IPBES.

Données de l'IPBES sur les espèces menacées d'extinction.

L'exemple de la tortue luth illustre comment le réchauffement climatique peut menacer de disparition une espèce. Il engendre en effet des problèmes de reproduction chez cet animal. La température du sable où les tortues pondent leurs œufs détermine le sexe des individus. Les mâles éclosent plus en profondeur à des températures plus fraîches. Une augmentation de la température du sable peut ainsi entraîner une éclosion de femelles uniquement, voire une absence totale d'éclosion. D'autres espèces sont concernées :

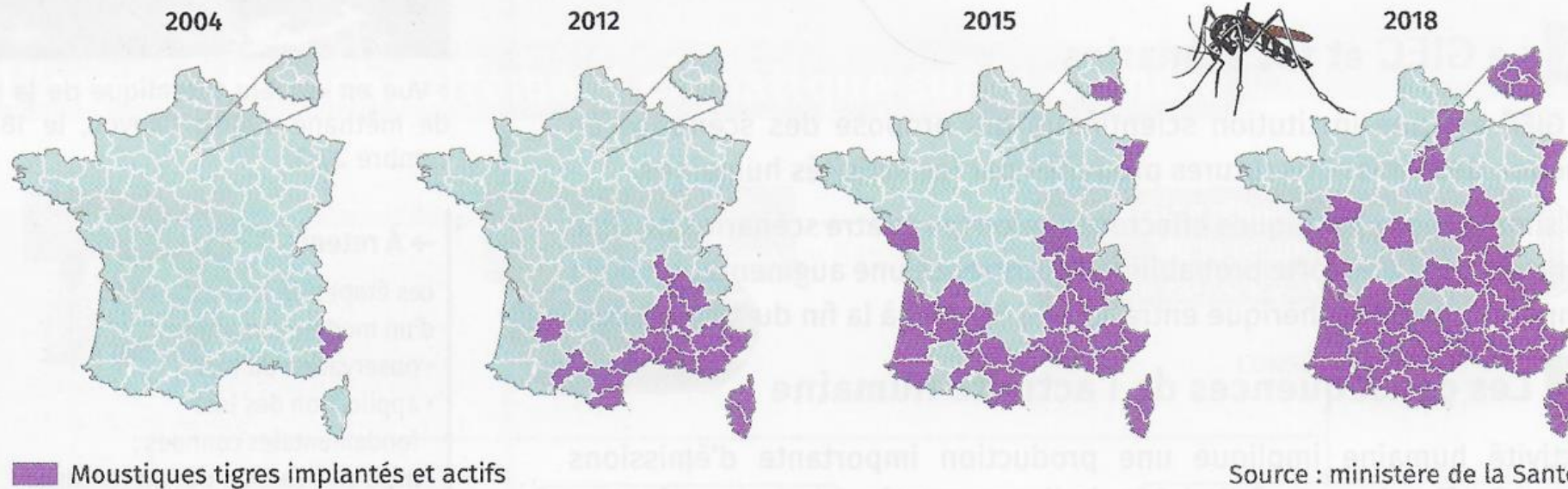


Risque d'extinction d'espèces au niveau de la Méditerranée d'ici 2080, selon trois scénarios du GIEC.

Le réchauffement climatique menace de nombreuses espèces (environ 1 millions d'espèces sur les 10 millions d'espèces animales et végétales sur Terre)

Ces extinctions ont déjà commencé, le rat à queue mosaïque a disparu, la Tortue Luth est elle-aussi menacée car le réchauffement climatique engendre des effets sur sa reproduction.

La présence du moustique tigre originaire d'Asie a été détectée en France métropolitaine dès 2004. Cette espèce envahissante (ou invasive) s'adapte parfaitement aux villes et est un vecteur de maladies virales comme le chikungunya ou la dengue. La hausse de la température provoque un raccourcissement de son cycle de développement (de 10 à 6 jours) et une augmentation de la vitesse de multiplication des virus au sein même de l'insecte. Les coûts de la lutte contre ce moustique s'élèvent déjà à 4,5 millions d'euros en France.



La progression du moustique tigre en France.

Le réchauffement permet également de favoriser les espèces envahissantes (+70% de ce type d'espèces selon le document précédent.) L'exemple du Moustique Tigre qui était absent de nos régions au début des années 2000 et qui est maintenant bien installé illustre ce type d'invasion à venir. Avec le moustique, d'autres maladies virales (chikungunya , dengue) se développeront dans nos régions.

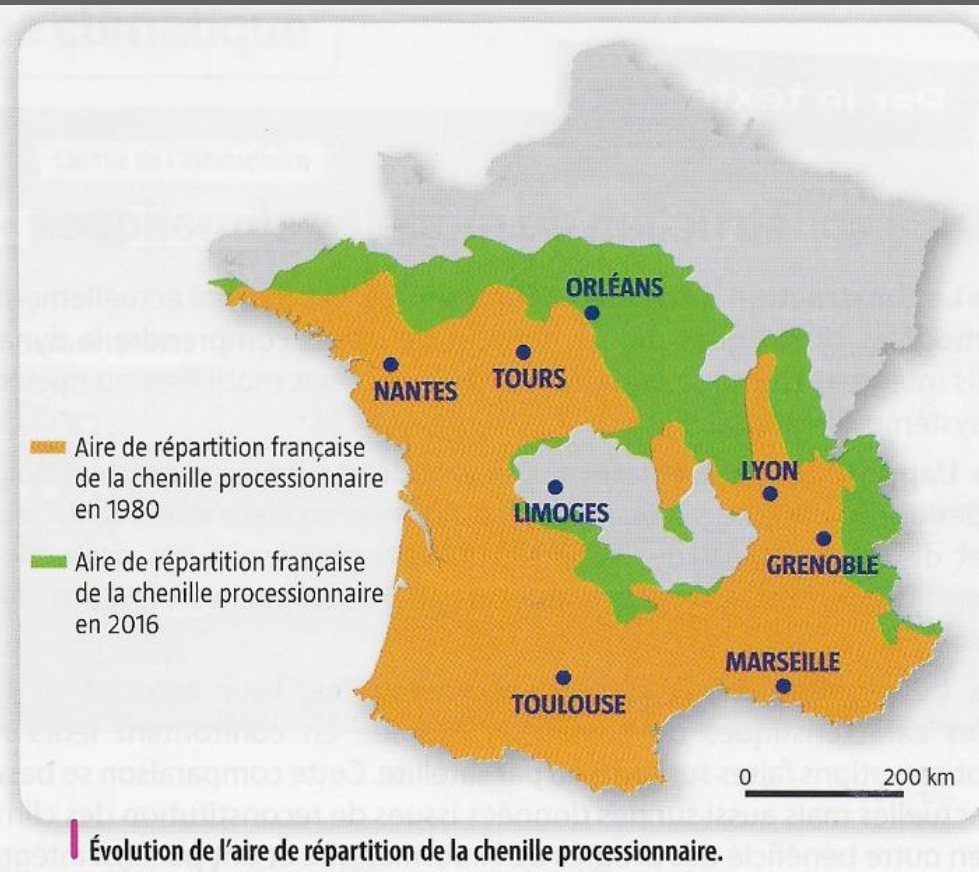


- Les chenilles processionnaires sont des larves de papillon qui vivent en groupe. Leurs poils sont urticants et allergènes.

- Elles ont un développement larvaire hivernal

très sensible à la température. Une température inférieure à -16 °C leur est fatale. Elles se nourrissent la nuit d'aiguilles de pin, uniquement si la température en journée est supérieure à 9 °C et si la température nocturne est supérieure à 0 °C . Un froid trop important entraîne donc leur mort.

- Depuis 1980, on estime que les chenilles processionnaires colonisent le nord de la France avec une vitesse de progression de $2\text{ km} \cdot \text{an}^{-1}$.



Dans la continuité de l'exemple précédent, les chenilles processionnaires très sensible au froid et qui jusque là étaient cantonnées à la moitié Sud de la France voient leurs aires de répartition progressivement remontées vers le Nord, conséquence directe du réchauffement climatique.