

SESSION 2026

CAPES ET CAFEP
CONCOURS EXTERNE

Section
SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Épreuve écrite disciplinaire appliquée

L'épreuve consiste en l'élaboration d'une séquence d'enseignement au niveau collège et/ou lycée. Elle a pour objectif l'évaluation des compétences didactiques et pédagogiques du candidat, ainsi que sa maîtrise des concepts scientifiques, des démarches et des méthodes usitées en sciences de la vie et de la Terre.

Le candidat s'appuie sur des ressources documentaires de nature variée, incluant des documents professionnels (préparations de cours, productions d'élèves, évaluations, extraits de programmes scolaires, ...) qu'il devra analyser et exploiter. Le questionnement guidera le candidat quant aux analyses attendues.

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique (y compris la calculatrice) est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie. Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

CAPES EXTERNE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

► Concours externe du CAPES de l'enseignement public :

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E B E	1 6 0 0 F	1 0 2	9 3 1 2

► Concours externe du CAFEP/CAPES de l'enseignement privé :

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E B F	1 6 0 0 F	1 0 2	9 3 1 2

La complexité du système climatique

Le système climatique terrestre résulte de l'action combinée de paramètres externes et de paramètres internes au système Terre. Il met en jeu les interactions entre les différentes enveloppes terrestres et il est en permanente évolution.

Dans le cadre des enseignements au collège et au lycée, le thème traité dans cette épreuve contribue à l'acquisition de nouveaux savoirs scientifiques ainsi qu'à la construction de compétences scientifiques et transversales. En outre, il peut être exploité pour comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration.

L'objectif final de cette épreuve est d'élaborer une séquence d'enseignement dans le cadre du programme d'enseignement scientifique en classe de terminale générale. Afin d'atteindre cet objectif, vous répondrez aux différentes questions, organisées selon trois parties, à l'aide de l'exploitation de documents.

Une séquence d'enseignement s'entend comme un ensemble de séances, articulées entre-elles dans le temps et organisées autour d'une ou plusieurs activités en vue d'atteindre un ou plusieurs objectifs d'apprentissages.

PARTIE 1

Concepts et méthodes en SVT
Durée approximative conseillée : 1h30

PARTIE 2

Réflexions didactiques et pédagogiques
Durée approximative conseillée : 2h

PARTIE 3

Construction d'une séquence d'enseignement dans le cadre du programme d'enseignement scientifique de terminale générale.
Durée approximative conseillée : 1h30

Partie 1. Concepts et méthodes

(durée : environ 1h30) 12 questions

Question 1A. Des indices de variations climatiques à différentes échelles de temps et d'espace

Document 1. Évolution des rapports isotopiques de l'oxygène en conditions actuelles.

Document 2. Les apports des carottes glaciaires.

Document 3. Formule du calcul du $\delta^{18}\text{O}$.

Document 4. Relation entre le δD , le $\delta^{18}\text{O}$ et la température moyenne sur la péninsule Antarctique (δD) et le Groenland ($\delta^{18}\text{O}$).

Document 5. Variation de la température atmosphérique obtenue par mesures sur les glaces extraites du forage dans la glace à Vostok en Antarctique.

Document 6. Évolution de la mer de glace (massif du Mont Blanc).

Document 7. Évolution de l'anomalie du contenu de chaleur de l'océan sur les premiers 2000 m de profondeur par rapport à la moyenne de référence 1981-2010.

1A-1. Définir le terme d'isotope stable et comparer les isotopes ^{18}O et ^{16}O de l'oxygène.

1A-2. À partir des **documents 1 et 3** :

1A-2.1. Expliquer le principe du fractionnement isotopique appliqué aux isotopes de l'oxygène sous ses différentes formes constituant les molécules d'eau.

1A-2.2. Justifier l'utilisation d'un « standard » et le calcul d'un rapport plutôt que les mesures brutes.

1A-3. À l'aide du **document 2**, justifier la relation entre la profondeur des glaces et leur âge et indiquer sur quel principe repose sa détermination. Indiquer l'ensemble des informations qu'un échantillon de glace peut apporter sur le climat.

1A-4. En utilisant le **document 4**, justifier l'utilisation du $\delta^{18}\text{O}$ comme thermomètre isotopique.

1A-5. En vous appuyant sur les documents précédents, retracer les étapes ayant permis de produire le **document 5** puis caractériser les variations climatiques remarquables.

1A-6. Dans le contexte du changement climatique actuel, indiquer quels sont les apports des **documents 6 et 7** et leur complémentarité.

Question 1B. Les facteurs naturels des variations climatiques

Document 8. Solubilité du CO_2 dans l'eau de mer entre 0 et 35°C.

Document 9. Albédo de différentes surfaces

1B-1. Présenter les principales causes naturelles des variations climatiques (20 lignes maximum).

1B-2. Construire un schéma présentant le principe de l'effet de serre sur Terre.

1B-3. Expliquer les effets amplificateurs sur le système climatique illustrés par les **documents 8 et 9**.

Question 1C. Impact anthropique et forçages climatiques

Document 10. Gamme de variation du rapport isotopique $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$.

Document 11. Émissions anthropiques de CO_2 et évolution de la composition atmosphérique en CO_2 et ses isotopes.

Document 12. Facteurs de forçage radiatif du climat.

Document 13. Variations de la température globale entre 1850 et 2020.

1C-1. En vous appuyant les **documents 10 et 11**, montrer que les activités humaines sont responsables de l'augmentation récente (< 200 ans) du taux atmosphérique de CO_2 .

1C-2. À l'aide des **documents 6 à 13** et de vos connaissances, proposer trois arguments démontrant l'impact anthropique sur le bilan radiatif global.

Partie 2. Réflexions didactiques et pédagogiques

(durée : environ 2h) 11 questions

Question 2A. Objectifs des programmes

Document 14. Quatre types d'affirmations.

Document 15. Les six attendus du savoir scientifique.

Document 16. Positionnement du météorologue et climatologue américain Roy Warren Spencer.

Document 17. Présentation du GIEC et de ses principales conclusions.

Document 24. Extrait du programme de sciences de la vie et de la Terre de terminale générale, enseignement de spécialité.

Document 25. Extrait du programme de l'enseignement scientifique de terminale générale.

2A-1. Les préambules du programme de l'enseignement de spécialité SVT (**document 24**) et celui du programme de l'enseignement scientifique de terminale générale (**document 25**) définissent la « formation scientifique » dispensée aux élèves. Comparer sous la forme d'un tableau les formations scientifiques que proposent ces deux cursus.

2A-2. En vous appuyant sur les **documents 14 et 15**, indiquer en quoi les **documents 16 et 17** permettent d'illustrer ce qu'est le savoir scientifique.

Question 2B. Prise en compte des incertitudes en sciences

Document 7. Évolution de l'anomalie du contenu de chaleur de l'océan sur les premiers 2000 m de profondeur par rapport à la moyenne de référence 1981-2010.

Document 18. Extraits de la bande dessinée Horizons climatiques : rencontre avec 9 scientifiques du GIEC.

2B-1. En vous appuyant sur le **document 18**, identifier deux types d'incertitudes dans l'ensemble du corpus documentaire. Préciser pour chaque type d'incertitude le document du corpus où elle s'illustre en justifiant votre choix.

2B-2. Identifier et expliquer les obstacles à la compréhension posés par le vocabulaire et la représentation des incertitudes dans les documents scientifiques. Vous utiliserez le **document 7** pour étayer votre réponse. Proposer deux aménagements permettant de contourner ces obstacles.

Question 2C. Mise en œuvre des programmes

Document 19. Vidéos récapitulatives des mouvements atmosphériques annuels au-dessus de l'Europe et données météo associées.

Document 20. Diagrammes climatiques de trois villes européennes.

Document 21. Estimation de l'impact de la dilatation thermique de l'eau sur le niveau des océans.

Document 22. Évolutions de quelques paramètres physiques et chimiques lors de l'orogénèse himalayenne.

Document 23. Réactions d'altération de quelques minéraux.

Document 25. Extrait du programme de l'enseignement scientifique de terminale générale.

2C-1. Le programme de cycle 4 développe la distinction entre météo et climat.

2C-1.1. Exposer brièvement les définitions de météo et de climat et montrer comment les **documents 19 et 20** peuvent étayer ces définitions.

2C-1. 2. Concevoir une activité fondée sur l'exploitation des **documents 19 et 20** en cycle 4 permettant de travailler la distinction entre météo et climat. Préciser les objectifs ciblés, les consignes et la production attendue.

2C-2. Le programme de l'enseignement scientifique de terminale générale précise que l'absorption d'un apport additionnel d'énergie à l'océan conduit à une élévation de son niveau par dilatation thermique de l'eau.

2C-2.1. Schématiser une modélisation analogique illustrant la dilatation thermique d'un liquide soumis à une élévation de température et indiquer sa place au sein d'une séance en la justifiant.

2C-2.2. À partir des données du **document 21**, réaliser un calcul permettant de quantifier l'élévation du niveau des océans par dilatation thermique. Proposer deux approches afin d'adapter ce calcul à différents profils d'élèves.

2C-2.3. En utilisant les **documents 7 et 21**, ainsi que la modélisation analogique, rédiger un QCM (questionnaire à choix multiples) portant sur l'élévation du niveau des océans liée à la dilatation thermique de l'eau. Ce QCM sera composé de trois questions à choix alternatifs (une bonne réponse parmi plusieurs affirmations). Indiquer quelles sont les bonnes et les mauvaises affirmations.

2D L'oral en terminale dans le cadre de la spécialité SVT

2D-1. Exposer les situations certificatives qui requièrent un échange verbal entre l'examineur et le candidat lors d'épreuves du baccalauréat en spécialité SVT.

2D-2. Identifier la notion scientifique du programme illustrée par les **documents 22 et 23**. Formuler trois questions qu'un examinateur pourrait poser pour amener un candidat à argumenter cette notion en établissant des liens entre les documents.

Partie 3. Construction d'une séquence d'enseignement en classe de terminale enseignement scientifique

(durée : environ 1h30)

Tous les documents du dossier sont mobilisables pour la construction de cette séquence, mais l'exhaustivité n'est toutefois pas attendue.

L'objectif est de construire une séquence d'enseignement en lycée en classe de terminale d'enseignement scientifique, portant sur le point du programme : **La complexité du système climatique.**

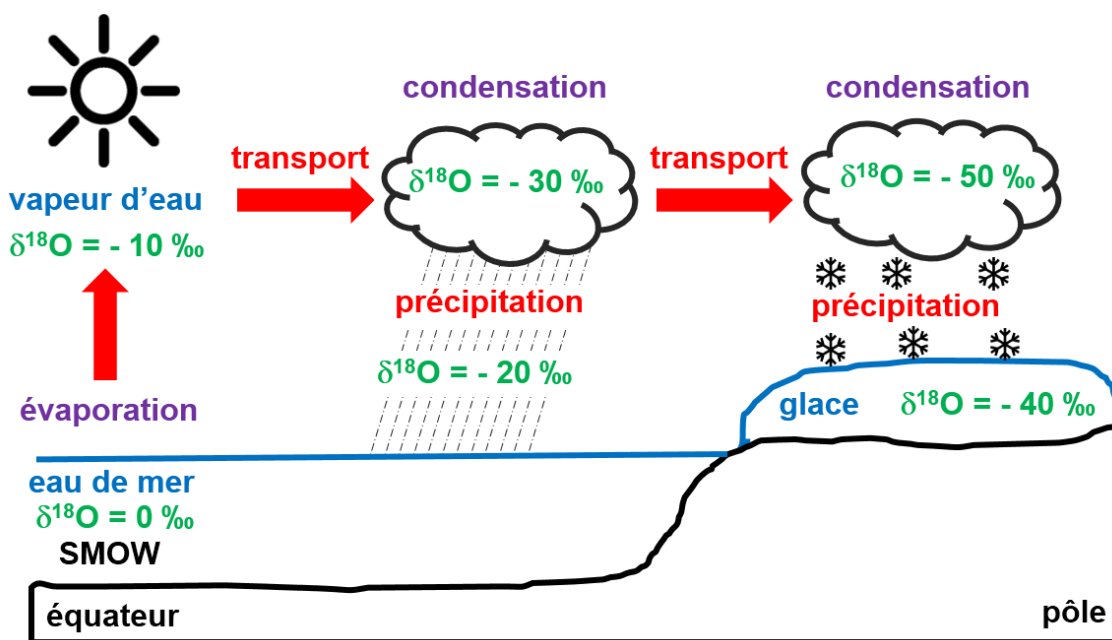
Dans cette séquence vous montrerez comment peuvent être intégrés et articulés certains éléments et documents exploités dans les parties 1 et 2, dans une démarche structurée et élaborée au service de l'objectif général du programme « *Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration* ».

Cette séquence comportera obligatoirement :

- **plusieurs séances, dont vous préciserez, pour chacune :**
 - **les grandes étapes de la démarche pédagogique choisie et l'articulation des séances entre elles ;**
 - **les activités proposées en précisant les objectifs, les documents mobilisés ainsi que les modalités organisationnelles ;**
 - **un bilan notionnel.**
- **une situation d'évaluation des élèves, en spécifiant le type de l'évaluation, son objectif et sa mise en œuvre dans la classe.**
- **un schéma bilan fonctionnel qui expose les effets amplificateurs du système climatique et leurs interactions dans le cadre du programme d'enseignement scientifique.**

Document 1. Évolution des rapports isotopiques de l'oxygène en conditions actuelles.

Source : d'après Plateforme ACCES – ENS Lyon



SMOW = *Standard Mean Ocean Water*

Document 2. Les apports des carottes glaciaires

Un point de forage situé au Dôme Concordia (dôme C), à l'est de l'Antarctique, a permis de prélever les 3190 premiers mètres de glace à l'aide d'un carottier. Les carottes sont ensuite mesurées, répertoriées et échantillonnées.

Les molécules d'eau formant la glace peuvent être présentes sous différentes formes isotopiques telles que : H_2^{16}O , H_2^{18}O mais aussi D_2^{16}O .

H et D (deutérium) sont les deux isotopes de l'hydrogène les plus abondants : H (99,985 %) et D (0,015 %). Leur rapport est nommé δD .

Une lame mince de glace montre des bulles d'air atmosphérique piégées lors de la compaction de la glace et dont l'analyse permet de reconstituer la composition gazeuse lors du piégeage.

2a. Prélèvement d'une carotte de glace au cours d'une expédition entre Vostok et Mirny en 1985.



<https://lejournal.cnrs.fr/articles/comment-la-carotte-a-revolutionne-la-climatologie>

2b. Microphotographie en lumière polarisée analysée d'un échantillon de glace.



https://images.cnrs.fr/photo/19930001_0716



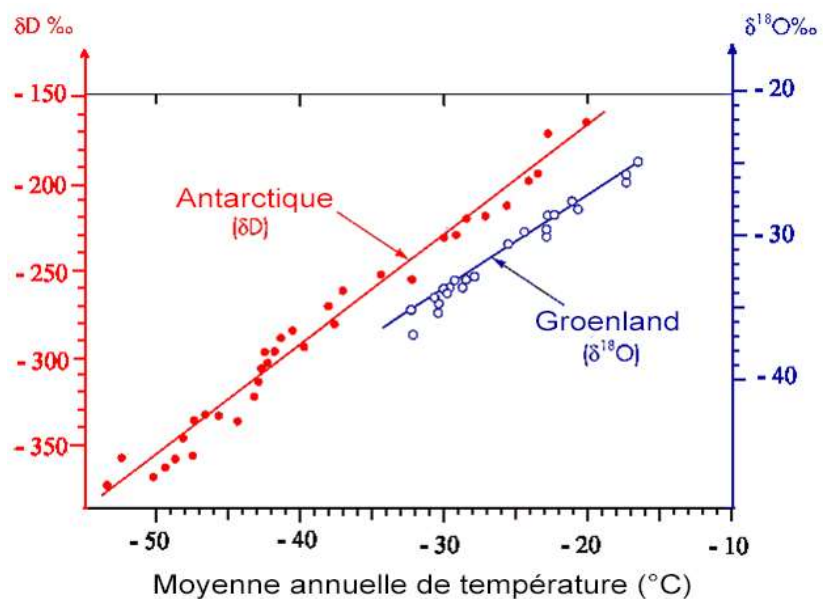
Document 3. Formule de calcul du $\delta^{18}\text{O}$.

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

Document 4. Relation entre le δD , le $\delta^{18}\text{O}$ et la température moyenne sur la péninsule Antarctique (δD) et le Groenland ($\delta^{18}\text{O}$).

Source : Jouzel *et al.* (1994), d'après Lorius et Merlivat (1977) et Johnsen *et al.* (1989).

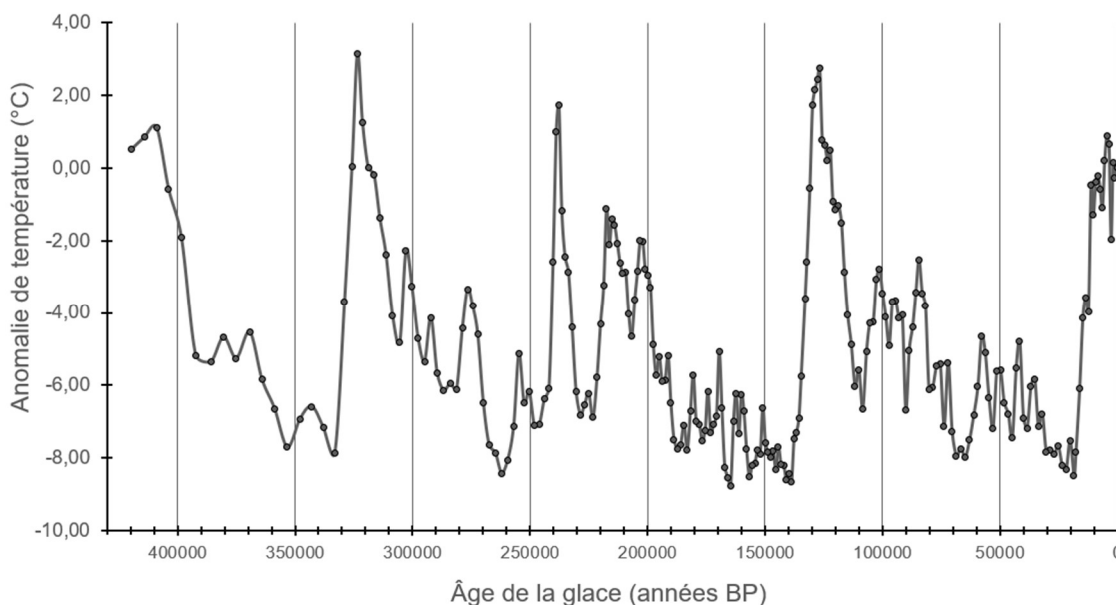
Pour les deux sites, les rapports isotopiques ont été déterminés dans plusieurs stations situées à des latitudes et altitudes différentes. Les températures correspondent aux températures moyennes annuelles pour chaque station.



Document 5. Variation de la température atmosphérique obtenue par mesures sur les glaces extraites du forage dans la glace à Vostok en Antarctique.

Source : données Sowers *et al.* (2004) "Vostok Ice Core Chemistry, Timescale, Isotope, and Temperature Data" U.S. Antarctic Program (USAP) Data Center.

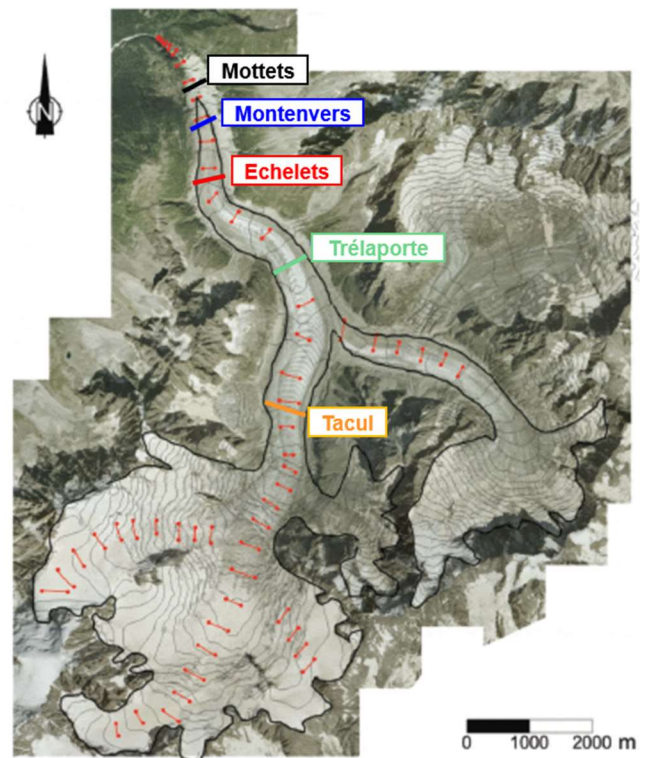
La température de référence est celle de 1859. BP = Before Present, par convention Present = 1950.



Document 6. Évolution de la mer de glace (massif du Mont Blanc).

6a. Carte de la mer de glace avec position des sites et sections pour le calcul des variations d'épaisseur.

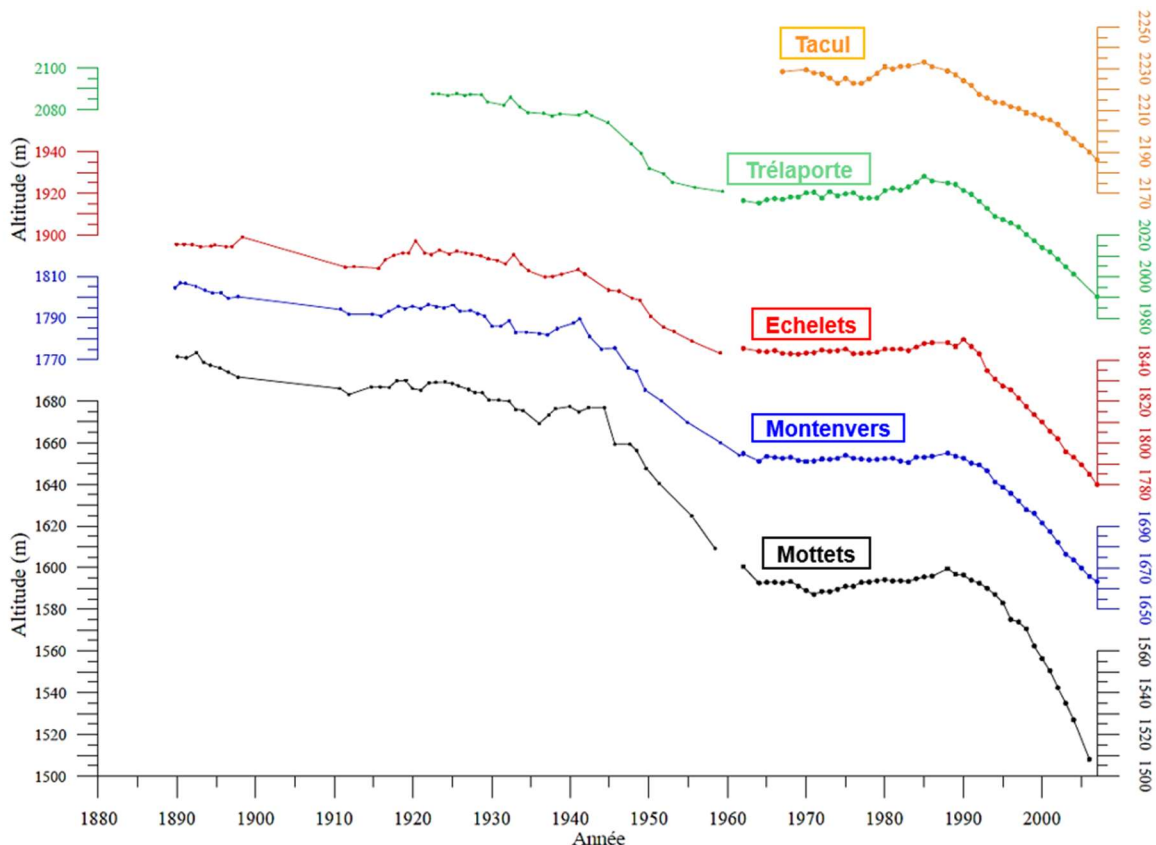
La mer de glace est le glacier le plus important des Alpes françaises. Les variations d'épaisseur sont déterminées par les variations d'altitude de la surface du glacier mesurées dans plusieurs stations depuis la fin du 19^{ème} siècle. Les sections et stations sont localisées sur le document 6a avec le même code couleur que sur le document 6b représentant les variations d'épaisseur.



6b. Variations de l'altitude de la surface du glacier sur cinq sections de la mer de glace.

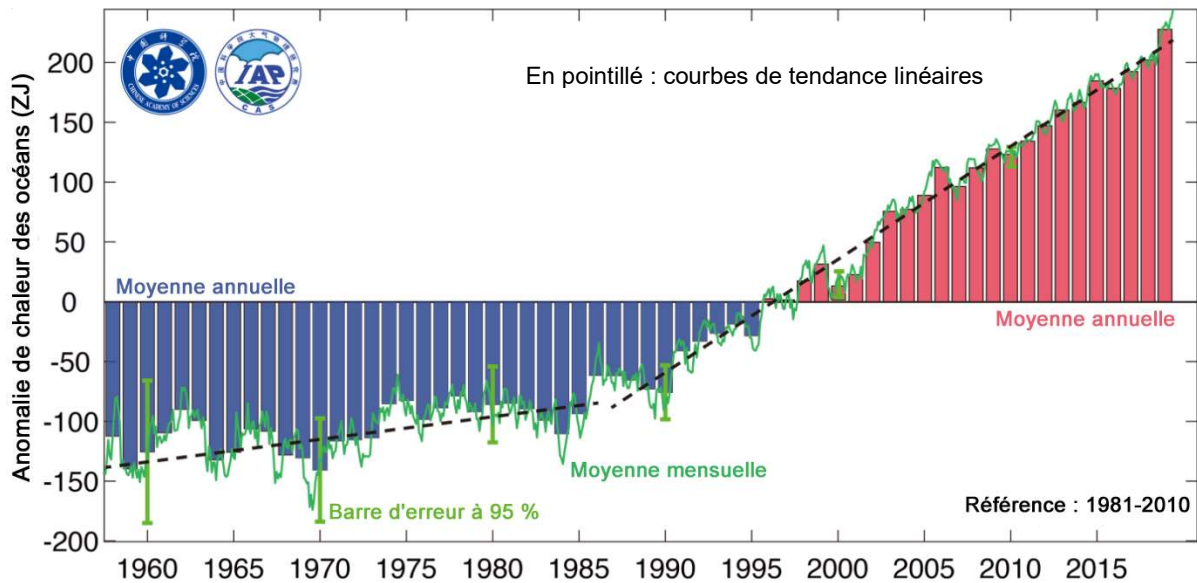
Source : Vincent *et al.* (2014) Future fluctuations of Mer de Glace, French Alps, assessed using a parameterized model calibrated with past thickness changes. *Annals of Glaciology*. 55(66):15-24.

Remarque : l'échelle verticale n'est pas continue. Il y a une échelle par station avec le code couleur associé.



Document 7. Évolution de l'anomalie du contenu de chaleur de l'océan sur ses premiers 2000 m de profondeur par rapport à la moyenne de référence 1981-2010.

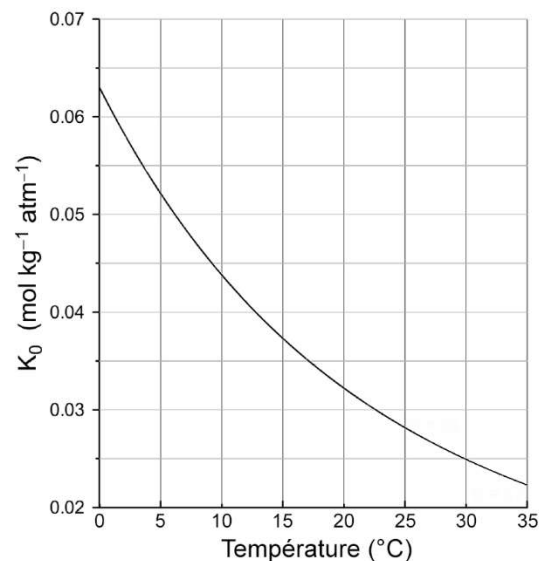
Source: Cheng *et al.* (2020) Record-setting ocean warmth continued in 2019, *Adv. Atmos. Sci.* Vol 37 137-142



Document 8. Solubilité du CO₂ dans l'eau de mer entre 0 et 35°C.

Source: E. Rohling (2023) Marine methods for carbon dioxide removal: fundamentals and myth-busting for the wider community, *Oxford Open Climate Change*, volume 3, issue 1.

La solubilité du CO₂ est représentée par son coefficient de solubilité K_0 .



Document 9. Albédo de différentes surfaces.

Source : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/imagerie-satellite2.xml>

L'albédo est une grandeur physique sans unité permettant d'appréhender l'équilibre thermique d'une surface soumise au rayonnement solaire. Mesuré à l'aide d'un albédomètre, l'albédo varie selon les types de surfaces. L'albédo terrestre moyen est proche de 0,30.

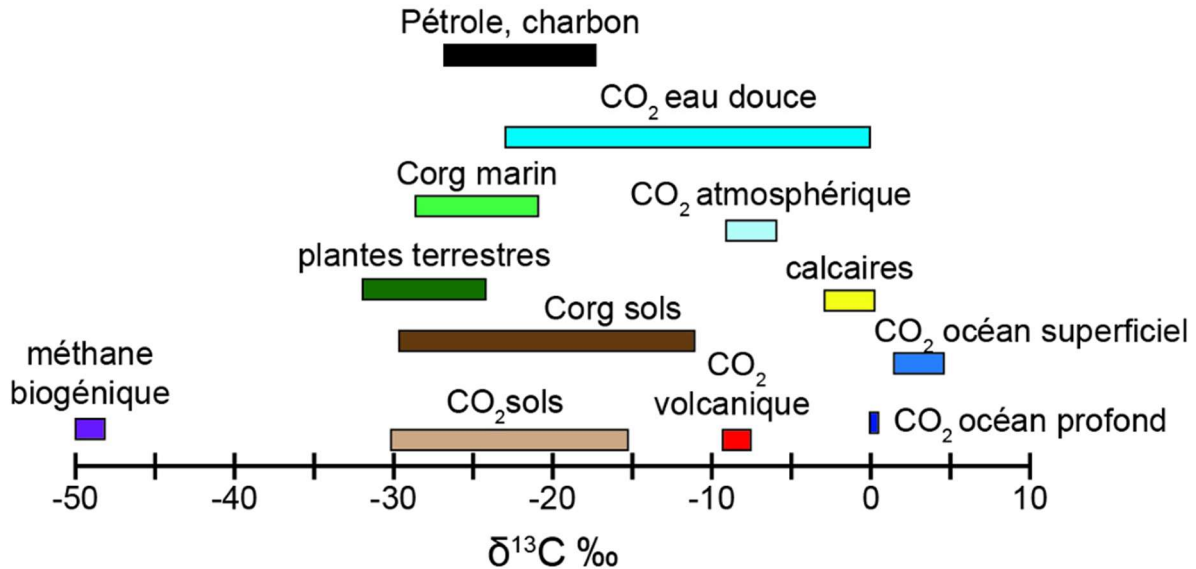
Surface	Albédo
Océans-lacs	0,08
Sols sombres	0,14
Végétation	0,15 à 0,20
Sable-déserts	0,27

Surface	Albédo
Nuages fins	0,30 à 0,40
Nuages épais	0,65 à 0,90
Neige de mer - glace	0,35
Neige	0,60 à 0,80

Document 10. Gamme de variation du rapport isotopique $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$.

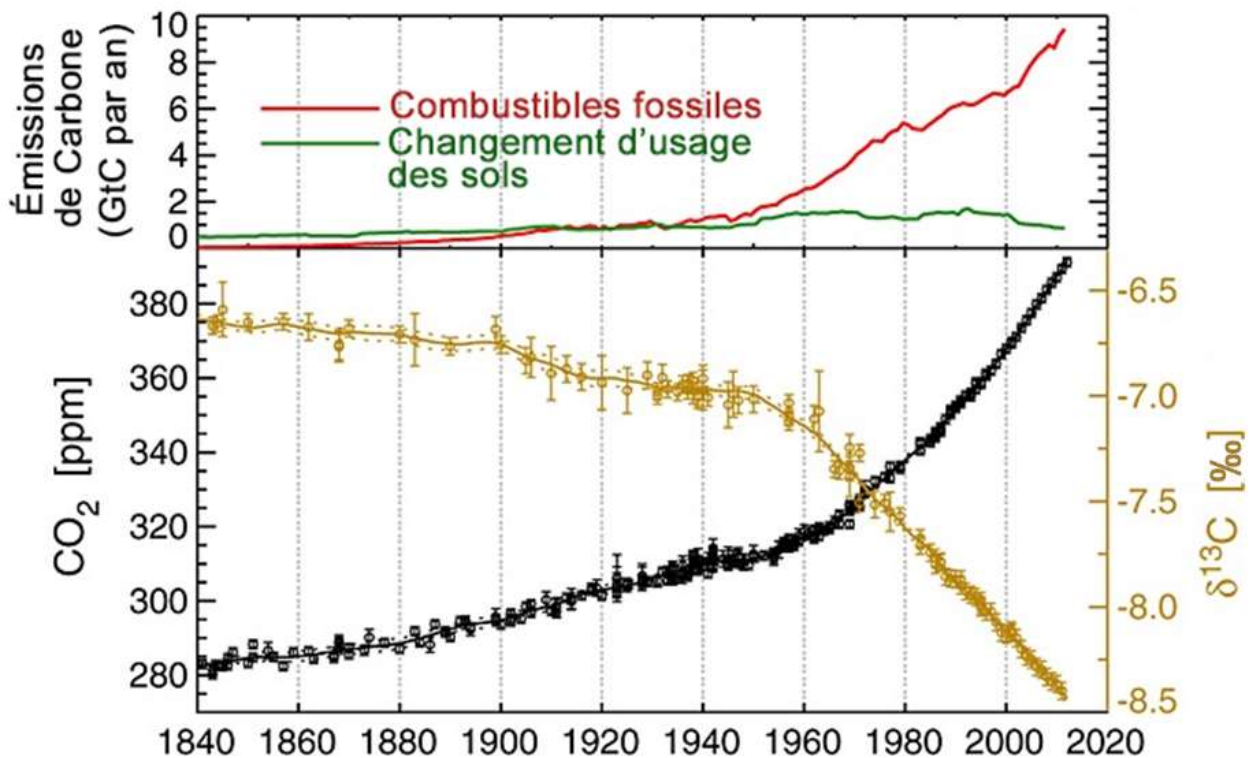
Source : Baudin F. (2021) Pétrole : les preuves de son origine biologique, *Encyclopédie de l'Environnement*.

Le carbone possède deux isotopes stables naturels : ^{12}C et ^{13}C . La matière organique formée lors de la photosynthèse à partir du CO_2 atmosphérique ou de HCO_3^- dissous dans l'eau est très appauvrie en ^{13}C car les plantes fixent préférentiellement le ^{12}C . Dans la plupart des plantes cet appauvrissement est de l'ordre de 0,02% (ce que l'on note aussi $\delta^{13}\text{C} = -20\text{‰}$) par rapport au carbone inorganique source.



Document 11. Émissions anthropiques de CO_2 et évolution de la composition atmosphérique en CO_2 et ses isotopes.

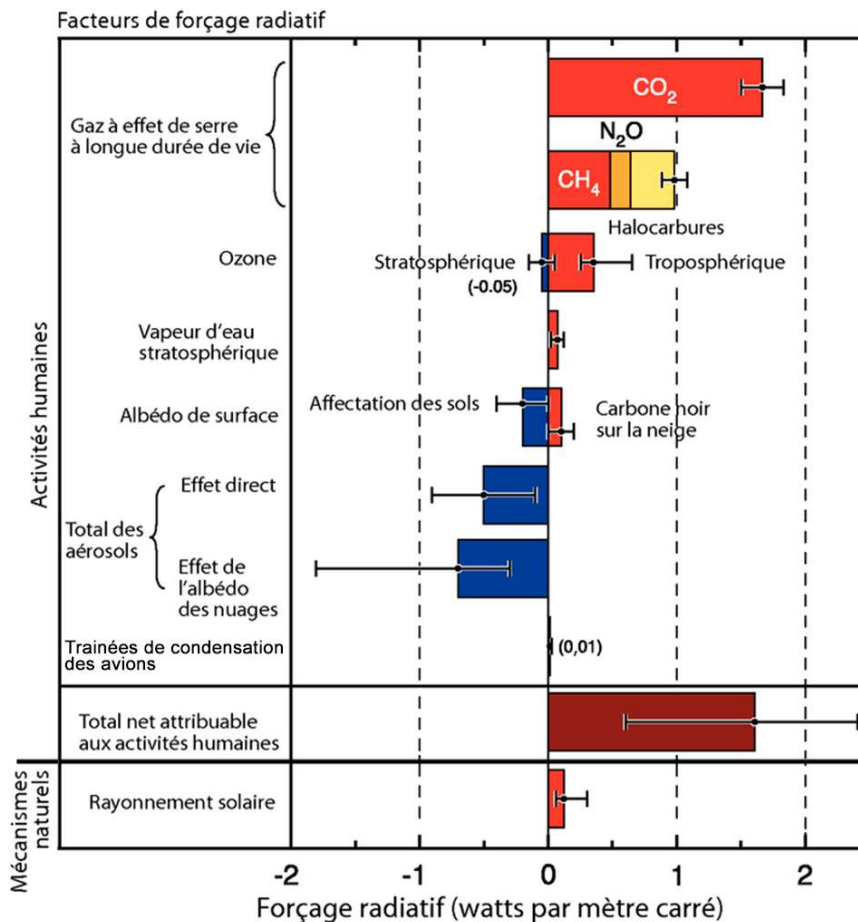
Source: Rubino *et al.* (2013) A revised 1000 year atmospheric $\delta^{13}\text{C}$ - CO_2 record from Law Dome and South Pole, Antarctica. *JGR Atmospheres*, 118(15), 8482-8499



Document 12. Facteurs de forçage radiatif du climat.

Source : IPCC 2013

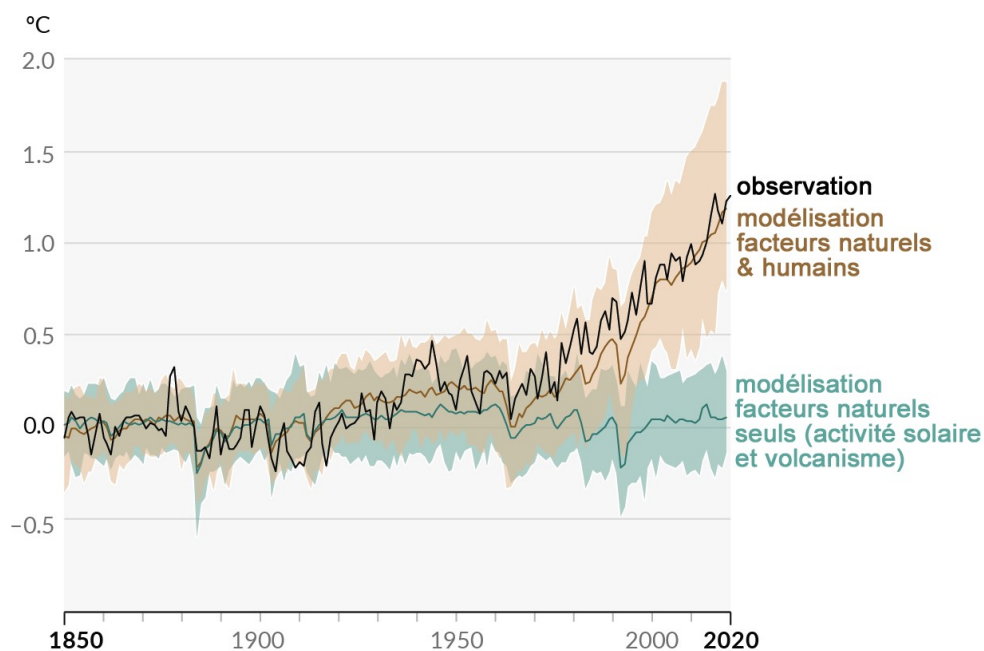
Changements du forçage radiatif au cours de la période 1750-2005 dus aux activités humaines et aux processus naturels. Les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95 %.



Document 13. Variations de la température globale entre 1850 et 2020.

Source : Climate change 2021 – Physical science basis – Rapport du GIEC 2021

Variations de la température globale de surface, en moyenne annuelle entre 1850 et 2020, observée et calculée en prenant en compte soit les seuls facteurs naturels, soit les facteurs naturels et anthropiques.



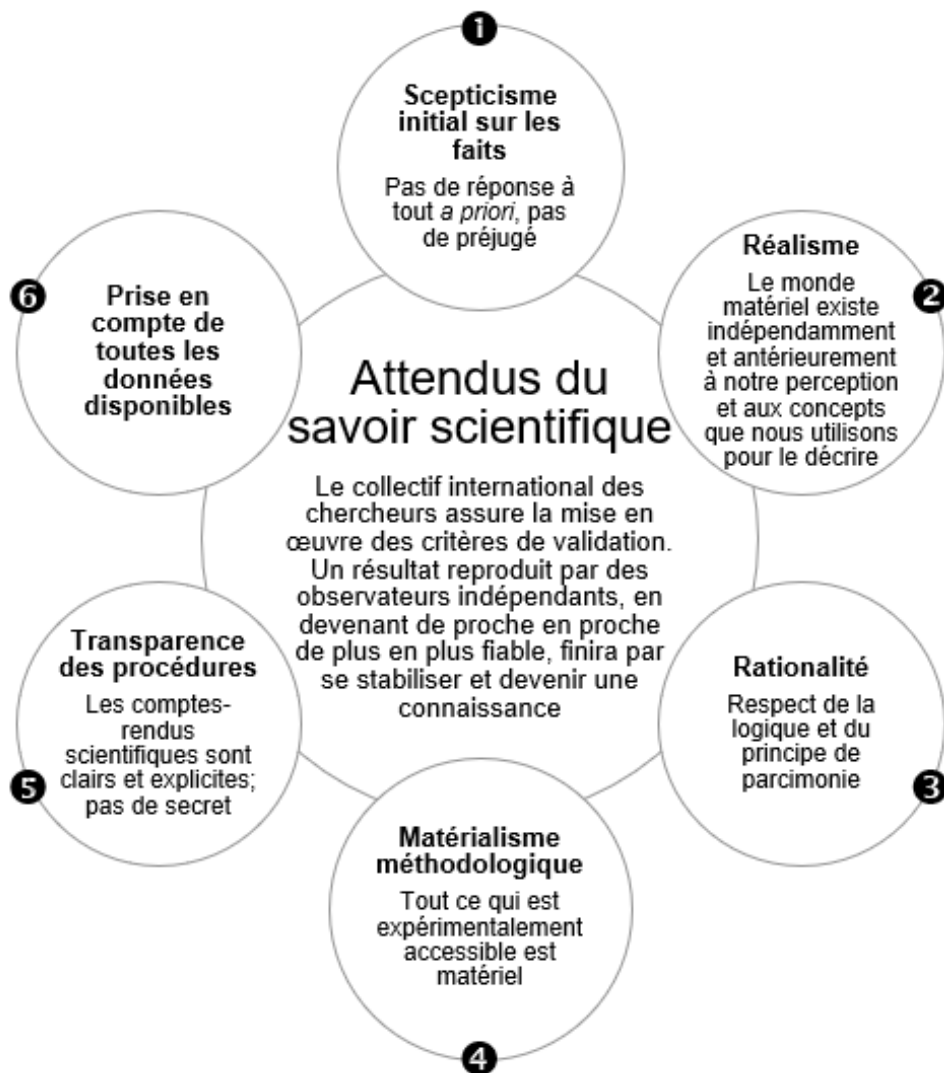
Document 14. Quatre types d'affirmations.

Source : Lecointre G. (2018) *Savoirs, opinions, croyances*, Belin éducation

Affirmation	Assumée...	Légitimée par...
Savoir	Collectivement	Justification rationnelle : ouverture à la réfutation
Croyance	Individuellement	Autorité / Confiance ; indifférence à la réfutation
Croyance religieuse	Collectivement	Autorité / Confiance ; fermeture à la réfutation
Opinion	Individuellement	Divers

Document 15. Les six attendus du savoir scientifique.

Source : Lecointre G. (2018) *Savoirs, opinions, croyances*, Belin éducation



Document 16. Positionnement du météorologiste et climatologue américain Roy Warren Spencer.

16a : Extrait de la biographie de R. W. Spencer.

Source : traduit de la page Wikipédia [https://en.wikipedia.org/wiki/Roy_Spencer_\(meteorologist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Roy_Spencer_(meteorologist))

Spencer a publié deux ouvrages sur le changement climatique : en 2008, *Climate Confusion : How Global Warming Hysteria Leads to Bad Science, Pandering Politicians and Misguided Policies that Hurt the Poor*, et en 2010, *The Great Global Warming Blunder : How Mother Nature Fooled the World's Top Climate Scientists*.

Il estime que la plupart des changements climatiques sont d'origine naturelle et résultent de modifications à long terme de l'albédo de la Terre et que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre ont provoqué un certain réchauffement, mais que l'influence de ce réchauffement est faible par rapport aux fluctuations naturelles, internes et chaotiques de la couverture nuageuse moyenne mondiale.

16b : Extrait d'une publication de R. W. Spencer sur Facebook en juin 2020.

Source : traduit de <https://wattsupwiththat.com/2020/06/22/greenhouse-effect-how-a-cold-atmosphere-can-warm-the-earths-surface/>

L'ajout de CO₂ dans l'atmosphère par la combustion de combustibles fossiles augmente légèrement la capacité de l'atmosphère à maintenir la surface plus chaude en réduisant le taux de perte d'énergie par la surface. La question est de savoir dans quelle mesure. L'effet direct d'un doublement du CO₂ atmosphérique est faible, environ 1°C. Mais les changements indirects dans l'atmosphère résultant de ce réchauffement direct ("rétroactions") peuvent soit l'amplifier, soit le réduire. Je pense que ces rétroactions limiteront le réchauffement à un niveau considérablement inférieur à ce que nous disent les modélisateurs du climat.

Document 17. Présentation du GIEC et de ses principales conclusions.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Groupe_d'experts_intergouvernemental_sur_l'évolution_du_climat

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ou GIEC (en anglais Intergovernmental Panel on Climate Change ou IPCC) est un organisme intergouvernemental chargé d'évaluer l'ampleur, les causes et les conséquences du changement climatique en cours. Créé en 1988 [...], le GIEC est ouvert à tous les pays membres de l'Organisation des Nations Unies. Il regroupe 195 États.

Les évaluations du GIEC sont fondées sur les publications scientifiques et techniques, dont les auteurs du GIEC opèrent une synthèse critique. [...]. Rédigés par des centaines de scientifiques des États membres, les travaux du GIEC aboutissent également à des résumés à l'intention des décideurs, relus phrase par phrase et formellement validés à l'unanimité par les délégués des États, avec l'assentiment des auteurs scientifiques. [...]

Le GIEC a pour mission d'évaluer et de synthétiser l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques disponibles, de façon neutre et objective, en rapport avec la question du réchauffement climatique. L'organisme travaille à rendre compte des différents points de vue et des incertitudes, tout en dégagant clairement les éléments qui relèvent d'un consensus de la communauté scientifique. Il a donc pour mission d'« *établir régulièrement une expertise collective scientifique sur le changement climatique* ».

[...], le GIEC observe que les émissions dues aux activités humaines accroissent sensiblement la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, chlorofluorocarbones, oxyde nitreux) et renforcent l'effet de serre naturel. [...]. L'évolution du climat depuis un siècle s'explique mieux en tenant compte d'une influence anthropique, et que cette évolution n'est vraisemblablement pas d'origine naturelle. [...]. Le GIEC indique que les changements concernant

le niveau de la mer, la couverture neigeuse, la superficie des glaces et les précipitations sont révélateurs d'un réchauffement du climat.

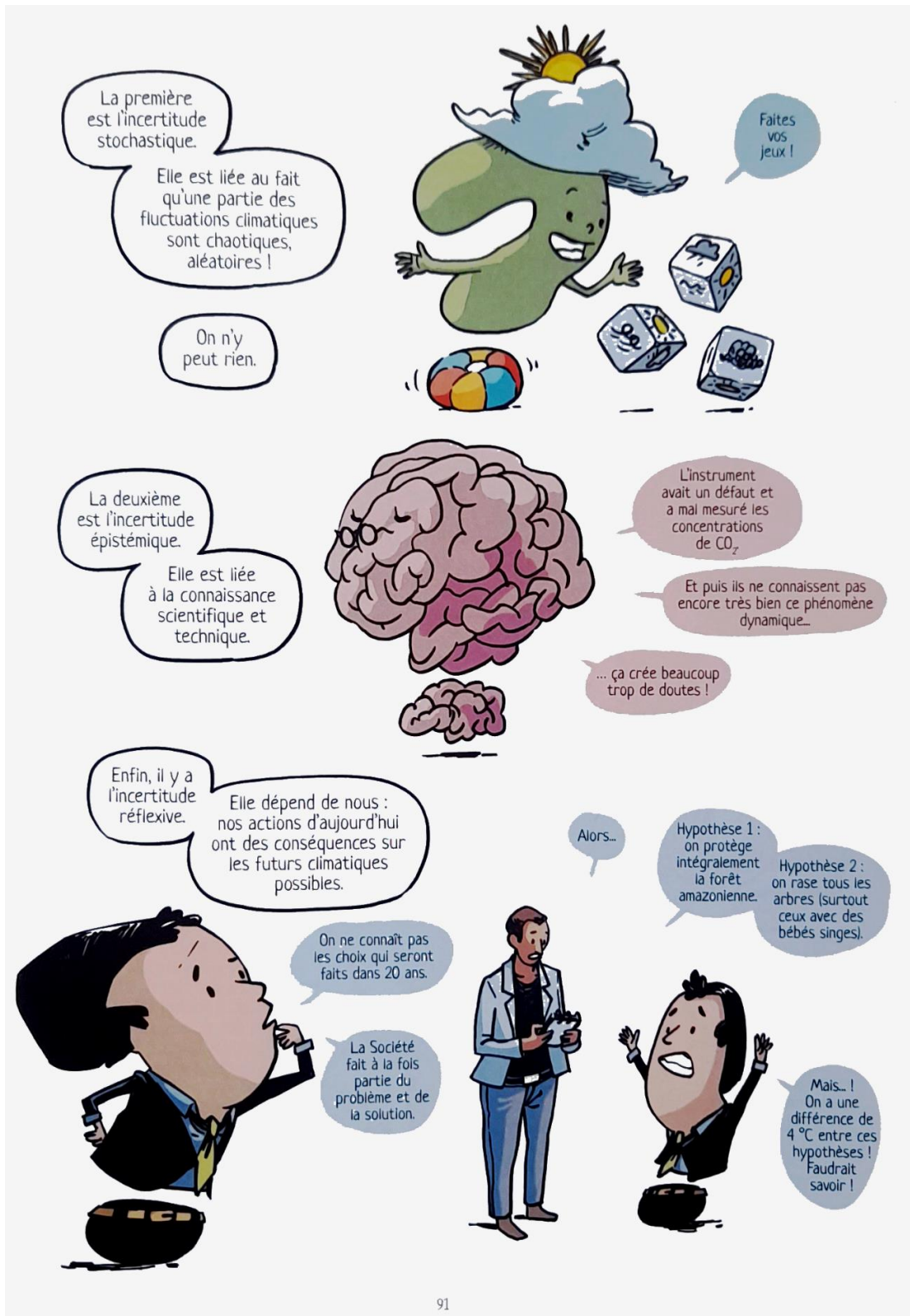
Dans son rapport spécial de 2019 [...] le GIEC écrit : *Selon les estimations, les activités humaines ont provoqué un réchauffement planétaire d'environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels, avec une fourchette probable allant de 0,8°C à 1,2°C. Il est probable que le réchauffement planétaire atteindra 1,5 °C entre 2030 et 2052 s'il continue d'augmenter au rythme actuel (degré de confiance élevé).*

Document 18. Extraits de la bande dessinée **Horizons climatiques : rencontre avec 9 scientifiques du GIEC.**

Source : Iris-Amata Dion, Xavier Henrion (2024) *Horizons climatiques : rencontre avec 9 scientifiques du GIEC*. édition Glénat.







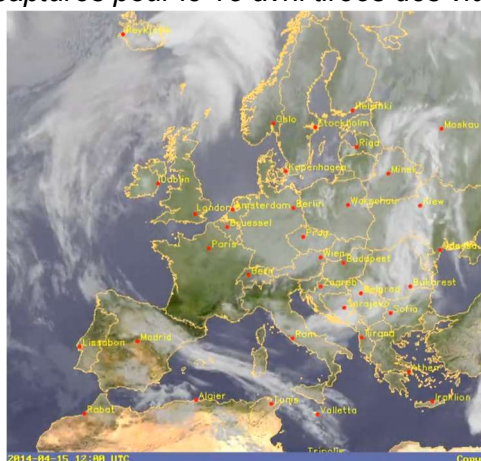
Document 19. Vidéos récapitulatives des mouvements atmosphériques annuels au-dessus de l'Europe et données météo associées.

Source des images : DWDderWetterdienst, <https://www.youtube.com/playlist?list=PL1C6C5675727B296F>

Source des données météorologiques : <https://earth.nullschool.net>

Depuis 2009, l'office météorologique allemand (DWD) met en ligne chaque année des vidéos réalisées par la compilation des images satellites Meteosat sur un an. Ces vidéos permettent de visualiser en une vingtaine de minutes la disposition et le déplacement des masses nuageuses au-dessus de l'Europe, pour chaque jour et pour chaque heure sur une année.

Quatre captures pour le 15 avril tirées des vidéos des années 2014, 2018, 2022 et 2025.



15 avril 2014	Paris	Lisbonne	Oslo
Température (°C)	9,2	16,7	5,5
Pression (hPa)	1027	1014	1023
Humidité (%)	67	72	47
Vent (km.h ⁻¹)	18	15	22



15 avril 2018	Paris	Lisbonne	Oslo
Température (°C)	13,7	13,9	10,2
Pression (hPa)	1013	1019	1016
Humidité (%)	79	98	72
Vent (km.h ⁻¹)	12	13	11



15 avril 2022	Paris	Lisbonne	Oslo
Température (°C)	17,6	17,7	7,1
Pression (hPa)	1026	1022	1031
Humidité (%)	59	61	62
Vent (km.h ⁻¹)	12	14	1

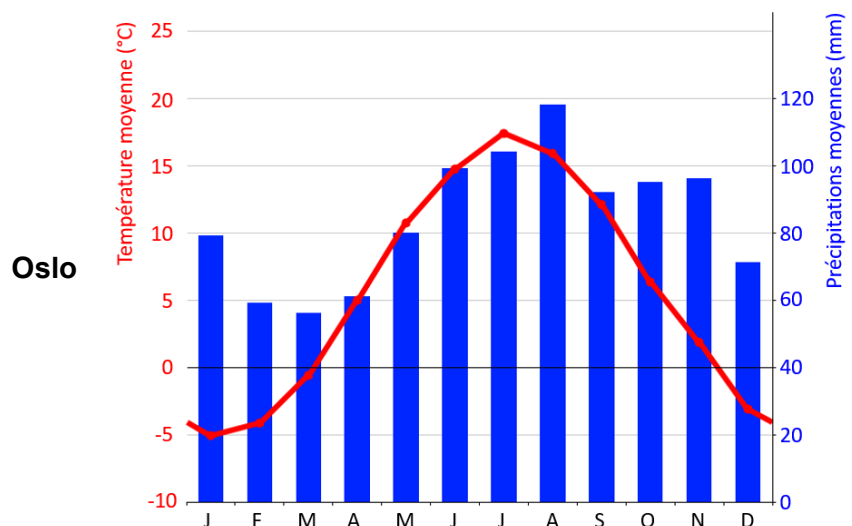
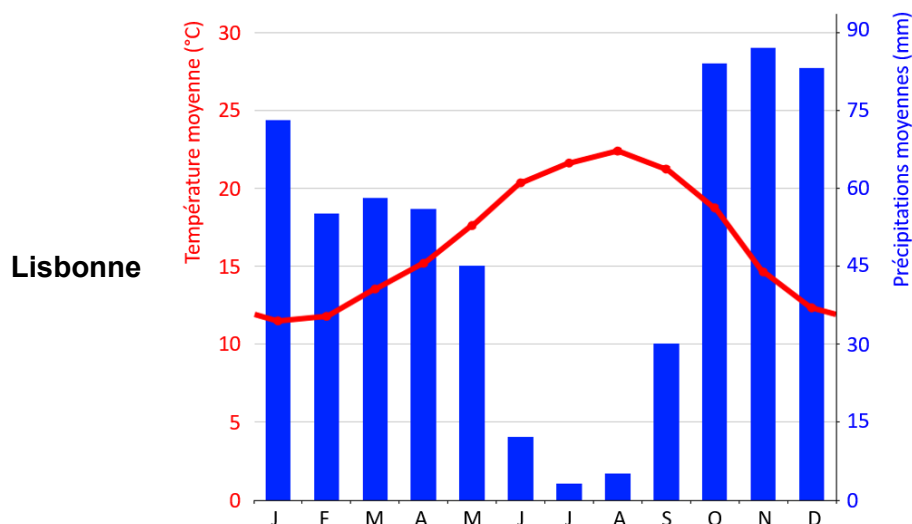
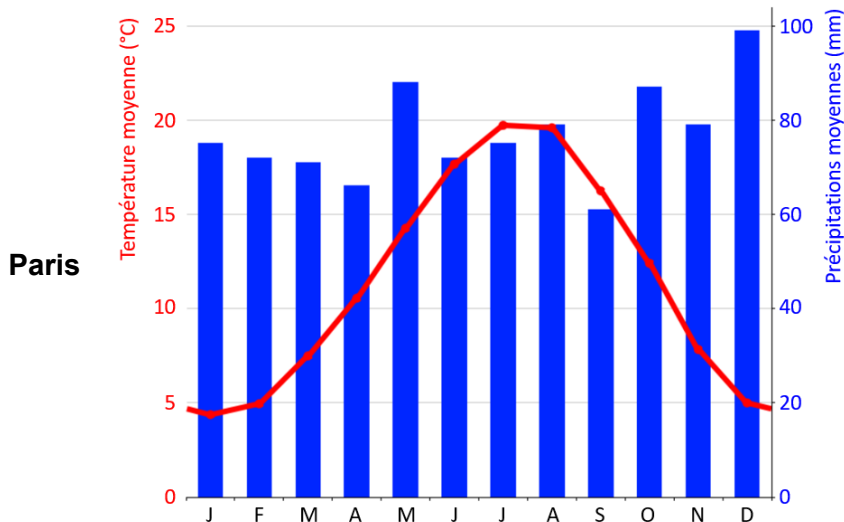


15 avril 2025	Paris	Lisbonne	Oslo
Température (°C)	15,5	13,4	7,7
Pression (hPa)	997	1013	1013
Humidité (%)	70	61	73
Vent (km.h ⁻¹)	23	31	8

Document 20. Diagrammes climatiques de trois villes européennes.

Source : climate-data.org

Les diagrammes climatiques proposés représentent les variations mensuelles sur une année des températures (en °C) et des précipitations (en mm d'eau). Les données utilisées pour produire ces graphiques proviennent des relevés météorologiques pris à un endroit donné pendant plusieurs années afin de pouvoir en faire la moyenne.

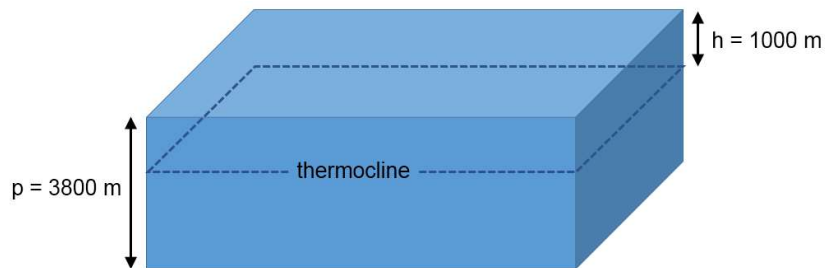


Document 21. Estimation de l'impact de la dilatation thermique de l'eau sur le niveau des océans.

Une approximation du coefficient de dilatation thermique de l'eau donne la valeur suivante :

$$\alpha = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

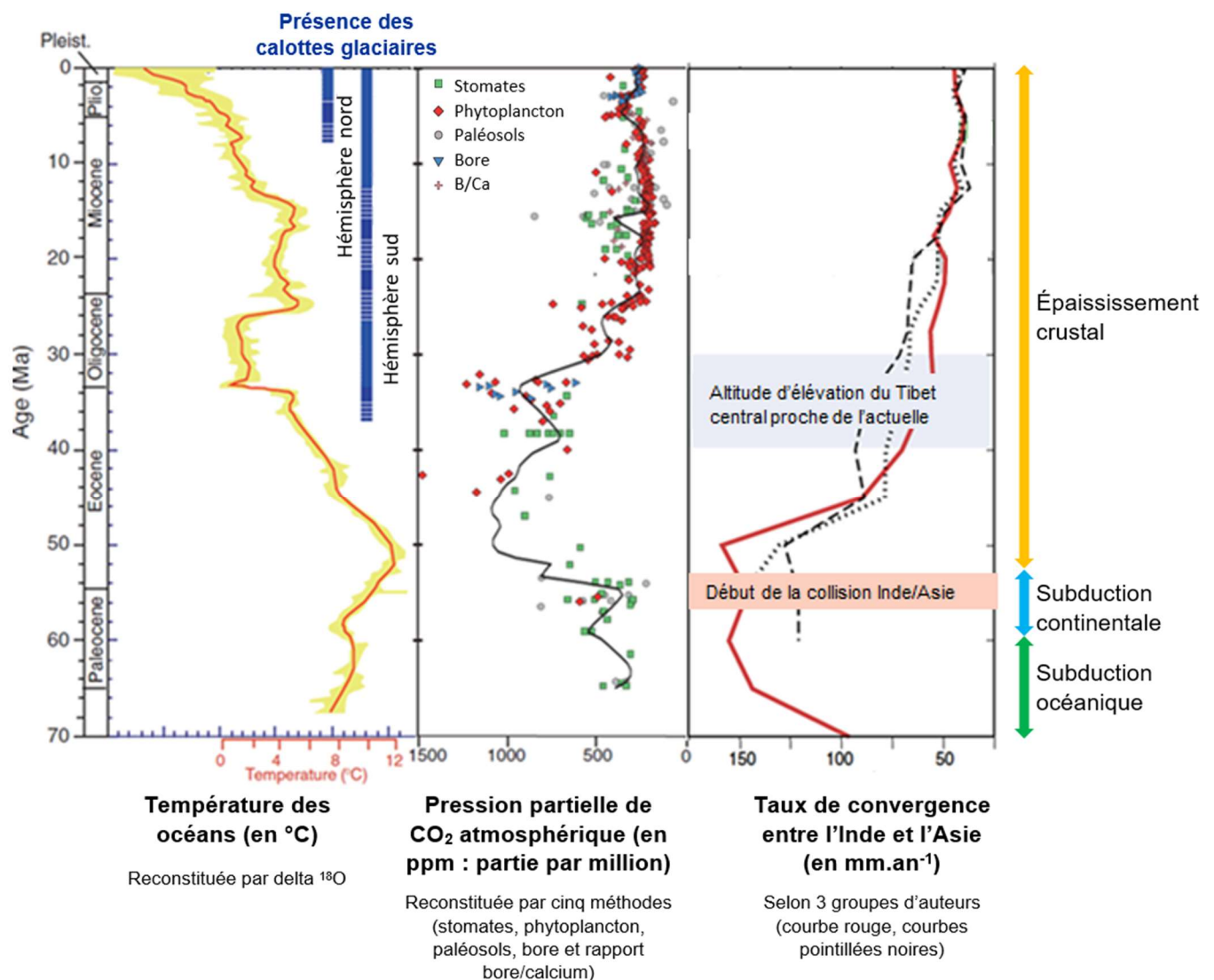
Pour les besoins de l'estimation, l'océan est assimilé à un parallélépipède rectangle dont la température des eaux est uniforme. La profondeur moyenne est de 3800 mètres et la thermocline est située à 1000 mètres de profondeur. On considère également que les masses d'eau situées en profondeur ont une température homogène et constante.



La variation de température est de 1°C.

Document 22 : Évolutions de quelques paramètres physiques et chimiques lors de l'orogénèse himalayenne.

Source : France-Lanord, C., Spiess, V., Klaus, A., Schwenk, T., and the Expedition 354 Scientists (2016). *Bengal Fan*. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 354: College Station, TX (International Ocean Discovery Program).



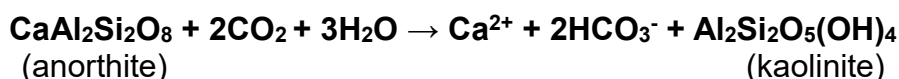
Document 23 : Réactions d'altération de quelques minéraux.

Les roches constitutives des massifs himalayens sont notamment composées de minéraux carbonatés et silicatés dont les processus d'altération peuvent être exprimés selon les formules suivantes :

Carbonates



Silicates



Document 24. Extrait du programme de sciences de la vie et de la Terre de terminale générale, enseignement de spécialité.

Source : Bulletin officiel de l'éducation nationale spécial n° 8 du 25 juillet 2019

Préambule

Les objectifs de l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée

L'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT) au lycée vise à dispenser une formation scientifique solide préparant à l'enseignement supérieur. Dans le prolongement du collège, il poursuit la formation civique des élèves. À partir de bases générales établies en seconde, les enseignements de spécialité des classes de première et terminale conduisent à des approfondissements, à des approches complémentaires et à des généralisations ainsi qu'à une pratique de méthodes et de raisonnements scientifiques plus aboutis. Discipline en prise avec l'évolution rapide des connaissances et des technologies, les SVT permettent à la fois la compréhension d'objets et de méthodes scientifiques et l'éducation en matière d'environnement, de santé, de sécurité, contribuant ainsi à la formation des futurs citoyens.

L'enseignement de spécialité en classe terminale concerne les élèves ayant confirmé ce choix parmi les trois spécialités suivies en classe de première. À ce titre, dans le cadre des six heures hebdomadaires et dans une logique d'exigence disciplinaire et de préparation à l'enseignement supérieur, les élèves sont amenés à approfondir leurs connaissances et à développer un solide niveau de compétences.

Dans ses programmes, la discipline porte trois objectifs majeurs :

- renforcer la maîtrise de connaissances validées scientifiquement et de modes de raisonnement propres aux sciences et, plus généralement, assurer l'acquisition d'une culture scientifique assise sur les concepts fondamentaux de la biologie et de la géologie ;
- participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation civique en appréhendant le monde actuel et son évolution dans une perspective scientifique ;
- préparer les élèves qui choisiront une formation scientifique à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur et, au-delà, aux métiers auxquels elle conduit.

Enjeux planétaires contemporains

Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

Depuis 150 ans, le climat planétaire présente un réchauffement d'environ 1°C. Les scientifiques pointent le fait que ce changement climatique a des conséquences importantes déjà observables sur la météorologie, la biosphère et l'humanité.

L'objectif de ce thème est de s'approprier les outils nécessaires pour appréhender les enjeux climatiques contemporains en établissant des comparaisons avec différents exemples de variations climatiques passées. Il s'agit en particulier de comprendre que les méthodes d'étude et les mécanismes expliquant les variations constatées peuvent être de natures différentes. Certains mécanismes, déjà étudiés, sont réactivés dans ce contexte. Après avoir compris les causes et la dynamique des variations climatiques passées et mobilisé ses acquis précédents (cycle du carbone, effet de serre, circulation océanique ...), l'élève peut aborder les enjeux contemporains liés au réchauffement climatique : ses conséquences sur la biosphère et l'humanité, mais aussi les possibilités envisagées en matière d'atténuation et d'adaptation. L'étude du réchauffement climatique, celle de ses causes mais aussi de ses conséquences sur l'atmosphère et sur les océans sont abordées en complémentarité par l'enseignement scientifique dispensé en classe terminale.

Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées

Connaissances

D'environ 1°C en 150 ans, le réchauffement climatique observé au début du XXI^e siècle est corrélé à la perturbation du cycle biogéochimique du carbone par l'émission de gaz à effet de serre liée aux activités humaines.

À l'échelle du Quaternaire, des données préhistoriques, géologiques et paléo-écologiques attestent l'existence, sur la période s'étendant entre -120 000 et -11 000 ans, d'une glaciation, c'est-à-dire d'une période de temps où la baisse planétaire des températures conduit à une vaste extension des calottes glaciaires. Les témoignages glaciaires (moraines), la mesure de rapports isotopiques de l'oxygène dans les carottes polaires antarctiques et les sédiments font apparaître une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires durant les derniers 800 000 ans.

Les rapports isotopiques montrent des variations cycliques coïncidant avec des variations périodiques des paramètres orbitaux de la Terre. Celles-ci ont modifié la puissance solaire reçue et ont été accompagnées de boucles de rétroactions positives et négatives (albédo lié à l'asymétrie des masses continentales dans les deux hémisphères, solubilité océanique du CO₂) ; elles sont à l'origine des entrées et des sorties de glaciation.

Globalement, à l'échelle du Cénozoïque, et depuis 30 millions d'années, les indices géochimiques des sédiments marins montrent une tendance générale à la baisse de température moyenne du globe.

Celle-ci apparaît associée à une baisse de la concentration atmosphérique de CO₂ en relation avec l'altération des matériaux continentaux, notamment à

Capacités, attitudes

Mettre en évidence l'amplitude et la période des variations climatiques étudiées à partir d'une convergence d'indices.

Mobiliser les connaissances acquises sur les conséquences des activités humaines sur l'effet de serre et sur le cycle du carbone.

Rassembler et confronter une diversité d'indices sur le dernier maximum glaciaire et sur le réchauffement de l'Holocène (changement de la mégafaune dans les peintures rupestres, cartographie des fronts morainiques, construction et utilisation de diagrammes polliniques, terrasses, paléoniveaux marins ...).

Comprendre et utiliser le concept de thermomètre isotopique ($\delta_{18}O$ dans les glaces arctiques et antarctiques, $\delta_{18}O$ dans les carbonates des sédiments océaniques) pour reconstituer indirectement des variations de températures.

Mettre les variations temporelles des paramètres orbitaux, définis par Milankovitch, en relation avec les variations cycliques des températures au Quaternaire.

Exploiter la carte géologique du monde pour calculer les vitesses d'extension des dorsales aux périodes considérées.

la suite des orogénèses du Tertiaire. De plus, la variation de la position des continents a modifié la circulation océanique.

Au Mésozoïque, pendant le Crétacé, les variations climatiques se manifestent par une tendance à une hausse de température. Du fait de l'augmentation de l'activité des dorsales, la géodynamique terrestre interne semble principalement responsable de ces variations.

Au Paléozoïque, des indices paléontologiques et géologiques, corrélés à l'échelle planétaire et tenant compte des paléolatitudes, révèlent une importante glaciation au Carbonifère-Permien. Par la modification du cycle géochimique du carbone qu'elles ont entraînée, l'altération de la chaîne hercynienne et la fossilisation importante de matière organique (grands gisements carbonés) sont tenues pour responsables de cette glaciation.

Notions fondamentales : effet de serre, gaz à effet de serre, cycle du carbone, cycles de Milankovitch, albédo, principe d'actualisme, rapports isotopiques (δ_{18O}), tectonique des plaques, circulation océanique.

Objectifs : pour comprendre les variations climatiques, l'élève identifie les méthodes de mesure les plus adéquates, comprend les mécanismes potentiellement responsables de ces évolutions et acquiert une idée générale de l'amplitude thermique des variations climatiques reconstruites depuis le début du Paléozoïque. Au terme de son étude, il est capable de formuler des hypothèses explicatives sur les spécificités du réchauffement climatique à la lueur de ses connaissances des climats passés. Il exerce un regard critique sur tous les biais d'interprétation pouvant affecter la compréhension de systèmes complexes impliquant de nombreux phénomènes.

Utiliser les connaissances acquises sur la géodynamique interne et la tectonique des plaques pour comprendre leur rôle sur le climat et mettre en relation la nature des roches formées avec les paléoclimats du Crétacé.

Reconstituer l'extension de la glaciation permienne à partir de la distribution des tillites.

Reconstituer un paléoclimat local à partir d'une variété d'indices paléontologiques ou géologiques en tenant compte de la paléo-latitude (ex : paléobiocénose des forêts carbonifères de Montceau-les-Mines par rapport à d'autres indices localisés à d'autres endroits de la planète).

Exploiter des bases de données pour reconstituer les paléocintures climatiques.

Exploiter les équations chimiques associées aux transformations d'origines géologiques pour modéliser les modifications de la concentration en CO₂ atmosphérique.

Mobiliser les acquis antérieurs sur le cycle du carbone biosphérique et les enrichir des connaissances sur les réservoirs géologiques (carbonates, matière organique fossile) et leurs interactions.

Discuter de l'existence d'indices pas toujours cohérents avec l'amplitude, la période et la temporalité des variations climatiques pour des raisons résolues (exemples des terrasses fluviatiles) ou encore à résoudre (petit âge glaciaire).

Précisions : la distinction entre climat et météorologie, le mécanisme de l'effet de serre, le cycle biochimique du carbone et l'étude du réchauffement climatique ont été précédemment abordés (collège, enseignement scientifique, enseignement de spécialité). Ces notions ne sont pas redéveloppées en enseignement de spécialité mais les acquis sont attendus. Selon les exemples de variations climatiques étudiés, il convient que les élèves soient capables de réutiliser les outils connus et de mobiliser les connaissances qu'ils ont auparavant acquises. De même, d'autres exemples de variations climatiques ou de mécanismes associés peuvent être évoqués mais ne sont pas attendus.

Document 25. Extrait du programme d'enseignement scientifique de terminale générale.

Source : Bulletin officiel de l'éducation nationale n° 25 du 22 juin 2023

Préambule

L'ensemble des disciplines scientifiques concourt à la compréhension du monde, de son organisation, de son fonctionnement et des lois qui le régissent. Elles permettent aussi de maîtriser les outils et les technologies imaginés et mis en œuvre par les êtres humains. L'histoire des sciences raconte une aventure de l'esprit humain, lancé dans une exploration du monde (la science pour savoir) et dans une action sur le monde (la science pour faire). [...]

La compréhension de l'histoire des savoirs scientifiques et de leur mode de construction, la pratique véritable d'une démarche scientifique (y compris dans sa dimension concrète) cultivent des qualités de l'esprit utiles à tous. En pratiquant la science, chacun fait croître ses connaissances, son intelligence, sa curiosité, sa raison, son habileté manuelle, son humilité devant les faits et les idées, pour enrichir son savoir.

Le but essentiel de l'enseignement scientifique dispensé dans le tronc commun de la filière générale du lycée est de donner une formation scientifique à tous les élèves, tout en offrant un solide ancrage à ceux qui poursuivent des études scientifiques. Il ne vise pas à construire un savoir encyclopédique, mais cherche plutôt à atteindre trois buts intimement liés :

- contribuer à faire de chaque élève une personne lucide, consciente de ce qu'elle est, de ce qu'est le monde et de ce qu'est sa relation au monde ;
- contribuer à faire des élèves des citoyens responsables, qui connaissent les conséquences de leurs actions sur le monde et disposent des outils nécessaires pour les analyser et les anticiper ;
- contribuer au développement en chaque élève d'un esprit rationnel, autonome et éclairé, capable d'exercer une analyse critique face aux fausses informations et aux rumeurs.

Programme

Pour atteindre les trois enjeux définis en préambule, ce programme précise, d'une part, des objectifs généraux de formation et présente, d'autre part, un ensemble d'objectifs thématiques dont les contenus sont largement interdisciplinaires.

Les objectifs généraux ont pour but d'aider les élèves à cerner la spécificité de la connaissance scientifique, dans ses pratiques, dans ses méthodes d'élaboration et dans ses enjeux de société. Les objectifs thématiques visent à consolider et à accroître la culture scientifique des élèves tout en leur fournissant les éléments d'une pratique autonome du raisonnement scientifique, dans des contextes variés.

Ces deux aspects sont complémentaires. Les professeurs décident comment satisfaire aux objectifs de formation générale en traitant les contenus de chaque thème. Ils doivent veiller à respecter un juste équilibre entre ces deux composantes de l'enseignement.

Les objectifs généraux de formation et les suggestions pédagogiques qui suivent concernent les deux années du cycle terminal dont les programmes constituent un ensemble cohérent. Certaines thématiques aux enjeux particulièrement importants (biodiversité, énergie, climat) sont abordées dans les programmes des deux années du cycle terminal.

I — Objectifs généraux de formation

L'enseignement scientifique cherche à développer des compétences générales par la pratique de la réflexion scientifique. Les objectifs ci-dessous énoncés constituent une dimension essentielle de l'enseignement scientifique et ne doivent pas être négligés au profit du seul descriptif thématique. Ils sont regroupés autour de trois idées liées entre elles.

A — Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration

Le savoir scientifique résulte d'une construction rationnelle. Il se distingue d'une croyance ou d'une opinion. Il s'appuie sur la description et l'analyse de faits extraits de la réalité complexe ou

produits au cours d'expériences. Il cherche à comprendre et à expliquer la réalité par des causes matérielles.

Le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective jalonnée d'échanges d'arguments, de controverses parfois vives. Une certitude raisonnable s'installe et se précise progressivement, au gré de la prise en compte de faits nouveaux, souvent en lien avec les progrès techniques. Ce long travail intellectuel met en jeu l'énoncé d'hypothèses dont on tire des conséquences selon un processus logique. Ces modalités sont d'ailleurs en partie variables selon les disciplines concernées.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit donc, en permanence, d'associer l'acquisition de quelques savoirs et savoir-faire exigibles à la compréhension de leur nature et de leur construction.

B — Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques

Au cours de leur activité de production du savoir, les scientifiques mettent en œuvre un certain nombre de pratiques qui, si elles ne sont pas spécifiques de leur travail, en sont néanmoins des aspects incontournables.

Quelques mots-clés permettent de les présenter : observer, décrire, mesurer, quantifier, calculer, analyser, imaginer, proposer, tester, modéliser, simuler, raisonner, expliquer, créer des scénarios pour envisager des futurs possibles ou remonter dans le passé.

Cet enseignement contribue au développement des compétences langagières orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit, chaque fois que l'on met en œuvre une authentique pratique scientifique, de l'explicitier et de prendre conscience de sa nature.

C — Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement

Les sociétés modernes sont profondément transformées par la science et ses applications technologiques, dont les effets touchent l'alimentation (agriculture et agroalimentaire), la santé (médecine), les communications (transports, échanges d'informations), l'apprentissage et la réflexion (intelligence artificielle), la maîtrise des risques naturels et technologiques, la protection de l'environnement, etc.

La compréhension de ces transformations est indispensable à la prise de décision ; elle distingue l'approche purement scientifique d'autres approches (économiques, éthiques, etc.).

De même, les activités humaines exercent sur l'environnement des effets que la science permet de comprendre et de contrôler.

Dans le cadre de l'enseignement scientifique, il s'agit de faire comprendre en quoi la culture scientifique est aujourd'hui indispensable pour saisir l'évolution des sociétés comme celle de l'environnement et limiter les aspects négatifs de ces évolutions.

En classe terminale, l'enseignement scientifique peut être mis en relation avec le programme de philosophie concernant les questions d'épistémologie et d'éthique.

II — Objectifs thématiques

La suite du programme se présente comme une succession de trois thèmes, présentant de forts enjeux de société. Ces thèmes sont au service des trois grands objectifs de formation (Comprendre la nature du savoir scientifique et ses modes d'élaboration, Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques, Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement). Sa structure est explicitée ci-dessous.

Après une courte introduction, la rubrique *Objectifs* explicite, au-delà des savoirs et des savoir-faire, les lignes de force visées pour chaque thème étudié.

Une disposition en colonnes indique des savoirs et savoir-faire exigibles. Ce sont des objectifs précisément identifiés (notamment en vue de l'évaluation). Ils laissent au professeur ou à l'équipe de professeurs toute latitude pour construire la démarche. Cette double colonne indique les attendus spécifiques des thèmes. L'objectif de l'enseignement est à la fois de construire ces attendus, de former l'esprit et d'atteindre les objectifs généraux listés plus haut.

Des liens avec les mathématiques sont indiqués par une flèche double dans la colonne des savoir-faire. La double-flèche permet de mettre en avant les allers-retours entre situation contextualisée et formalisme mathématique. Il appartient au professeur de souligner ces aspects.

Pour atteindre les deux objectifs (Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration, et Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement), la rubrique Pistes de mise en œuvre du programme propose des thématiques aptes à inspirer et à aider le professeur. Elle ne contient aucun savoir ou savoir-faire exigible. Le professeur peut, dans le cadre de sa liberté pédagogique, choisir d'autres exemples pour travailler les deux objectifs précités.

Enfin, le professeur peut avantageusement, comme en classe de première, mais sans pour autant que cela ne constitue une obligation, s'appuyer sur une démarche de projet pour aborder un ou plusieurs éléments constitutifs du programme de terminale.

Thème 1 — Science, climat et société

Introduction et enjeux. L'atmosphère primitive de la Terre était différente de celle d'aujourd'hui. Sa transformation au cours des 4,6 milliards d'années est liée aux processus géologiques et biologiques. Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine modifie de manière significative et rapide la composition atmosphérique. Ces modifications affectent l'équilibre dynamique des enveloppes fluides de la Terre.

Les conséquences de l'activité humaine sur la composition atmosphérique, celles qui sont déjà observées et celles qui sont prévisibles, sont multiples et importantes, tant pour l'humanité que pour les écosystèmes. Les choix raisonnés des individus et des sociétés dans ce domaine s'appuient sur les apports des sciences et des technologies.

Objectifs. Cette partie du programme s'applique à démontrer que la composition de l'atmosphère terrestre résulte d'interactions complexes avec les autres enveloppes superficielles.

Présente parmi les gaz de l'atmosphère primitive, l'eau s'est rapidement condensée. L'apparition de l'eau liquide est une condition indispensable à l'émergence de la vie. Le développement des organismes vivants a eu un effet majeur sur l'évolution de la teneur relative des différents gaz au cours du temps. Certains gaz atmosphériques participent de manière importante au bilan radiatif de la planète Terre.

Ce thème met en évidence que les connaissances acquises permettent aujourd'hui aux scientifiques de proposer des modèles robustes du fonctionnement des systèmes climatiques et d'envisager, malgré leur grande complexité, des scénarios des climats du futur.

1.1 — L'atmosphère terrestre et la vie

Depuis l'époque de sa formation, quasi concomitante de celle du Soleil et des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface et de la composition de son atmosphère. Sa température moyenne et sa pression atmosphérique de surface permettent l'existence d'eau liquide, formant l'hydrosphère. Aux facteurs physiques et géologiques (activité solaire, distance au Soleil, tectonique) s'est ajoutée l'émergence des êtres vivants et de leurs métabolismes.

Savoirs	Savoir-faire
<p>Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'atmosphère primitive était composée de N₂, CO₂ et H₂O. Sa composition actuelle est d'environ 78 % de N₂ et 21 % de O₂, avec des traces d'autres gaz (dont H₂O, CO₂, CH₄, N₂O).</p> <p>Le refroidissement de la surface de la Terre primitive a conduit à la liquéfaction très rapide (à l'échelle des temps géologiques) de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère initiale. Dans l'hydrosphère ainsi formée s'est développée la vie.</p> <p>Les premières traces de bactéries photosynthétiques sont datées d'il y a au moins 3,5 milliards d'années. Par leur métabolisme photosynthétique, ces bactéries ont contribué à l'oxygénation de l'atmosphère terrestre il y a 2,4 milliards d'années. Les interactions entre l'atmosphère et la biosphère ont contribué à des modifications de la biodiversité.</p> <p>Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.</p> <p>Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène de la stratosphère peut se dissocier, engageant une transformation chimique qui aboutit à la formation d'ozone. Cet ozone stratosphérique absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.</p>	<p>Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.</p> <p>Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression données à partir de la lecture de son diagramme d'état.</p> <p>Mettre en relation la production de dioxygène dans l'atmosphère avec des indices géologiques.</p> <p>Suivre l'évolution de la teneur atmosphérique en dioxygène au cours des temps géologiques et la relier à l'évolution de la biodiversité.</p> <p>Mettre en relation des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Ordres de grandeur. Puissances de 10.</p> <p>↔ Pourcentages.</p>

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

La présence d'eau dans les corps célestes du système solaire.

Histoire des sciences : l'apparition de la vie sur Terre, expériences de Ruben et Kamen (1941).

Esprit critique : l'expression « trou dans la couche d'ozone » est-elle scientifiquement robuste ?

Élaboration de l'unité Dobson.

Sciences, société et environnement

La diminution d'ozone stratosphérique, une origine purement anthropique ?

« Le trou dans la couche d'ozone » : de sa découverte à des prises de décisions mondiales. La vie sans dioxygène.

1.2 – La complexité du système climatique

Le système climatique et son évolution dans le temps résultent de plusieurs facteurs naturels et d'interactions entre océans, atmosphère, biosphère, lithosphère et cryosphère. Il est nécessaire de prendre en compte ces interactions à différentes échelles spatiales et temporelles (de l'année au million d'années, voire davantage). Le système climatique présente une variabilité spontanée et réagit aux perturbations de son bilan énergétique par des mécanismes appelés rétroactions. Les facteurs anthropiques ont des conséquences irréversibles à court terme. Les notions d'équilibre radiatif de la Terre et d'effet de serre atmosphérique, étudiées en classe de première, sont mobilisées.

Savoirs	Savoir-faire
<p>La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires, etc.).</p> <p>La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines).</p> <p>La température moyenne de la Terre, calculée à partir de mesures de terrain et depuis l'espace par des satellites, est l'un des indicateurs du climat global. Il en existe d'autres : niveau des océans, étendue des glaces polaires et des glaciers, etc. Le climat de la Terre présente une variabilité naturelle sur différentes échelles de temps. Toutefois, depuis plusieurs centaines de milliers d'années, jamais la concentration du dioxyde de carbone atmosphérique n'a augmenté aussi rapidement qu'actuellement.</p>	<p>Distinguer sur un document des données relevant du climat, d'une part, de la météorologie, d'autre part.</p> <p>Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques.</p> <p>Identifier des indices de variations climatiques passées (pollens, glaciers, etc.).</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Puissance de 10.</p> <p>↔ Organisation et exploitation de données.</p>
<p>Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ +1°C). Celui-ci est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO₂, CH₄, N₂O et vapeur d'eau, principalement.</p> <p>Lorsque la concentration des GES augmente, l'atmosphère absorbe davantage le rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. Il en résulte une augmentation de la puissance radiative reçue par la surface terrestre de l'atmosphère. Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle. L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans.</p>	<p>Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques et de son abondance.</p> <p>Interpréter des documents donnant la variation d'un indicateur climatique en fonction du temps (occurrence et intensité des événements météorologiques extrêmes, niveau des océans, extension d'un glacier, etc.).</p> <p>Analyser la variation au cours du temps de la teneur atmosphérique en CO₂ et la variation de la température moyenne.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Pourcentages.</p> <p>↔ Calculs de moyennes.</p> <p>↔ Variation absolue, variation relative.</p>

<p>L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs (rétroaction positive), dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ; - la décroissance de la surface couverte par les glaces et la diminution de l'albédo terrestre ; - le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère. <p>L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie. Cela conduit à une élévation du niveau des océans causée par la dilatation thermique de l'eau. À celle-ci s'ajoute la fusion des glaces continentales.</p> <p>Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles.</p> <p>L'océan joue également un rôle d'amortisseur en absorbant une partie du CO₂ émis par les activités humaines.</p> <p>À court terme, les organismes chlorophylliens constituent un puits de CO₂, ce qui a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).</p>	<p>Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui agissent sur la dynamique du système climatique.</p> <p>Expliquer la différence d'incidence entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer.</p> <p>Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée.</p> <p>↔ Taux de variation.</p> <p>↔ Logique.</p> <p>↔ Géométrie : calculs d'aires et de volumes.</p>
---	--

Pistes de mise en œuvre du programme

Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration

Développement des données satellitaires et combinaison avec des mesures de terrain. Histoire des sciences : le développement des modèles climatiques des années 1970 à nos jours. Les bases physiques de la climatologie (prix Nobel 2021 pour Hasselmann et Manabe).

Climato-scepticisme : débat scientifique ou biais de raisonnement et d'argumentation. Sciences, société et environnement

Émergence et propagation de maladies vectorielles à la suite des changements climatiques. Effet du réchauffement climatique sur les activités et productions agricoles.

Lien entre phénomènes météorologiques extrêmes et réchauffement climatique. La petite ère glaciaire en Europe. Les territoires littoraux et le réchauffement climatique (pêche, montée des eaux, etc.).

Changement climatique et incidence sur les populations : déplacement, taux de reproduction, survie, etc.

1.3 — Le climat du futur

L'analyse du système climatique, réalisée à l'aide de modèles numériques, repose sur des mesures et des calculs faisant appel à des lois physiques, chimiques, biologiques connues. Assorties d'hypothèses portant sur l'évolution de la production des gaz à effet de serre, les projections issues de ces modèles dessinent des fourchettes d'évolution et des scénarios du système climatique au XXI^e siècle.

Savoirs	Savoir-faire
<p>Les modèles climatiques s'appuient sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la mise en équation des mécanismes essentiels qui agissent sur le système Terre ; - des méthodes numériques de résolution. <p>Pour évaluer les modèles, et ainsi les valider ou les faire évoluer, les résultats obtenus sont comparés aux observations de terrain et observations spatiales ainsi qu'à la connaissance des paléoclimats.</p> <p>Ces modèles, nombreux et indépendants, produisent des projections climatiques. Après avoir anticipé les évolutions des dernières décennies, ils estiment les variations climatiques globales et locales à venir sur des décennies ou des siècles.</p>	<p>Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques.</p> <p>↔ Lectures graphiques</p> <p>↔ Corrélation et causalité</p>

<p>L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et modélisations numériques permet aujourd'hui de conclure que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine : le dioxyde de carbone produit par la combustion de substances carbonées fossiles, l'artificialisation des sols, la calcination des carbonates, le méthane issu de fuites de gaz naturel ou de pétrole, ou produit par la fermentation dans les décharges et certaines activités agricoles.</p> <p>Les modèles s'accordent à prévoir avec une forte probabilité d'occurrence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - une augmentation de 1,5 à 5°C de la température moyenne avant la fin du XXI^e siècle ; - une élévation du niveau moyen des océans entre le début et la fin du XXI^e siècle pouvant atteindre le mètre ; - des modifications des régimes de pluie et des événements météorologiques extrêmes ; - une acidification des océans ; - des incidences majeures sur les écosystèmes terrestres et marins. 	<p>Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour justifier que certaines corrélations sont explicables par des liens de cause à effet.</p> <p>↔ Lectures graphiques.</p> <p>↔ Corrélation et causalité.</p> <p>↔ Logique.</p>
<p>Pistes de mise en œuvre du programme</p> <p>Nature du savoir scientifique et méthodes d'élaboration</p> <p>La notion de modèle en sciences : les différents modèles climatiques et leurs prédictions.</p> <p>Pourquoi les scientifiques ne s'accordent-ils pas sur un modèle unique ?</p> <p>La notion d'incertitude en sciences.</p> <p>Sciences, société et environnement</p> <p>Les acteurs des analyses climatiques : recherche et programmes mondiaux (Organisation météorologique mondiale, modèles climatiques) ; coordination (Organisation des nations unies) ; évaluation (Groupe intergouvernemental pour l'étude du climat).</p> <p>Les conséquences du réchauffement climatique et les enjeux géopolitiques (COP). Les pistes d'atténuation et d'adaptation au réchauffement climatique.</p> <p>Les émissions de CO₂ causées par la production du ciment.</p> <p>Les différentes sources de production du méthane liées aux activités humaines.</p>	

