

Les fondements scientifiques du changement climatique : arpentage du sixième rapport du GIEC



Étudiants :

Loraine DICKO

Nathan DUPONT

Joelle FARHAT

Louise LEVEQUE

Pauline WIETRICH--LANOE

Haijiao YU

Enseignant-responsable du projet :

Samuel PAILLAT

Date de remise du rapport : 17/06/2023

Référence du projet : STPI/P6/2023-043

Intitulé du projet : Les fondements scientifiques du changement climatique : arpentage du sixième rapport du GIEC

Type de projet : Bibliographie

Objectifs du projet : Notre projet nous a fait participer à une nouvelle démarche pédagogique qui a pour but de faire passer des messages essentiels concernant les enjeux climatiques actuels. Pour ce faire, nous devons, à l'aide d'une analyse du 6ème rapport du GIEC, créer un support pédagogique faisant le lien entre les cours dispensés en premier cycle STPI et les différentes parties du rapport, permettant ainsi aux étudiants d'approfondir par eux-mêmes leurs connaissances sur la problématique du changement climatique.

Mots-clefs du projet :

- Rapport du GIEC
- Climat
- Environnement
- Gaz à effet de serre

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	5
2.	Méthodologie et organisation du travail	6
3.	Travail réalisé et résultats	7
3.1.	Présentation du GIEC	7
3.1.1.	Qu'est-ce que le GIEC ?	7
3.1.2.	Différents groupes de travail.....	8
3.1.3.	Différents scénarios	8
3.1.4.	Evaluation du degré de certitude.....	9
3.2.	Notions importantes du rapport du GIEC.....	9
3.2.1.	Changement d'origine anthropique.....	9
3.2.2.	Impacts directs de la hausse des émissions de gaz à effet de serre	11
3.2.3.	Conséquences immédiates de ces impacts.....	12
3.2.4.	Dérèglement du système climatique.....	15
3.2.5.	Conséquences sur l'Homme	16
3.3.	Choix du support	17
3.3.1.	Manipulation facile pour les utilisateurs	17
3.3.2.	Interactivité.....	18
3.3.3.	Evolution du site.....	18
3.4.	Liens avec les enseignements dispensés en écoles d'ingénieur	18
3.4.1.	Les concepts enseignés ou qui devraient l'être pour comprendre le changement climatique	19
3.4.2.	Remise en question des usages grâce au département Humanités	20
3.5.	Solutions en tant qu'ingénieur	20
3.5.1.	Dans les domaines de la physique et de la chimie	20
3.5.2.	Dans les domaines de l'informatique et des mathématiques	21
4.	Conclusions et perspectives.....	22
4.1.	Conclusions sur le travail réalisé	22
4.2.	Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet	22
4.3.	Perspectives pour la poursuite de ce projet.....	22
5.	Bibliographie	23
6.	Annexes.....	26

1. INTRODUCTION

Le sixième rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) constitue un document essentiel pour comprendre les défis auxquels notre planète est confrontée en termes de changement climatique. En tant qu'étudiants en école d'ingénieur, il est crucial de se familiariser avec les enseignements tirés de ce rapport afin de pouvoir développer, par le biais de notre futur métier, des solutions efficaces et durables pour l'avenir. L'arpentage de ce rapport implique une analyse approfondie des différents aspects abordés dans ce dernier, notamment les causes et les conséquences du changement climatique, les projections futures, ainsi que les mesures d'atténuation et d'adaptation nécessaires.

L'objectif de ce projet est d'établir des liens significatifs entre les différentes notions enseignées en premier cycle STPI (Sciences et Technologies Pour l'Ingénieur) et les enjeux actuels en matière de climat. En tant qu'ingénieurs, nous serons appelés à jouer un rôle essentiel dans la recherche et la mise en œuvre de solutions novatrices pour lutter contre le changement climatique. En effet, les enjeux d'adaptation aux impacts de l'évolution du climat nécessitent une approche multidisciplinaire, intégrant des notions de chimie, de physique, de génie civil, de génie de l'environnement, de gestion des risques et bien d'autres encore. C'est pourquoi les écoles d'ingénieurs doivent impérativement se réformer pour préparer leurs étudiants à aborder ces problématiques.

Dans le but de répondre à cette démarche, ce projet consiste à fournir aux étudiants et aux professeurs de l'INSA de Rouen, un outil permettant de recenser les notions vues en cours et les concepts du sixième rapport du GIEC. D'une part, cela donnera la possibilité aux étudiants d'acquérir une vision plus globale et approfondie des défis environnementaux auxquels ils seront confrontés dans leur futur métier. D'autre part, il permettra aux professeurs de donner à leurs élèves des propositions d'exercices concrets en lien avec les enjeux du changement climatique. L'outil permettra également de soumettre aux professeurs des pistes de réflexion sur les usages et la nécessité des élaborations que seront amenées à concevoir leurs élèves.

En conclusion, ce projet d'arpentage du sixième rapport du GIEC représente une occasion précieuse de relier les notions vues en cours en école d'ingénieur avec les problématiques réelles de la perturbation du climat. En maîtrisant la compréhension des implications scientifiques et techniques du rapport, nous serons mieux préparés à relever les défis de demain et à contribuer à la création d'un avenir plus durable.

2. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

Dès la première séance, nous avons pris connaissance du sixième rapport du GIEC, un document exhaustif regroupant les rapports de trois groupes de travail (l'utilité et les différences de ces groupes de travail seront détaillées plus tard). Bien que notre attention se soit principalement portée sur le rapport d'un seul groupe de travail (le numéro 1), qui s'étend sur environ 3600 pages en anglais, réparties en douze chapitres, il était évident que nous ne pourrions pas chacun lire l'intégralité de ce rapport. Par conséquent, nous avons décidé qu'une approche collaborative serait plus adaptée. Nous nous sommes donc répartis la lecture de manière équitable afin que chaque personne puisse résumer au mieux les informations essentielles contenues dans les deux chapitres qu'elle a lu.

Au cours des séances suivantes, nous avons vite décidé qu'un site pédagogique serait l'outil le plus adapté et ensuite, nous nous sommes principalement consacrés à l'organisation des différentes parties du projet : nous avons choisi la structuration du contenu du site pédagogique ainsi que celle du rapport. Une fois les diverses sections établies, nous avons réparti la charge de travail entre nous et nous nous sommes fixés des échéances pour la réalisation de ces dernières. Joëlle et Loraine se sont occupées de l'analyse de l'organisation du GIEC. Nathan, Louise et Pauline ont eu pour mission de comprendre les grandes lignes du rapport, d'en rédiger une synthèse et de trouver des liens avec les notions vues en cours. Haijao, quant à elle, s'est consacrée à trouver des exemples d'innovations et de solutions que des ingénieurs ont eu selon les différents domaines dans lesquels ils travaillent.

Nous avons également décidé de participer à une séance de la Fresque du Climat, organisée par l'association Greensa, l'après-midi du Jeudi 9 Mars. Etant donné que la Fresque du Climat s'appuie sur le sixième rapport du GIEC, cela nous a grandement aidé à appréhender la dynamique globale du changement climatique, les concepts essentiels ainsi que les liens entre les différents phénomènes, en plus de nous informer des conclusions tirées de ce rapport.

Grâce au créneau horaire obligatoire, chaque Lundi, nous avons pu présenter le travail réalisé individuellement et se tenir au courant de l'avancée de chacun. Cette séance nous permettait aussi de débattre de vive voix sur certains choix à faire. Pendant chaque créneau, notre responsable de projet, Monsieur Samuel PAILLAT, se tenait à notre disposition pour répondre à nos éventuelles questions. En dehors de ces séances nous avons aussi un groupe WhatsApp qui nous a permis de communiquer afin de s'entraider.

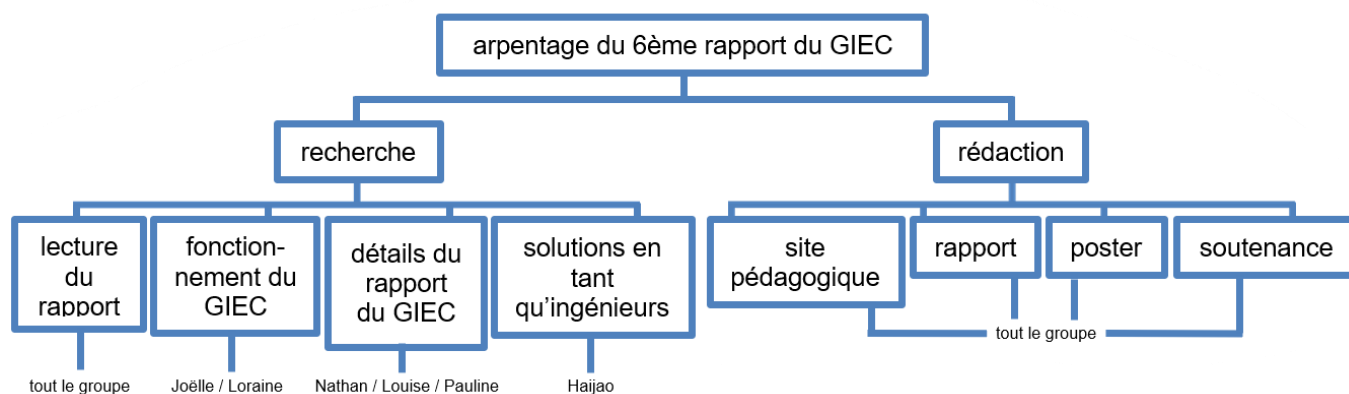


Figure 1 : organigramme de la répartition des tâches

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

Après avoir pris connaissance de notre sujet, nous avons décidé de diviser notre travail en quatre grandes parties. Tout d'abord, nous aborderons le GIEC, son organisation, sa mission et ses travaux, qui constituent le cœur de notre projet. Ensuite, nous présenterons une synthèse des points importants que nous avons sélectionnés, tout en expliquant les raisons de nos choix. Par la suite, nous détaillerons le support que nous avons choisi pour regrouper nos recherches : un site internet. Enfin, nous ferons le lien entre certaines notions vues en cours en école d'ingénieur et certaines notions abordées dans le rapport. Nous verrons aussi en quoi le département Humanité peut jouer un rôle important dans le questionnement de la réelle nécessité du développement de certaines innovations. Puis, avant de conclure, nous examinerons les solutions possibles pour les étudiants de l'INSA en tant que futurs ingénieurs.

3.1. Présentation du GIEC

Étant donné que notre projet repose sur le rapport du GIEC, nous avons jugé essentiel d'étudier sa structure et son processus d'évaluation pour en comprendre la solidité des conclusions. La complexité de la structure du rapport nous pousse à examiner l'organisation du GIEC, notamment la présentation des informations, les chapitres et les sections, afin de cibler les parties les plus pertinentes. Par ailleurs, une meilleure connaissance du GIEC nous a permis de mieux appréhender les termes scientifiques liés au climat, ce qui a facilité notre compréhension du rapport.

3.1.1. Qu'est-ce que le GIEC ?

Le GIEC est le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat. Il a été créé en 1988, à la demande du G7 (le G7 est le groupe des 7 pays les plus riches : USA, Japon, Allemagne, France, Grande Bretagne, Canada, Italie), par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme pour l'Environnement des Nations Unies (PNUE). C'est une association de pays : les personnes qui siègent aux assemblées du GIEC ne font que représenter les pays membres. Il ne s'agit donc pas d'un laboratoire de recherche, mais d'un organisme qui met en avant la coopération internationale en effectuant une évaluation et une synthèse des travaux de recherche effectués dans les laboratoires du monde entier.



Figure 2 : logo du GIEC

Le GIEC est chargé de mener des évaluations scientifiques objectives du changement climatique. Sa principale mission consiste à recueillir, analyser et synthétiser les connaissances existantes sur le climat, ses causes, ses impacts et les solutions possibles. Le Groupe Intergouvernemental joue un rôle crucial dans l'élaboration de scénarios et de modèles pour évaluer les conséquences probables des politiques d'adaptation et d'atténuation. Les différents rapports du GIEC aident à éclairer les décideurs politiques, les gouvernements et le grand public sur les enjeux et les risques associés au changement climatique. En effet, cette production scientifique est au cœur des négociations internationales sur le climat. En France, de nombreuses équipes de recherche travaillent sur ces sujets, impliquant plusieurs centaines de scientifiques. Certains d'entre eux contribuent à différentes phases d'élaboration des rapports du GIEC.

3.1.2. Différents groupes de travail

Le GIEC se compose maintenant de trois groupes de travail et d'une équipe spéciale pour les inventaires nationaux de Gaz à Effet de Serre (nommés par la suite GES) :

- le groupe de travail numéro 1 évalue les aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat
- le groupe de travail numéro 2 se charge des questions concernant la vulnérabilité des systèmes socio-économiques et naturels aux changements climatiques, les impacts de ces changements et les possibilités de s'y adapter
- le groupe de travail numéro 3 évalue les solutions possibles pour atténuer les émissions de GES et de toute autre manière le changement climatique
- l'équipe spéciale pour les inventaires nationaux de GES développe et améliore un guide méthodologique pour le suivi de ces émissions ; l'usage d'une telle référence commune favorise les travaux de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)

Chacun de ces groupes de travail publie un rapport (voir Annexe 0 pour plus de détails sur l'élaboration de ces rapports) composé de plusieurs documents :

- le rapport complet (« full report » ou « FR »)
- un résumé à l'intention des décideurs (« summary for policymakers » ou « SPM »), approuvé ligne à ligne lors d'une session du groupe de travail afin de garantir leur conformité aux éléments factuels figurant dans les chapitres du rapport
- un résumé technique (« technical summary » ou « TS »)

3.1.3. Différents scénarios

Les risques physiques liés au changement climatique sont évalués selon cinq scénarios dans le 6ème rapport du GIEC. Les scénarios SSP (Shared Socio-economic Pathways) sont des narratifs, exprimés en fonction de plusieurs suppositions socio-économiques comme la population, l'éducation, l'urbanisation, et le PIB. Ces scénarios décrivent l'évolution des émissions des gaz à effet de serre comme suit :

- deux scénarios avec des émissions de GES élevées et très élevées : SSP3-7.0 et SSP5-8.5
- un scénario avec des émissions de GES intermédiaires : SSP2-4.5
- deux scénarios avec des émissions de GES très faibles et faibles : SSP1-1.9 et SSP1-2.6

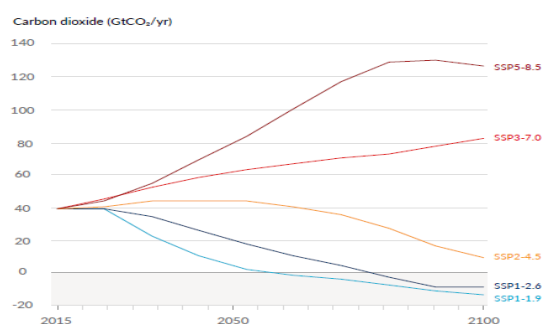


Figure 3 : futures émissions de CO₂ dans les 5 scénarios

SSPx-y est l'abréviation d'un scénario, où x est le numéro (1 à 5) du scénario socio-économique SSP qui a été utilisée pour développer la trajectoire d'émissions, et y indique la valeur approximative du forçage radiatif (en W/m²) atteint à la fin du siècle. Par exemple, la trajectoire du scénario intermédiaire SSP2-4.5 induit un forçage radiatif de 4,5W/m² en 2100, soit un niveau de réchauffement d'environ 2,7°C par rapport à la période préindustrielle.

3.1.4. Evaluation du degré de certitude

Dans le sixième rapport du GIEC, deux principales échelles ont été utilisées pour indiquer le degré de certitude des affirmations qu'il contient : un indicateur qualitatif et un indicateur quantitatif (pour plus de détails, voir Annexe 1).

3.2. Notions importantes du rapport du GIEC

Après avoir acquis une compréhension approfondie de l'organisation du GIEC, nous avons entrepris la lecture des chapitres du résumé technique du sixième rapport. Au cours de cette lecture, certaines notions clés ont émergé de manière évidente à travers les différents chapitres, ce qui nous a conduit naturellement à orienter notre étude et notre exploration autour de ces points.

3.2.1. Changement d'origine anthropique

Pour la première fois dans tous les rapports, les chercheurs travaillant en collaboration avec le GIEC sont unanimes et soulignent à maintes reprises que les émissions de GES sont d'origine anthropique. Ils affirment clairement que l'Homme est le principal responsable de la situation actuelle. C'est d'ailleurs sur ces termes que débute le résumé destiné aux décideurs : « L'influence humaine a réchauffé le climat à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans. » Dans notre arpentage, nous avons donc choisi de mettre en évidence ce point et d'expliquer comment les actions de l'homme portent atteinte à l'environnement.

La concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère terrestre a augmenté de manière exponentielle en 150 ans, passant de 280 ppm (parties par million) à 415 ppm aujourd'hui. Les graphiques présentés ci-contre, tirés du rapport du GIEC, mettent en évidence l'augmentation significative des émissions de CO_2 , de méthane (CH_4) et de protoxyde d'azote (N_2O) depuis l'ère industrielle en 1850. De plus, un autre graphique (graphe 1 en Annexe 2) souligne la corrélation entre la concentration de CO_2 dans l'atmosphère et la température à la surface de la Terre, tout en exposant les quatre scénarios discutés précédemment. Enfin, un troisième graphique (graphe 2 en Annexe 2) met quant à lui en avant le taux de CO_2 cumulé depuis 1850, démontrant encore une fois l'augmentation de ce dernier.

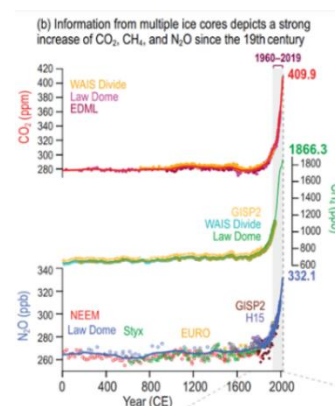


Figure 4 : augmentation de plusieurs GES depuis le 19^e siècle

Comme dit précédemment, il existe plusieurs GES. Le plus « connu », le dioxyde de carbone (CO_2), est issu de la combustion des énergies fossiles (telles que le charbon, le pétrole et le gaz : c'est-à-dire environ les trois états (liquide, solide et gazeux) du carbone). Le méthane (CH_4), est, quant à lui, issu de la décomposition des matières végétales en milieux humides. Le protoxyde d'azote (N_2O) est issu de l'agriculture, de l'industrie chimique mais aussi de la combustion fossile liée au chauffage ou au transport. Enfin, les gaz fluorés (HFC, PFC, SF_6), sont des gaz synthétiques utilisés pour la réfrigération, la climatisation, les équipements électriques et d'autres applications industrielles. Tous ces gaz ont un point commun : ils sont capables de piéger la chaleur dans l'atmosphère, ce qui contribue au réchauffement climatique. Par ailleurs, ils n'ont pas tous le même impact. Le GIEC utilise la

notion « d'équivalent CO₂ » pour illustrer précisément l'impact de chaque GES sur le climat. « L'équivalent CO₂ » est une unité créée par le GIEC, la tonne équivalent CO₂ (notée « eq CO₂ ») est un indice introduit dans l'IPCC First Assessment Report du GIEC. Cet indice permet de comparer les impacts des différents GES sur l'environnement et de les cumuler grâce à un indice unique. Pour autant, d'après le GIEC, « cela ne signifie pas qu'ils ont des équivalences en ce qui concerne les réponses correspondantes du changement climatique ».

Pour évaluer les répercussions des différents GES sur le changement climatique, on utilise le concept de PRG (Potentiel de Réchauffement Global). Le PRG indique la capacité d'un gaz à retenir la chaleur dans l'atmosphère par rapport au CO₂, qui est considéré comme ayant un PRG de référence de 1. Le PRG dépend de la durée sur laquelle il est calculé. Par exemple, le CH₄ a un PRG de 28 à 30 lorsqu'il est calculé sur 100 ans et de 84 lorsqu'il est calculé sur 20 ans. Le PRG à 100 ans accorde plus d'importance aux gaz persistants qu'aux gaz à durée de vie courte, tandis que le PRG à 20 ans met en évidence l'importance des émissions de CH₄ à court terme. Les valeurs des PRG pour différents gaz sont répertoriées dans le tableau ci-contre.

PRG, Potentiel de Réchauffement Global (eq CO ₂)			
		sur une période de 20 ans	sur une période de 100 ans
CO ₂ (dioxyde de carbone)	1	1	1
CH ₄ (méthane)	84	28	
N ₂ O (protoxyde d'azote)	264	265	
CF ₄ (tétrafluorure de carbone)	4880	6630	
HFC-152a (1,1-difluoroéthane)	506	138	

Valeurs conventionnelles en « équivalent CO₂ » source : 5e rapport du GIEC

Figure 5 : potentiels de réchauffement global en eq CO₂ des différents GES

En examinant les différents secteurs responsables des émissions de GES grâce au graphique ci-contre, nous constatons que l'industrie est responsable de 35% des émissions de GES. Si on ajoute à cela les secteurs du bâtiment et des transports, nous atteignons plus de la moitié de ces émissions. En France, l'industrie et l'énergie sont responsables d'un quart de la production totale de CO₂ (schéma de la répartition sectorielle des émissions du CO₂ dans le monde en Annexe 3). Par rapport à 1990, ces émissions de GES ont considérablement diminué (-48%), cette baisse étant observée dans tous les grands secteurs industriels. Ces réductions d'émissions sont principalement attribuables à l'amélioration des procédés et aux gains d'efficacité énergétique. A une plus grande échelle, dans l'Union Européenne, les émissions de GES de l'industrie manufacturière proviennent principalement de secteurs produisant des produits de base à forte intensité en CO₂, tels que la métallurgie, la chimie ou la fabrication de minéraux non métalliques (comme le ciment et le verre). Ces trois sous-secteurs représentent 75% des émissions totales de l'industrie manufacturière.

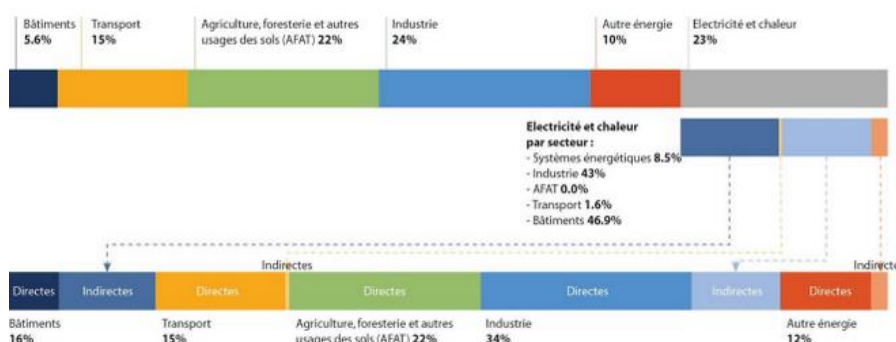


Figure 6 : répartition sectorielle des émissions de GES

on ajoute à cela les secteurs du bâtiment et des transports, nous atteignons plus de la moitié de ces émissions. En France, l'industrie et l'énergie sont responsables d'un quart de la production totale de CO₂ (schéma de la répartition sectorielle des émissions du CO₂ dans le monde en Annexe 3). Par rapport à 1990, ces émissions de GES ont considérablement diminué (-48%), cette baisse étant observée dans tous les grands secteurs industriels. Ces réductions d'émissions sont principalement attribuables à l'amélioration des procédés et aux gains d'efficacité énergétique. A une plus grande échelle, dans l'Union Européenne, les émissions de GES de l'industrie manufacturière proviennent principalement de secteurs produisant des produits de base à forte intensité en CO₂, tels que la métallurgie, la chimie ou la fabrication de minéraux non métalliques (comme le ciment et le verre). Ces trois sous-secteurs représentent 75% des émissions totales de l'industrie manufacturière.

Nous avons également jugé essentiel d'examiner les échelles de grandeur associées aux émissions de GES. Étant donné que ces émissions sont d'origine anthropique, il est crucial de comprendre l'impact potentiel des actions humaines sur le réchauffement climatique. En tant que futurs ingénieurs, il nous semblait tout aussi intéressant que nécessaire d'avoir une idée des ordres de grandeur des quantités de GES émises par les

machines que nous étudions. Néanmoins, cette question n'est pas abordée dans le rapport du GIEC, ce qui nous a conduit à approfondir nos recherches et nos études en nous référant à d'autres sources, telles que le site du Ministère de la transition écologique, par exemple.

En consultant le tableau ci-dessous, nous constatons que les émissions de CO₂ diffèrent selon le type de carburant utilisé. En effet, pour la combustion d'un litre d'essence, 3,08 kilogrammes de CO₂ sont rejetés.

Lignite (charbon pauvre en énergie)	4,2 t CO ₂ /tep	Charbon (à coke, sous-bitumeux ou autres bitumeux)	4,0 t CO ₂ /tep
Gazole/diesel ou pétrole brut	3,1 t CO ₂ /tep	Essence	2,9 t CO ₂ /tep
Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	2,6 t CO ₂ /tep	Gaz naturel (méthane)	2,3 t CO ₂ /tep

Figure 7 : facteurs d'émissions de CO₂ des principaux combustibles fossiles (tep = Tonne Equivalent Pétrole)

En effet, pour la combustion d'un litre d'essence, 3,08 kilo-

grammes de CO₂ sont rejetés. C'est 2,67 / 1,66 / 4,4 / 5,28 de kilogrammes de CO₂ rejetés pour la combustion d'un litre, respectivement, de diesel / GPL / méthane / kérosène. On se rend compte, en comparant les différents carburants en termes de kilogramme d'énergie fossile brûlée, que la différence est finalement assez faible (le diesel, pour la même masse de carburant dépensée, ne rejette environ que 5% de CO₂ en plus par rapport à l'essence). La différence sur notre impact sur l'environnement provient alors surtout des rendements des machines que nous utilisons.

Enfin, l'augmentation des émissions de GES amplifie l'effet de serre, un phénomène, certes, naturel et indispensable à notre planète, puisque sans celui-ci, la température sur terre serait 33°C inférieure à celle actuelle. Cependant, avec l'augmentation des émissions de GES, ce phénomène s'amplifie. En utilisant le schéma présenté en Annexe 4, issu du cours de P8, nous pouvons expliquer le phénomène de l'effet de serre de la manière suivante. Le soleil émet différents types de rayons, tels que les rayons ultraviolets (UV), infrarouges et visibles, qui atteignent l'atmosphère terrestre. Une partie de ces rayons est renvoyée directement par les aérosols et grâce à l'albédo (l'albédo est le pouvoir réfléchissant d'un matériau, par exemple les glaciers étant blancs, ils reflètent bien la lumière). Une autre partie des rayons pénètre dans l'atmosphère terrestre, où une partie est renvoyée par le sol chauffé sous forme de rayons infrarouges, tandis que le reste est emprisonné dans l'atmosphère.

3.2.2. Impacts directs de la hausse des émissions de gaz à effet de serre

L'augmentation des émissions de CO₂ a un impact majeur sur le forçage radiatif, les aérosols atmosphériques et les puits de carbone. Le forçage radiatif, résultant de l'interaction entre le rayonnement solaire et le rayonnement infrarouge terrestre, est positivement affecté par l'accumulation de CO₂, entraînant un réchauffement climatique. Les aérosols, présents dans l'atmosphère, sont influencés par les émissions de CO₂, ce qui modifie leur effet sur le rayonnement solaire et les nuages. Les émissions croissantes de CO₂ perturbent également les puits de carbone naturels, tels que les océans et les écosystèmes terrestres, qui jouent un rôle essentiel dans l'absorption du CO₂.

Premièrement, le forçage radiatif représente la mesure du déséquilibre thermique entre l'énergie qui entre sur Terre et celle qui en ressort. Plus précisément, il s'agit de la différence entre l'énergie qui arrive et l'énergie qui repartirait si la Terre était restée à la température de l'ère préindustrielle (soit 15°C). Aujourd'hui, le forçage radiatif est positif, l'estimation du changement énergétique net cumulé pour la période 1971-2018 est de 1021 Joules. Ce déséquilibre est représenté par la

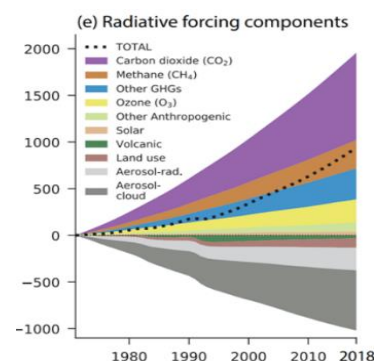


Figure 8 : les différents composants du forçage radiatif

ligne pointillée du schéma ci-dessus. Elle donne l'allure de l'évolution du forçage radiatif. On observe qu'il est positif et qu'il ne fait qu'augmenter depuis les années 1970. Les éléments qui sont au-dessus de cette ligne participent positivement au forçage radiatif, c'est-à-dire qu'ils ont tendance à emmagasiner l'énergie sur Terre et on y retrouve bien les différents GES présentés précédemment (le CO₂, le CH₄ et le N₂O) ainsi que le soleil (origine naturelle). En dessous de la ligne pointillée, on trouve les éléments qui participent négativement au forçage radiatif : on y retrouve entre autres les aérosols et les éruptions volcaniques.

Ensuite, les aérosols sont de fines particules qui résultent de la combustion incomplète des énergies fossiles, mais elles existent également naturellement sur Terre, comme celles émises lors des éruptions volcaniques. Les baisses marquées dans le schéma ci-contre illustrent l'impact des éruptions volcaniques

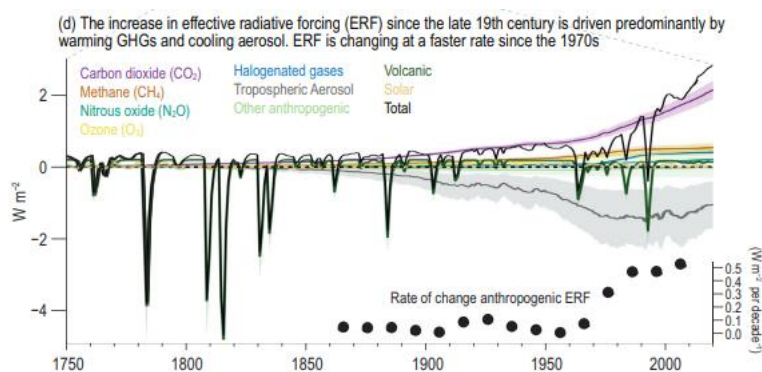


Figure 9 : variation du forçage radiatif effectif depuis la fin du 19e siècle, principalement causée par les GES et les aérosols

sur le forçage radiatif. Par exemple, l'éruption du Tambora en 1815 a entraîné une diminution de la température d'environ 0,8°C à 1,3°C pendant l'été dans l'hémisphère nord, et ce pendant deux à trois ans. Cependant, ces particules ne peuvent pas constituer une solution pour équilibrer le forçage radiatif, car elles sont néfastes pour la santé et l'environnement.

Enfin, les puits de carbone sont des réservoirs naturels ou artificiels tels que les forêts et les océans qui captent et stockent le carbone de l'atmosphère grâce à des processus physiques et biologiques. Toutefois, concernant les océans par exemple, un excès de CO₂ altère la composition de l'eau et réduit sa capacité d'absorption. En d'autres termes, pour généraliser, une augmentation des émissions de CO₂ entraîne une diminution de la proportion de CO₂ absorbée par les puits de carbone, ce qui se traduit par une efficacité décroissante de ces derniers. En outre, non seulement leur efficacité diminue, mais le nombre de puits de carbone diminue également.

3.2.3. Conséquences immédiates de ces impacts

Le rapport du GIEC aborde en grande partie les impacts et les conséquences des actions anthropiques et du réchauffement climatique. Ce sujet est mentionné et mis en avant dans tous les chapitres du rapport. Les conséquences peuvent être divisées en deux axes dans le texte : les conséquences sur la Terre et l'environnement puis les conséquences sur l'Homme et les populations vivantes. Il nous est alors paru indispensable de traiter et d'expliquer ces deux grandes parties dans notre rapport. Par conséquent, nous avons décidé d'axer notre étude sur ces points, notamment à travers les sections 3.2.3, 3.2.4 et 3.2.5.

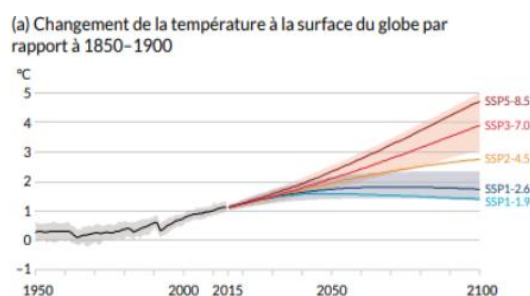


Figure 10 : changement de la température à la surface du globe par rapport à 1850-1900

Ce qui résulte de l'augmentation de l'effet de serre dans l'atmosphère est donc un surplus d'énergie. Ce dernier a des conséquences importantes. Cela se manifeste par une hausse de la température de l'air et de l'eau, la fonte accélérée des glaciers, des calottes glaciaires et des banquises, ainsi que la montée des eaux.

La conséquence immédiate de l'augmentation de l'effet de serre est la hausse de la température de l'air et de l'eau. Intéressons-nous à la variation de la température de l'air au sol, grâce au graphique ci-contre. On peut observer une augmentation de 1,2°C depuis 1900. Selon les différents scénarios d'émissions, cette augmentation pourrait atteindre entre 1,5°C et 5°C d'ici 2100. Il est important de noter que lors de la dernière ère glaciaire, la température était seulement 5°C plus basse qu'aujourd'hui. Les régions proches des pôles sont plus affectées par les changements climatiques que celles proches de l'équateur, et les régions terrestres sont plus impactées que les régions océaniques, selon tous les scénarios (carte 2 en Annexe 5). En ce qui concerne la température moyenne de la surface de la mer, elle a déjà augmenté de 0,9°C entre la période 1995-2014 et la période 1971-1990. Cette augmentation s'est accélérée au cours des dernières décennies, avec une hausse de 0,2°C par décennie entre 1986 et 2016. Il est prévu que la fréquence des vagues de chaleur marines augmente considérablement au cours du prochain siècle. L'océan joue un rôle majeur en absorbant 91% de l'énergie accumulée sur Terre, et en se réchauffant, l'eau se dilate. Par conséquent, la principale conséquence de ce réchauffement est la montée des eaux.

Passons maintenant à l'étude des impacts du réchauffement climatique sur les glaciers, les calottes glaciaires et la banquise, en faisant une distinction entre ces trois termes. Une calotte glaciaire fait référence à une vaste étendue de glace qui recouvre une grande partie d'un continent, tel que le Groenland ou l'Antarctique. Les calottes glaciaires sont généralement plus épaisses que les glaciers et se déplacent lentement. Les glaciers, quant à eux, sont des masses de glace qui se forment dans des vallées de montagne. Ils sont généralement plus petits que les calottes glaciaires et se déplacent plus rapidement. Les glaciers peuvent également être présents dans les régions polaires. Enfin, la banquise est une couche de glace de mer qui se forme dans les océans Arctique et Austral pendant l'hiver polaire. La banquise est saisonnière et fond en été, pour se reformer à chaque hiver. Contrairement aux calottes glaciaires et aux glaciers, la banquise est constituée d'eau de mer gelée, et non d'eau douce glacée. Ainsi, ces trois éléments sont affectés par le réchauffement climatique mais n'ont pas les mêmes conséquences.

Tout d'abord, il est important de noter que presque tous les glaciers ont subi une perte de masse, avec même la disparition de centaines d'entre eux (voir le graphe ci-contre). Ces glaciers

jouent un rôle crucial dans la régulation de l'approvisionnement en eau douce. La disparition des glaciers aurait des conséquences catastrophiques pour les villes situées le long des

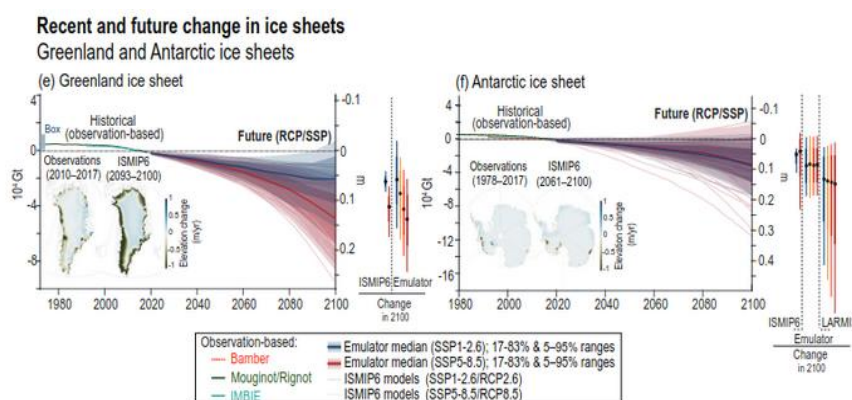


Figure 11 : changements récents et futures des glaciers

vallées alimentées par les rivières descendant des montagnes, ainsi que pour la faune aquatique. Ensuite, si les calottes glaciaires fondaient intégralement, cela engendrerait une augmentation du niveau de la mer de 7 mètres pour le Groënland, et de 54 mètres pour l'Antarctique. Ainsi, l'une des principales conséquences du réchauffement climatique est la montée des eaux. Chaque année, la fonte de 100 gigatonnes de glace entraîne une élévation moyenne du niveau de la mer d'environ 0,28 millimètres. Les eaux de fonte des glaciers sont d'une importance considérable, représentant par exemple 25% des débits d'Août dans les bassins versants des Alpes européennes.

En ce qui concerne la fonte de la banquise, elle n'est pas responsable de la montée des eaux. Cependant, elle a d'autres conséquences significatives. Tout d'abord, la fonte de la banquise entraîne un changement dans le forçage radiatif : lorsque la banquise fond, une surface blanche est remplacée par une surface bleu marine, qui a un albédo plus faible, ce qui signifie qu'elle absorbe plus d'énergie. Ensuite, la fonte de la banquise affecte la biodiversité marine, notamment les espèces telles que les ours polaires, qui dépendent de cet environnement pour leur survie. On remarque grâce au graphique ci-contre, tiré du sixième rapport du GIEC, qu'à la même période chaque année, l'étendue de glace de mer de l'Arctique ne cesse de diminuer depuis 1950. Selon les différents scénarios, la superficie de glace de mer de l'Arctique en Septembre pourrait atteindre 3.10^4 km² voire quasiment disparaître alors qu'en 1950, elle était de plus de 6.10^4 km².

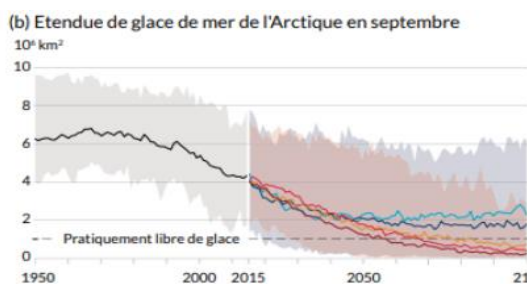


Figure 12 : étendue de glace de mer de l'Arctique en Septembre depuis 1950 et prévisions de la superficie de cette étendue jusqu'à 2100

Parmi les situations que nous avons présentées, à savoir l'augmentation de la température de l'eau et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, il en découle une conséquence majeure : l'élévation du niveau de la mer. C'est ce point que nous allons maintenant approfondir. Le GMSL (Global Mean Sea Level) ou niveau moyen de la mer est une mesure qui évalue la moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Le GMSL est un indicateur crucial du changement climatique car il est étroitement lié à l'augmentation de la température de la planète. Le GIEC utilise le GMSL pour évaluer les effets du changement climatique sur les océans et les régions côtières. L'augmentation du GMSL est principalement due à deux facteurs : l'expansion thermique de l'eau de mer, qui se produit

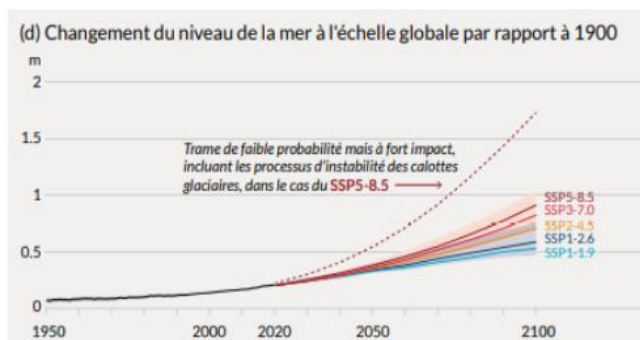


Figure 13 : variation du niveau de la mer à l'échelle mondiale, depuis 1950 et projections de celui-ci jusqu'à 2100

lorsque l'eau se réchauffe, et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires, qui contribuent à l'apport d'eau dans les océans. Cependant, il est important de noter que cette élévation du niveau de la mer n'est pas causée par la perturbation du cycle de l'eau (une augmentation des précipitations n'entraînera pas une hausse du niveau de la mer) ni par la fonte de la banquise. D'après le graphique ci-contre, le GMSL a augmenté d'environ 20 centimètres au cours du XXe siècle, et cette augmentation s'est accélérée ces dernières décennies. Les

projections du GIEC indiquent que le GMSL continuera d'augmenter à l'avenir, avec des estimations allant de 0,3 à 1,1 mètre d'ici la fin du XXI^e siècle, en fonction des différents scénarios. Il convient de souligner que le niveau de la mer réagit de manière très lente au changement climatique, ce qui signifie que son élévation se poursuivra pendant plusieurs siècles même si le réchauffement climatique se stabilise. L'élévation du GMSL peut avoir des impacts significatifs sur les régions côtières, notamment des inondations plus fréquentes et plus graves, une érosion accrue des côtes et une salinisation des réserves d'eau souterraines (voir Annexe 6).

3.2.4. *Dérèglement du système climatique*

Les changements mentionnés précédemment entraînent un dérèglement du système climatique. Effectivement, on observe comme conséquences : une intensification de l'évaporation (processus par lequel l'eau se transforme en vapeur et s'élève dans l'atmosphère), une perturbation du cycle hydrologique, une acidification des eaux ainsi que des dommages irréversibles sur le permafrost.

Dans un premier temps, nous allons expliquer pourquoi l'évaporation s'intensifie. Une atmosphère plus chaude contient plus de vapeur d'eau, par exemple, une hausse de 1°C de l'atmosphère cause une augmentation de 7% en vapeur d'eau. Ainsi, la température de surface des océans étant plus élevée, elle engendre une évaporation plus forte qui provoque à son tour une formation accrue de nuages et donc des pluies plus importantes sur les continents mais également sur l'océan. Une bonne partie de l'eau évaporée revient ainsi très vite à son point de départ.

Le changement climatique a entraîné des modifications détectables dans le cycle mondial de l'eau depuis le milieu du XX^e siècle, et il devrait causer d'autres transformations majeures. Par exemple, on prévoit une augmentation des précipitations terrestres mondiales de 2,4% à 8,3% en moyenne d'ici 2081-2100 par rapport à la période 1995-2014, selon différents scénarios. De plus, une augmentation plus rapide de la variabilité du cycle de l'eau par rapport aux changements moyens devrait être observée dans la plupart des régions du monde. Il est également prévu une augmentation notable de l'évaporation au-dessus des océans et de l'évapotranspiration au-dessus des terres. Ensuite, l'exploitation intensive des eaux souterraines pour l'irrigation dans les zones agricoles arides entraînera leur épuisement. Les écosystèmes d'eau douce seront impactés et la capacité des réservoirs à fournir de l'eau sera compromise, car de 42% à 79% des bassins hydrographiques mondiaux devraient connaître une situation critique d'ici 2050. Par ailleurs, la sévérité des périodes de sécheresse devrait augmenter, car le réchauffement climatique modifie les schémas de circulation atmosphérique, réduisant l'humidité continentale près de la surface et entraînant un assèchement régional. Il est également à noter que l'urbanisation contribuera à une fréquence accrue et à une intensité plus élevée des précipitations locales. Les auteurs soulignent que ces perturbations remarquables des cycles hydrologiques suivent généralement une dynamique double : tandis que certaines régions, telles que l'Amérique du Nord et de l'Est, l'Europe du Sud, l'Asie du Nord-Est et le sous-continent indien, connaîtront une diminution moyenne des débits, d'autres régions comme l'Europe du Nord connaîtront probablement une augmentation des débits. Par ailleurs, si la hausse globale des températures atteint 4°C, il est estimé que d'ici à 2100, 10% de la surface terrestre mondiale fera face simultanément à des débits extrêmement élevés et extrêmement faibles, affectant ainsi la vie quotidienne de 2,1 milliards de personnes.

Par la suite, une partie des émissions de CO₂ est absorbée par les océans, agissant comme un puit de carbone, ce qui entraîne une acidification de ces derniers. En réalité, le CO₂ réagit avec l'eau dans une réaction chimique pour former des ions hydronium (H⁺), qui ont des propriétés acides. Par conséquent, on s'attend à ce que le pH de surface des océans continue de diminuer, comme illustré dans le schéma ci-dessus. L'acidification des océans conduit à une autre réaction chimique nuisible pour les planctons, qui constituent la base de la chaîne alimentaire, ainsi que pour les phytoplanctons, considérés comme le « deuxième poumon » de notre planète. Ce phénomène représente ainsi un véritable désastre pour la biodiversité marine. Par ailleurs, le réchauffement climatique entraîne également la migration de certaines espèces marines, perturbant ainsi la chaîne alimentaire et, par conséquent, la biodiversité.

(c) pH (une mesure de l'acidité) de surface de l'océan à l'échelle globale

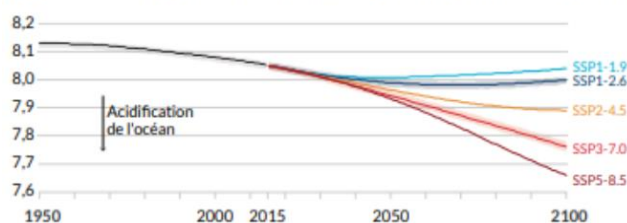


Figure 14 : pH de surface des océans à l'échelle mondiale

Pour compléter cette situation déjà préoccupante, nous avons décidé d'aborder l'une des principales boucles de rétroactions : la fonte du permafrost. Le permafrost est un sol censé rester gelé en permanence, renfermant des gaz toxiques tels que le sulfure d'hydrogène, le CH₄ et d'autres GES. Malheureusement, la température moyenne annuelle dans l'Arctique a augmenté de 3,1°C au cours des dernières décennies, soit trois fois plus que la moyenne mondiale. Selon le GIEC, si les émissions de CO₂ ne diminuent pas d'ici 2100, le permafrost risque de fondre considérablement, libérant ainsi les gaz qu'il contient. Cette libération aggraverait le phénomène du réchauffement climatique, créant ainsi un enchaînement rétroactif. Une fois enclenché, ce processus continuera de se produire, même dans un scénario irréaliste où toutes les activités humaines seraient interrompues.

3.2.5. Conséquences sur l'Homme

Ces bouleversements ont bien sûr des répercussions significatives pour l'humanité. En effet, nous pouvons nous attendre à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes. De plus, ces impacts auront des effets disproportionnés sur les différentes populations du monde entier, ce qui peut entraîner d'autres problèmes, migratoires par exemple.

Comme énoncé précédemment, la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes vont continuer d'augmenter, notamment les sécheresses, les canicules, les crues, les cyclones, les submersions et les incendies. Ces événements seront de plus en plus puissants, car le réchauffement climatique accentue la gravité des périodes très humides et très sèches. Au cours du XXI^e siècle, la superficie des terres soumises à la sécheresse augmentera. Des régions tropicales telles que le bassin amazonien et l'Amérique centrale connaîtront également une augmentation de l'aridité. Les zones touchées par des sécheresses croissantes incluent la Méditerranée, le Sud-Ouest de l'Amérique du Sud et l'Ouest de l'Amérique du Nord. L'aridification future dépassera largement les changements observés au cours du dernier millénaire. Le réchauffement climatique d'origine humaine a déjà entraîné une augmentation moyenne de la température mondiale de 1,09°C par rapport à l'époque préindustrielle (1850-1900). Les impacts analysés sont d'une ampleur et d'une étendue considérables, avec des dommages irréversibles déjà constatés. Le GIEC estime

que la plupart des risques mentionnés, tels que les sécheresses, les canicules et les tempêtes, sont inévitables, même si des mesures d'adaptation justes et rapides peuvent atténuer leur impact sur les populations.

Les conséquences du dérèglement climatique, qui sont en grande majorité négatives, affectent de manière disproportionnée les populations déjà vulnérables, accentuant ainsi les inégalités. Ceux qui contribuent le moins au réchauffement climatique sont précisément ceux qui subissent le plus ses effets. Dans les pays du Nord, une augmentation des températures peut même améliorer les résultats de productivité agricole, tandis que dans les pays du Sud, c'est l'inverse : la moindre hausse de température se traduit par une baisse des rendements. De plus, les pays à faibles revenus sont confrontés à des obstacles supplémentaires pour accéder aux financements des projets d'adaptation, étant donné les contraintes budgétaires déjà existantes. De même, en ce qui concerne la gestion de l'eau, les mesures d'adaptation peuvent parfois entrer en contradiction avec les mesures d'atténuation du changement climatique. Par exemple, les projets de capture du carbone ou de reforestation nécessitent une quantité considérable d'eau, ce qui peut compromettre la sécurité de l'approvisionnement en eau des populations. Nous pouvons également prévoir une diminution des ressources en eau et en nourriture, car la chaîne alimentaire sera perturbée, ainsi qu'un impact sur la santé à l'échelle mondiale, avec une augmentation de la mortalité due à l'émergence de nouvelles maladies et une détérioration de la qualité de l'air. Les hivers seront de plus en plus froids et les étés de plus en plus chauds, perturbant de nouveau les écosystèmes. En outre, la proportion de la population confrontée à des sécheresses extrêmes devrait passer de 3% à 8% d'ici à 2100.

On peut envisager une perspective sombre où la présence de réfugiés climatiques deviendrait une réalité, car certaines régions actuellement habitables ne le seraient plus en raison de l'augmentation des événements météorologiques extrêmes et de l'épuisement des ressources. Ces déplacements forcés de populations pourraient entraîner des tensions et des conflits armés.

3.3. Choix du support

Dès le début du projet, nous avons commencé à réfléchir au support le plus approprié pour regrouper toutes les informations liées au rapport du GIEC. Toutefois, il était essentiel que cet outil réponde à plusieurs critères : être facile d'utilisation, interactif et modifiable aisément. Nous avons rapidement fait le choix de créer un site internet afin de répondre à ces exigences. Après avoir pris en compte les exigences de notre projet, nous nous sommes engagés dans la recherche d'une plateforme appropriée pour sa réalisation. A l'aide de notre responsable de projet, Monsieur Paillat, nous avons finalement identifié une plateforme adaptée répondant à nos besoins : Genially.

3.3.1. Manipulation facile pour les utilisateurs

L'exploitation d'un site internet éducatif comme support pour regrouper les données du GIEC présente plusieurs avantages significatifs, notamment en termes de manipulation. En premier lieu, l'utilisation du site web que nous avons créé sera accessible via un lien (voir Annexe 7) qui sera probablement disponible sur Moodle. Le choix de ce support nous a permis d'organiser les données de manière claire et structurée, ce qui facilite la navigation et la recherche d'informations spécifiques. Les étudiants et autres utilisateurs du site ont la possibilité de sélectionner uniquement les sections qui les intéressent. Cela favorise leur

engagement et leur donne le contrôle de leur « apprentissage », car ils ne sont pas obligés de suivre un ordre linéaire. Ils peuvent explorer les sujets qui suscitent leur curiosité et approfondir leurs connaissances sur ces aspects spécifiques du rapport.

3.3.2. Interactivité

Les données du GIEC sont présentées de manière visuelle et interactive, incluant des graphiques, des vidéos explicatives, des quiz dans le but de susciter l'intérêt et l'engagement de l'utilisateur. Ces éléments visuels sont essentiels pour faciliter la compréhension des concepts scientifiques et des implications du changement climatique, rendant ainsi l'apprentissage plus accessible et attrayant pour les étudiants. En intégrant les informations du rapport du GIEC aux cours pertinents, le site internet établit des liens réels entre les concepts abordés en classe et les applications pratiques du changement climatique. Cela permet aux étudiants de saisir les interconnexions entre les différentes disciplines et de comprendre le changement climatique dans sa globalité.

3.3.3. Evolution du site

En ce qui concerne la flexibilité du site internet, il est conçu de manière à pouvoir être modifié facilement, ce qui permet son adaptation aux nouveaux programmes d'enseignement, le cas échéant. Si de nouveaux rapports du GIEC sont publiés ou si de nouvelles données pertinentes deviennent accessibles au public, nous avons la possibilité de les intégrer au site si nous estimons qu'elles sont utiles. De plus, les enseignants peuvent également proposer des exercices en lien avec les concepts du GIEC, ce qui offre la possibilité d'enrichir le site avec leurs contributions. La nature modifiable du site internet nous permet de rester à jour avec les développements scientifiques et de continuer à fournir des informations précises et actualisées aux utilisateurs. Nous pouvons ainsi maintenir la pertinence du site et l'adapter en fonction des nouvelles découvertes et des besoins éducatifs. Cela garantit la flexibilité et l'évolutivité du site, tout en offrant aux utilisateurs un accès aux dernières informations sur le GIEC et une expérience pédagogique enrichie.

3.4. Liens avec les enseignements dispensés en écoles d'ingénieur

L'établissement de liens entre les cours dispensés à l'INSA et les notions du sixième rapport du GIEC revêt un intérêt majeur dans le contexte de l'éducation et de la sensibilisation au changement climatique. En intégrant les concepts du rapport du GIEC dans les programmes d'enseignement de l'INSA, nous avons l'opportunité unique d'aborder le changement climatique de manière transversale et multidisciplinaire. Cela offre aux étudiants la possibilité de saisir les implications réelles de leurs études dans un contexte plus large, en comprenant comment leurs compétences peuvent contribuer à relever les défis climatiques. De plus, cette démarche permet de renforcer la pertinence des cours en les actualisant avec les connaissances les plus récentes et en les ancrant dans les préoccupations sociétales actuelles. Les étudiants sont ainsi encouragés à développer une pensée critique et à prendre conscience de l'importance de leur rôle en tant que futurs ingénieurs.

3.4.1. Les concepts enseignés ou qui devraient l'être pour comprendre le changement climatique

Nous avons recensé les notions enseignées dans certains cours pour lesquelles nous avons trouvé des liens pertinents avec les concepts abordés dans le rapport du GIEC. De plus, en tant qu'étudiants, nous avons remarqué que certaines notions pourraient bénéficier d'une exploration plus approfondie au sein des cours existants. Afin d'organiser ces informations de manière claire, nous les avons consignées dans le tableau ci-contre :

Matières	Notions déjà vues en cours	Notions qui pourraient être abordées plus en détail en cours
C2 (chimie des solutions)	<ul style="list-style-type: none"> - réactions acido-basique - réactions des alcanes - notion de pH 	<ul style="list-style-type: none"> - formation des aérosols
P1 (thermodynamique)	<ul style="list-style-type: none"> - notions de rendement des différentes machines thermiques (cycle de Beau de Rochas, de Lenoir et de Carnot) 	<ul style="list-style-type: none"> - importance des écarts de rendements des différentes machines sur la masse de CO₂ rejetée - ordre de grandeur des pertes énergétiques - différences lors de la combustion des différentes énergies fossiles
P4 (optique)	<ul style="list-style-type: none"> - notion de réflexion (utile pour comprendre l'effet de serre) 	<ul style="list-style-type: none"> - expliquer la notion d'albédo (notamment le lien avec la longueur d'onde)
T1 (thermo-chimie)	<ul style="list-style-type: none"> - réactions de combustion (du méthane notamment) 	<ul style="list-style-type: none"> - réactions d'absorption du CO₂ par les puits de carbone
CTI	<ul style="list-style-type: none"> - fonctionnement et différences des rendements des moteurs à 2 temps et à 4 temps. 	
Mathématiques		<ul style="list-style-type: none"> - suites : exercice permettant de modéliser l'évolution d'une population, en tenant compte du réchauffement climatique - probabilités : exercice sur la comparaison des probabilités qu'un événement extrême survienne dû au réchauffement climatique en 1960 par rapport à aujourd'hui / exercice qui s'appuie sur les degrés de certitude mis en place dans le rapport du GIEC
Informatique	<ul style="list-style-type: none"> - apprendre à réaliser des programmes les plus efficaces possibles 	<ul style="list-style-type: none"> - expliquer pourquoi les programmes dits « efficaces » consomment moins d'énergie (notion abordée en MAO, pourquoi pas dans le tronc commun dès la 1ère année ?) - montrer l'impact écologique du stockage des données et de l'utilisation d'internet

3.4.2. Remise en question des usages grâce au département Humanités

Être ingénieur peut être perçu comme une profession qui n'est pas particulièrement écologique pour plusieurs raisons. Tout d'abord, en tant qu'ingénieurs, nous sommes souvent poussés à créer de nouvelles technologies ou d'autres biens matériels. Cette mentalité de productivité peut contribuer à l'exploitation excessive des ressources naturelles et à l'intensification des émissions de GES. De plus, souvent, l'objectif principal d'augmenter les volumes de production et de maximiser les profits, sans toujours réellement prendre en compte les conséquences environnementales sur le long terme. Bien que les ingénieurs soient souvent encouragés à « trouver des solutions » aux problèmes, nous devons admettre que dans certains cas, la véritable solution consiste à remettre en question nos habitudes, à repenser nos modes de vie et à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement. Il est important de promouvoir une réflexion critique au sein de la profession d'ingénieur, afin d'intégrer davantage les considérations environnementales et sociales dans nos projets. Cela implique d'évaluer attentivement les besoins réels, de favoriser l'écoconception et d'explorer des alternatives durables.

Nous pensons que le département Humanités a un rôle essentiel à jouer dans le questionnement de nos pratiques et de nos valeurs en tant qu'ingénieurs mais aussi en tant que simples citoyens. Dans le cadre de notre formation en Espagnol, notamment en deuxième année, nous avons eu l'opportunité d'aborder de nombreux sujets sur le développement durable. Par exemple, nous avons débattu sur la surconsommation vestimentaire et nos habitudes d'achat. Par la suite, nous avons mentionné des solutions concrètes telles qu'acheter de seconde main et favoriser des modes de production respectueux de l'environnement. Nous avons également dû faire des recherches concernant les engagements environnementaux de l'entreprise de notre choix dans le cadre d'un oral. Le département Humanités, en nous offrant un espace de réflexion critique et en encourageant la sensibilisation aux enjeux sociétaux émergents, nous permet de développer une vision plus holistique de notre rôle en tant qu'ingénieurs. Ces réflexions et propositions doivent nous permettre de prendre conscience que l'ingénierie ne se limite pas uniquement à la création de nouvelles technologies, mais qu'elle implique également une responsabilité sociale et environnementale.

3.5. Solutions en tant qu'ingénieur

Néanmoins, nous pensons tout de même que certaines innovations sont utiles à la société et peuvent contribuer à l'atténuation du réchauffement climatique et de ses conséquences dévastatrices. Nous avons donc consacré une partie à envisager les solutions que nous pourrions mettre en œuvre dans notre future profession. Ces solutions ont été regroupées par domaine disciplinaire, afin de faciliter l'identification des étudiants avec une partie spécifique correspondant à leurs centres d'intérêt. L'objectif de cette partie est également de susciter des idées chez les futurs ingénieurs, en leur fournissant des suggestions concrètes d'actions à entreprendre dans le cadre de leur travail pour limiter leur impact sur l'environnement.

3.5.1. Dans les domaines de la physique et de la chimie

Tout d'abord, l'ingénieur en physique ou en chimie, peut se pencher sur la recherche de matériaux plus résistants pour prolonger leur durée de vie mais également sur le

développement de matériaux plus étiques. Un autre axe de progression est celui du transport en recherchant des carburants plus verts comme les bio-carburants (à partir de déchets agricoles et forestiers) ou l'hydrogène, ces carburants émettent moins de pollution. Dans ces domaines, il est aussi possible de trouver des solutions pour recycler certains déchets puis pour les réutiliser (réduire le cycle de carbone des objets par exemple). De même, l'ingénieur peut étudier la conversion des déchets organiques en un produit gazeux (dont le méthane), par des micro-organismes, qui ont un potentiel de réutilisation. Il peut aussi rechercher de nouvelles façons de stocker l'énergie renouvelable et enfin de travailler dans la recherche et le développement dans l'agroalimentaire afin de végétaliser notre alimentation. Il est également important de se pencher sur l'impact qu'ont les couleurs. Par exemple, le blanc renvoie fortement les rayons du soleil au contraire du noir (construire et développer des voitures et des bâtiments blancs est plus judicieux) : cela impacte directement la température de l'atmosphère. Enfin, prenons un exemple concret, celui des avions électriques, ce sont des aéronefs dont la propulsion est assurée par des moteurs électriques plutôt que par des moteurs à combustion. Les principaux types d'aéronefs électriques qui ont été développés avec succès pour transporter des personnes sont les avions à énergie solaire, à batterie et à pile à combustible. Le 8 Juillet 2010 a eu lieu le premier vol continu de 26 heures de jour comme de nuit, d'un aéronef à énergie solaire.

3.5.2. *Dans les domaines de l'informatique et des mathématiques*

Il est possible de modéliser numériquement des projets avant leur réalisation afin de prévoir, d'anticiper, voire d'éviter d'éventuels risques. Nous pouvons et devons optimiser les codages uniformes pour qu'ils soient les moins coûteux possible en énergie. Enfin, l'informatique est un outil puissant qui permet de prévoir l'évolution du climat en fonction de notre impact aujourd'hui et selon différents facteurs d'influence.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Le sixième rapport du GIEC apporte l'évaluation la plus complète sur le changement climatique à ce jour et le constat est simple : le réchauffement climatique est sans précédent. Les ingénieurs sont très concernés lorsqu'on parle d'écologie et de réchauffement climatique puisqu'ils font partie de ceux qui peuvent trouver des solutions, ou créer des problèmes, par rapport à ce sujet sensible. Ils jouent donc un rôle principal dans l'atténuation des effets du changement climatique, et ce, qu'importe le domaine dans lequel l'ingénieur travaille. C'est pour cela que ce sujet doit être abordé et bien expliqué aux élèves dès leurs premiers pas dans le monde de l'ingénierie.

Nous avons pu mettre en lumière les grandes lignes du rapport du GIEC au cours de ce projet en développant un site web, accessible à tous (voir Annexe 7) qui regroupe les éléments majeurs des travaux du GIEC. Cet outil permet de sensibiliser les élèves et les professeurs au changement climatique tout en expliquant le rôle qu'ils peuvent jouer dedans.

4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Ce projet nous a permis de prendre pleinement conscience des enjeux climatiques actuels, de comprendre les fondements scientifiques du rapport et les éventuelles conséquences si aucune mesure n'est prise pour freiner le réchauffement climatique. Nous avons saisi l'importance de l'implication des activités humaines dans le changement climatique et dans les catastrophes naturelles qui en découlent. De plus, nous avons identifié les leviers sur lesquels nous pouvons agir à notre échelle pour effectuer des changements significatifs. Ce projet nous a également permis de développer nos compétences en analyse documentaire et en synthèse d'informations. Il s'est avéré être une expérience extrêmement enrichissante pour chacun d'entre nous. Pour y parvenir, nous mis l'accent sur l'esprit d'équipe et la communication qui ont été les piliers de notre projet.

4.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

En ce qui concerne la poursuite du projet, comme dit précédemment, il serait intéressant de faire évoluer le site internet en effectuant des mises à jour en fonction des nouveaux rapports ou encore en y ajoutant des points de cours (d'autres exemples concrets, d'autres applications selon le programme) pour que le site puisse continuer à être utilisé par les étudiants, et plus particulièrement, ceux en première année.

Pour ce qui est de l'avenir du projet, comme mentionné précédemment, il serait pertinent d'envisager des améliorations continues du site internet. Pour ce faire, il sera possible d'effectuer des mises à jour régulières en y ajoutant des informations complémentaires (s'il y a des nouveaux rapports du GIEC par exemple) et des nouveaux contenus correspondant aux (nouveaux) aspects du programme. Ainsi, le site restera un outil utile et exploitable pour les étudiants, en particulier pour ceux qui se trouvent en première année. En veillant à maintenir la pertinence et la richesse des informations disponibles, nous garantissons que le site continuera de répondre aux besoins des élèves dans leur parcours d'apprentissage.

5. BIBLIOGRAPHIE

Sources utilisées pour nos recherches :

- <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/> : site internet du GIEC
- https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport_small.pdf : sixième rapport du GIEC en entier
- https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf : résumé technique du sixième rapport du GIEC
- https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_French.pdf : résumé à l'attention des décideurs du sixième rapport du GIEC
- <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> : atlas interactif du sixième rapport du GIEC
- <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> : foire aux questions du sixième rapport du GIEC
- <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-du-climat/partie2-quantite-de-gaz-monde> : site du Ministère de la transition écologique
- <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-du-nouveau-rapport-du-giec-france-rappelle-necessite-poursuivre-baisse-des-emissions> : site du Gouvernement
- <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3197097> : les pratiques environnementales des entreprises d'après le site de l'INSEE
- <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2021/08/09/le-rapport-du-giec-en-18-graphiques/> : article de Le Monde sur le sixième rapport du GIEC
- https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/ce-que-dit-le-rapport-du-giec-sur-l-attenuation-des-emissions-de-gaz-carbonique_162681 : article de Sciences et Avenir sur le sixième rapport du GIEC
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Diesel : site Wikipédia sur les moteurs diesels
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Sixi%C3%A8me_rapport_d%27%C3%A9valuation_du_GIEC : site Wikipédia sur le sixième rapport du GIEC
- <https://www.lesechos.fr/weekend/planete/les-emissions-de-co2-en-infographies-trajectoires-enjeux-et-solutions-1915476> : article de Les Echos sur les émissions de CO₂
- https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/04/R%C3%A9sum%C3%A9-aux-d%C3%A9cideurs_FR_WEB.pdf : résumé aux décideurs en Français
- <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/06/ResDec-Climatsup-INSA-version-Web.pdf> : document sur le rôle des ingénieurs dans la transition énergétique
- <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines> : article de l'IEA sur l'empreinte carbone
- <https://flores-amo.fr/comprendre-emissions-co2/> : article du blog Flores sur ce qu'est un kilogramme de CO₂

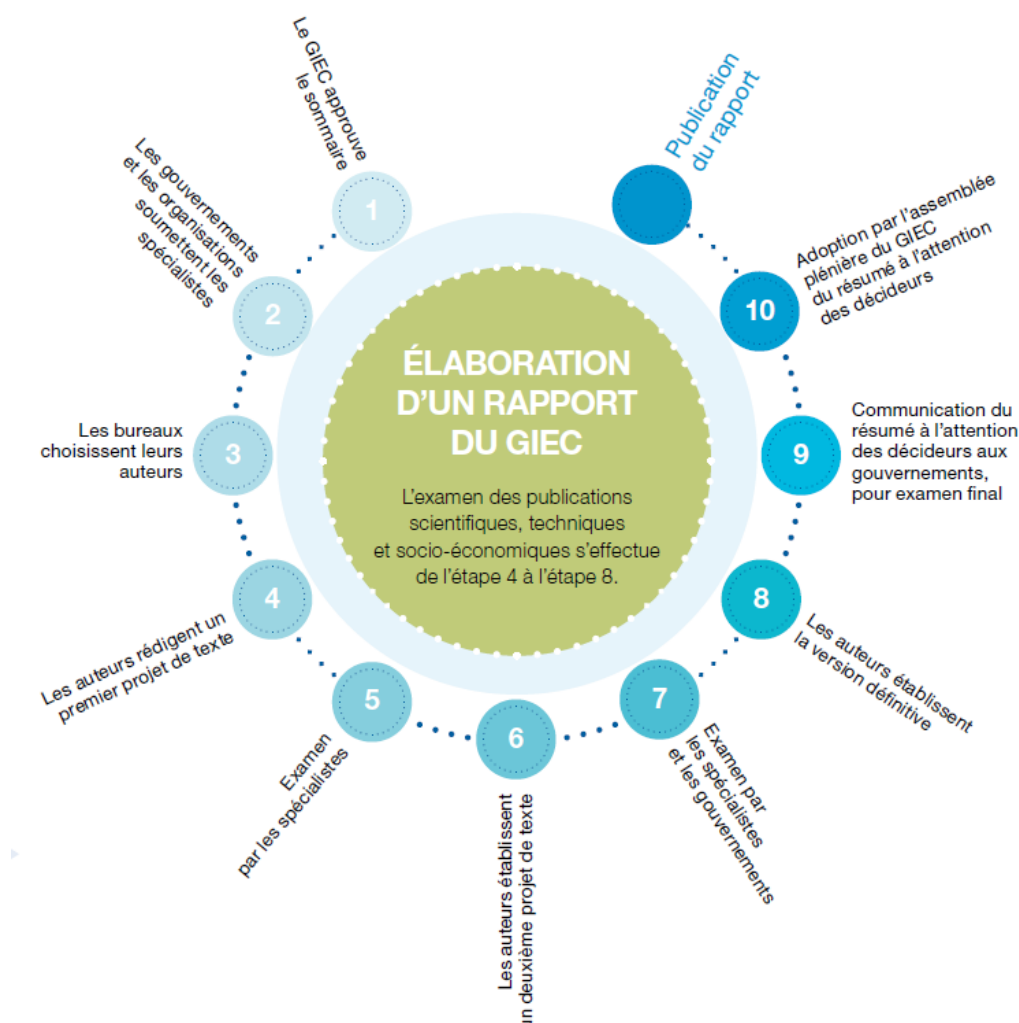
- <https://jancovici.com/> : site de l'enseignant et ingénieur Jean-Marc Jancovici sur le changement climatique
- <https://moodle.insa-rouen.fr/course/view.php?id=69> : supports de cours et exercices de thermochimie de l'INSA de Rouen
- <https://moodle.insa-rouen.fr/course/view.php?id=56> : supports de cours et exercices de thermodynamique de l'INSA de Rouen
- <https://www.ecologie.gouv.fr/comprendre-giec> : site du Gouvernement sur ce qu'est le GIEC
- <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/affaires-internationales/partenariats-organisations/groupe-experts-intergouvernemental-changements-climatiques.html> : site du Gouvernement du Canada sur ce qu'est le GIEC
- <https://www.carbone4.com/publication-scenarios-ssp-adaptation> : site de Carbone4 sur les différents scénarios du sixième rapport du GIEC
- <https://www.i4ce.org/dou-viennent-les-cinq-nouveaux-scenarios-du-giec-climat/> : site sur les différents scénarios du sixième rapport du GIEC
- <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/cinq-scenarios-climatiques-auxquels-sattendre-du-plus-optimiste-au-plus-etrange> : site sur les différents scénarios du sixième rapport du GIEC
- <https://www.carbone4.com/article-giec-goupe2-points-cles> : site de Carbone4 sur les points-clés du rapport du groupe numéro 2 du sixième rapport du GIEC
- <https://www.carbone4.com/rapport-giec-points-cles> : site de Carbone4 sur les points-clés du sixième rapport du GIEC
- <https://www.greenflex.com/actualites/articles/rapport-du-giec-resume-pour-decideurs-et-dirigeants/> : article de GreenFlex sur le résumé pour les décideurs du sixième rapport du GIEC
- <https://pour-un-reveil-ecologique.org/fr/articles/10-points-cles-giec-ar6-wg3/> : site sur les points-clés du sixième rapport du GIEC
- <https://www.universite-paris-saclay.fr/le-6e-cycle-du-giec> : site de l'Université de Paris Saclay sur le sixième rapport du GIEC
- https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20250_4pages-GIEC-2.pdf : document du Ministère de l'écologie sur ce qu'il faut retenir du sixième rapport du GIEC
- https://www.francetvinfo.fr/meteo/climat/changement-climatique-ce-qu-il-faut-retenir-du-sixieme-rapport-des-experts-du-giec-publie-aujourd-hui_4731447.html : site de FranceTVInfo sur ce qu'il faut retenir du sixième rapport du GIEC
- <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/rechauffement-climatique-lobjectif-15-c-rechauffement-climatique-deja-perdu-on-dirige-scenario-moins-3-c-rechauffement-104524/> : site de FuturaSciences dont l'image de couverture est tirée

Sources des différentes figures :

- Figure 3 : futures émissions de CO₂ dans les 5 scénarios :
page 14 du résumé à l'intention des décideurs
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf
- Figure 4 : augmentation de plusieurs GES depuis le 19^e siècle :
page 68 du technical summary
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf
- Figure 6 : répartition sectorielle des émissions de GES :
page 66 du technical summary
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_TechnicalSummary.pdf
- Figure 8 : les différents composants du forçage radiatif :
page 90 du technical summary
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf
- Figure 9 : variation du forçage radiatif effectif depuis la fin du 19^e siècle, principalement causée par les GES et les aérosols
page 68 du technical summary
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf
- Figure 10 : changement de la température à la surface du globe par rapport à 1850-1900 :
page 25 du résumé à l'intention des décideurs
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf
- Figure 11 : changements récents et futures des glaciers :
page 90 du technical summary
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf
- Figure 12 : étendue de glace de mer de l'Arctique en Septembre depuis 1950 et prévisions de la superficie de cette étendue jusqu'à 2100 :
page 25 du résumé à l'intention des décideurs
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf
- Figure 13 : variation du niveau de la mer à l'échelle mondiale, depuis 1950 et projections de celui-ci jusqu'à 2100 :
page 25 du résumé à l'intention des décideurs
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf
- Figure 14 : pH de surface des océans à l'échelle mondiale :
page 25 du résumé à l'intention des décideurs
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf

6. ANNEXES

Annexe 0 : détails sur les étapes d'élaboration des rapports :



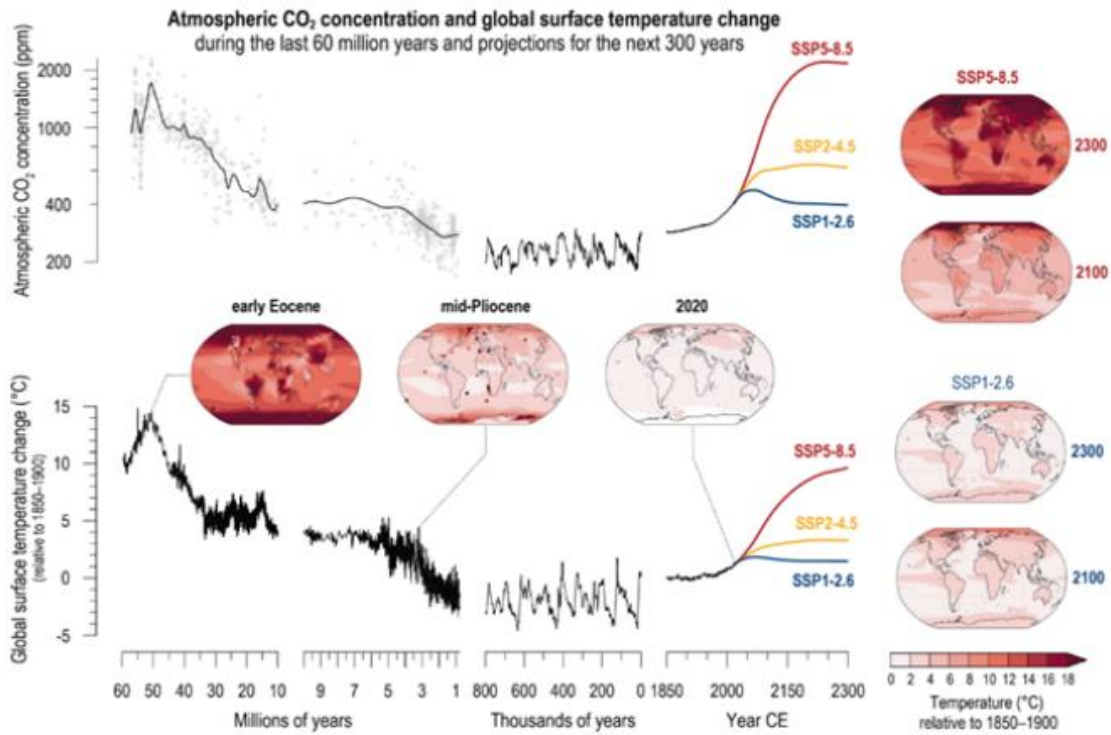
Annexe 1 : différents indicateurs :

- 1- Un indicateur qualitatif indiquant la confiance avec les mots suivants en italique : *very low* (confiance très faible), *low* (confiance faible), *medium* (confiance moyenne), *high* (confiance élevée) et *very high* (confiance très élevée) ;
- 2- Un indicateur quantitatif indiquant la probabilité avec les mots dans le tableau ci-dessous :

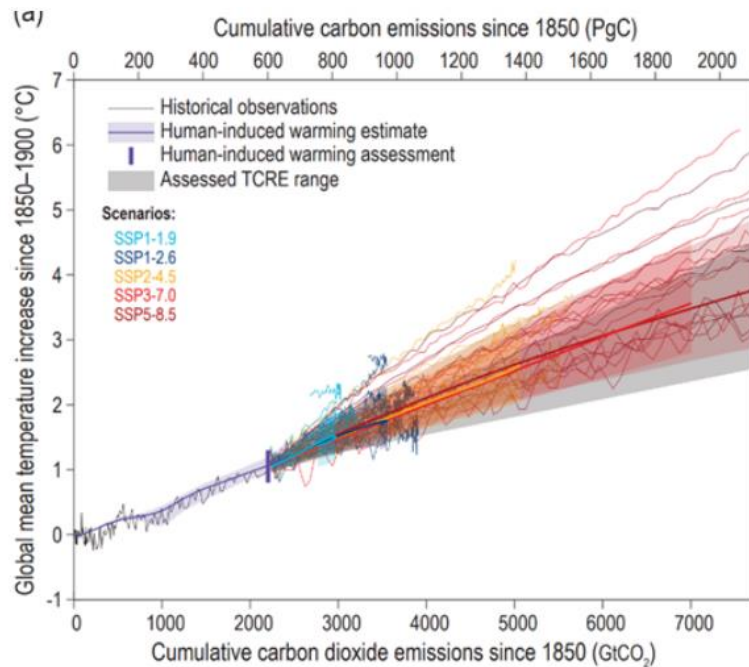
Terme	Probabilité de l'évènement
<i>Virtually certain</i> (quasiment certain)	probabilité 99/100
<i>Extremely likely</i> (extrêmement probable)	probabilité 95/100
<i>Very likely</i> (très probable)	probabilité 90/100
<i>Likely</i> (probable)	probabilité 66/100
<i>More likely than not</i> (plus probable qu'improbable)	probabilité 50/100
<i>About as likely as not</i> (à peu près aussi probable qu'improbable)	probabilité 33 à 66/100
<i>Unlikely</i> (improbable)	probabilité 0 à 33/100
<i>Very unlikely</i> (très improbable)	probabilité 0 à 10/100
<i>Extremely unlikely</i> (extrêmement improbable)	probabilité 0 à 5/100
<i>Exceptionally unlikely</i> (exceptionnellement improbable)	probabilité 0 à 1/100

Annexe 2 : concentration en CO₂ :

Graphe 1 :

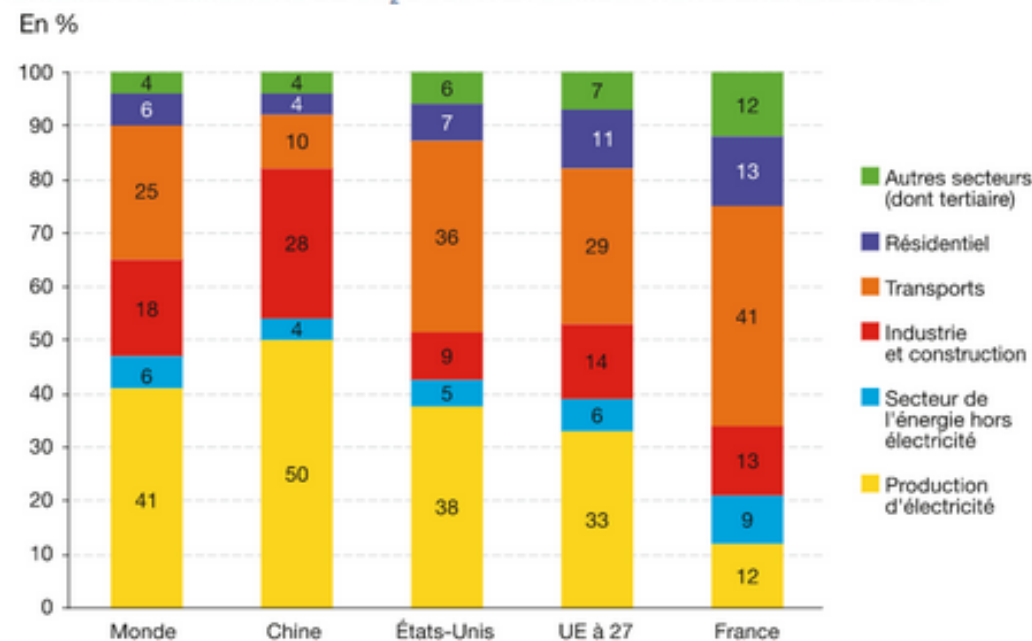


Graphe 2 :



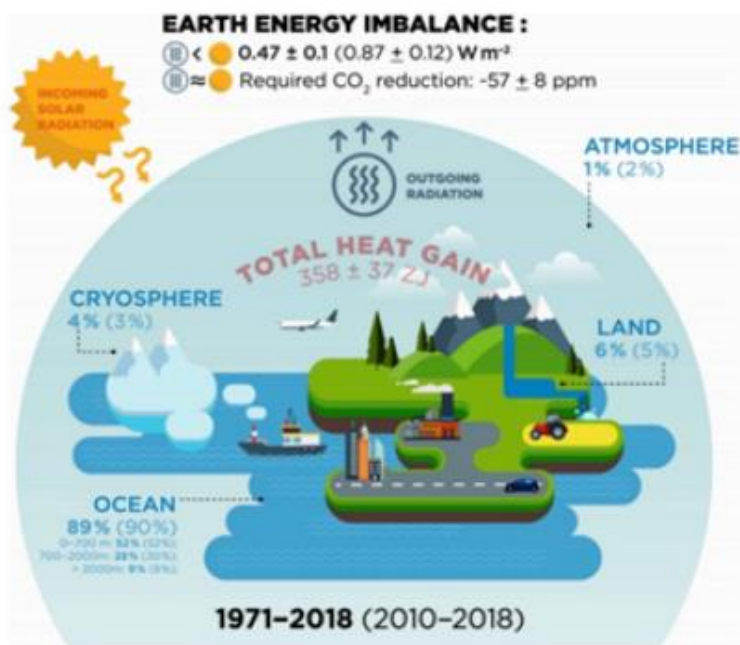
Annexe 3 : répartition sectorielle des émissions de CO₂ dans le monde :

ORIGINE DES ÉMISSIONS DE CO₂ DUES À LA COMBUSTION D'ÉNERGIE EN 2018



Source : AIE, 2020

Annexe 4 : effet de serre :



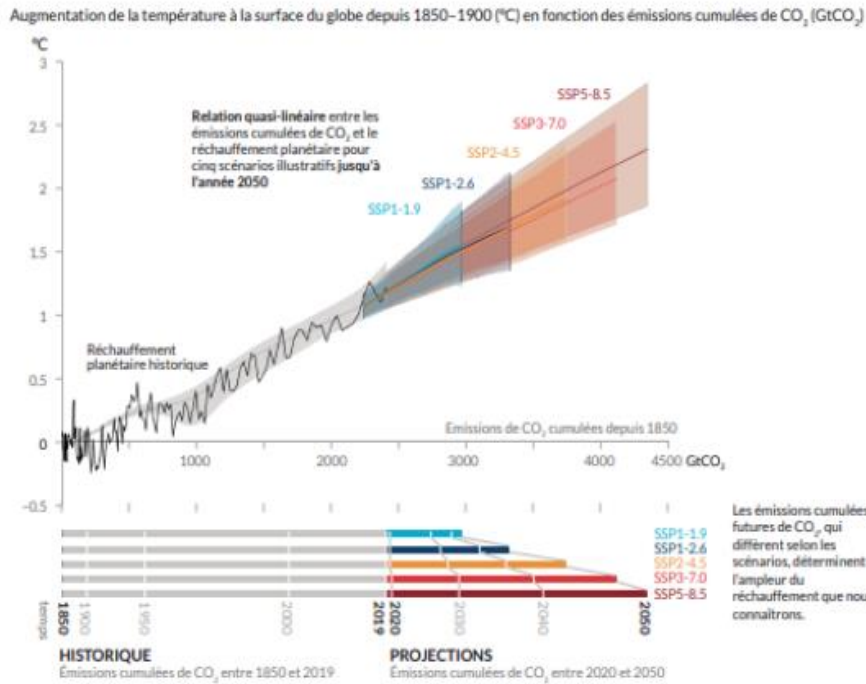
Les nombres en gras représentent les valeurs sur la période 1971-2018. Ceux entre parenthèses, les valeurs sur la période 2010-2018. Le déséquilibre énergétique global est indiqué en haut, de même que la réduction de CO₂ nécessaire pour ramener le système à l'équilibre. Plus précisément, ce dernier resterait plus chaud mais serait stabilisé. Crédits : Karina von Schuckmann & al. 2020.

Earth Syst. Sci. Data, 12, 2013–2041, 2020
<https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>

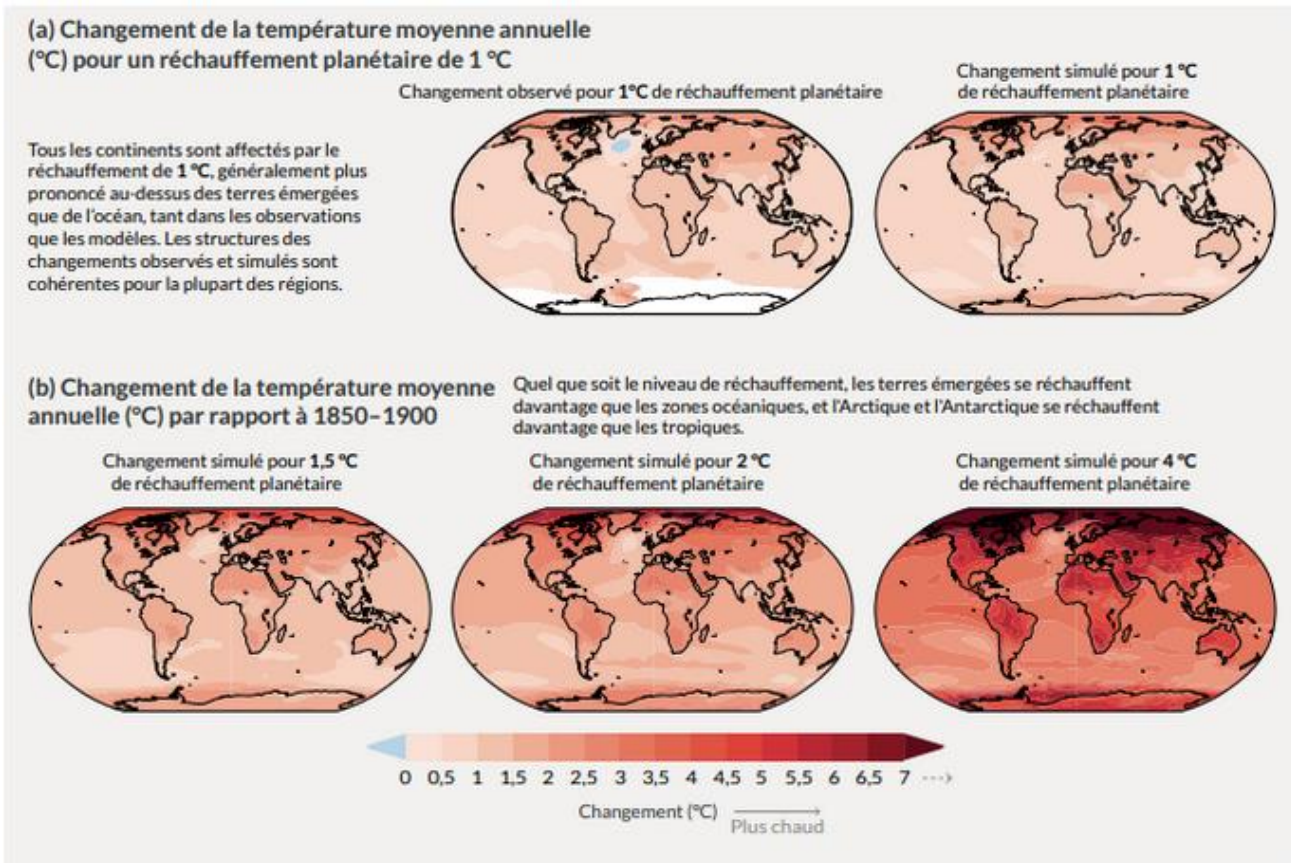


Annexe 5 : hausse de la température :

Carte 1 :



Carte 2 :

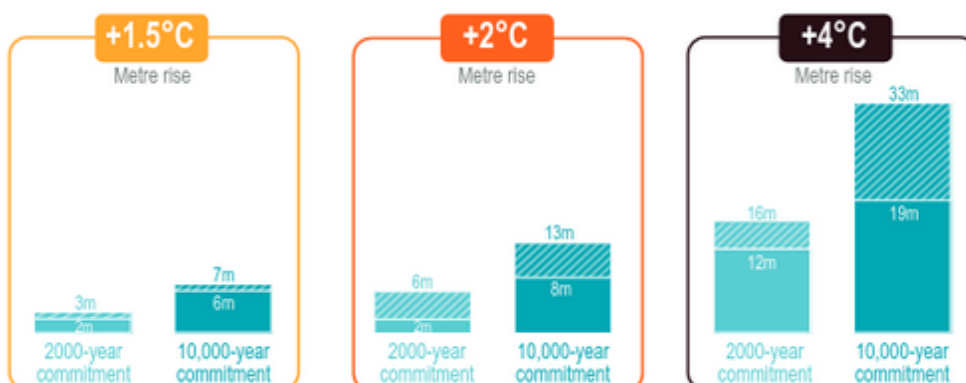


Annexe 6 : montée du niveau de la mer :

Long-term consequences: Sea level rise

Today, sea level has already increased by 20 cm and will increase an additional 30 cm to 1 m or more by 2100, depending on future emissions.

Sea level reacts very slowly to global warming so, once started, the rise continues for thousands of years.



Annexe 7 : lien de notre site Internet :

<https://view.genial.ly/6450fc2716e5f70019132ed8/interactive-content-arpentage-du-rapport-du-giec>