

Dossier scientifique pour la planète (projet)



Time
for the Planet

Version Juin 2020



Edito des cofondateurs

Il n'existe pas une solution unique et simple contre le dérèglement climatique.

Voilà, c'est désagréable mais c'est dit !

Face à la récente prise de conscience du niveau d'urgence, il peut être tentant d'adopter des analyses ou des solutions simplistes ou de faire l'autruche. Le dérèglement climatique est un sujet infiniment complexe : dès qu'on tire un fil, on découvre sans cesse de nouveaux paramètres qui entrent en jeu... ce qui a vite tendance à nous décourager. Sans parler de l'avalanche de chiffres et de mauvaises nouvelles que nous délivrent les journaux chaque jour.

Pourtant, il faut se retrousser les manches et faire preuve de courage. Oui, le dérèglement climatique est un challenge immense et inégalé dans l'histoire de l'Humanité. Nos civilisations industrielles sont bâties avec, en leur centre, la consommation d'énergies fossiles. Les émissions de gaz à effet de serre sont au coeur de nos systèmes de production et de consommation et sont responsables du dérèglement climatique déjà constaté. C'est un problème systémique. D'où l'absence d'analyse ou de solutions simples. Tout est imbriqué.

La question n'est pas de sauver la Planète qui, je vous rassure, peu importe ce qui se produit dans les prochains siècles et sa température, continuera tranquillement de tourner autour du Soleil. La question, c'est comment faire pour que l'espèce humaine et l'écosystème qui lui conviennent (ressources, biodiversité...) soient encore capables de s'adapter et donc de perdurer sur cette Planète ?

Pour résoudre un problème, il faut tout d'abord être capable de se poser les bonnes questions et d'établir un bon diagnostic. Chez Time for the Planet, nous faisons confiance aux scientifiques internationaux - notamment centralisés par le GIEC - qui nous alertent depuis des décennies sur ce phénomène. Ensuite, il faut susciter l'adhésion et la bonne compréhension de ce diagnostic de la part des citoyens. Un problème dont on connaît les contours et les mécanismes arrête de susciter fantasmes et fausses rumeurs. C'est pour cela que Time for the Planet propose, dans toute la première partie de ce Dossier Scientifique destiné au grand public, de décortiquer de manière ludique mais pour autant très rigoureuse et documentée le fonctionnement du dérèglement climatique.

Dans un second temps, pour se motiver face à un problème, il faut être capable de comprendre ce qu'il se passera dans le futur si on ne fait rien. Si "2 degrés en plus", dans la tête des scientifiques, représente déjà une situation très peu enviable, pour les citoyens.

qui ne se sont pas penché.es sur le sujet, c'est une piscine qui chauffe plus vite l'été et un pull en moins l'hiver, pas de quoi s'affoler. Chez Time for the Planet, nous souhaitons illustrer concrètement quelles sont les conséquences terribles du dérèglement climatique. C'est l'objet de notre seconde partie qui, on vous l'accorde, n'est pas très réjouissante, mais nous force à choisir l'action, et ce à l'échelle mondiale et très rapidement.

Et puis, comme on n'a pas envie de passer nos prochaines décennies à déprimer, on a décidé de transformer ce problème systémique en une opportunité : celle d'inventer le monde de demain, un monde plus durable, plus résilient, plus humain et plus respectueux des écosystèmes. C'est une chance inouïe ! Et comme il n'existe pas une seule solution mais qu'il faut transformer tous nos secteurs économiques, le potentiel d'innovation est infini !

Au sein de nos deux dernières parties, vous découvrirez notre périmètre d'intervention et notre méthode de sélection des solutions. Un seul focus : lutter contre les émissions de gaz à effet de serre et ce, de toutes nos forces. Enfin, de toutes vos forces... car c'est lorsque les meilleurs scientifiques, entrepreneurs et citoyens agiront de concert et mettront la main à la pâte que nous pourrons réussir.

Car oui, nous sommes résolument optimistes. On n'a plus le choix. On doit et on va la réussir cette sacrée transition ;) Pour nous, nos enfants et les générations futures.

Les 6 cofondateurs de Time for the Planet



Sommaire

PARTIE 1 : « On entend tout et n'importe quoi sur le réchauffement climatique », Où l'on découvre en détail le dérèglement climatique et ses causes	6
I. « On ne sait plus qui croire » : la question essentielle des sources	7
II. « C'est tellement compliqué tout ça » : comprendre enfin le réchauffement climatique	8
A. « La météo change tous les jours et il y a même des vagues de froid ! » : c'est vrai mais on ne parle pas de la même chose !	8
1. Ne pas confondre météo et climat !	8
2. Définir correctement le « changement climatique »	9
B. « Le climat change naturellement depuis toujours » : oui mais là, c'est bien différent !	9
C. « Le réchauffement climatique ne vient pas des hommes » : mais si ! Il n'y a plus aucun doute, le réchauffement est bien anthropique !	13
1. "Y a du gaz dans l'air" : Comprendre le rôle de l'atmosphère.	13
2. « C'est la faute de l'effet de serre ! » : Non, l'effet de serre est indispensable à la vie mais le problème, c'est qu'il s'est dérégulé !	14
3. « Le CO ₂ , c'est vraiment le pire ! » : pas forcément, chaque GES a un impact différent	16
a. Le temps de résidence	16
b. Le forçage radiatif	16
c. Comment comparer alors les différents GES et leur impact ?	17
4. « C'est pas ma faute à moi » : la forte augmentation des GES provient bien des activités humaines	18
D. « C'est bon, la planète se régule toute seule » : oui mais non, plus maintenant	26
1. Le cycle naturel du carbone pour comprendre le CO ₂	27
2. Le dérèglement du cycle du carbone	28
PARTIE 2 : "Oh ça va, c'est que quelques degrés en plus", Où l'on découvre l'ensemble des conséquences du dérèglement climatique et les risques d'amplification	32
I. Les conséquences du réchauffement climatique : les mécanismes à l'œuvre	32
A. Les mécanismes de base	32
1. Hausse de la température et vagues de chaleur nocives pour la biodiversité	32
2. Le cycle de l'eau est perturbé, exacerbant les phénomènes météo extrêmes	34
3. Fonte des glaces :	36
a. Différencier glaciers, calottes et banquise	36

b. Eau douce et stress hydrique	36
c. Montée des eaux	37
4. Acidification des océans	39
B. Les mécanismes « cercles vicieux » ou le double effet kiss pas cool	40
1. L'effet albédo, c'est pas très très beau	40
2. Les courants océaniques modifiés, c'est du CO2 non-capté	41
3. La mort des forêts, ça fait pleurer	42
4. La vapeur d'eau, ça donne chaud	42
5. Le dégel du pergélisol (ou « permafrost pour les bilingues »), c'est pas drôle	42
6. L'hydrate de méthane, qui doit rester au frais	44
II. « Et si on arrêtait tout aujourd'hui, ça irait ? » Même pas, il y a le problème de l'inertie	46
A. Le temps de résidence, "On est pas mal là-haut"	46
B. L'inertie thermique, ou "pourquoi ma piscine est toujours trop froide"	47
C. Concrètement, de quel décalage parle-t-on ?	47
III. « Bon du coup, si je comprends bien, c'est foutu, c'est trop tard » Non, mais il faut agir dès maintenant !	47
A. "On n'est pas au top" : oui, on se trouve actuellement dans un des pires scénarios prévus par le GIEC	48
1. Les différents scénarios du GIEC	48
2. Même les pires scénarios du GIEC étaient finalement... optimistes !	51
B. Est-ce qu'on ne ferait pas mieux d'abandonner ?	53
1. Si on abandonne : +5 à +7 degrés, c'est vraiment la fin du monde (tel qu'on le connaît)	53
2. En plus après 2100, le monde continue non ?	57
3. On n'a pas le choix : il faut essayer d'atterrir le plus bas possible sur la courbe	58
C. « Non, il n'est pas trop tard », et ce n'est pas juste moi qui le dis	58
D. Qu'est-ce qu'il faut faire alors ?	59
E. C'est nouveau cette histoire de captation carbone ?	64

PARTIE 3: "Vous êtes intéressés par toutes les innovations ? Non"

Où l'on détaille notre périmètre d'intervention et les 20 problèmes que Time for the Planet souhaite résoudre 65

I. Ce que Time for the Planet ne fait pas	67
A. On ne peut pas résoudre tous les problèmes de la Planète	67
B. On ne peut pas adresser tous les problèmes environnementaux	67

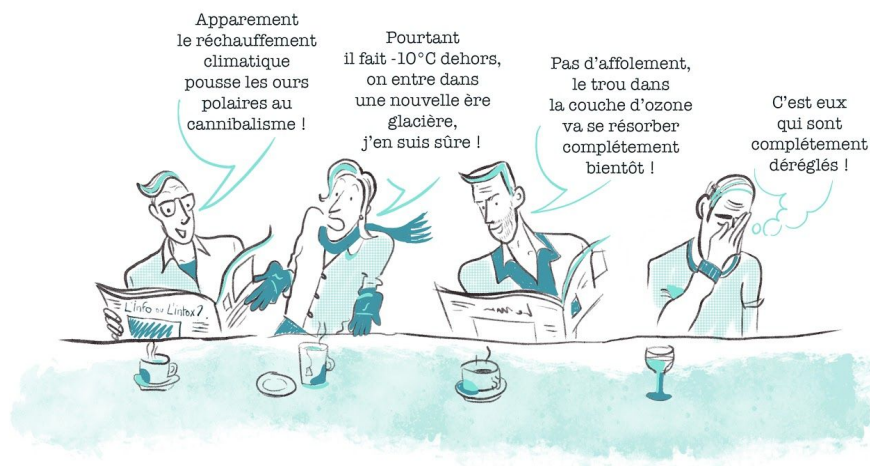
C. Un focus unique : atténuer les GES et viser la neutralité carbone	68
1. Les innovations qui n'ont pas d'impact direct et significatif sur les GES	68
2. Les innovations à l'effet indirect, non mesurable	68
3. Les innovations non répliquables, non scalables à l'échelle mondiale	69
4. La question du nucléaire	69
D. On ne joue pas aux apprentis-sorciers : non à la géo-ingénierie	69
II. Notre stratégie : miser sur 4 leviers d'atténuation, « on est aux manettes »	70
A. Zéro émission, ou la décarbonisation	70
B. Efficacité énergétique	71
C. Sobriété de nos besoins	71
D. Captation des GES	72
III. Notre périmètre sectoriel : agir sur 5 secteurs prioritaires	72
A. L'énergie, le cœur du réacteur	73
B. L'industrie, le glouton de l'énergie	74
C. Le transport, le roi du pétrole	75
D. L'agriculture, la championne multi-catégories	75
E. Le bâtiment : une brique indispensable	76
F. Le numérique : un nouveau secteur qui monte, qui monte	77
IV. Les 20 problèmes que Time for the Planet adresse : notre matrice d'action et nos partis pris	78
V. L'effet rebond, un problème (mais pas directement le nôtre)	80
PARTIE 4 : Mais vous avez des copains inventeurs autour de vous ?	
Où l'on détaille notre méthode de détection et de sélection des innovations	83
I. Où trouver ces fameuses innovations ?	84
II. Quels types d'innovations cherchons-nous ?	85
III. Quels sont les critères d'appréciation lors de la sélection de ces innovations ?	87
IV. Les étapes de sélection des innovations	87
A. Présélection par l'intelligence collective	87
B. Validation par le comité scientifique	88
C. Validation du potentiel marché	89
D. Validation éthique	89
Conclusion et contacts	89
Bibliographie	90

On entend tout et n'importe quoi
sur le réchauffement climatique

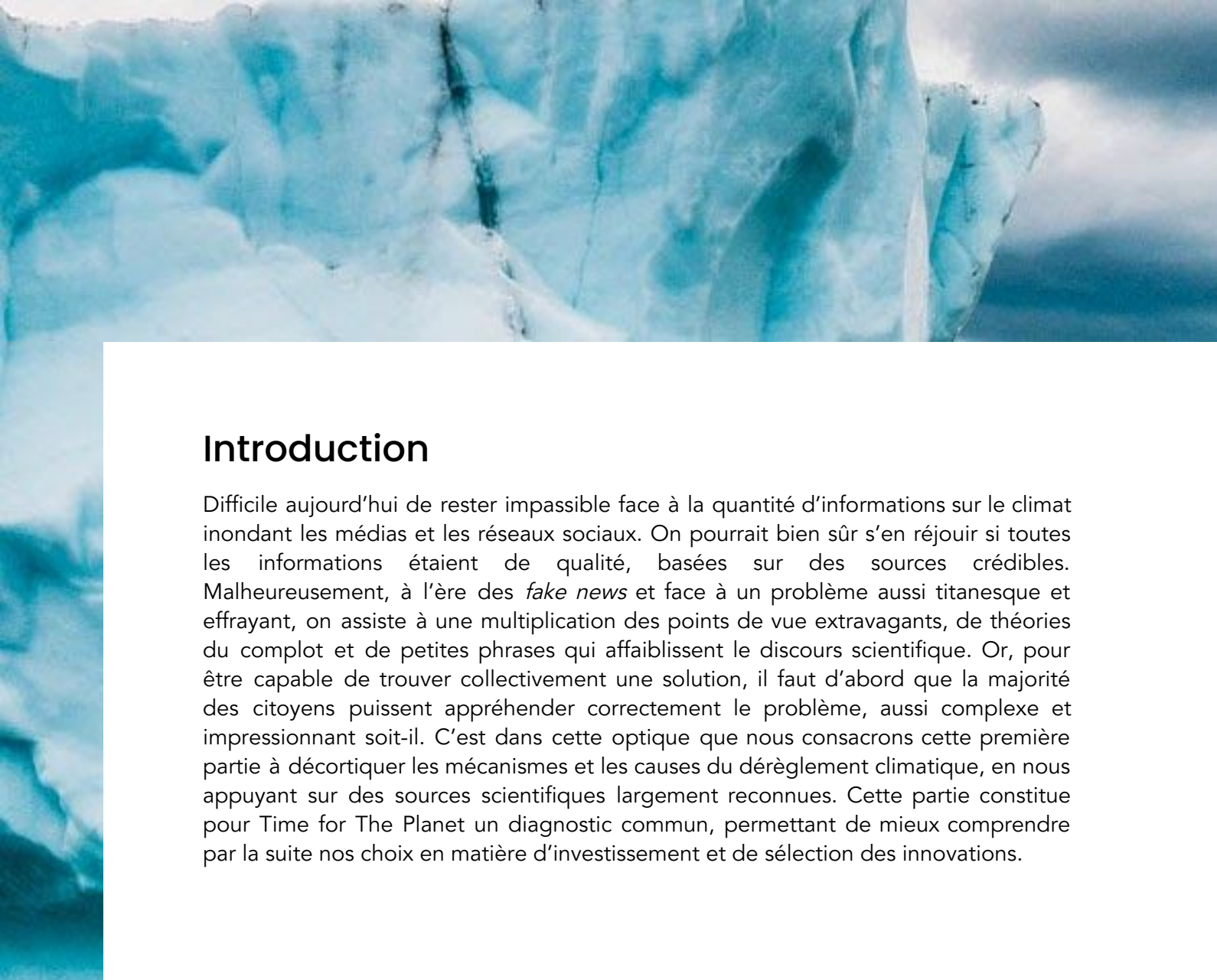
PARTIE 1:



Où l'on découvre en détail le dérèglement
climatique et ses causes



etpourquoipeu.com



Introduction

Difficile aujourd'hui de rester impassible face à la quantité d'informations sur le climat inondant les médias et les réseaux sociaux. On pourrait bien sûr s'en réjouir si toutes les informations étaient de qualité, basées sur des sources crédibles. Malheureusement, à l'ère des *fake news* et face à un problème aussi titanesque et effrayant, on assiste à une multiplication des points de vue extravagants, de théories du complot et de petites phrases qui affaiblissent le discours scientifique. Or, pour être capable de trouver collectivement une solution, il faut d'abord que la majorité des citoyens puissent appréhender correctement le problème, aussi complexe et impressionnant soit-il. C'est dans cette optique que nous consacrons cette première partie à décortiquer les mécanismes et les causes du dérèglement climatique, en nous appuyant sur des sources scientifiques largement reconnues. Cette partie constitue pour Time for The Planet un diagnostic commun, permettant de mieux comprendre par la suite nos choix en matière d'investissement et de sélection des innovations.

I. "On ne sait plus qui croire" :

La question essentielle des sources

Chez Time for the Planet, nous faisons confiance aux scientifiques. C'est eux qui nous alertent depuis des dizaines d'années sur le dérèglement climatique. Afin de mutualiser les connaissances des chercheurs du monde entier sur le climat, il existe depuis 1988 un groupe international ouvert à tous les pays de l'ONU qui explicite et symbolise le consensus scientifique : le GIEC. Ce « Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat » a pour mission d'expertiser de façon objective, précise et méthodique l'ensemble des informations internationales, scientifiques, techniques et socio-économiques s'y référant.

Les différents rapports du GIEC servent donc à éclairer le débat public international et constituent la source principale des éléments chiffrés de ce dossier. Le GIEC met de

lui-même à jour les différentes connaissances ou scénarios du dérèglement climatique au fur et à mesure de ses rapports et nous essaierons de même de faire évoluer notre dossier dans le temps en tenant compte de ces évolutions.

D'autres sources complémentaires sont utilisées mais nous nous efforçons toujours de les recouper afin de vérifier qu'elles font l'objet d'un large consensus scientifique international. Par exemple, nous nous basons sur les données de l'[Agence International de l'Energie](#), l'[Agence Européenne pour l'Environnement EEA](#), l'[organisation Météorologique Mondiale OMM](#), l'[agence de la transition écologique ADEME](#), le [Centre national de référence des inventaires, des projections et des expertises en matière de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre CITEPA](#) ou encore le [Programme des Nations Unies pour l'Environnement PNUE](#) et l'[Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture FAO](#).

Exit donc les données de scientifiques qui travaillent seuls ou les études qui n'ont pas été largement adoptées par la communauté internationale. De même, les données citées par d'autres typologies de métiers qui ne sont pas eux-mêmes des scientifiques (hommes politiques, lanceurs d'alerte, associations...), aussi pertinentes soient-elles, ne seront pas retenues dans ce dossier.

C'est parti pour décortiquer le dérèglement climatique et ses mécanismes. Et au passage, on va en profiter pour réaliser un petit tour d'horizon des petites phrases sur le climat qui nous fatiguent ! Vous les retrouverez en vert 😊.

II. "C'est tellement compliqué tout ça" :

Comprendre enfin le dérèglement climatique

A. "La météo change tous les jours et il y a même des vagues de froid !"

C'est vrai mais on ne parle pas de la même chose !

Il est aisé de pointer du doigt un épisode de grand froid, comme Donald Trump l'a déjà fait par le passé, pour expliquer que le réchauffement climatique n'existe pas.

1. Ne pas confondre météo et climat !

Il est toujours bon de rappeler que la météo correspond à une situation instantanée et locale du temps qu'il fait (température, précipitations, vent...). A l'inverse, le climat, c'est une « description statistique fondée sur les moyennes et la variabilité de ces mêmes grandeurs (température, vents...) sur des longues périodes et à l'échelle mondiale ». En général, l'Organisation Météorologique mondiale choisit une période de 30 ans pour établir les moyennes qui caractérisent un climat et ses caractéristiques.

2. Définir correctement le « changement climatique »

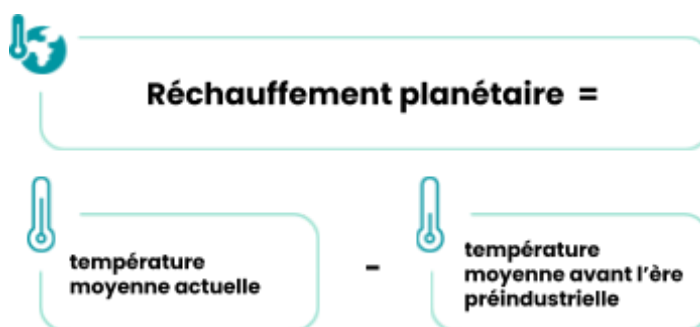
Le changement climatique correspond à une modification durable du climat à l'échelle planétaire « qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ».

Compte tenu du nombre de phénomènes et de variables en jeu dans le dérèglement climatique, il n'est pas chose facile de modéliser les changements climatiques. Une simple équation ne suffit pas.

Pour modéliser les évolutions du climat, les experts du GIEC s'appuient sur de nombreuses simulations qui portent sur l'atmosphère, les océans et banquises, les reliefs, la végétation, les nuages ou encore les gaz à effet de serre. C'est la combinaison de ces différents modèles climatiques qui permet de proposer une analyse globale et des prévisions.

Un indicateur relativement parlant a tout de même été choisi comme référence pour symboliser et mesurer l'évolution climatique, c'est « le réchauffement planétaire ».

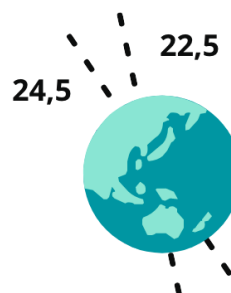
Il correspond à l'écart entre la température moyenne à la surface de la planète à un instant t^2 et la température moyenne connue lors des niveaux préindustriels (de 1850 à 1900)³.



B. « Le climat change naturellement depuis toujours » : Oui mais là, c'est bien différent !

Il est vrai que la Planète a connu au cours de son histoire des changements climatiques majeurs. Ils sont notamment liés à 3 paramètres astronomiques appelés « paramètres de Milankovitch » :

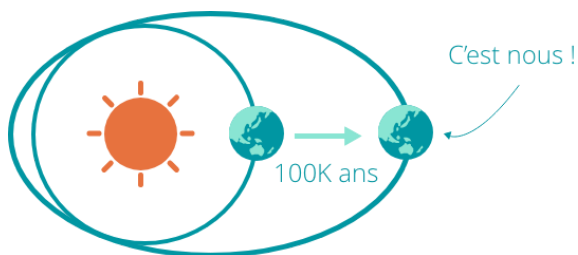
→ Premier paramètre : « l'obliquité », c'est-à-dire l'inclinaison de la Terre, qui varie tous les 41 000 ans environ.



¹ Définition de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)

² La température moyenne est définie comme la moyenne mondiale sur 30 ans des valeurs conjuguées de la température de l'air à la surface des terres émergées et de la température de l'eau à la surface des océans.

³ La période pré-industrielle de référence correspond à la période 1850-1900, époque la plus ancienne sur lesquelles nous disposons d'observations quasi-mondiales.



→ Deuxième paramètre : « l'excentricité » de la Terre, c'est-à-dire la trajectoire de la Terre autour du Soleil, qui définit donc sa distance par rapport au Soleil. Cette trajectoire oscille entre un cercle presque parfait et une ellipse tous les 100 000 ans environ.

→ Troisième paramètre : « la précession des équinoxes », c'est à dire le changement de direction de l'axe de rotation de la Terre, comme pour une toupie. L'axe de rotation décrit un cercle en 23 000 ans environ.

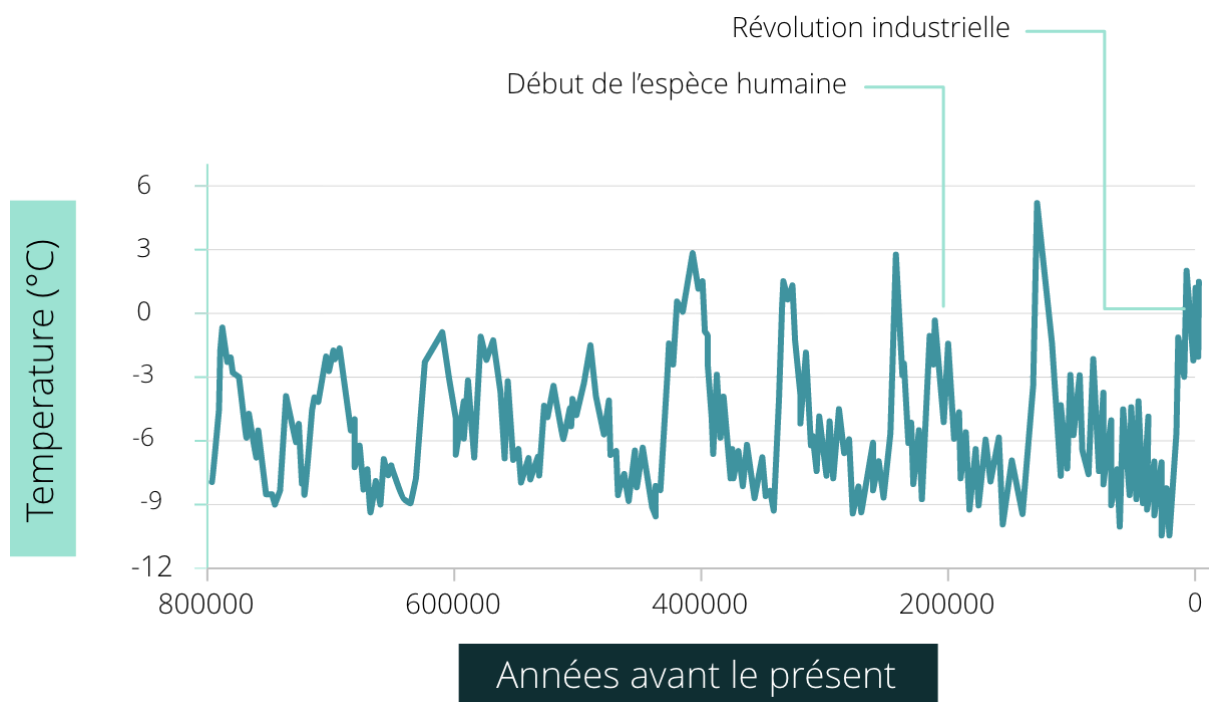


Ces trois paramètres ont façonné le climat de notre Planète depuis des millions d'années. En effet, ces paramètres influent sur la quantité d'énergie solaire reçue et donnent donc notamment lieu à des étés plus ou moins chauds.

En remontant sur le dernier million d'années, les scientifiques ont pu observer l'alternance entre :

Des périodes glaciaires	Des périodes interglaciaires
Températures moyennes environ 5 degrés inférieures à celles d'aujourd'hui	Températures moyennes similaires aux nôtres
Les paramètres de Milankovitch donnent des étés très frais	Les paramètres de Milankovitch donnent des étés plus chauds
En été, la neige fond moins et se transforme en glace autour des pôles	En été, la neige hivernale fond et la glace se réduit peu à peu
Toute cette glace réfléchit davantage la lumière du soleil et la Terre absorbe moins la chaleur du soleil : donc la Terre se refroidit ! (pour plus de détail voir l'effet albédo p. 31)	Moins de glace signifie moins de rayons solaires renvoyés vers l'espace et plus de chaleur absorbée par la Terre : la terre se réchauffe !

On observe sur les derniers millions d'années une alternance très nette entre phases glaciaires et interglaciaires comme le montre ce schéma.



source :

<https://www.meteo-media.com/nouvelles/articles/les-incroyables-images-de-la-nasa-sur-nos-emissions->

source : <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/temperature-change>

Depuis 11 000 ans, nous nous situons dans une ère « interglaciaire ». Théoriquement, d'ici une dizaine de milliers d'années, la Terre devrait donc se refroidir pour entrer dans une nouvelle ère « glaciaire ». Donc effectivement, le climat change naturellement depuis toujours !

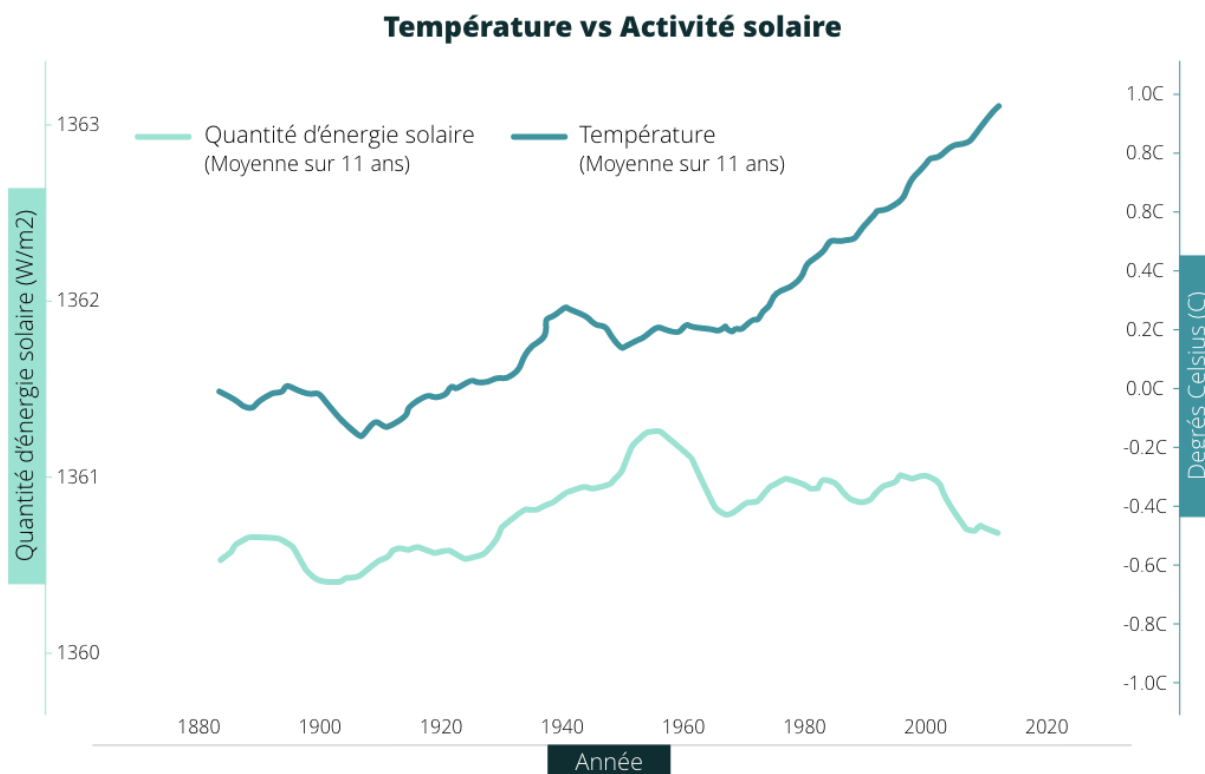
Sauf que... Sauf que nous vivons aujourd'hui une évolution climatique différente, unique.

Le GIEC l'a dit

Dans son 5ème rapport de synthèse (2014), le GIEC est clair sur ce point :
"Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires."

Effectivement, non seulement la Terre se réchauffe mais elle se réchauffe à vitesse grand V, c'est-à-dire en quelques centaines d'années et non comme avant, c'est-à-dire progressivement sur quelques milliers d'années.

Comparons l'énergie solaire reçue par la Terre et la température moyenne à la surface du globe. Observez le décalage entre « l'évolution naturelle » liée notamment aux paramètres de Milankovitch (avant 1950) et l'évolution actuelle depuis 1950. On voit que les deux courbes, relativement bien corrélées jusqu'en 1950, ne progressent plus de manière similaire sur la suite. Alors que la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre reste relativement stable, la courbe des températures, elle, s'envole vers un bon degré supplémentaire.



Source : climate.nasa.gov

Nous sommes donc bien dans une situation de réchauffement inédite et non « naturelle ». Là où perdre ou gagner 5 degrés prenait des dizaines de milliers d'années, nous avons déjà gagné un degré en moins d'un siècle. Du jamais vu !

C. « Le réchauffement climatique ne vient pas des hommes » : mais si, il n'y a plus aucun doute, le réchauffement est bien anthropique !

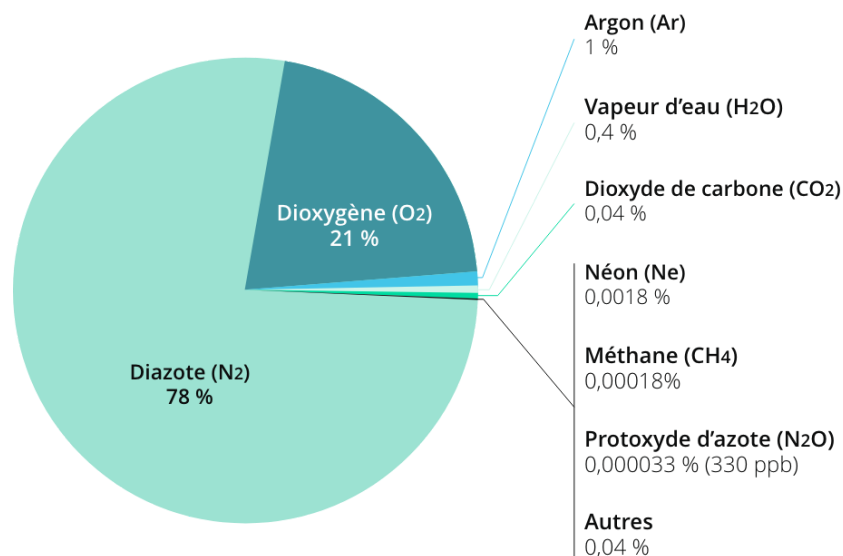
1. "Y a du gaz dans l'air" :

Comprendre le rôle de l'atmosphère.

La Terre est entourée par l'atmosphère. Celle-ci est constituée d'une couche de gaz, qu'on appelle communément « l'air ». Elle est composée de plusieurs éléments dont :

- De la vapeur d'eau
- Plusieurs gaz : diazote, dioxygène, argon, dioxyde de carbone, néon, hélium, krypton, hydrogène, méthane...
- Des aérosols : rien à voir avec les bombes aérosols ! Il s'agit de fines particules solides ou liquides en suspension dans l'air (cendres volcaniques, pollens, particules émises par les activités humaines comme les gaz qui viennent généralement des mêmes usines et pots à échappement que le CO₂ et sont nocifs à la santé...)

Composition de l'atmosphère



L'atmosphère est un véritable bouclier indispensable à la vie. Pourquoi ?

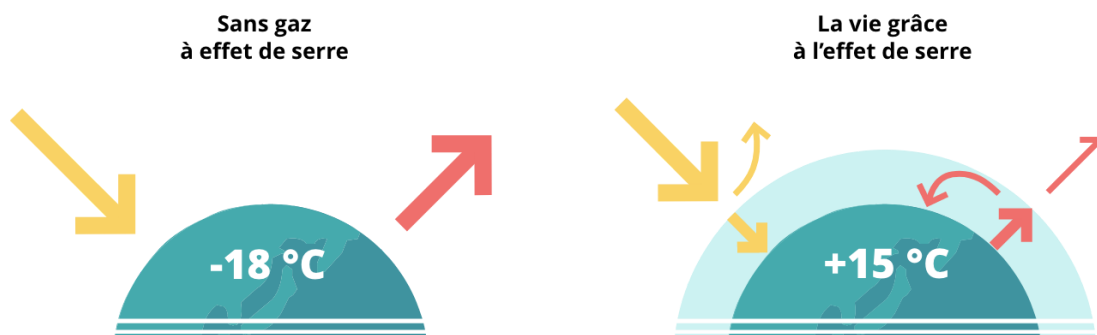
- Elle nous protège des petites météorites en les désagrégeant
- Elle bloque une partie des rayonnements provenant de l'espace qui sont nocifs pour les organismes vivants (certains rayonnements ultraviolets ou radioactifs par exemple).
- Elle permet de réchauffer notre planète et de la maintenir à une température propice au développement de la vie.

C'est ce dernier phénomène qui va particulièrement nous intéresser dans la compréhension du dérèglement climatique.

2. "C'est de la faute de l'effet de serre !" :

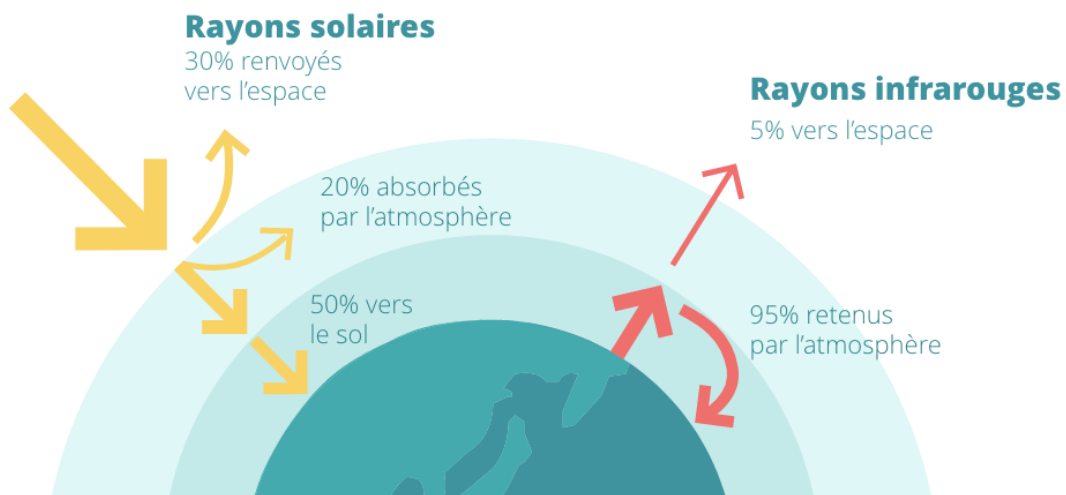
Non, l'effet de serre est indispensable à la vie mais le problème, c'est qu'il s'est dérégulé !

L'atmosphère agit effectivement comme une sorte de serre, en retenant une partie de la chaleur provenant du rayonnement solaire. C'est ce qu'on appelle « l'effet de serre. » Il s'agit d'un phénomène totalement naturel qui existe depuis bien longtemps sur Terre. Il permet de réguler la température terrestre. La température moyenne à la surface du globe est aujourd'hui environ de 15 degrés grâce à l'effet de serre. Sans ce dernier, elle serait plutôt de -18 degrés !



Comment l'effet de serre fonctionne-t-il ?

En laissant passer une partie du rayonnement solaire, puis en retenant les infrarouges émis par la Terre, l'effet de serre permet de maintenir sur Terre une température moyenne compatible avec la vie humaine.



Si l'on s'intéresse plus en détail à cet effet de serre, on découvre qu'il est lié à la présence de certains gaz spécifiques de l'atmosphère :

- La vapeur d'eau
- Le dioxyde de Carbone
- Le méthane
- Le protoxyde d'azote
- l'Ozone

Méthane (CH₄)

Vapeur d'eau (H₂O)

Protoxyde d'azote (N₂O)

Dioxyde de carbone (CO₂)

Ozone (O₃)

Ensemble, ces gaz sont appelés les GES⁴ : « Gaz à effet de serre ». Pour la suite du dossier, nous utiliserons uniquement le terme GES (ça fera économiser du papier 😊).

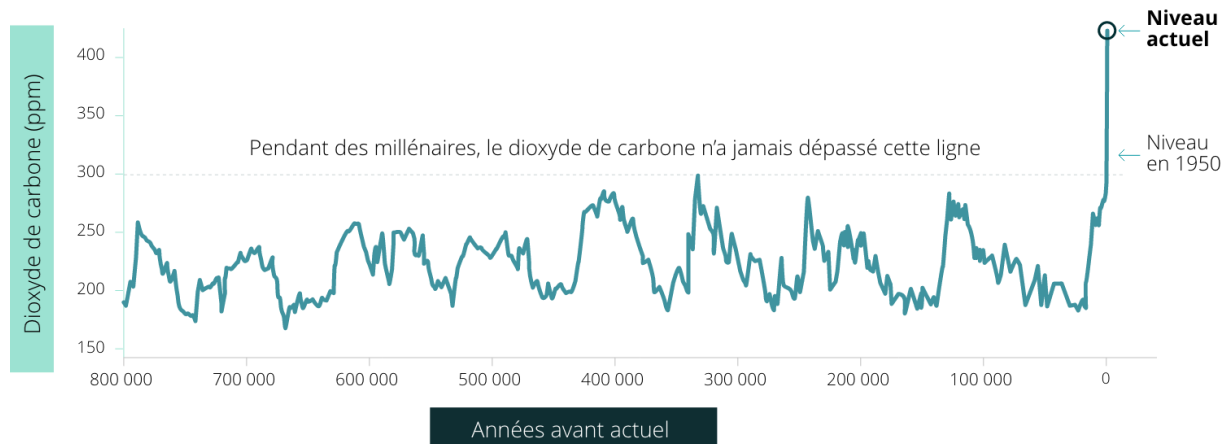
Alors qu'ils représentent moins de 1% des gaz de l'atmosphère, l'impact des GES est considérable sur la température terrestre.

Et si l'effet de serre s'est dérégulé et réchauffe notre Planète beaucoup plus vite que d'habitude, c'est parce que la concentration des GES dans l'atmosphère a explosé.

Avec ce schéma, on voit que la quantité de CO₂ a une courbe qui reprend les variations entre ère glaciaire et interglaciaire. Plus le niveau de CO₂ était élevé, plus on se trouvait dans une période chaude (interglaciaire) et inversement. Or, sur le dernier siècle, on peut observer un très grand accroissement de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère avec une

⁴ Au delà des GES "naturels" cités, il existe d'autres GES que nous retrouvons dans l'atmosphère mais uniquement car ils sont émis par les activités humaines. C'est le cas notamment des gaz fluorés (HFC, PFC, SF₆), notamment utilisés dans les systèmes de réfrigération, mousses isolantes ou encore dans l'industrie des semi-conducteurs.

moyenne par exemple en 2018 à 100 ppm⁵ au-dessus de la valeur la plus haute jamais enregistrée avant l'ère industrielle !



source :

https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide

Cette augmentation inédite des GES, entraîne donc un dérèglement totalement nouveau de l'effet de serre naturel, qui cause le réchauffement climatique.

3. "Le CO₂, c'est vraiment le pire !" :

Pas forcément, chaque GES a un impact différent

Si tous les GES fonctionnaient de la même façon, ce serait bien trop simple. En réalité, chacun de ces gaz possède des caractéristiques différentes.

a. Le temps de résidence

Chaque GES reste plus ou moins longtemps dans l'atmosphère, et continue donc d'agir pendant tout ce « temps de résidence » en augmentant l'effet de serre.

Exemples :

GES	Temps de résidence
Dioxyde de carbone (CO ₂)	100 ans
Méthane (CH ₄)	12 ans
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	120 ans
Vapeur d'eau (H ₂ O)	10 jours

⁵ ppm : partie par million. En d'autres termes, c'est comme un pourcentage mais pas "pour cent" mais "pour un million"

b. Le forçage radiatif :

Pour différencier les différentes contributions au réchauffement planétaire, la notion de forçage radiatif est utilisée. Le forçage radiatif caractérise l'apport d'une espèce chimique au bilan énergétique de la Terre, c'est-à-dire sa contribution à l'effet de serre additionnel. Ce flux d'énergie se mesure en W/m^2 ⁶.

L'adjectif « radiatif » vient du fait qu'on mesure une différence de rayonnement. Plus précisément, on mesure la différence entre le rayonnement solaire entrant dans l'atmosphère et les émissions de rayonnements infrarouges sortantes de l'atmosphère.

Par exemple, un forçage radiatif positif signifie qu'il y a une augmentation de la contribution à l'effet de serre et donc au réchauffement climatique. A l'inverse, si l'on mesure un forçage radiatif négatif, la Terre reçoit dans ce cas moins d'énergie qu'elle n'en renvoie. Le forçage d'un gaz au forçage radiatif négatif entraîne donc une baisse de l'efficacité de l'effet de serre et donc un refroidissement de la Planète.

Chaque GES possède un « forçage radiatif » différent, et donc une "efficacité" ou une contribution au réchauffement différente.

c. Comment comparer alors les différents GES et leur impact ?

Ne mélangeons pas les choux et les carottes. Comme nous venons de le voir, les GES possèdent deux caractéristiques principales qui impactent le réchauffement climatique : leur temps de résidence et leur forçage radiatif. Afin de pouvoir comparer les GES aisément, il a été créé un indicateur unique : le PRG « Pouvoir de réchauffement Global » ou en anglais GWP (« Global Warming Potential »).

Comment est-il calculé ? Il suffit de prendre le forçage radiatif d'un GES sur 100 ans (pour neutraliser ainsi la question du temps de résidence) et de le rapporter à celui du CO₂. Par convention, le CO₂ a donc un PRG de 1.

Voici à titre d'exemple les PRG de différents GES :

Nom	Formule chimique	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	30
Protoxyde d'azote	N ₂ O	265

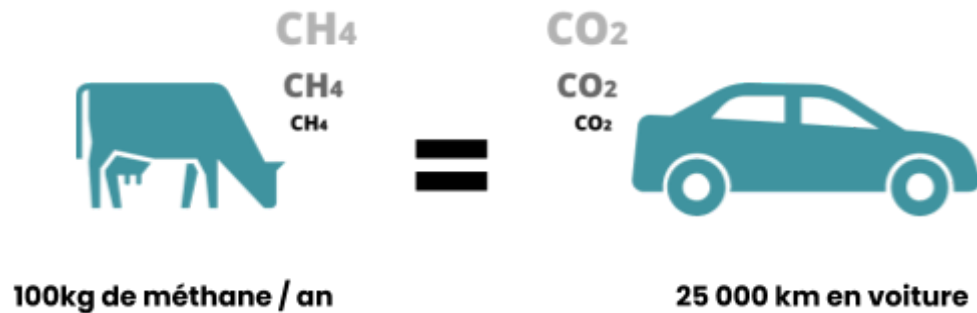
https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?prg.htm

Ainsi, on peut lire que le méthane a en moyenne un pouvoir de réchauffement global 30 fois supérieur à celui du CO₂. C'est à dire que si on émet 1 kg de méthane dans l'atmosphère, l'impact en matière d'effet de serre sera le même, à l'échelle du siècle, que 30 kg de CO₂ !

⁶ W / m^2 : densité de flux thermique en Watt par mètre carré.

Nous pouvons ainsi comparer les différents GES et leur impact, en "équivalent CO2". L'équivalent CO2 est, pour un GES, la quantité de CO2 qui aurait la même capacité à réchauffer la Planète sur un temps donné. Cette notion est notamment utilisée pour les publications dans la presse car plus simple à appréhender pour le grand public.

Par exemple : Une vache laitière émet environ 100 kg de méthane / an⁷, ce qui a le même pouvoir de réchauffement que 3 tonnes de CO2 par an. On dit donc qu'une vache laitière émet "3 tonnes équivalent CO2 / an". C'est ce qu'émet une voiture neuve en 25 000 km.⁸



Voilà donc une unité de mesure commune bien pratique pour mesurer correctement la contribution des GES au réchauffement climatique, peu importe le GES considéré et le secteur ou le pays qu'on analyse (transport, agriculture...).

4. « C'est pas ma faute à moi » :

La forte augmentation des GES provient bien des activités humaines

La très forte croissance des GES que l'on peut observer sur le graphique ci-dessous (pour le CO2, le méthane et le protoxyde d'azote) nous montre :

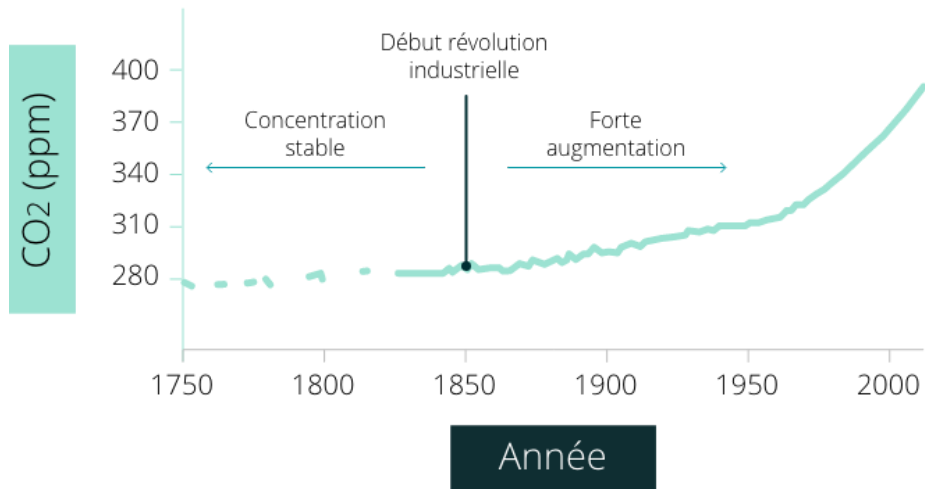
- Une phase relativement stable avant 1850
- Une phase d'accélération de plus en plus rapide à partir de 1850

7

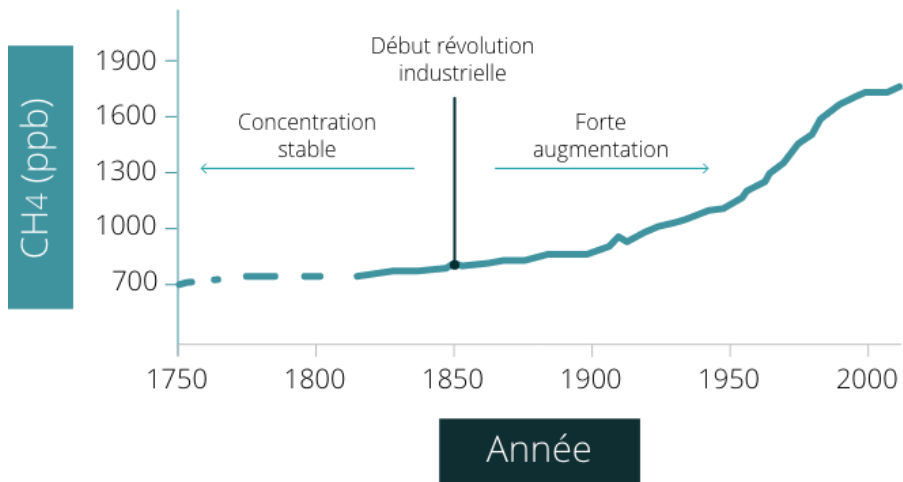
<https://www6.inrae.fr/productions-animales/1995-Volume-8/Numero-4-1995/Emissions-annuelles-de-methane-d-origine-digestive-par-les-bovins-en-France>

⁸ <http://www.carbone4.com/decryptage-mobilite-co2-voitures-neuves/>

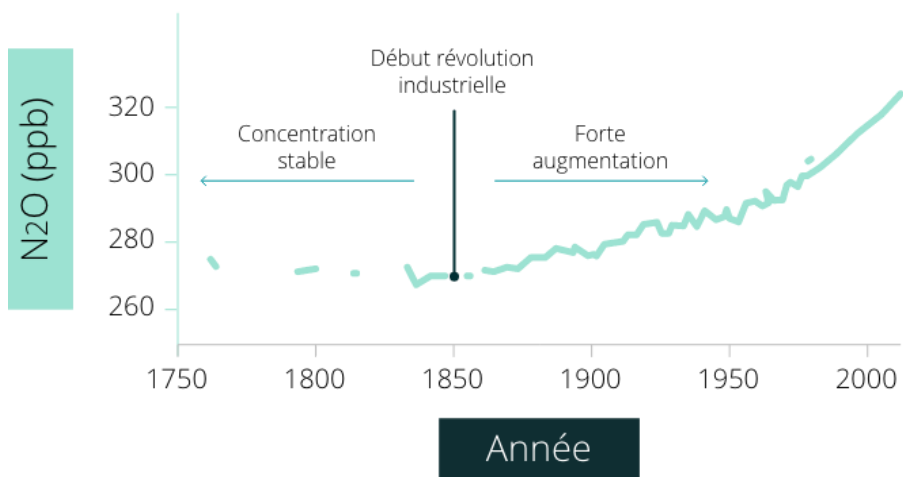
CO₂ Dioxyde de carbone



CH₄ Méthane

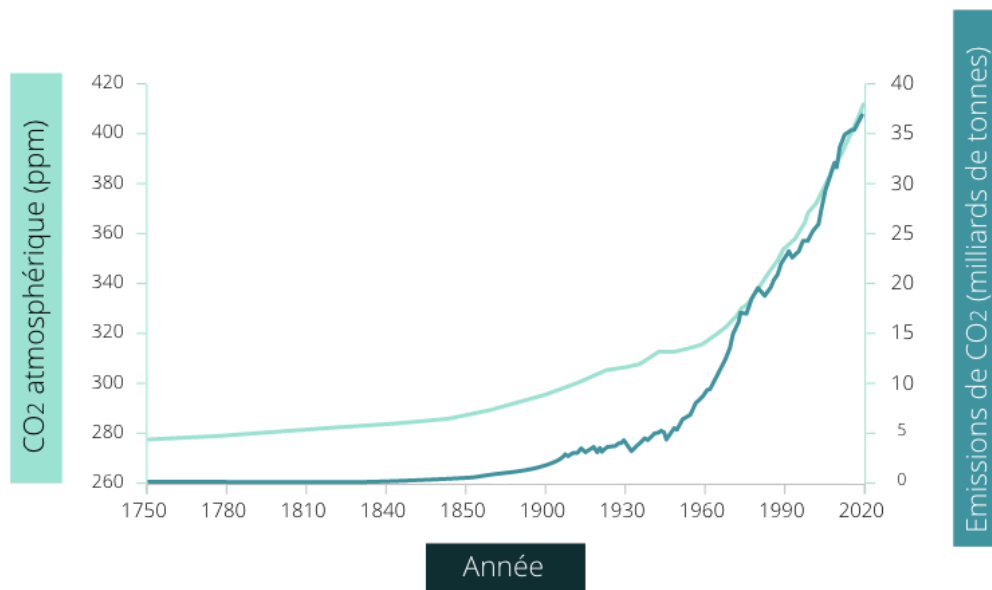


N₂O Protoxyde d'azote



Faisons un focus sur le CO₂. Grâce au schéma suivant, on peut observer sur la période 1750-2020 :

CO₂ dans l'atmosphère et émissions annuelles (1750 - 2019)



Source : NOAA Climate.gov,

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide#:~:text=According%20to%20the%20State%20of,ppm%20between%202016%20and%202017>

- En bleu foncé, les émissions directes de CO₂ par les activités humaines.

Comme on le voit, avant 1850, ces émissions sont quasi-inexistantes et stables, inférieures à 1 Gigatonne de CO₂. A partir de 1850, les émissions commencent à augmenter et accélèrent de plus en plus rapidement pour atteindre environ 15 Gigatonnes de CO₂ émises en 1950 et plus de 30 Gigatonnes de CO₂ aujourd'hui.

- En bleu clair, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

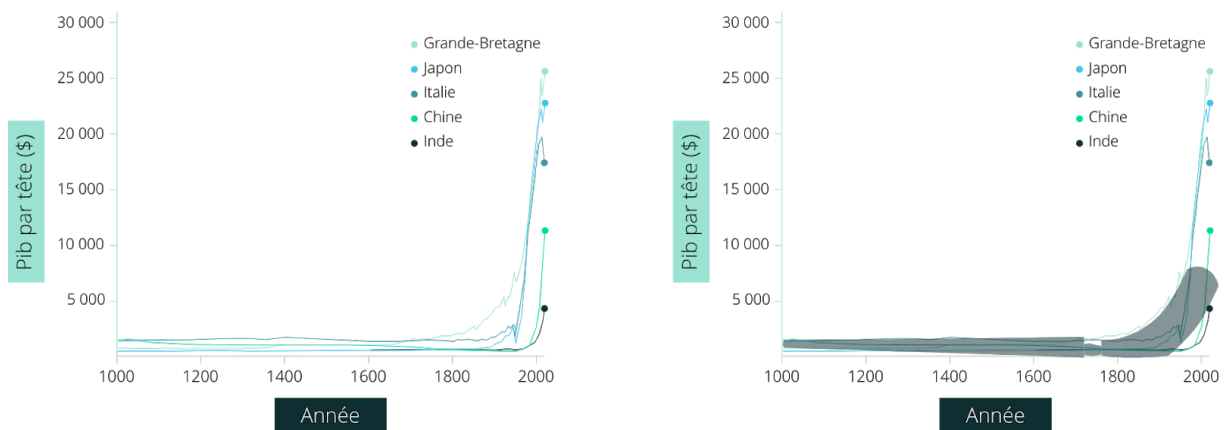
On observe que la courbe n'est pas nulle avant 1850 mais relativement stable, ce qui confirme la présence de CO₂ dans l'atmosphère, jouant son rôle naturel de gaz à effet de serre lors de l'ère préindustrielle.

En revanche, on voit également une très nette corrélation entre la courbe des émissions directes de CO₂ et la concentration du CO₂ dans l'atmosphère.

Ainsi, ces courbes montrent que le dérèglement de la concentration des GES et donc de l'effet de serre a commencé à partir de 1850. A cette époque, deux phénomènes ont débuté concomitamment :

- **Premier phénomène : c'est le début de la croissance économique.**

On a du mal à l'imaginer de nos jours, mais le PIB n'a pas toujours augmenté ! Pendant des siècles et des siècles, la richesse des nations a stagné. Et le niveau de vie avec. Au XIX^{ème} siècle, grâce à la découverte par l'ingénieur James Watt de la machine à vapeur qui fonctionne au charbon, on assiste à la première Révolution industrielle. Le train et les nouvelles machines industrielles sont créés permettant de baisser très largement les coûts de production. A partir de 1850, certains pays notamment européens connaissent une croissance économique phénoménale. Cela enclenche une très forte hausse du niveau de vie des pays européens puis progressivement de tous les pays « industrialisés ». Cette courbe du PIB/ habitant est souvent décrite par la forme d'une crosse de hockey :

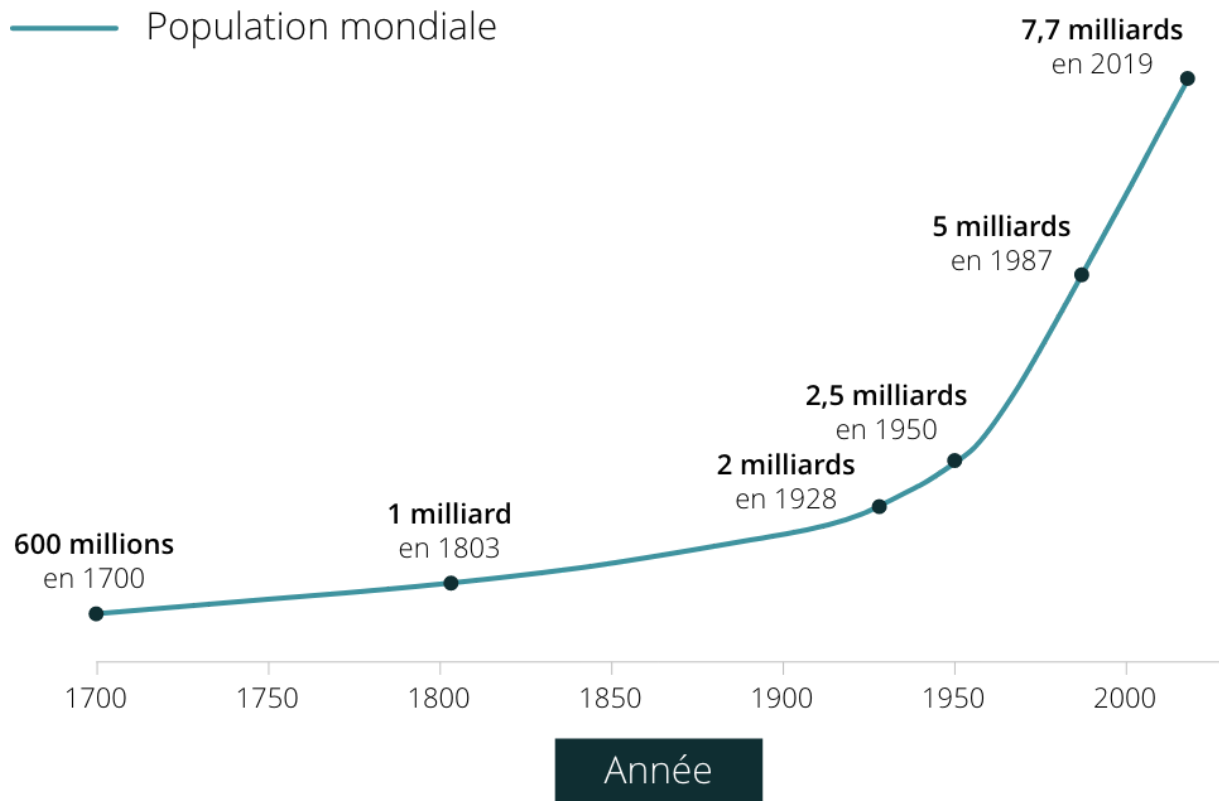


Source : Core Economics

- **Second phénomène : la croissance démographique.**

L'amélioration des conditions de vie, liée à la croissance, favorise une importante croissance démographique. Entre 1850 et 2019, nous sommes passés de 1,2 milliards d'être humains à 7,7 milliards en 2019 sur la Planète.

Croissance de la population mondiale, de 1700 à 2019



En parallèle de cette croissance, plusieurs révolutions industrielles successives (vapeur, électricité...) ont eu lieu, permettant de transformer toujours plus de ressources naturelles en énergies ou matériaux.

Lorsqu'on observe l'évolution du nombre d'habitants dans le monde et la croissance du PIB / habitant, il est aisé de comprendre pourquoi ces phénomènes de croissance couplés à la démographie ont largement bouleversé le niveau de consommation d'énergie sur la Planète.

Faisons un petit focus sur le lien entre énergie et émissions de GES.

Aujourd'hui, 80 % de l'énergie mondiale provient de ce qu'on appelle les combustibles fossiles ou hydrocarbures. Pour faire simple, il s'agit du pétrole, du gaz et du charbon.

Ces hydrocarbures sont dits "fossiles" car ils proviennent de la fossilisation d'organismes vivants (algues, plancton, ou végétaux continentaux) qui ont vécu il y a fort longtemps ! On parle de temps géologiques, donc de millions d'années ! Ces organismes se sont sédimentés et se sont retrouvés stockés dans des roches ou des couches minérales. On comprend donc bien pourquoi ces ressources sont dites "non-renouvelables" ou "limitées" car elles mettent plus de temps que le temps de vie de l'humanité toute entière pour se former ! Impossible donc de se dire que dans les prochaines centaines d'années, du nouveau pétrole ou charbon va se former naturellement dans des quantités équivalentes à celles d'aujourd'hui.

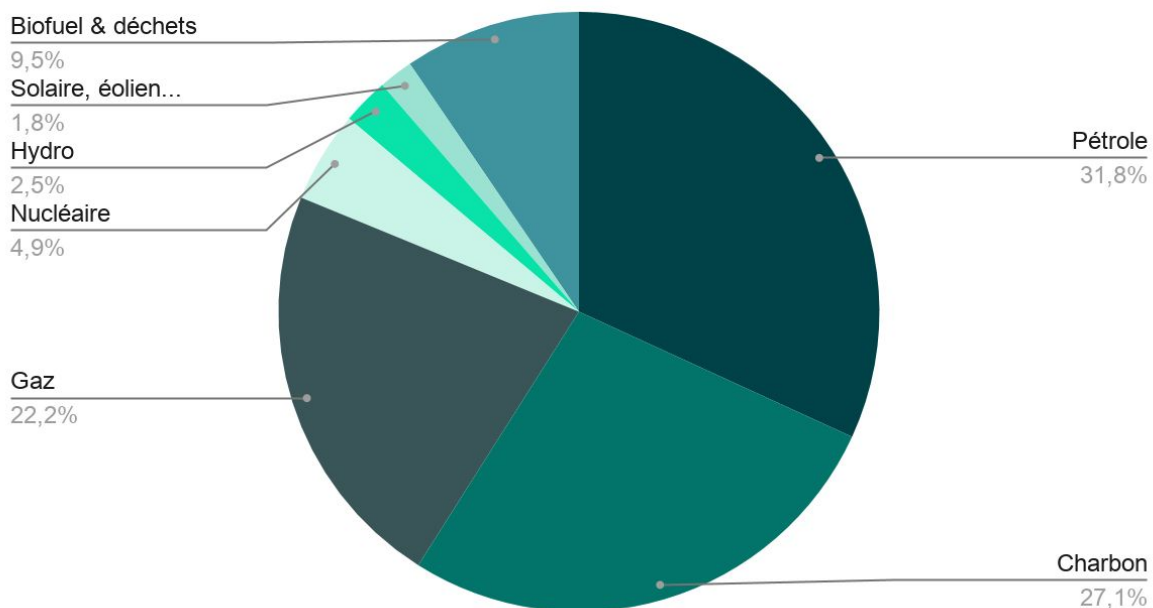
Ces hydrocarbures sont également appelés "combustibles" c'est essentiellement en les brûlant qu'on libère de l'énergie mais aussi... du CO₂ ! En effet, ces organismes vivants fossilisés contenaient du carbone qui, au contact de l'oxygène, va donc former par sa combustion du CO₂.



Or aujourd'hui, l'énergie produite par les combustibles fossiles se retrouve dans tous les aspects de notre vie quotidienne et ce, dans le monde entier. Par raffinage ou autres traitements, on en tire des produits utiles pour fournir la chaleur domestique ou industrielle. On peut aussi la transformer en énergie mécanique ou encore en électricité grâce à des convertisseurs, des moteurs ou des centrales électriques.

Voici le détail de la production mondiale d'énergie primaire en 2017, par source :

Production mondiale d'énergie



Source :

[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

→ La première place pour...le pétrole

Le pétrole est l'énergie la plus utilisée dans le monde, elle représente près d'un tiers de la consommation mondiale des énergies. Il sert de carburant pour les véhicules motorisés, de

combustible et de matière première pour les industries chimiques et la fabrication du plastique.

→ La seconde place pour... le charbon

A la base de 27% de la consommation d'énergie mondiale, le charbon est encore une énergie très utilisée malgré sa mauvaise presse. S'il servait autrefois de carburant pour les trains et les machines à vapeur, le charbon est aujourd'hui principalement utilisé pour le chauffage et la production d'électricité. Il sert également pour de nombreuses industries, comme la métallurgie ou l'industrie plastique.

→ La troisième place pour ... le gaz naturel

Pas bien loin derrière le charbon, le gaz naturel est à la base de 22,2% de la consommation mondiale d'énergie. Il sert majoritairement aux usages domestiques, aux industriels et à la production d'électricité.

Ainsi, une très grande partie de notre économie est encore largement basée sur les combustibles fossiles et donc émettrice de CO₂. Même si on parle depuis une trentaine d'année des énergies renouvelables comme le solaire ou l'éolien, elles restent encore malheureusement très minoritaires.



1 L d'essence =  **2,4 kg de CO₂**



1 kg de charbon =  **2,7 kg de CO₂**

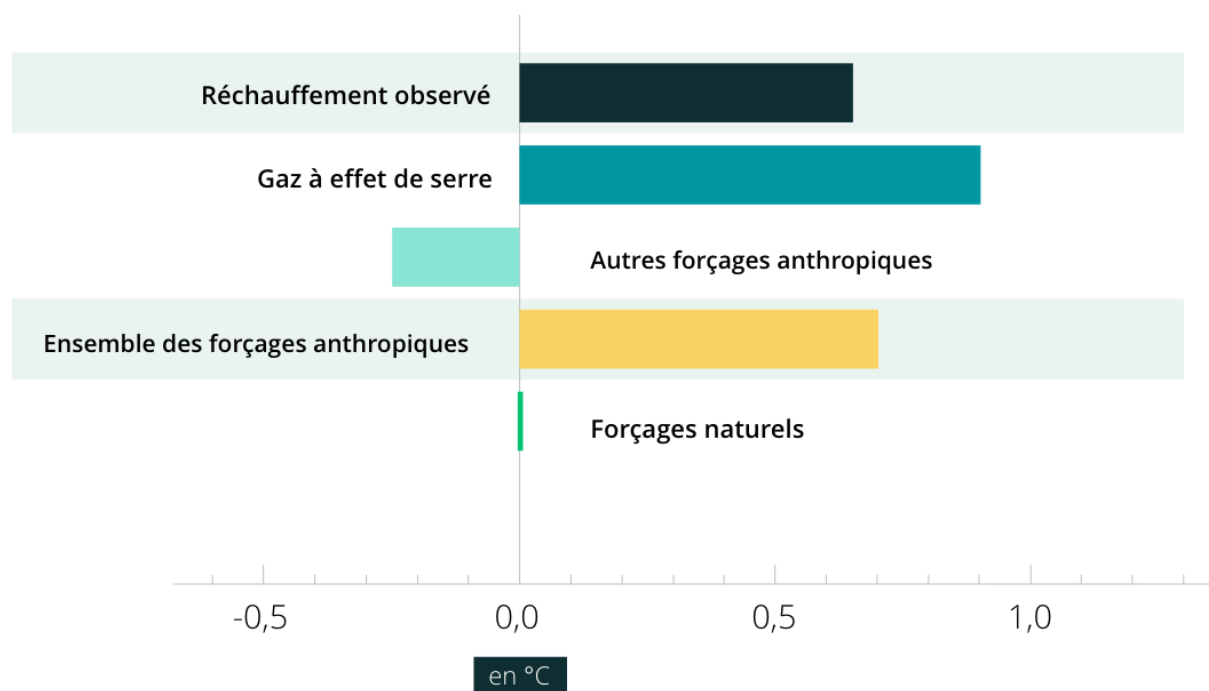


1 m³ de gaz =  **2 kg de CO₂**

Ainsi, les énergies fossiles dégagent énormément de CO₂ ou autres GES. L'ensemble de ces émissions de GES constitue la contribution dite « anthropique » (signifie d'origine humaine) à l'augmentation de la quantité des GES dans l'atmosphère.

Les scientifiques ont par ailleurs analysé quelle est la part de la contribution anthropique au réchauffement climatique par rapport à l'ensemble des émissions de GES.

Contributions au changement observé de la température en surface entre 1951 et 2010



Sur ce schéma, on peut observer différents éléments :

- Barre noire : le réchauffement observé entre 1951 et 2010 est de 0,7 degrés. Ce réchauffement est la résultante des barres :
 - o Bleu foncé : l'effet de la totalité des gaz à effet de serre, qui réchauffent la terre
 - o Bleu clair : l'effet d'autres forçages d'origine humaine (« jets d'aérosols ») qui au contraire ont tendance à diminuer l'effet de serre et refroidir le climat. Comme on le voit, ils sont largement inférieurs aux GES.
- Barre jaune : la somme de l'ensemble des forçages anthropiques, c'est-à-dire d'origine humaine. Comme on le voit, le résultat est très largement positif, ce qui explique le réchauffement planétaire observé.
- Barre verte : l'effet de l'ensemble des forçages « naturels », c'est-à-dire qui ne proviennent pas de l'activité humaine. Ils sont négligeables par rapport aux forçages anthropiques, et donc décorrélés du réchauffement climatique actuel.

Évidemment, un grand nombre d'autres études validées par le GIEC viennent confirmer ce fait maintenant indiscutable. Le lien entre les activités humaines et le réchauffement climatique est aujourd'hui un fait scientifique avéré.

Le GIEC l'a dit



Dans leur 5^{ème} rapport d'évaluation, les experts du GIEC sont très clairs sur le sujet : "L'influence de l'Homme sur le système climatique est clairement établie et, aujourd'hui, les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) sont les plus élevées jamais observées."



D. « C'est bon, la planète se régule toute seule » : Oui mais non, plus maintenant !

Il est vrai que de nombreux cycles naturels permettent à la Planète de s'auto-réguler et d'assurer la pérennité des écosystèmes. Ce sont les « cycles biogéochimiques ».

Ces cycles fonctionnent tous sur le même principe : les éléments (eau, carbone...) circulent en continu - sous diverses formes appelées « flux » - entre plusieurs milieux de l'environnement capables de les stocker. Ces milieux sont appelés « puits ou réservoirs » et peuvent se trouver dans :

- L'atmosphère,
- L'hydrosphère (mer, océan... bref tout ce qui contient de l'eau),
- La lithosphère, en clair le sol,
- La biosphère, c'est-à-dire les organismes vivants.

Le plus connu est le cycle de l'eau : l'eau s'évapore des océans et de la végétation, forme des nuages, puis retombe sous forme de pluie ou neige, alimente cours d'eau et végétation puis le cycle recommence.

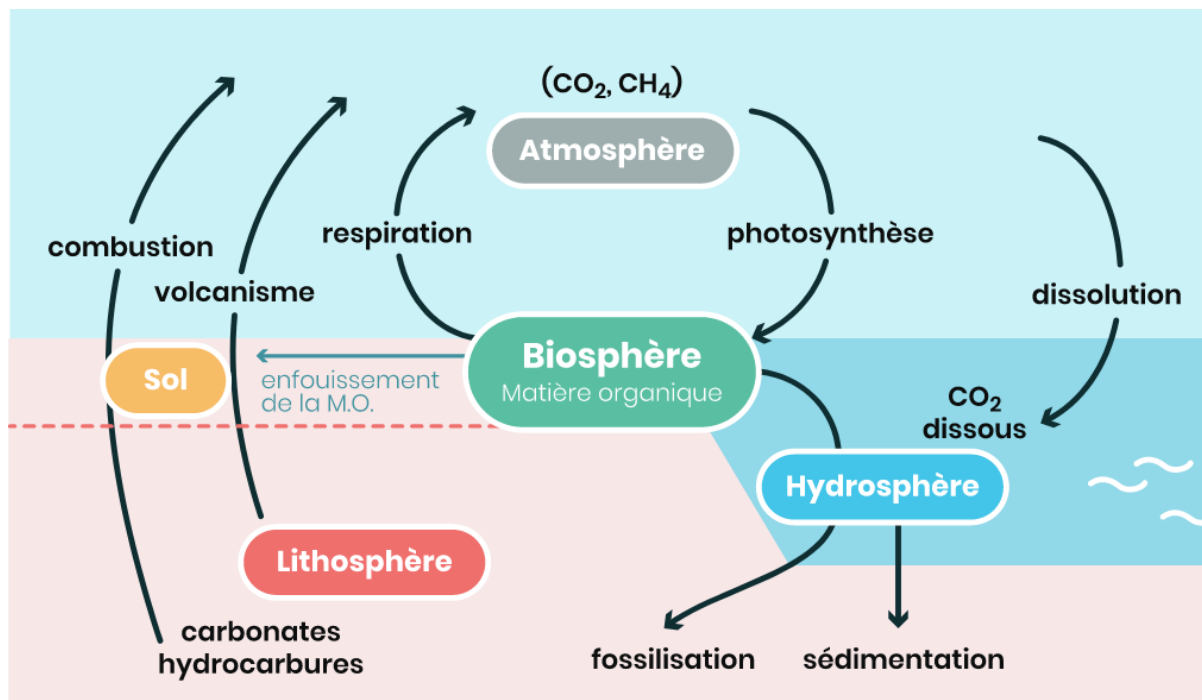
Dans le cas du dérèglement climatique, c'est le cycle du carbone qui va nous intéresser tout particulièrement, car il joue un rôle essentiel. S'il continue de fonctionner depuis l'ère industrielle (1850), ce cycle a été perturbé par les activités humaines.

Pourquoi ? Parce que de nouveaux flux entrants se sont ajoutés : les émissions anthropiques. Ces flux additionnels, non naturels, s'intègrent dans le cycle et suivent le même chemin de circulation que les flux existants. Ils viennent donc modifier les équilibres naturels et cela entraîne des dérèglements climatiques très importants.

1. Le cycle naturel du carbone pour comprendre le CO2

Comme on l'a vu, le CO₂ est l'un des principaux GES responsables du réchauffement climatique. Or, le CO₂ fait partie du cycle du carbone (C).

Décortiquons les différents flux du cycle classique du carbone.



Source : <https://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-du-carbone-c.html>

Précision importante : dans l'analyse du cycle du carbone (C), on utilise comme unité la Gigatonne de carbone (GtC), soit un milliard de tonnes de l'élément carbone. Attention, cette unité est donc différente de celle utilisée pour les émissions de GES qui se comptent en Gigatonnes de CO₂ (ou d'équivalent CO₂), soit en milliards de tonnes de dioxyde de carbone. Concrètement, les deux unités sont proportionnelles, puisque 1 kg de CO₂ contient 272,7 g de carbone, le reste étant dû aux atomes d'oxygène.

→ Échanges physiques : il y a échange de carbone entre l'atmosphère et les océans.

- Comme le sucre dans le café, le CO₂ possède la caractéristique de se dissoudre naturellement dans l'eau. Et plus la température de l'eau est basse, plus la dissolution est favorisée. Ainsi, la captation du CO₂ se produit lorsque les courants océaniques se refroidissent (par exemple, les courants qui vont des tropiques vers les pôles.). Cet échange concerne 70 GtC⁹ / an.

- Dans l'autre sens, lorsque les courants océaniques se réchauffent, une partie du CO₂ contenu dans l'eau est libérée vers l'atmosphère.

⁹ Gigatonnes de carbone

→ **Échanges biologiques : ce sont les échanges liés à la vie végétale ou animale.**

Commençons par les flux au sol :

- La photosynthèse : le sol et la végétation absorbent le CO₂ de l'atmosphère. Ce processus divise la molécule de CO₂ en un élément de Carbone (C) qui intègre la biosphère (plante, sol) et de l'oxygène (O₂) qui est libéré dans l'atmosphère.

- Dans l'autre sens, il y a deux types de flux biologiques qui libèrent du CO₂ :
. La respiration : les animaux et les êtres humains inhalent de l'oxygène et rejettent du CO₂.
. La décomposition des végétaux et animaux morts : elle libère du carbone qui, associé à de l'oxygène, forme du CO₂ dans l'atmosphère.

Ces deux flux sont responsables d'un échange de 120 GtC par an.

Lorsque le cycle du carbone fonctionne normalement, l'ensemble de ces flux entre l'atmosphère et le reste de la planète sont équilibrés. Ils correspondent à environ 190 GtC échangés par an.

A noter qu'il existe aussi des flux dans l'eau (50 GtC / an)

- Les végétaux marins (algues et phytoplancton essentiellement) absorbent du CO₂ contenu dans l'eau pour se développer. Ces végétaux sont ensuite mangés par les animaux marins, qui absorbent donc le carbone.
- Dans l'autre sens, les animaux marins respirent en absorbant de l'oxygène et en rejetant du CO₂ dans l'eau. Des microorganismes se nourrissent également des végétaux morts des fonds marins et ils respirent en restituant également du CO₂.

Enfin, nous l'avons déjà décrit ensemble, le carbone se fossilise pour créer des hydrocarbures, qui lors de leur combustion libèrent du CO₂ dans l'atmosphère.

2. Le dérèglement du cycle du carbone

À partir 1850 et de l'industrialisation, les équilibres du cycle du carbone ont été perturbés.

Comme on l'a vu, les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole) constituent un stock qui s'est formé sur des centaines de millions d'années par la lente décomposition de restes d'organismes vivants. Or, ces ressources fossiles sont transformées par l'Homme. Lors de leur exploitation, une très grande quantité de carbone qui était normalement enfouie sous terre pour des millions d'années est libérée brutalement dans l'atmosphère sous forme de CO₂.

Voici donc l'origine du flux additionnel anthropique qui perturbe le cycle du carbone.

Comment réagit la Terre face à ce flux non naturel que se retrouve dans l'atmosphère ? Elle active l'ensemble des mécanismes naturels, physiques et biologiques décrits précédemment. Mais ils ne sont malheureusement pas suffisants...

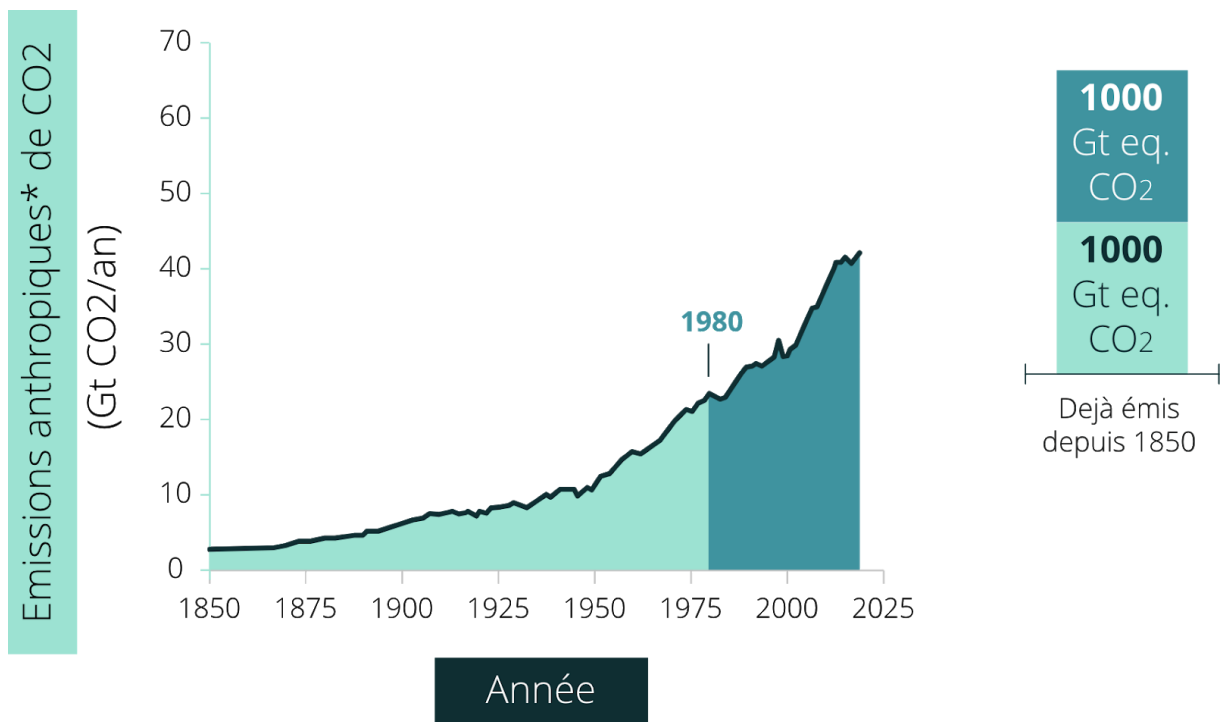
Ainsi, le flux anthropique de CO₂ se répartit de la façon suivante :

- environ 35% sont absorbés par l'océan,

- environ 15% sont absorbés par les écosystèmes continentaux (les sols et plantes)
- environ 50% viennent directement s'ajouter au CO2 déjà présent dans l'atmosphère et augmenter l'effet de serre.

Le cycle du carbone est donc largement impacté par les émissions anthropiques et ne parvient pas à réguler de lui-même le trop plus émis.

Depuis 1850, la totalité des émissions anthropiques de gaz à effet de serre déjà émises correspond à plus de 2000 Gt équivalent CO2, dont la moitié uniquement depuis 1980. Ainsi, non seulement, les activités humaines perturbent le cycle du carbone, mais elles le font de plus en plus radicalement chaque année avec une très forte accélération sur les 3 dernières décennies.



*combustion d'énergies fossiles, procédés industriels, usage des sols et forêts

source :

<https://www.theshiftdataportal.org/climate/ghg?chart-type=line&chart-types=line&chart-types=ranking&emissions-unit=MtCO2eq&group-names=World&is-range=true&source=PIK§ors=Energy§ors=Agriculture§ors=Industry%20and%20Construction§ors=Waste§ors=Other%20Sectors&dimension=total&end=2016&start=1850&multi=true>

On voit donc qu'il nous a fallu près de 130 ans pour émettre 1000 Gt d'équivalent CO2, puis seulement 30 ans pour émettre à nouveau la même quantité.

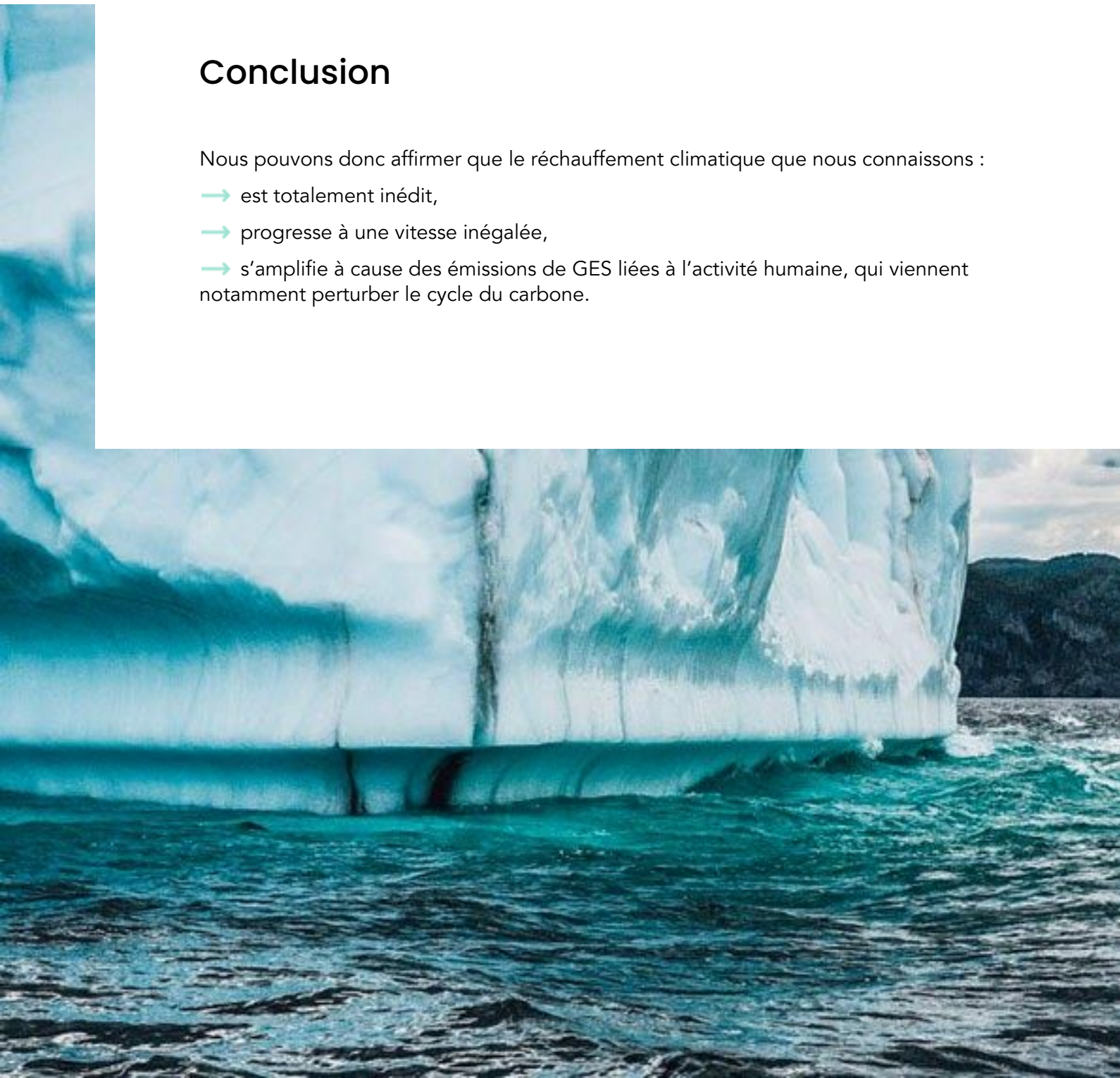
Au rythme actuel, on aura besoin que de 20 petites années pour émettre 1000 Gt de plus...

On peut aussi retenir ce chiffre clé : aujourd'hui chaque année, environ 53 Gt eq CO2 sont émises par les activités humaines et 50% viennent s'installer comme GES dans l'atmosphère.

Conclusion

Nous pouvons donc affirmer que le réchauffement climatique que nous connaissons :

- est totalement inédit,
- progresse à une vitesse inégalée,
- s'amplifie à cause des émissions de GES liées à l'activité humaine, qui viennent notamment perturber le cycle du carbone.



Oh, ça va, c'est juste quelques degrés en plus

PARTIE 2 :



Où l'on découvre l'ensemble des conséquences du dérèglement climatique et les risques d'amplification





Introduction

S'il y a bien un chiffre qu'on a entendu dans tous les médias, c'est le fameux « 2 degrés en plus » de l'Accord de Paris à ne surtout pas dépasser d'ici 2100. Or, beaucoup de citoyens ne s'alarment pas du tout à l'énoncé de ce chiffre. « Qu'est-ce que 2 degrés après tout » pourrait-on se dire ? « C'est un pull en moins l'hiver et un été un peu plus chaud sur la plage, non ? Ça devrait aller ». La mauvaise interprétation de ce chiffre et de la réalité qu'elle recouvre dessert la lutte contre le réchauffement climatique, en n'alarmant pas assez les citoyens. Que se passe-t-il vraiment avec une hausse de 2 degrés en 2100 ? Et de 5 degrés ? N'est-ce pas trop tard finalement ? Est-ce qu'on ne ferait pas mieux d'abandonner ? Dans cette partie dédiée aux conséquences du dérèglement climatique, nous allons étudier les différents mécanismes enclenchés par la hausse de la température, selon plusieurs scénarios formulés par le GIEC.

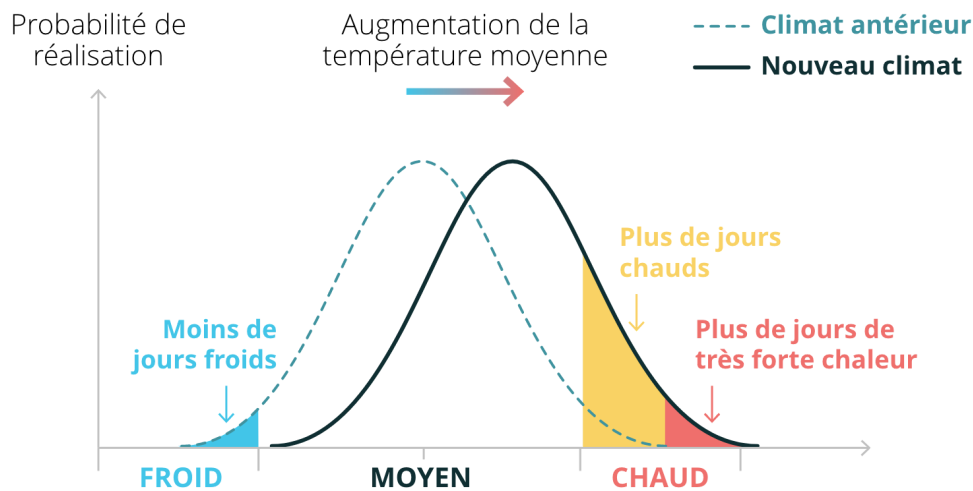
I. Les conséquences du réchauffement climatique : les mécanismes à l'œuvre

A. Les mécanismes de base

1. Hausse de la température et vagues de chaleur nocives pour la biodiversité

L'une des conséquences les plus évidentes du changement climatique est bien sûr... la hausse des températures.

C'est assez intuitif et simple à appréhender : avec l'effet de serre qui augmente, la température moyenne de l'air augmente. Celle-ci se traduit par une davantage de jours chauds et moins de jours froids chaque année. Comme on le voit dans le schéma ci-dessous, la courbe de la distribution annuelle des températures se translate vers la droite.



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

On le constate déjà. Par exemple, dans l'hémisphère Nord :

- parmi les 19 étés les plus chauds jamais recensés, 18 font partie des 20 dernières années !
- les 10 mois de février les plus chauds ont été recensés depuis 1998...

A cela s'ajoutent des jours de très fortes chaleurs, appelés « vagues de chaleurs » ou « canicules ». Elles peuvent être meurtrières pour les plus fragiles mais également pour une large partie de la population (à partir de certains seuils où le corps humain ne parvient plus à réguler sa chaleur corporelle). Par exemple, en Europe, la canicule de 2003 a causé 70 000 morts en quelques semaines.

Il n'y a pas que l'air qui se réchauffe, la température moyenne de l'eau également. Les mers et les océans recevant plus d'énergie à cause de l'effet de serre, leur température augmente. Par conséquent, les organismes marins subissent aussi des vagues de chaleur et en souffrent.



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

Par exemple :

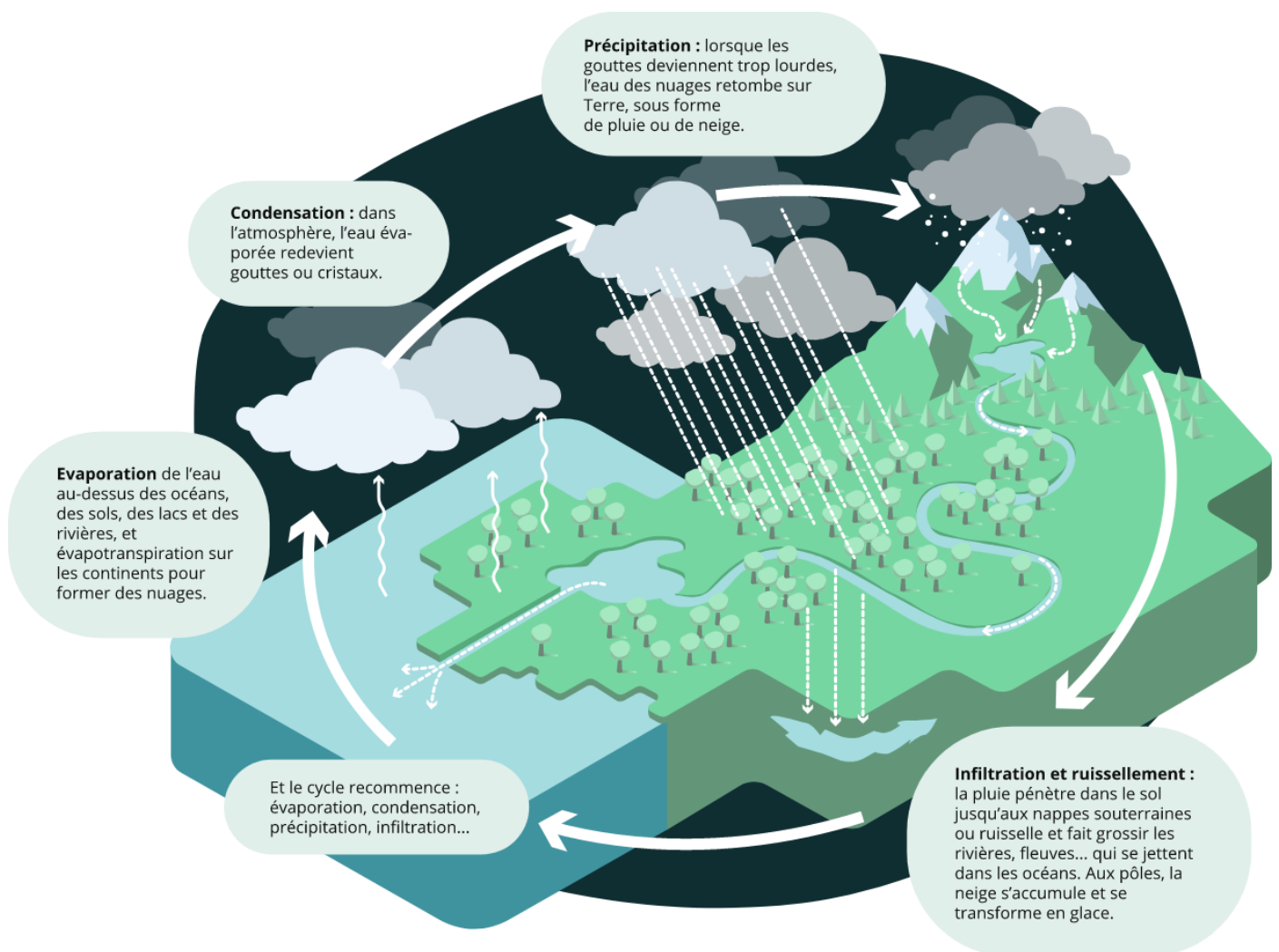
- La fréquence des canicules marines a été multipliée par deux depuis les années 1980
- Lors de la canicule de 2003, un fort taux de mortalité chez les poissons a été enregistré par l'IFREMER

- En 2013-2015, dans le Pacifique, une vague de chaleur sous-marine a augmenté la mortalité des otaries, des baleines, des oiseaux marins et a favorisé la prolifération de microalgues toxiques.
- Sur les 40 dernières années, la fréquence des blanchissements de masse des récifs coralliens (ces écosystèmes qui abritent plus d'un million d'espèces) a été multipliée par 5. Ce phénomène de blanchissement, synonyme de vulnérabilité physiologique et nutritionnelle, conduit à un niveau élevé de mortalité des coraux.

2. Le cycle de l'eau est perturbé, exacerbant les phénomènes météo extrêmes

Plus connu du grand public que le cycle du carbone, le cycle de l'eau permet la circulation des molécules d'eau (H₂O) entre différents milieux, sous forme liquide (pluie, fleuves, mers...), solide (neige, glace...) ou gazeuse (vapeur).

Comme pour tout cycle, lorsqu'il fonctionne naturellement, la quantité d'eau à l'échelle de la planète est stable et pérenne, soit environ 1400 milliards de km² d'eau. Évaporation, condensation, précipitation, infiltration et ruissellement, voici les étapes bien connues qui se succèdent au sein du cycle de l'eau.



Comment les activités humaines impactent-elles le cycle de l'eau ?

Les êtres humains agissent directement sur l'eau mais cela a un impact négligeable sur le cycle. En effet, le temps de résidence de l'eau dans l'atmosphère est seulement d'environ 10 jours (contre une centaine d'années pour le carbone). Donc, même lorsque les émissions anthropiques de vapeur d'eau augmentent, étant donné qu'elles ne restent présentes que 10 jours dans l'atmosphère, elles n'augmentent presque pas l'effet de serre et par conséquent le réchauffement climatique.

Si les activités humaines n'agissent pas de manière directe, en revanche, le réchauffement climatique - induit par les activités humaines - agit, lui, directement et dérègle le cycle de l'eau.

En effet, la capacité de stockage de l'eau dans l'atmosphère varie en fonction de sa température. Plus la température augmente, plus la capacité de stockage augmente. Avec la chaleur, l'évaporation est favorisée et la quantité d'eau stockée sous forme de vapeur d'eau s'accroît. En conséquence, les pluies sont plus abondantes et on note l'augmentation en fréquences et en intensité du nombre d'épisodes de fortes précipitations (notamment aux latitudes moyennes et régions tropicales humides).



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

Par exemple¹⁰ :

- Les inondations de l'hiver 2013-2014 en Angleterre furent les plus importantes depuis 190 ans
- Les fortes précipitations dans les régions méditerranéennes se sont largement intensifiées entre 1961 et 2015 (+22% sur les maxima annuels de cumuls quotidiens)

Une seconde conséquence concerne l'intensité des phénomènes extrêmes comme les cyclones, les ouragans ou les typhons.

En effet, un air plus chaud peut contenir plus de vapeur d'eau. Donc l'atmosphère devient plus humide avec l'augmentation des températures.

Or un cyclone déjà formé "puise" plus d'énergie pour se renforcer dans une atmosphère qui est davantage humide. Ce supplément d'humidité a pour conséquence le renforcement des pluies cycloniques, ce qui intensifie le phénomène extrême.

¹⁰ sources :

<http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-pluies-intenses#>
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ONERC_Rapport_2018_Evenements_meteorologiques_extremes_et_CC_WEB.pdf



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

Ces catastrophes climatiques sont de plus en plus dévastatrices pour les populations. Les cyclones Sandy (2012), Irma (2017) ou l'ouragan Harvey (2017) ont provoqué de véritables drames humains.

3. Fonte des glaces :

On trouve de la glace sur les glaciers, les calottes et la banquise. Attention, même si toutes les zones avec de la glace fondent davantage avec le réchauffement climatique, cela n'a pas les mêmes conséquences.

a. Différencier glaciers, calottes et banquise

Petit point vocabulaire pour éviter toute confusion.

→ Glaciers

La glace repose sur le sol (comme sur le sommet d'une montagne par exemple) et constitue un réservoir d'eau douce. Les glaciers fondent en été pour alimenter les sources qui alimentent les ruisseaux, les fleuves etc... A l'inverse, en temps normal, les glaciers se (re)constituent pendant l'hiver grâce aux précipitations neigeuses qui gèlent et se transforment en glace.

→ Les calottes glaciaires et les Inlandsis

Les calottes glaciaires sont d'immenses zones glacées, des nappes de glace dont la superficie est inférieure à 50 000 km², qui reposent également sur de la terre. Ce sont des très gros glaciers en quelque sorte.

Lorsque leur superficie dépasse 50 000 km², on parle plutôt « d'Inlandsis ». La hauteur de la glace peut atteindre plusieurs milliers de mètres de hauteur.

Sur notre Planète, il n'existe que deux Inlandsis :

- La partie Nord du Groenland, qui existe depuis 3 millions d'années,
- La partie Sud de l'Antarctique, le plus étendu, qui existe depuis 30 millions d'années.

→ La banquise

La banquise définit également une très importante couche de glace mais la grande différence avec une calotte est qu'elle repose directement à la surface de l'eau. La banquise

flotte donc, un peu comme des glaçons ! On retrouve de la banquise uniquement en Arctique et en Antarctique.

Maintenant que les présentations sont faites, analysons les conséquences des hausses des températures liées au changement climatique sur ces zones de glace.

b. Eau douce et stress hydrique

Aujourd'hui, seulement 3% de l'eau sur Terre correspond à de l'eau douce (dont uniquement 1% à l'état liquide). La fonte des glaciers impacte les réserves en eau douce. En effet, un glacier est censé, pendant la période sèche, fondre progressivement et alimenter les ruisseaux. En fondant plus rapidement, ils ne jouent plus leur rôle de réservoir qui libère graduellement de l'eau douce en temps normal.

Or l'eau douce est potable, les êtres humains et les animaux en ont besoin au quotidien ! La fonte accélérée et la disparition des glaciers entraînent donc ce qu'on appelle un « stress hydrique », c'est-à-dire que la demande en eau dépasse la quantité disponible. C'est un problème vital qui constitue déjà un enjeu géopolitique majeur dans certaines régions très sèches du globe.

Aujourd'hui, presque tous les glaciers ont perdu de leur masse et des centaines ont même déjà disparu.



Le glacier du Mont-Blanc, photographié en 1919 à gauche (par Walter Mittelholzer), puis en 2019 à droite (par Kieran Dexter).

c. Montée des eaux

Commençons par mettre fin à une idée totalement fausse : la fonte de la banquise ne favorise pas la montée des eaux (niveau de la mer et de l'océan). La banquise étant posée

sur l'eau, lorsqu'elle fond, le volume total d'eau ne change pas. Exactement comme un glaçon dans un verre !

En réalité, la montée des eaux est liée à 3 phénomènes différents :

→ Fonte des calottes glaciaires et Inlandsis

Lorsque les calottes et les Inlandsis fondent, leur eau douce vient s'ajouter à l'eau des mers et des océans. La masse d'eau augmente donc automatiquement.

Etant donné les milliers de mètres d'épaisseur des Inlandsis, leur fonte intégrale ferait monter le niveau des océans de :

- 7 mètres pour le Groënland
- 54 mètres pour l'Antarctique

→ Fonte des glaciers

Comme nous l'avons vu, les glaciers stockent l'eau sous forme de glace. En fondant, l'eau va ruisseler et rejoindre les cours d'eau vers la mer et l'Océan. Cela fait également monter les eaux.

Au passage, la fonte des glaciers augmente également les risques d'inondation et de glissements de terrain, en libérant des volumes d'eau inhabituels qui ruissellent et déstabilisent les sols.



En Italie, une immense couverture isolante a été déployée sur le glacier bien malade de Presena, qui a perdu un tiers de sa superficie en 25 ans.

Source :

https://www.francetvinfo.fr/meteo/neige/italie-une-bache-geante-installee-pour-protoger-un-glacier_4018171.html

→ Dilatation de l'eau

La capacité de dilatation de l'eau dépend de la température de celle-ci. Quand l'eau atteint environ 20 degrés sur plusieurs dizaines de mètres, alors elle peut se dilater. Même si la dilatation est très très faible, étant donné le volume colossal d'eau sur la planète (71% de la surface et profondeur moyenne de 4000 mètres), on imagine bien qu'en cumulé, cette dilatation a un impact important à l'échelle de la planète. La modélisation de la montée des eaux liée à la dilatation est extrêmement complexe à réaliser.

Ce sont donc ces trois phénomènes, tous liés au dérèglement climatique, qui engendrent la montée des eaux.

4. Acidification des océans

Une autre conséquence du changement climatique est l'acidification des mers et des océans.

Nous avons vu que le CO₂, comme le sucre dans l'eau, peut se dissoudre dans l'Océan. Lors de cette réaction chimique, il se transforme en carbonates (HCO₃⁻ et CO₃²⁻) et libère des ions H⁺. Or, ces ions sont des acides, qui vont donc faire baisser le pH (mesure de l'acidité). Ainsi, plus l'Océan absorbe du CO₂, plus il s'acidifie.

Attention, il n'y a pas de rapport direct entre la température de l'eau et l'acidification. Ce n'est pas parce que l'océan se réchauffe qu'il s'acidifie. En revanche, la baisse du pH est une conséquence directe de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère en contact avec l'Océan. Pour rappel, 35% des émissions anthropiques de CO₂ vont directement être absorbées dans l'océan.

Avec la baisse du pH de l'Océan, le phénomène de « calcification », c'est-à-dire la formation de calcaire, devient plus difficile. En effet, les ions bicarbonates se retrouvent en moins grande quantité, or ils sont nécessaires à la fabrication du calcaire.

Plus spécifiquement, certains microorganismes comme les ptéropodes et les coccolithophores ont normalement des coquilles en calcaire. Ils sont donc très affectés par l'acidification des océans. Or, ces microorganismes sont à la base de toute la chaîne alimentaire marine ! S'ils disparaissent, c'est toute la faune et la flore marine qui est impactée. Et par effet ricochet, ce sont aussi des zones de pêches entières qui vont s'appauvrir, remettant en cause la sécurité alimentaire de certaines populations.

Le GIEC l'a dit



Le rapport du GIEC synthétise ainsi : " Le réchauffement de l'eau et les bouleversements de la chimie de l'océan perturbent déjà les espèces à tous les niveaux du réseau alimentaire océanique, ce qui a des répercussions sur les écosystèmes marins et les populations qui en dépendent"



B. Les mécanismes de « cercles vicieux », ou le double effet kiss pas cool

Pourquoi parle-t-on souvent d'un « emballement » du climat ? De « point de non-retour » ? D'urgence climatique « absolue » ? D'où vient cette idée qu'il ne faut « vraiment pas dépasser les 2 degrés » ?

C'est que le dérèglement climatique n'est en aucun cas un problème linéaire. Certaines conséquences du réchauffement climatique deviennent elles-mêmes des causes supplémentaires de dérèglement du climat. Des « cercles vicieux » en quelque sorte. Les scientifiques les appellent des « boucles de rétroaction positives ». Attention, « positive » ne sous-entend pas qu'elles sont positives pour le climat, bien au contraire. Ce terme signifie qu'elles accélèrent le phénomène initial. Certaines de ces boucles ont un effet amplificateur et certaines constituent un danger immense, des sortes de « bombes climatiques » qui pourraient potentiellement rendre le climat complètement hors de contrôle et ce, de manière irréversible.

Nous allons en présenter six : l'effet albédo, les courants océaniques, le dépérissement des forêts, la vapeur d'eau, le dégel du pergélisol et la libération de l'hydroxyde de méthane.

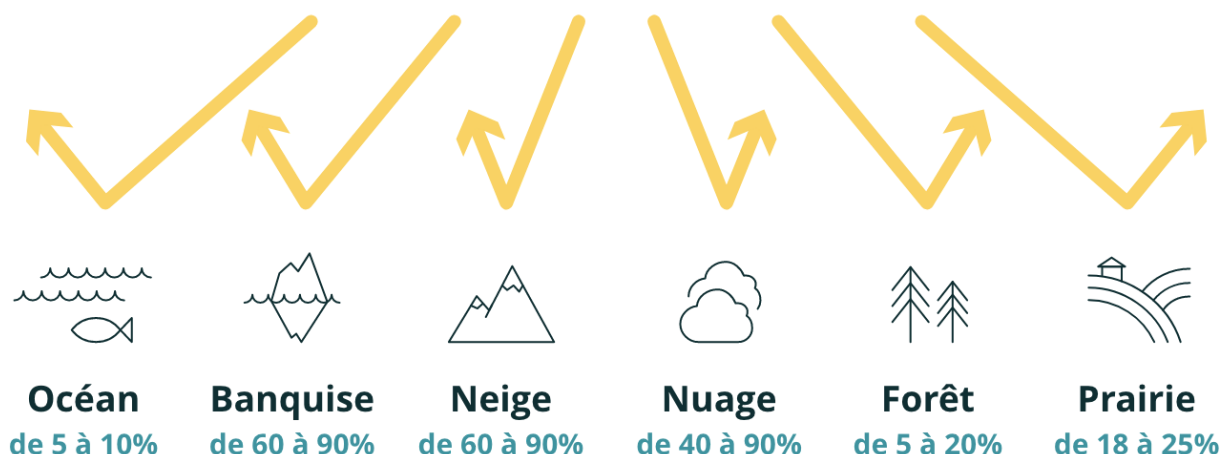
1. La diminution de l'effet albédo, c'est pas très très beau

L'albédo détermine le pouvoir réfléchissant d'une surface. Tout corps terrestre réfléchit une partie de la lumière qu'il reçoit vers l'espace et absorbe le reste, augmentant alors sa propre température.

L'albédo, c'est la part d'énergie lumineuse qu'elle va réfléchir par rapport à la part qu'elle va absorber.

En fonction de la couleur et de la composition de la surface, l'effet albédo est différent. Plus la couleur est claire, plus l'albédo est important. C'est le cas de la neige, des nuages ou de la glace qui sont blancs et réfléchissent beaucoup les rayons du soleil.

L'albedo selon les surfaces



Source :

<http://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/climat-environnement/web-doc-climat/qu-est-ce-que-l-effet-d-albedo.aspx>

Lorsque la glace fond à cause du réchauffement climatique, les surfaces glacées et enneigées diminuent en superficie. Or, ces surfaces sont blanches et permettent de renvoyer les rayons solaires grâce à l'effet albédo.

Aujourd'hui, l'effet albédo renvoie environ 30% des rayonnements solaires vers l'espace. Avec la diminution voire la disparition des surfaces blanches et glacées qui sont remplacées par des surfaces sombres (océan, terre...), l'effet albédo diminue nettement. Les rayons solaires et leur énergie thermique sont donc davantage absorbés, augmentant la température des sols, de l'océan et de l'atmosphère.

Et c'est là où l'on observe l'effet « cercle vicieux » : la baisse de l'effet albédo augmente la température moyenne, qui va elle-même favoriser la fonte des glaces et diminuer encore davantage l'effet albédo... Une belle boucle de rétroaction positive donc.

2. Les courants océaniques modifiés, c'est du CO₂ non capté

Lorsque la banquise et les glaciers fondent à cause du réchauffement climatique, ils libèrent une grande quantité d'eau douce¹¹. Or, l'eau douce est moins dense que l'eau salée, ce qui signifie qu'elle reste davantage dans la « partie haute » de l'océan (elle « s'enfonce moins bien »). Cela affaiblit les courants dits « descendants », qui vont de la surface vers le fond de l'océan.

¹¹ Si les glaciers sont composés d'eau douce, ce n'est pas le cas de la banquise mais cette dernière s'adoucit avec le temps en libérant progressivement à la mer des gouttelettes de saumure (eau très salée).

Or, l'Océan stocke différemment le CO₂ en surface et en profondeur : l'Océan profond constitue le puits principal de CO₂ en stockant 30 à 40 fois plus de CO₂ que l'Océan de surface.

Avec cet affaiblissement des courants descendants, le puits de carbone qu'est l'Océan profond devient moins accessible. L'Océan de surface ne pouvant « envoyer plus bas » son surplus de CO₂ dissous, il va saturer davantage en CO₂ et donc être un puits de stockage de CO₂ moins efficace. Au lieu de dissoudre le CO₂, il peut même se mettre à en rejeter dans l'atmosphère (via l'évaporation) ! Le puits de stockage peut donc devenir une source d'émission de GES. Tout ça à cause de cette modification des courants marins.

En libérant davantage de GES au lieu d'en absorber, ce phénomène va accentuer l'effet de serre, donc le réchauffement climatique, donc la fonte des glaciers et donc l'amplification de la modification des courants océaniques.... Et c'est là que la boucle de rétroaction apparaît.

	Glaciers	Calottes et Inlandsis	Banquise
Type de glace ?	Eau douce	Eau douce	Eau salée
Recouvre ?	De la terre	De la terre	De l'eau
Conséquences	Montée des eaux Inondation Déstabilisation des sols Baisse effet albédo	Montée des eaux Modification des courants Baisse effet albédo	Baisse effet albédo

3. La mort des forêts, ça fait pleurer

Comme on l'a vu avec le cycle du carbone, aujourd'hui, les forêts constituent un gros puits de carbone. En effet, en tant que matière vivante, la flore est composée de carbone et grâce à la photosynthèse, elle absorbe le CO₂ atmosphérique pour le transformer en oxygène.

A l'inverse, lorsque la forêt meurt ou en cas de déforestation, la décomposition des plantes conduit à l'émission de CO₂. Il en va de même lorsque les incendies ravagent les forêts : la combustion libère dans l'atmosphère tout le CO₂ qui était alors stocké et stable.

Avec le dérèglement climatique, on assiste à :

- Un réchauffement de la température de l'air et du sol, déstabilisant les écosystèmes et la biodiversité,
- Des périodes de sécheresses et d'inondations qui peuvent appauvrir les sols et tuer la biosphère,

- Une augmentation notoire des départs d'incendies et de leur intensité.

Ces trois phénomènes, conséquences du changement climatique, entraînent le dépérissement des plantes. Celles qui survivent auront une moins bonne capacité à absorber le CO₂ et celles qui meurent vont se décomposer en libérant du CO₂. Ainsi, la concentration des GES dans l'atmosphère augmente, alimentant le réchauffement climatique qui vient lui-même nourrir les 3 causes citées ci-dessus. Et voilà la troisième boucle de rétroaction identifiée !

Et entre les forêts australiennes parties en fumée durant l'été 2019, ou les efforts du Président Bolsonaro pour déforester au plus vite l'Amazonie, on ne parle pas d'une situation hypothétique mais d'une boucle déjà bien active !



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

- En Amazonie, en 2019, les incendies et la déforestation ont détruit plus de 10 000 kilomètres carrés forêts, soit à peu près la taille d'un pays tel que le Liban !
- En Australie, les immenses incendies de 2019-2020 ont brûlé plus de 20% des forêts du pays et tué plus d'un milliard d'animaux

4. La vapeur d'eau, ça donne chaud

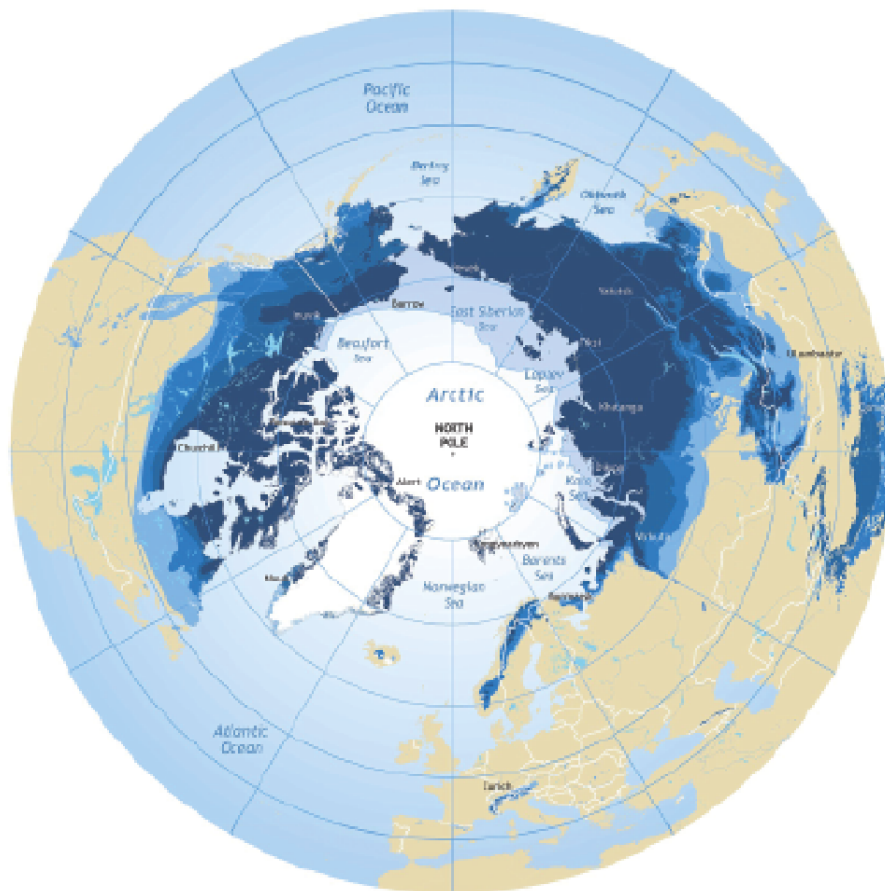
On l'a vu précédemment lors de notre analyse du cycle de l'eau, avec l'augmentation de la température de l'air, l'atmosphère augmente sa capacité à stocker la vapeur d'eau. Cela accroît l'intensité de phénomènes climatiques extrêmes mais pas seulement...

En effet, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère augmente l'effet de serre. Avec une concentration de la vapeur d'eau qui croît dans l'atmosphère, le réchauffement climatique s'accélère donc. Et comme pour toute boucle de rétroaction, le réchauffement climatique va encore augmenter la capacité de stockage de vapeur d'eau dans l'atmosphère et amplifier le phénomène, venant nourrir le cercle vicieux.

5. Le dégel du pergélisol (ou « permafrost pour les bilingues »), c'est pas drôle

Le pergélisol, également appelé « permafrost », désigne le « sol qui est gelé en permanence », c'est-à-dire le sol dont la température n'a pas excédé 0 degré pendant au moins deux années de suite.

On trouve le pergélisol sur environ 20% de la surface de la Planète, notamment au Groenland, en Alaska, au Canada et en Russie. On en trouve même en France, dans les Alpes !



Permafrost dans l'hémisphère nord

Durabilité



source : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/permafrost-in-the-northern-hemisphere>

L'énorme problème du pergélisol, c'est qu'il contient des éléments enfermés dans la glace depuis des milliers d'années. Et ces éléments, on ne peut vraiment pas se permettre qu'ils se retrouvent dans l'atmosphère. Pourquoi donc ?

Pour prendre une image, le pergélisol est comme un immense congélateur. Si vous laissez la porte du congélateur ouverte, votre pizza dégèle, votre crème glacée fond et les

microbes se nourrissent de ces éléments organiques. De la même manière, en fondant, le pergélisol libère des matières organiques qui, soumises à l'activité des microbes, produisent du CO₂ en présence d'oxygène ou du méthane en milieu sans oxygène. Et voilà ces GES qui rejoindraient l'atmosphère pour accélérer le réchauffement.

Or, le potentiel de libération de GES du pergélisol est colossal : on parle de 1500 GtC, soit le double de la quantité de GES déjà présente dans l'atmosphère. On triplerait donc la concentration ! Imaginez donc l'effet de serre supplémentaire généré... En ce sens, la fonte d'une grande partie du pergélisol constitue une des deux « bombes climatiques » dont il serait sans doute impossible de se remettre.

Conséquence non négligeable supplémentaire : le pergélisol renferme également des maladies qui ont disparu depuis des centaines ou des milliers d'années. En fondant, le pergélisol pourrait les libérer et créer des crises sanitaires majeures.



À + 1°C aujourd'hui, ça déconne déjà

Par exemple, en 2016, une épidémie d'Anthrax a tué plusieurs êtres humains et plus de 2 300 rennes en Sibérie. Or cette maladie avait disparu depuis plus de 75 ans dans la région. Elle est réapparue avec la fonte du pergélisol, qui maintenait congelé un renne décédé de cette maladie (et donc ses bactéries mortelles). Si on sait soigner l'Anthrax avec des antibiotiques, ce ne sera pas forcément le cas pour tous les autres virus ou bactéries qu'on ne connaît pas ou qu'on ne sait pas soigner. Le risque d'épidémies ou de pandémies bien pires que le Covid 19 est également une conséquence bien réelle du dérèglement climatique.



6. L'hydrate de méthane, qui doit rester au frais

L'hydrate de méthane constitue une autre « bombe climatique » potentielle.

Il s'agit de molécules de méthane emprisonnées dans de la glace. On en trouve en grande quantité :

- Sous le pergélisol,

- Au fond des océans, dans les sédiments océaniques.

Pour le moment, ce méthane est stocké dans ces réservoirs de manière stable. Il est difficile d'estimer les quantités précises mais on parle quand même d'environ 10 000 GtC, soit 7 fois plus que tous les GES contenus dans le pergélisol, donc 21 fois plus que tous les GES aujourd'hui présents dans l'atmosphère !

Malheureusement, si le réchauffement actuel dépassait la fameuse barre des 2 degrés, ces molécules pourraient devenir instables. En effet, avec la fonte du pergélisol ou le réchauffement des océans, l'hydrate de méthane serait davantage en contact avec une température plus élevée. Or, la probabilité que ces molécules deviennent instables devient significative avec 2 degrés en plus. Dans ce cas, les molécules peuvent se dissocier et le méthane s'échapper directement vers l'atmosphère. Étant donné le volume titanesque de méthane dont on parle, on comprend aisément les conséquences dévastatrices pour le réchauffement de la Planète et la vie sur Terre.

II. "Et si on arrêta tout aujourd'hui, ça irait ?" Même pas ! Il y a le problème de l'inertie.

On a souvent le fantasme de se dire que si on arrêta toutes les émissions de GES demain, le problème serait résolu. Or, ce serait formidable mais malheureusement... la Planète ne fonctionne pas comme ça.

Le climat connaît une très forte inertie, c'est-à-dire un décalage temporel important entre les causes et conséquences constatées du dérèglement climatique. C'est d'ailleurs pour cela que les trajectoires proposées par le GIEC ne modélisent pas une baisse radicale des GES ou de la température - même dans les scénarios les plus ambitieux : ils ont déjà calculé et intégré ce phénomène d'inertie.

Alors, comment s'explique cette inertie ? Par le temps de résidence et par l'inertie thermique de la Planète.

A. Le temps de résidence, "on est pas mal là-haut"

On l'a déjà vu ensemble (en partie 1.II.C.3.a), chaque GES se caractérise par un temps de résidence différent. Le CO₂ par exemple, une fois qu'il a rejoint l'atmosphère, y reste pendant une centaine d'années. Et il augmente l'effet de serre pendant tout ce temps-là, même s'il n'y a plus aucune émission de GES supplémentaire en parallèle sur terre. Les conséquences d'une émission de GES s'étalent donc sur des durées extrêmement longues.

Pour prendre une analogie, c'est comme si on faisait chauffer de l'eau (l'Océan) avec une flamme de plus en plus forte (car les GES augmentent). Stopper les GES, ce n'est pas stopper la flamme (les GES sont encore dans l'atmosphère pendant leur temps de résidence), c'est juste arrêter de faire grossir la flamme. L'eau reste donc sur le feu et

continue de chauffer jusqu'à atteindre une certaine température, on parle de point d'équilibre.

B. L'inertie thermique, ou "pourquoi la piscine est toujours trop froide"

Les GES accélèrent l'effet de serre et donc le réchauffement de l'air, de l'eau, des sols et des glaciers. Or, chacun de ces éléments se « réchauffe » à une vitesse distincte : on parle « d'inertie thermique » différente.

Par exemple, on voit bien que lorsqu'un rayon de soleil pointe le bout de son nez, on ressent rapidement que l'air se réchauffe mais pour autant, la température de la piscine n'augmente pas instantanément et mettra plusieurs heures ou jours à se réchauffer. A l'inverse, au moindre nuage cachant le soleil, on frissonne mais la piscine, elle, ne baisse pas instantanément de 5 degrés ! C'est normal, et c'est la même chose à l'échelle de la Planète. Il est très long de chauffer les énormes volumes d'eau que représentent les mers et les océans (une casserole met un peu de temps à bouillir, on le sait bien !).

Cette inertie a comme effet positif d'éviter un réchauffement trop rapide. Mais à l'inverse, c'est extrêmement dangereux car cela cache ce qu'il va se passer dans le futur. Les océans vont continuer à se réchauffer pendant longtemps même après la réduction des GES et surtout, ils mettront beaucoup de temps à refroidir, étant donnée cette inertie. Le décalage entre les causes (les émissions de GES) et les conséquences se compte donc en dizaines d'années !

C. Concrètement, de quel décalage parle-t-on ?

Ainsi, en cumulant le temps de résidence et l'inertie thermique, l'inertie totale est colossale. Concrètement, cela veut dire que même en arrêtant toute émission demain, la Terre continuerait de se réchauffer à grande vitesse pendant les 20 prochaines années !

Pour le dire encore autrement, alors que le climat de 2020 nous inquiète déjà, les émissions actuelles de GES n'auront produit l'essentiel de leurs effets sur la température qu'autour de 2040.

III. "Bon du coup, si je comprends bien, c'est foutu, c'est trop tard"

Non, mais il faut agir dès maintenant !

Maintenant que vous avez découvert l'ensemble des mécanismes les plus inquiétants du dérèglement climatique (boucles de rétroaction positives et inertie), vous pourriez être

tenté.es - comme beaucoup - d'affirmer qu'il est « trop tard ». Chez Time for the Planet, nous sommes tous passés par cette phase de découragement en prenant conscience des conséquences du dérèglement climatique. Pourtant, impossible pour nous d'accepter que ce soit « foutu », bien au contraire. Prenons appui sur les différents scénarios du GIEC pour voir comment passer à l'action.

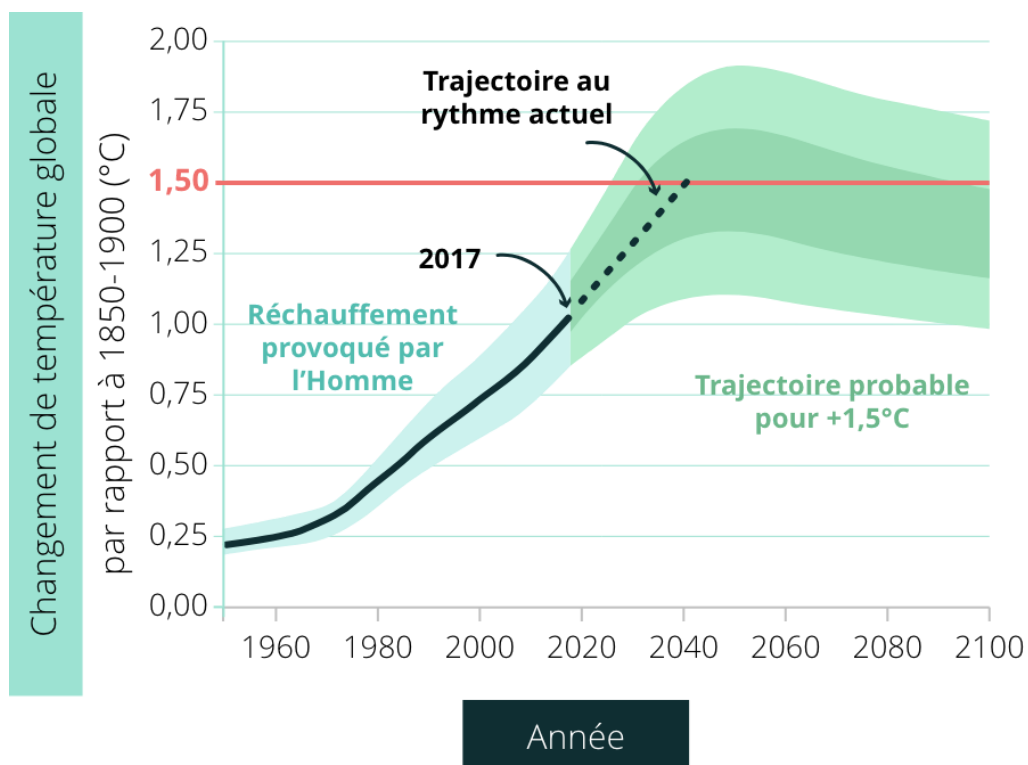
A. "On n'est pas au top" :

Oui, on se trouve actuellement dans un des pires scénarios prévus par le GIEC

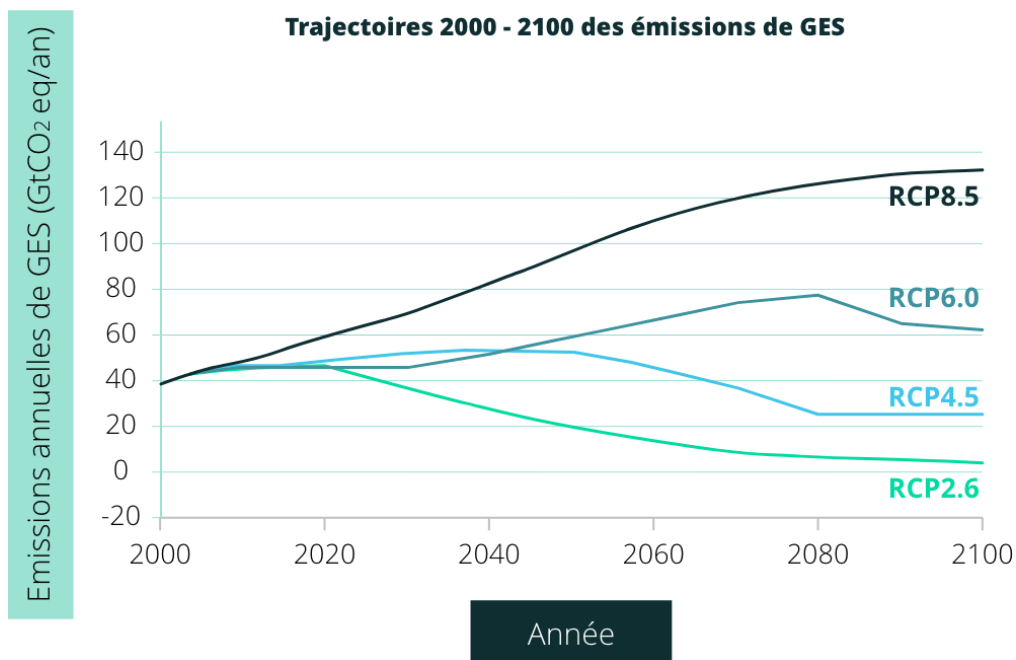
1. Les différents scénarios du GIEC

Grâce à l'agrégation de nombreux modèles climatiques et à la grande puissance de calcul dont nous disposons aujourd'hui, le GIEC a pu établir des scénarios qui prennent en compte un nombre très impressionnant de variables.

Comme on le voit ci-dessous, les modèles intègrent déjà l'inertie liée à toutes les émissions de GES qui ont déjà eu lieu. La courbe noire en pointillée correspond justement la trajectoire déjà lancée à cause de l'inertie.



Découvrons les scénarios établis lors du 5^{ème} rapport du GIEC :



Pour rappel, ces scénarios ont été établis en 2014, sur des données datant de 2010. Un prochain rapport du GIEC est attendu en 2021-2022, pour les mettre à jour.

Comment comprendre ce graphique ?

- Sur l'axe vertical, les émissions annuelles anthropiques de GES en Gigatonnes d'équivalent CO₂.
- En horizontal, le temps qui passe.

On distingue 4 scénarios différents qui sont appelés « RCP¹² » suivi d'un chiffre. Ce chiffre ne correspond pas à l'augmentation de la température mais au forçage radiatif global.

Par exemple, le scénario RCP 2,6, est un scénario qui prend comme hypothèse de base que le forçage radiatif global sera de +2,6 W/m². Une autre manière de le dire ? Ce scénario prend comme hypothèse que l'ensemble des émissions de GES prévues sur les années 2010-2100 permettront de maintenir un forçage radiatif à +2,6, soit une augmentation de l'effet de serre relativement limitée.

Voici les 4 scénarios envisagés par le GIEC en 2010 :

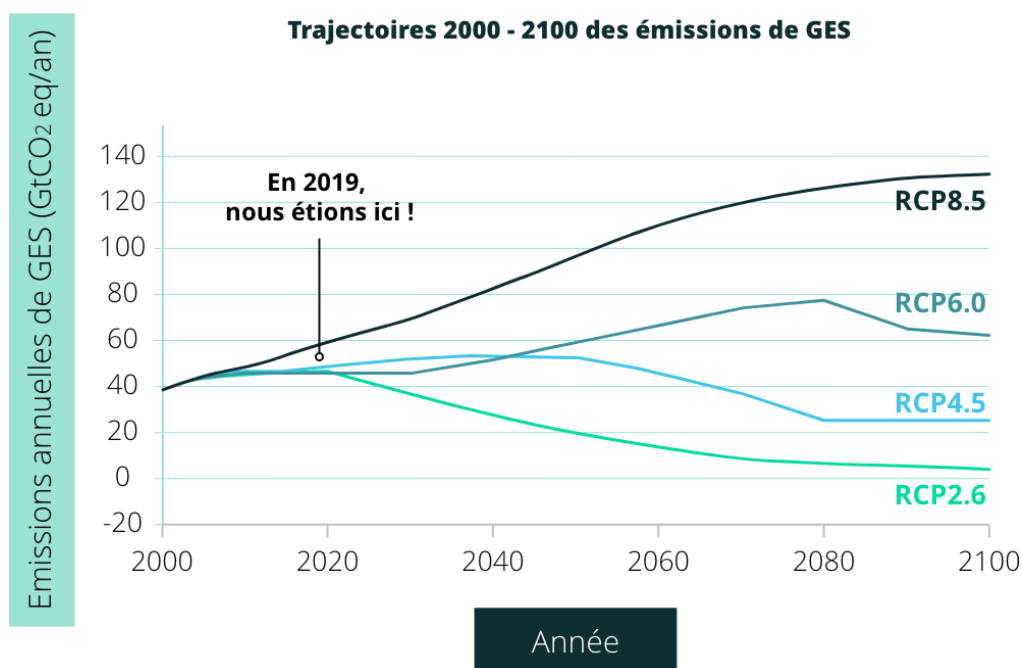
	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Nom officiel	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 6	RCP 8,5
Forçage radiatif	+ 2,6 W/m ²	+4,5 W/m ²	+6 W/m ²	+8,5 W/m ²

¹² RCP : Representative Concentration Pathways » ou "Profils représentatifs d'évolution de concentration"

Efforts de réduction de GES	Très importants	Importants	Faibles	Inexistants : on continue comme aujourd'hui
-----------------------------	-----------------	------------	---------	---

Alors, où en est-on, 10 ans plus tard ?

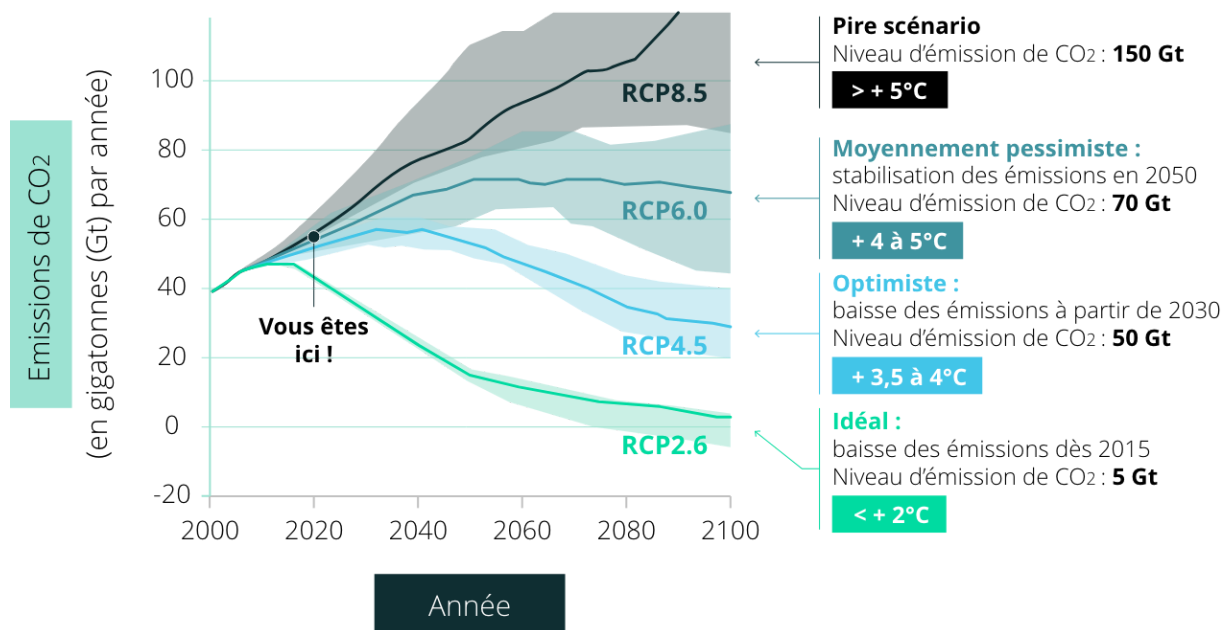
En 2019, nous sommes autour de 53Gt d'éq CO₂ émis par an au niveau mondial¹³. Si on essaie de se placer dans le graphique précédent, on observe que les émissions continuent d'augmenter et que nous sommes plus proches de la trajectoire du RCP 8,5 que celle du RCP2.6 que nous devons viser !



Comme on l'a vu précédemment (partie 1.II.C.3.b), le niveau de forçage radiatif induit l'intensité du réchauffement climatique. On peut donc retrouver ci-dessous, pour chaque scénario, l'estimation de l'augmentation moyenne de la température en 2100.

A nouveau, en analysant la situation en 2020, on se trouve dans le pire des scénarios, le RCP 8,5. En effet, on constate déjà +1 degré de réchauffement. Ce scénario prévoit, si on continue à ce rythme d'émission de GES, plus de 5 degrés de réchauffement en 2100.

¹³ Données issues du [Global Carbon Budget 2019](#), du rapport [Global Warming du GIEC](#) et de [2019, l'année de la stagnation des émissions mondiales ?](#)



2. Même les pires scénarios du GIEC étaient finalement... optimistes !

Depuis le rapport du GIEC publié en 2014 et dans l'attente du suivant, d'autres groupements scientifiques ont mis à jour ces différents scénarios.

En effet, les modèles climatiques issus d'une vingtaine de grands laboratoires dans le monde rassemblés autour du "Projet de comparaison de modèles couplés (Cmip)" servent de base au GIEC et devront être actés dans le prochain rapport du GIEC.

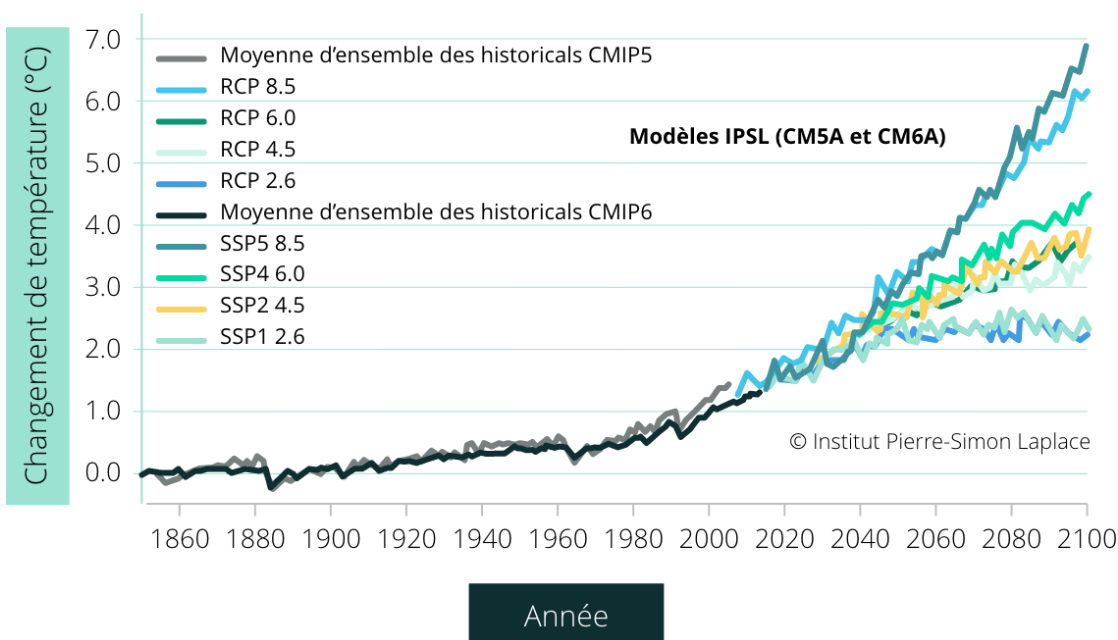
Qu'est-ce qui a changé ?

- Ils ont pu modéliser de manière plus précise l'action des nuages et des aérosols,
- La puissance de calcul des ordinateurs s'est encore améliorée,
- Ils ont pris en compte le manque d'efforts des pays depuis 2010 pour réduire de manière conséquente les émissions de GES.

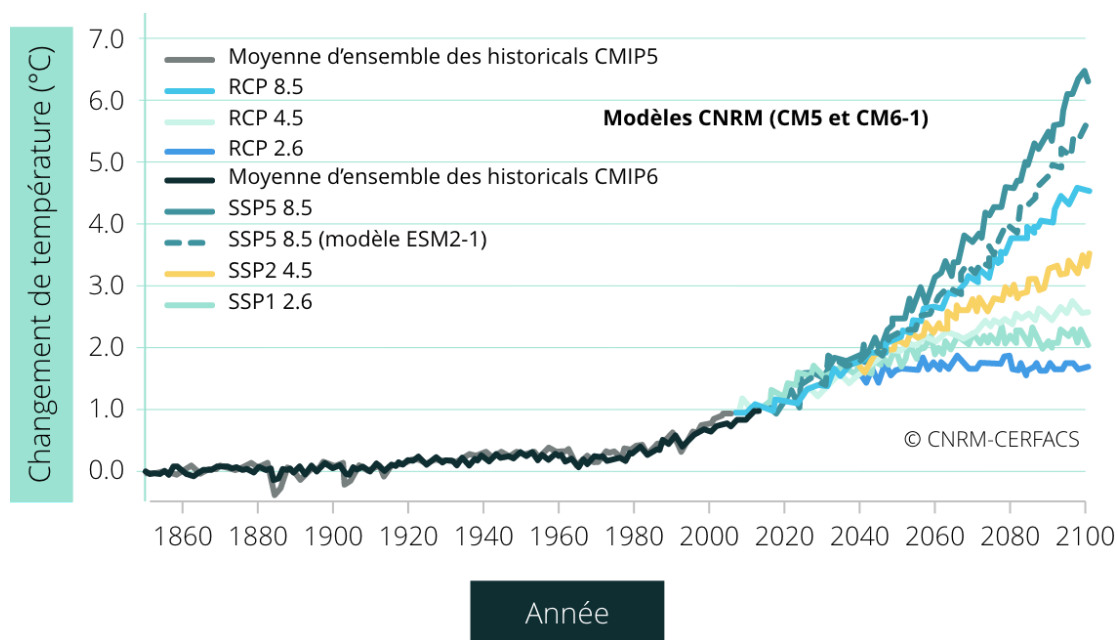
Résultat ? Ces nouveaux modèles sont encore plus alarmistes que le scénario RCP 8,5.

Et voilà les nouveaux scénarios que ces scientifiques proposent :

Moyenne globale de la température de surface, changement par rapport à la période 1850-1899



Moyenne globale de la température de surface, changement par rapport à la période 1850-1899



Source CEA.

On le voit, le pire scénario, prévoit une température moyenne globale autour de +7 degrés en 2100 ! Bien au-dessus du pire scénario à 5 degrés proposé par le GIEC ! Cette courbe modélise l'évolution du climat sans changement de nos modes de consommation et de production.

Même le scénario le plus favorable, représenté en vert, n'est pas incroyablement optimiste ! Eh oui, ce scénario "optimiste" permettrait de rester sous l'objectif des 2°C de réchauffement, mais « *tout juste, [avec] un effort d'atténuation (...) important, et au prix d'un dépassement temporaire de l'objectif de 2 °C au cours du siècle* ».

B. "Est-ce qu'on ne ferait pas mieux d'abandonner ?"

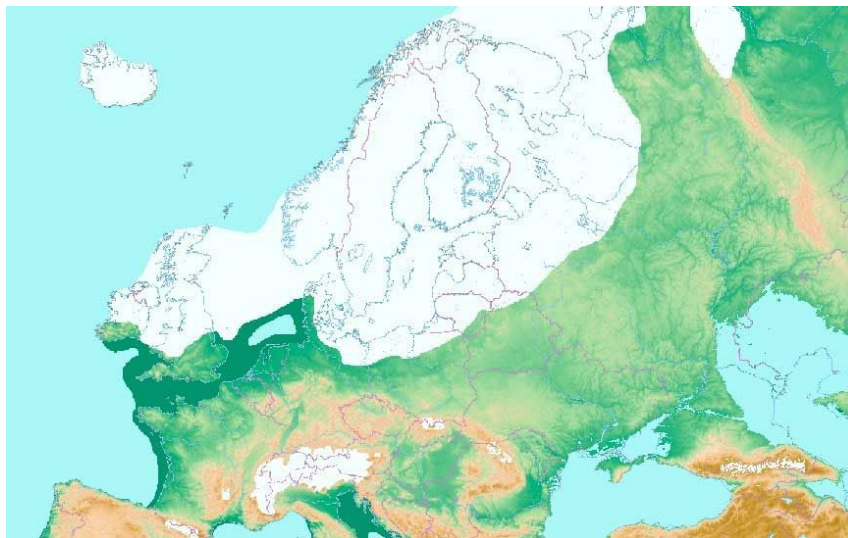
1. Si on abandonne : +5 à +7 degrés, c'est vraiment la fin du monde (tel qu'on le connaît)

Pourquoi les « collapsologues » sont-ils apparus et semblent convaincre chaque jour davantage de citoyens ? Parce qu'ils ont pris conscience de l'aspect systémique et incroyablement fragile de notre système actuel. Ils voient dans le changement climatique le risque d'un effondrement total de notre civilisation.

Sans aller jusque-là, car un effondrement est extrêmement difficile à prédire, tant en termes de date que d'intensité, et surtout parce que nous ne savons pas quelles mesures vont être prises sur les prochaines années, nous devons tout de même nous interroger sur ce que signifie un monde avec une température de +5 degrés.

Premier point de comparaison qui jette un froid 😊

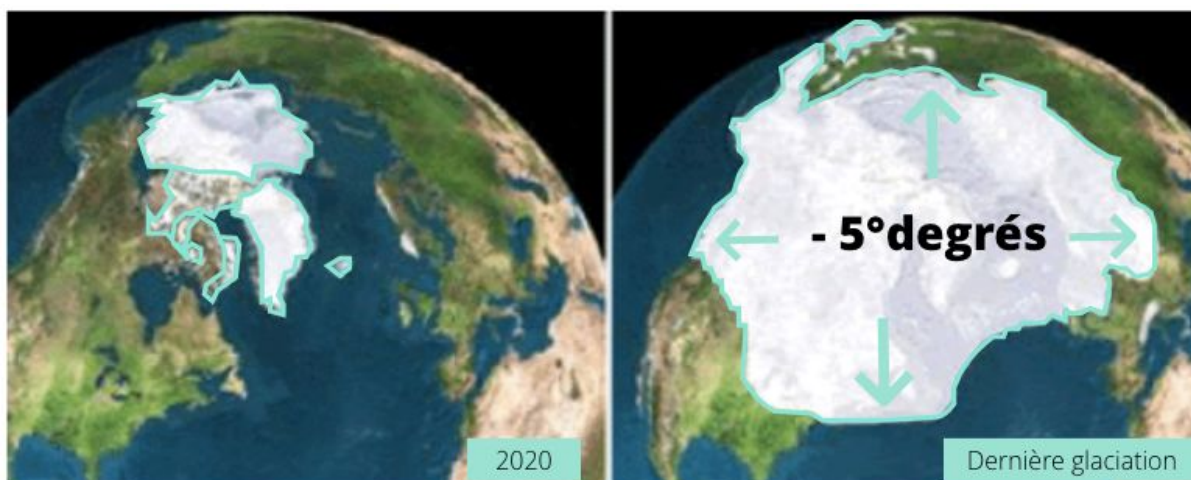
+ 5 degrés, c'est exactement la différence qu'il existe entre notre ère interglaciaire actuelle et... une ère glaciaire ! Et ce changement de température prend généralement 20 000 ans à se produire. Voici ce à quoi ressemblerait l'Europe avec 5 degrés de moins :



<https://www.usgs.gov/media/images/glaciers-extended-over-much-europe-during-last-ice-age>

Le continent entier est transfiguré !

Et ce n'était pas vrai qu'en Europe. Les Etats-Unis également étaient sous la glace !



5 degrés en moyenne de différence, c'est donc un monde radicalement différent !

Évidemment, dans le cas du réchauffement climatique, le problème est inversé : on parle bien de 5 degrés mais au lieu d'une baisse de 5 degrés, il s'agit en fait d'une hausse de 5 degrés, à partir d'une ère interglaciaire (c'est-à-dire déjà chaude !).

Dès lors, impossible de savoir exactement à quoi ressemblera la planète, puisque le changement climatique se faisait habituellement dans l'autre sens ! En revanche, réaliser ce qu'un changement de 5 degrés signifie dans un sens, permet d'imaginer la radicalité et l'ampleur d'un changement d'une telle nature dans l'autre sens.

Nous n'avons donc pas de données scientifiques validées à vous présenter mais seulement les témoignages de personnalités et d'organisations internationales qui font aujourd'hui référence sur le sujet.



Jean Jouzel,
climatologue et prix Nobel de la Paix

« A +5 degrés, c'est un autre monde, un monde différent, les gens doivent s'en rendre compte. Aujourd'hui, quand on parle de réchauffement climatique, les gens ont le sentiment que c'est ce qu'il se passe actuellement, mais ce n'est pas du tout ça ! Le réchauffement climatique, tel qu'il serait si rien n'est fait, c'est un autre monde. »

« Il faut s'attendre, dès 2050, à des pics de température en France autour de 50 degrés l'été. »





Nicolas Stern,

économiste, vice-président de la Banque Mondiale et auteur du rapport « l'économie du changement climatique en 2006 »

« Depuis dix millions d'années, la Planète n'a jamais connu une telle hausse de sa température. Et les êtres humains, apparus sur Terre il y a seulement 250 000 ans, n'ont jamais vécu dans un monde avec quatre degrés de plus. »



Selon son rapport :

- Le sud de l'Europe ressemblerait au Sahara
- Le désert africain s'étendrait vers le Sud
- La neige disparaîtrait de l'Himalaya, qui apportait de l'eau à plus de 2 milliards de personnes
- Le bassin amazonien serait frappé de désertification
- Les phénomènes climatiques extrêmes (ouragans, tempêtes, cyclones) deviendraient plus fréquents
- Il est difficile d'évaluer le niveau de la montée des eaux, mais on estime qu'une montée des eaux de seulement 2 mètres impliquerait un déplacement de plus de 200 millions de personnes.



La Banque mondiale,

dans son rapport de 2012 « Turn down the heat »

« Dans un scénario à +4 degrés, aucun pays n'est épargné par le réchauffement climatique. »



La Banque mondiale prévoit :

- Un quasi-choc thermique pour les pays d'Afrique du Nord, la zone méditerranéenne, le Moyen-Orient et les Etats-Unis, où la moyenne des températures pourrait s'élever de 6 degrés et plus
- Une progression du niveau des océans de 0,5 à 1 mètre d'ici à 2100, voire davantage

- Une remontée des eaux salées dans les deltas, rendant les terres impropres à la culture
- Un taux d'acidité des océans accru de 150% : une vraie catastrophe pour la faune et la flore marine
- Une réduction drastique de l'étendue des services fournis par les écosystèmes et dont la société dépend.



Antonio Guterres,
Secrétaire général de l'ONU

« Le monde fait face à une menace existentielle directe, le changement climatique va plus vite que nous. »



L'ONU a estimé à 150 millions le nombre de réfugiés climatiques d'ici 30 ans.



Henri de Castries,
PDG d'AXA

« Un monde avec + 4 degrés, c'est un monde inassurable. »



Jean-Marc Jancovici,
membre du haut conseil pour le Climat en France



« Dans un monde qui se réchauffe de quelques degrés, disons 4 à 5 degrés d'ici à 2100, il y aurait à partir de 2070 entre 1,5 et 3 milliards d'hommes sur terre qui devraient vivre dans des conditions qui sont plus chaudes que le Sahara actuel. Et il y aurait 1 milliard de personnes qui vivraient donc dans des zones dans lesquelles, à peu près tous les jours de l'année, les conditions extérieures seraient mortelles. »

Evidemment, ces perspectives ne sont guère réjouissantes, mais elles correspondent aux conséquences climatiques mécaniques si rien n'est fait pour changer de trajectoire. Ces modifications radicales des ressources naturelles disponibles entraîneront nécessairement des stress hydriques, des sécheresses, des famines et des crises sanitaires majeures. De nombreuses personnes mourront et une grande majorité de la population aura besoin de changer de pays, voire de continent.

La stabilité géopolitique sera *a priori* impossible à conserver face à l'ensemble de ces pressions. Quand on voit comment quelques migrants qui tentent de traverser la Méditerranée mettent en difficulté la cohésion de l'Union Européenne, il semble difficile d'imaginer une coopération mondiale capable de gérer l'ensemble de ces catastrophes annoncées.

À une échelle bien plus réduite, l'épisode du Covid-19 et la lutte pour les ressources rares (en l'occurrence, médicaments, respirateurs et masques) ont bien montré la course de chaque Etat pour son propre salut et la concurrence accrue en cas de crise. Des conflits internationaux viendront sans doute recomposer l'équilibre géopolitique du monde de manière inédite et imprévisible.

Bon, nous pourrions continuer à nous faire peur pendant des heures, mais avec déjà ces quelques témoignages, on peut aisément comprendre qu'il faut absolument éviter cette situation.

Un réchauffement qui suivrait le pire des scénarios du GIEC nous impacterait tous et, contrairement à ce que pense le grand public, de notre vivant. Nous sommes donc la dernière génération capable d'éviter ce scénario catastrophe !

2. En plus, après 2100, le monde continue, non ?

Un autre problème est lié à cette idée qu'il est « déjà trop tard ». Etant donné que toutes les prévisions s'arrêtent en 2100, on se focalise sur cette date. Or, aux dernières nouvelles, la Planète ne disparaîtra pas après 2100 et le réchauffement climatique ne va pas s'arrêter d'un coup en passant au siècle suivant !

Abandonner maintenant signifie tout simplement assumer pour les prochains siècles la fin de l'espèce humaine. Car si avec +5 degrés, notre civilisation pourrait tout simplement s'effondrer, avec un réchauffement encore plus important, difficile d'imaginer comment l'être humain tout court pourrait survivre. Et on ne parle pas de quelque chose qui pourrait

se produire dans 10 générations, mais à l'échelle de nos petits-enfants ou arrière-petits-enfants !

3. On n'a pas le choix : il faut essayer d'atterrir le plus bas possible sur la courbe

Personne ne peut accepter la réalité décrite ci-dessus. On ne peut pas abandonner.

Le climat, ce n'est pas un objectif *on/off* qui fonctionnerait comme suit :

- Soit on réussit à limiter le réchauffement planétaire à 1,5 degré
- Soit on échoue et on arrive à +7 degrés

La réalité sera sans doute entre les deux, mais le niveau de réchauffement auquel on parviendra à se stabiliser définira la qualité de vie ou de survie de l'être humain sur les prochains siècles. Et on l'a compris, chaque degré perdu ou gagné aura des conséquences extrêmement importantes.

Tous nos efforts doivent donc aller dans le même sens : limiter au maximum le réchauffement climatique et donc les émissions de GES. Pour ne pas trop en souffrir de notre vivant et pour garantir une vie tout simplement vivable pour les générations futures.

C. Non, il n'est pas trop tard, et ce n'est pas moi qui le dis

Est-ce qu'on ne part pas déjà perdants, après tout ce que nous venons de voir ensemble ?

Demandons aux mêmes personnalités ou entités :



Jean Jouzel,

climatologue et prix Nobel de la Paix, en 2020 :

« Le réchauffement climatique sera joué d'ici les 10 ou 20 prochaines années. »

« C'est maintenant qu'il faut agir. »

« Une des clés de la réussite, c'est l'innovation. »





Antonio Guterres,

Secrétaire général de l'ONU, en 2018 :

« Le monde a deux ans pour agir contre le changement climatique. Si nous ne changeons pas d'orientation d'ici 2020, nous risquons des conséquences désastreuses pour les humains et les systèmes naturels qui nous soutiennent. »



Alors, on y va ! On se retrousse les manches.

D. Qu'est-ce qu'il faut faire, alors ?

Et si au lieu de se focaliser sur les pires scénarios, on s'intéressait aux scénarios optimistes pour les mettre en œuvre ? Car ces scénarios-là aussi sont possibles !

C'est d'ailleurs l'objet d'un rapport du GIEC sorti en 2018, intitulé « Global Warming ». À défaut de mettre à jour l'ensemble des scénarios étudiés lors de son 5^{ème} rapport (mise à jour prévue en 2021-2022), il propose une analyse plus fine de scénarios permettant de limiter le réchauffement à 1,5 degré.

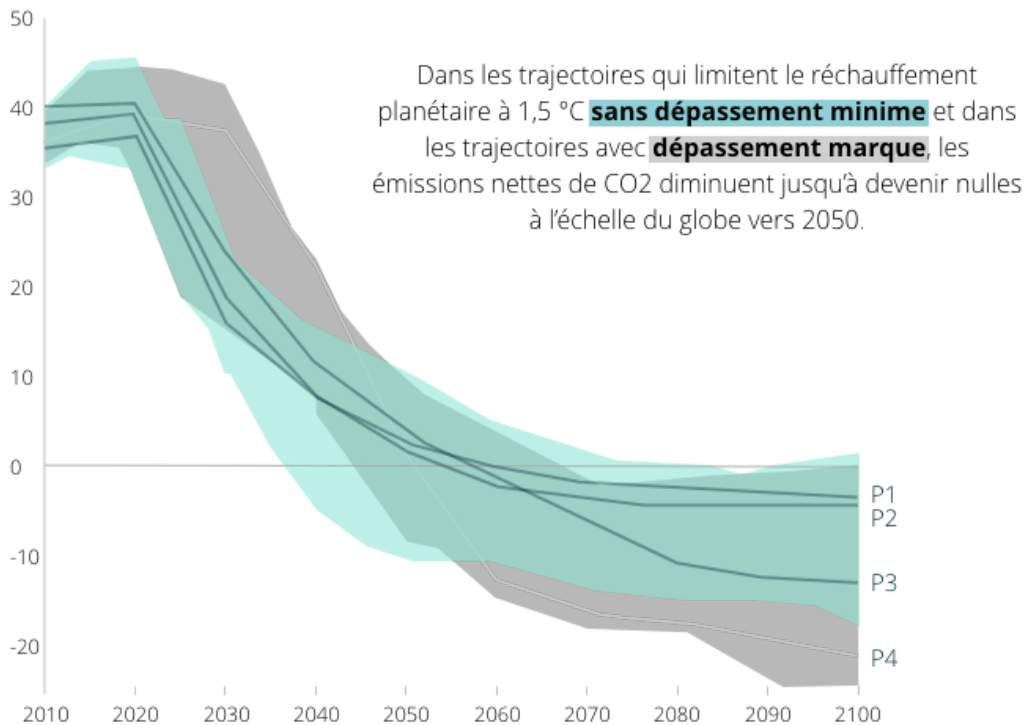
Pourquoi ce focus de la part du GIEC ? Pour montrer que c'est encore possible et que +1,5 degré est beaucoup plus souhaitable que les +2 degrés visés par l'Accord de Paris et ce, pour un ensemble de raisons qui sont détaillées dans ce rapport.

Ainsi, le GIEC propose 4 nouveaux scénarios qui permettent tous de rester en dessous d'un réchauffement à 1,5 degrés (ou légèrement au dessus), en commençant les efforts dès 2020.

Les voici :

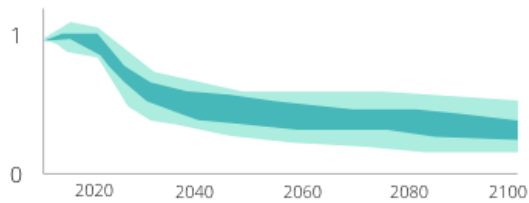
Total des émissions mondiales nettes de CO2

Milliards de tonnes de CO2/an



Que ce soit dans le scénario P1, P2, P3 ou P4, on voit que, pour maintenir le réchauffement en dessous de 1,5 degrés ou légèrement au-dessus (pour P4), les émissions de CO2 doivent être réduites drastiquement pour atteindre un niveau nul autour de 2060 (le moment où la courbe d'un scénario croise l'axe des abscisses).

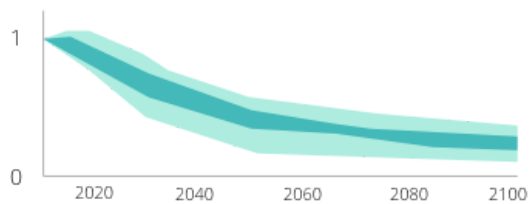
En ce qui concerne les autres GES majeurs, il faut aussi les réduire drastiquement sans pour autant avoir besoin d'arriver à un niveau nul, contrairement au CO2.



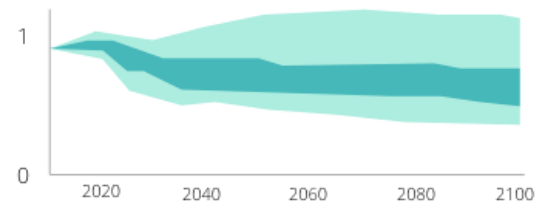
Emissions de méthane

Emissions de gaz à effet de serre autres que le CO₂ par rapport à 2010.

Dans les trajectoires compatibles avec l'objectif de 1,5 °C avec ou sans dépassement minime, les émissions de facteurs de forçage autres que le CO₂ diminuent ou sont limitées elles aussi, mais sans être ramenées à zéro à l'échelle du globe.



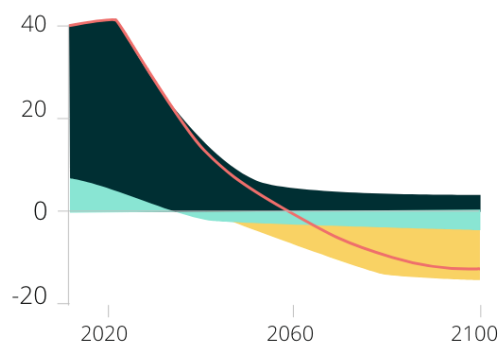
Emissions de carbone suie



Emissions de protoxyde d'azote

Au sein de son rapport, le GIEC modélise chacun de ces scénarios en détail.

Voici comment lire un scénario en détail :



Milliards de tonnes de CO₂ par an (GtCO₂/an)

Scénario P3

Chaque graphique indique :

- Dans quelle mesure nous réduisons notre consommation d'énergie fossile et l'impact de nos industries mondiales, fortement émettrices de GES => C'est la courbe noire, qui décroît mais reste toujours positive, car il est impossible de la neutraliser totalement.
- Dans quelle mesure on prend soin des puits de carbones naturels (forêts, préservation des terres, agriculture non-émettrice...) => C'est la courbe bleue, appelée AFAUT. Elle peut jouer en faveur ou en défaveur du réchauffement climatique, selon si la terre et la végétation sont des puits de carbone ou des sources émettrices de GES.

- Dans quelle mesure on trouve et on développe des solutions de captation carbone, appelées ici BECSC => C'est la courbe jaune qui, comme on le voit, joue contre le réchauffement climatique, puisqu'elle absorbe des GES.

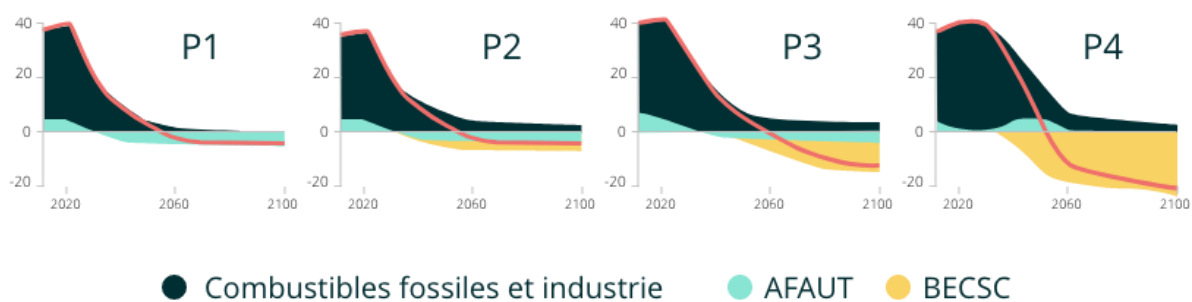
En cumulant ces trois courbes, on obtient la courbe rouge, celle qui modélise le résultat total en termes de GES. Lorsque cette courbe croise l'axe des abscisses, la Planète atteint ce qu'on appelle la « neutralité carbone ».

La neutralité carbone, c'est un état d'équilibre entre les émissions de GES anthropiques et leur retrait de l'atmosphère par l'homme ou ses actions.

Maintenant que ce type de graphique n'a plus de secret pour vous, voici le détail des 4 scénarios proposés par le GIEC pour rester en dessous de 1,5 degré de réchauffement climatique.

Détail des contributions aux émissions nettes mondiales de CO2 pour 4 exemples de trajectoires modélisées

Milliards de tonnes de CO2 par an (GtCO2/an)



P1 : Scénario selon lequel les innovations sociales, commerciales et technologiques engendrent une réduction de la demande d'énergie jusqu'en 2050 alors que les conditions de vie s'améliorent, en particulier dans l'hémisphère Sud. Un système énergétique de moindre envergure permet une décarbonisation rapide de l'énergie fournie. Le boisement est la seule option d'EDC retenue ; il n'est pas fait recours aux combustibles fossiles avec captage et stockage du dioxyde de carbone (CSC) ni à la BECSC.

P2 : Scénario qui met beaucoup l'accent sur la durabilité, y compris l'intensité énergétique, le développement humain, la convergence économique et la coopération internationale, ainsi qu'une réorientation vers des modes de consommation durables et robustes, des innovations technologiques à faible intensité de carbone et des systèmes d'utilisation des terres bien gérés, avec une acceptabilité sociétale limitée pour ce qui est de la BECSC.

P3 : Scénario intermédiaire selon lequel le développement sociétal comme le développement technologique suivent des schémas habituels. La réduction des émissions

s'obtient principalement par une modification de la façon dont l'énergie et les produits sont obtenus et, dans une moindre mesure, par une réduction de la demande.

P4 : Scénario à forte intensité de ressources et d'énergie selon lequel la croissance économique et la mondialisation aboutissent à l'adoption à grande échelle de modes de vie à forte intensité de GES, y compris une forte demande de carburants et de produits de l'élevage. La réduction des émissions s'obtient principalement par des moyens technologiques qui font un usage intensif de l'EDC au moyen de la BECSC.

Comme on le voit, le scénario P1 ne demande aucun effort de captation, car notre civilisation a été capable de limiter drastiquement l'utilisation de son industrie et des combustibles fossiles. À l'inverse, dans le scénario P4, nous continuons à utiliser à très forte intensité les ressources et les énergies et il faut donc capter énormément de GES pour les compenser.

Dans tous les cas, on observe néanmoins que pour l'ensemble de ces scénarios :

- La neutralité carbone doit être atteinte entre 2050 et 2060
- Il faut que la courbe verte diminue de moitié entre 2020 et 2030, ce qui correspond environ à une réduction de 7% des GES chaque année (par une baisse des émissions ou par la captation).

Voilà les deux objectifs qu'on peut se fixer collectivement !

Alors, maintenant, à quoi ça correspond, une réduction annuelle de 7% des GES ?

C'est très ambitieux. À titre d'exemple, -7%, cela peut correspondre à :

- Diviser par deux l'ensemble des transports dans le monde (particuliers et marchandises)
- Ou faire basculer la moitié de la population mondiale vers une alimentation uniquement végétarienne
- Ou stopper toutes énergies dans les habitations et le secteur tertiaire : plus de chauffage, plus de climatisation, douche à l'eau froide, plus de café, plus de plats chauds...

Un autre exemple très parlant ?

Au cours de l'épisode du Covid-19, nous avons pu toucher du doigt de manière empirique ce à quoi correspond une baisse d'environ 7% des émissions annuelles de GES. En effet, alors que la plupart des pays du monde étaient confinés pendant plusieurs mois avec la quasi-totalité de leur activité économique à l'arrêt (à l'exception de certaines activités dites « essentielles »), on a pu constater une baisse de... 7% des émissions de GES, justement. Et on a pu voir à quel point l'économie, paramétrée comme elle l'est aujourd'hui, en a souffert et devrait en pâtir pendant plusieurs années !

Attention, beaucoup de médias ont utilisé cette analogie en énonçant que, pour tenir l'objectif de 1,5 degrés, il faudrait l'équivalent d'un épisode de Covid par an. Malheureusement, c'est parfaitement inexact ! Pour tenir le +1,5 degré, il faut réaliser

chaque année 7% de baisse supplémentaire par rapport à l'année précédente. Si on veut donc employer cette analogie correctement, cela signifie que pour tenir les -7% annuels, il faudrait 2 épisodes de Covid en 2021, 3 Covid en 2022, 4 Covid l'année suivante, etc.

C'est dire à quel point notre économie doit se transformer et des solutions technologiques doivent être trouvées grâce à l'innovation !

E. C'est nouveau, cette histoire de captation carbone ?

Effectivement, avant le dernier rapport du GIEC, l'accent n'avait jamais vraiment été mis sur la captation du carbone. Or aujourd'hui, difficile d'imaginer réussir un scénario optimiste sans augmenter notre capacité d'élimination du CO₂.

Cela peut passer par l'augmentation des capacités des puits naturels, évidemment, mais également par des innovations technologiques en matière de captation et de stockage des GES et notamment du CO₂. C'est ce qu'on appelle des « solutions à émissions négatives ».

On parle notamment de techniques « d'Élimination du Dioxyde de Carbone » (EDC). Ce sont toutes les activités anthropiques qui permettent d'éliminer le CO₂ de l'atmosphère et de le stocker, de manière durable, dans des réservoirs géologiques, terrestres, océaniques ou dans des produits.

Mais attention, la captation n'est en aucun cas une solution miracle, dans la mesure où la faisabilité et la durabilité de ces toutes nouvelles solutions sont encore à l'étude et connaissent déjà énormément de freins.

Vous êtes intéressés par toutes les innovations ?

PARTIE 3 :

Non



Où l'on détaille notre périmètre d'intervention et les 20 problèmes que Time for the Planet souhaite résoudre



Introduction

Est-ce que la science et la technologie sauveront la planète ? Soyons clairs, la réponse est NON.

Le défi auquel nous sommes confrontés est d'une ampleur inégalée et l'innovation ne suffira pas. Il faudra nécessairement un changement drastique de société, tant d'un point de vue politique, économique que comportemental. Chez Time for the Planet, nous ne sommes pas dogmatiques : on ne sait pas si le fameux « monde d'après » sera croissant ou décroissant, démocratique ou populiste, ultra-libéral ou très régulé. Et si c'est notre rôle de citoyens de voter et de nous engager politiquement en faveur de nos convictions, ce n'est pas la mission de Time for the Planet. Nous pensons que, quel que soit le monde d'après, nous aurons de toute manière besoin d'innovations puissantes pour atténuer le réchauffement climatique. Elles ne suffiront pas non bien sûr, mais elles seront indispensables pour participer à la conservation de l'espèce humaine dans un monde viable. Nous encourageons donc vivement les gestes individuels et les actions politiques, mais ils ne sont pas le propos de Time for the Planet. Nous ne sommes que quelques citoyens, et nous n'avons pas la main sur les résultats des élections à l'autre bout de la planète. Nous n'avons pas non plus la capacité de faire changer les comportements de 7 milliards d'individus en quelques années. Nous pouvons toutefois agir à l'échelle globale par le levier de l'entrepreneuriat. Nous avons la main là-dessus, contrairement au reste. Nous cherchons donc des solutions ambitieuses, déployables rapidement à l'échelle mondiale, pour avoir un impact considérable. Dans cette troisième partie, nous précisons le périmètre de détection des innovations ainsi que nos différents partis pris.

I. Ce que Time for the Planet ne fait pas

A. On ne peut pas résoudre tous les problèmes de la planète

Ce n'est pas parce qu'on a le mot « planète » dans notre nom qu'on a vocation à résoudre un nombre illimité de problèmes, évidemment. Parmi les 17 objectifs du développement durable listés par l'ONU, nous avons choisi d'agir uniquement sur l'objectif numéro 13 : participer à la lutte contre le réchauffement climatique.



Petite précision néanmoins :

Démographie trop importante, inégalités sociales, économiques, migrations climatiques, risques sanitaires ou encore populisme... si tous ces problèmes peuvent être considérés comme en lien direct ou indirect avec le réchauffement climatique, ils sont complètement hors du périmètre d'action de Time for the Planet. Non pas qu'on estime qu'ils ne soient pas réels, importants ou qu'ils ne nous touchent pas à titre personnel, simplement nous avons choisi d'aborder des problèmes sur lesquels nous avons directement la main et sur lesquels nous ne dépendons pas de la politique ou d'un changement des comportements individuels à grande échelle. Et c'est déjà un sacré chantier !

B. On ne peut pas s'attaquer à tous les problèmes environnementaux

Maintenant, concentrons-nous sur l'environnement, un sujet qui nous tient particulièrement à cœur. De la même manière, il existe de très nombreux challenges environnementaux.

Une approche a été proposée par des chercheurs, d'abord en 2009, puis actualisée en 2015, et adoptée par les Nations Unies, l'Europe et tout récemment la France : lister les 9 limites planétaires. Ces limites désignent les limites que l'Humanité ne doit pas dépasser pour pouvoir vivre durablement dans un écosystème sûr.

On y trouve le changement climatique bien sûr, mais également l'érosion de la biodiversité, la perturbation du cycle de l'azote ou du phosphore, ou encore l'utilisation de l'eau douce et la préservation de la couche d'ozone.

À nouveau, nous ne pouvons aborder l'ensemble de ces problèmes et nous souhaitons nous focaliser uniquement sur la lutte contre le réchauffement climatique, pour plus d'efficacité et pour éviter le risque de s'éparpiller. Ainsi, nous n'étudierons pas des solutions pour désaliniser l'eau de mer ou encore des innovations pour favoriser la survie d'une espèce animale en voie de disparition.

C. Un focus unique : atténuer les GES et viser la neutralité carbone

Et même au sein de la lutte contre le réchauffement climatique, nous avons un objectif unique : financer des solutions qui atténuent les émissions de GES et permettent d'atteindre la neutralité carbone. Et ce rapidement et à l'échelle mondiale.

Nous excluons donc par conséquent :

1. Les innovations qui n'ont pas d'impact direct et significatif sur les GES

Prenons un exemple : le plastique.

Nous ne traiterons pas du problème du plastique dans les océans. C'est un sujet terrible en termes de pollution et qui impacte gravement la biodiversité. En revanche, d'après les connaissances actuelles, le plastique dans les océans a un impact négligeable sur le climat. Il entraîne bien une baisse de la capacité d'absorption du CO₂ dissout par le phytoplancton mais c'est très faible.

En revanche, l'industrie de production de plastique, au même titre que les autres industries, est tout à fait dans notre champs d'action, car elle a un impact très conséquent sur les émissions de GES.

Un autre exemple : financer une néo-banque qui n'investit que dans des projets « verts » est trop éloigné de notre objectif central, faire baisser directement les GES.

2. Les innovations à l'effet indirect, non mesurable

Prenons à nouveau un exemple : la sensibilisation et la pédagogie en faveur du climat.

Ne vous méprenez pas, nous pensons que la pédagogie sur ce sujet est ultra nécessaire et chez Time for the Planet, nous sommes particulièrement passionnés par ces sujets (comme,

nous l'espérons, le prouve ce dossier par exemple). Nous faisons et ferons toujours l'effort d'expliquer à tous nos interlocuteurs l'urgence de la situation.

En revanche, nous ne finançons pas des démarches pédagogiques, comme une application mobile permettant de mesurer l'impact GES des produits achetés en supermarché. Ces outils ou démarches sont indispensables bien sûr, mais il serait trop difficile pour nous de mesurer leur impact direct. Comment savoir qui va changer son comportement et dans quelle mesure il va le changer après avoir été sensibilisé ?

Ainsi, nous allons privilégier tout ce qui peut avoir un effet direct et mesurable sur les GES.

3. Les innovations non répliquables, non scalables à l'échelle mondiale

De nombreux citoyens se lancent dans des projets personnels locaux. Aussi louables et passionnants soient-ils, nous ne misons pas sur les projets locaux et donc souvent sur-mesure. Nous cherchons des innovations « standardisables » (« scalables ») et donc capables d'être déployées très rapidement et à large échelle pour un gain évident en termes de temps et d'impact.

4. La question du nucléaire

La question du nucléaire est un débat extrêmement polémique sur lequel Time for the Planet ne souhaite pas se positionner, ni idéologiquement ni en termes d'investissement.

Nous soutiendrons simplement deux affirmations :

- Le grand public pense souvent à tort que l'énergie nucléaire est une source importante d'émissions de GES, or c'est faux : le nucléaire est l'une des énergies qui rejettent le moins de GES, on parle d'ailleurs souvent d'énergie « bas-carbone ».
- En revanche, il serait erroné de considérer que le nucléaire est une énergie facilement renouvelable. L'uranium est une ressource aujourd'hui finie, au même titre que les énergies fossiles. Et c'est une ressource qui sous-tend des enjeux géopolitiques et de sécurité majeurs, sur lesquels nous ne souhaitons pas nous impliquer.

Nous ne souhaitons pas nous prononcer sur le rôle de « tampon » qu'elle pourrait jouer à court terme. Par conséquent, nous ne finançons aucune innovation dans le secteur du nucléaire.

D. On ne joue pas aux apprentis-sorciers : non à la géo-ingénierie

Plus on prend de retard dans la lutte contre le réchauffement climatique, plus la tentation d'aller vers la géo-ingénierie devient forte. Mais de quoi parle-t-on, au juste ?

La géo-ingénierie, c'est manipuler le climat « à première intention et à grande échelle », de manière corrective. Autrement dit, elle ne vise pas à limiter les causes du réchauffement climatique (émissions de GES) mais à maîtriser ses conséquences.

Prenons simplement un exemple souvent cité : injecter massivement du soufre (ou ses dérivés) sous forme d'aérosols de sulfate dans l'atmosphère. Nous avons vu que le forçage radiatif de certains éléments peut être négatif et refroidir la planète. En effet, concrètement, envoyer ces aérosols augmenterait l'albédo atmosphérique et donc ralentirait le réchauffement. Le temps de résidence des aérosols dans l'atmosphère étant limité, il faudrait en injecter à intervalles réguliers.

Ce genre d'action est extrêmement risquée :

- D'abord, il existe des risques importants d'effets secondaires, notamment sanitaires : difficile de tous les anticiper dès maintenant, mais les aérosols sont par exemple des produits souvent nocifs à la santé.
- Ensuite, si dans plusieurs générations, pour une raison ou une autre (technique, géopolitique...), on ne peut plus continuer à envoyer ces aérosols pour compenser les GES qui ont encore augmenté dans l'atmosphère, l'effet de serre changerait alors très brutalement le climat. Le réchauffement climatique engendré serait terriblement violent et très soudain.

Nous souhaitons donc nous concentrer sur les causes, c'est-à-dire les émissions des GES et leur atténuation et ne pas aller vers la géo-ingénierie.

II. Notre stratégie : miser sur 4 leviers d'atténuation, « on est aux manettes »

L'objectif de Time for the Planet est donc clair : nous devons lancer des solutions qui réduisent drastiquement nos émissions de GES, afin d'atteindre la neutralité carbone au plus vite.

Pour cela, nous avons identifié 4 leviers d'actions complémentaires et indispensables :

1. Zéro émission : développer des sources d'énergie et matériaux qui n'émettent pas de GES.
2. Efficacité énergétique : améliorer les rendements des systèmes actuels pour diminuer leur consommation de ressources et les émissions associées.
3. Sobriété : réduire nos besoins afin de limiter mécaniquement l'ensemble des GES de toute la chaîne de production.
4. Captation : capter les GES émis, directement et indirectement, afin d'en limiter l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère, voire la réduire.

A. Zéro émission, ou la décarbonisation

Le premier levier, c'est celui de la décarbonisation (ou « décarbonation »).

Il vise à développer les solutions de demain, des innovations radicales qui permettent de construire un monde fonctionnant en neutralité carbone. Pour cela, il faut notamment passer

de la consommation d'énergies fossiles qui émettent des GES à des énergies décarbonées et renouvelables.

La neutralité carbone est une vision long-terme, qui nécessite encore d'importants travaux de recherche et développement, mais pour laquelle il est indispensable d'investir dès aujourd'hui si nous voulons réellement nous donner une chance de l'atteindre !

Ce levier est indispensable, mais il n'est pas suffisant. Impossible de modifier d'un seul coup l'ensemble de nos sociétés. Une phase de transition est essentielle, tant sur le plan technologique que sur le plan social, politique ou économique. Time for the Planet peut participer à cette transition, en aidant les différents acteurs à accélérer via des solutions innovantes et attractives.

B. Efficacité énergétique

Ce deuxième levier, l'efficacité énergétique, s'inscrit plutôt dans le court-moyen terme. Tant que nous ne sommes pas en situation de neutralité carbone, il faut limiter les "déperditions d'énergie" de nos processus et systèmes actuels. Cela permet de limiter la consommation d'énergie totale et donc les émissions de GES pendant cette phase de transition. Production, transformation, consommation de l'énergie carbonée : de multiples améliorations sont déjà mises en place et de nombreuses restent à inventer pour optimiser l'efficacité énergétique de nos systèmes, de nos équipements, de nos machines...

Pris isolément, le levier de l'amélioration de l'efficacité énergétique serait insuffisant pour réussir la transition énergétique de grande ampleur visée. En revanche, en s'inscrivant comme l'un des 4 axes complémentaires d'actions, il joue un rôle crucial pour une action rapide dans l'ensemble de nos secteurs d'activité, de par sa grande acceptabilité et sa facilité de mise en œuvre.

C. Sobriété de nos besoins

La sobriété constitue un important levier d'action à court terme et doit également jouer un rôle majeur sur le long-terme. Une réduction de nos besoins (de déplacements, d'objets de consommation, de construction, de nourriture...) agit mécaniquement et quasi-instantanément sur nos émissions de GES. La baisse mondiale observée lors de la crise du COVID-19 l'illustre parfaitement.

Sur le long-terme, c'est une évolution globale de nos modes de vie qui permettra d'avoir un impact significatif et durable. Pour encourager l'adoption de la sobriété par le plus grand nombre, il faut que la sobriété soit le choix le plus naturel, le plus valorisé, le plus profitable ou encore le plus accessible au consommateur. Par exemple, quand un trajet à vélo fait gagner du temps par rapport au même déplacement en voiture, il devient bien plus facile de choisir ce mode de déplacement.

D. Captation des GES

Le dernier levier est le développement de solutions de captation des GES.

À première vue, la captation peut paraître s'attaquer aux conséquences du réchauffement plutôt qu'à ses causes. Ce n'est pourtant pas forcément le cas ! Eh oui, les GES fonctionnant sous forme de cycle, leur captation puis leur stockage constitue déjà un élément naturel de régulation.

Prenons les forêts : les arbres absorbent le CO₂ pour le stocker sous forme de biomasse et émettent de l'oxygène au passage. En d'autres termes, ne pas dégrader les puits de carbone, voire s'assurer de leur développement, constitue une solution de captation des GES qui s'attaque bien aux causes.

La captation des GES apparaît comme un élément indispensable à une stratégie d'atténuation ambitieuse, visant un réchauffement planétaire limité à 1,5°C comme le démontrent les derniers scénarios du GIEC.

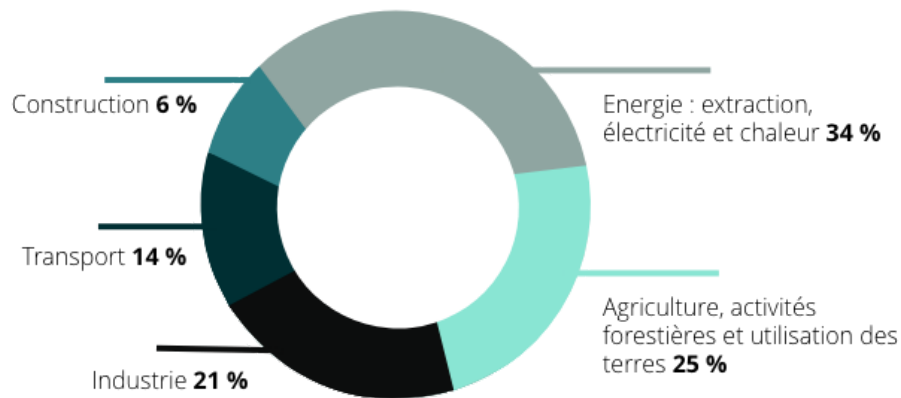
Enfin, la captation peut également jouer un rôle de "neutralisation" des émissions anthropiques déjà émises. Il se développe aujourd'hui des solutions pour capter le CO₂ existant dans l'atmosphère, par exemple. Si ces solutions représentent un levier pour une transition rapide, elles ne devront en aucun cas être considérées comme un axe suffisant et souhaitable pour lutter contre le réchauffement climatique.

III. Notre périmètre sectoriel : agir sur 5 secteurs prioritaires

Chez Time for the Planet, nous souhaitons agir de manière efficace pour réduire les émissions de GES. Pour cela, il faut connaître les sources d'émissions de GES anthropiques les plus importantes.

Les rapports du GIEC nous donnent pour l'année 2010 la répartition entre les différents secteurs de notre économie.

Répartition mondiale des émissions de GES en 2020 selon les secteurs économiques



Extrait du rapport n°5 du GIEC pour les émissions de 2010.

Attention, il s'agit d'une analyse au niveau global de la planète, mais la situation de chaque pays est très différente. Elle dépend de :

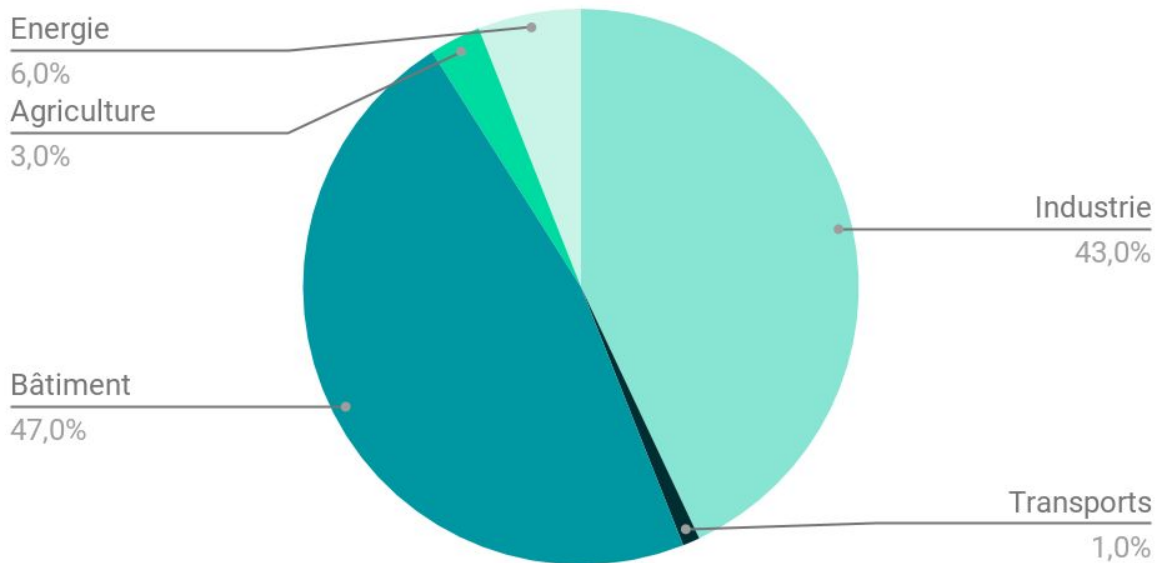
- Sa situation géographique (pays froid ou chaud, montagneux, en littoral ?)
- Sa démographie (combien y a-t-il de foyers à nourrir, à chauffer... ?)
- Ses ressources naturelles disponibles (fleuve, pétrole, biomasse...)
- Son PIB / habitant (un habitant d'un pays « riche » consomme davantage)
- Son « mix énergétique », c'est-à-dire la répartition entre les différentes sources d'énergie dont un pays dispose (part des énergies fossiles ? du nucléaire ? du renouvelable ?)
- Sa politique nationale et notamment de transition énergétique (ouvre-t-il des usines à charbon ? incite-t-il à l'isolation des bâtiments ?...)

A. L'énergie, le cœur du réacteur

L'analyse des émissions de GES est sans appel : le secteur de l'énergie représente un enjeu majeur.

En tenant compte des émissions relatives à l'extraction et à la transformation, le secteur de la production d'énergie représente plus du tiers des émissions mondiales des GES, soit environ 34% en 2010 selon le GIEC.

Répartition des émissions indirectes de GES du secteur de l'énergie, par secteurs économiques d'utilisation finale



Que ce soit pour la production d'électricité ou de chaleur, les émissions de GES du secteur sont directement liées à l'utilisation massive des énergies fossiles (plus de 80%).

Au-delà des débats sur le niveau des stocks des ressources fossiles (pétrole, gaz et charbon), il est donc primordial de faire évoluer le mix énergétique mondial vers d'autres sources d'énergies bas carbone.

B. L'industrie, le glouton de l'énergie

Le secteur de l'industrie est le second plus gros secteur émetteur de GES :

- D'une part, il est celui qui demande le plus de ressources en énergie, et à ce titre, il est un des secteurs majeurs d'émissions de GES dans le monde (44 % de l'énergie).
- D'autre part, son activité en tant que telle - les procédés industriels eux-mêmes - émet également 21% des GES mondiaux. Par exemple, lors de la production de ciment, la réduction du calcaire (CaCO_3) en chaux (CaO) engendre forcément un dégagement de CO_2 . En d'autres termes, il est chimiquement impossible de ne pas émettre de CO_2 lorsqu'on produit du ciment...

Au cumul, il est donc responsable d'un tiers (32 %) des émissions de GES mondiales.

Les trois industries les plus émettrices sont la sidérurgie, la chimie lourde et la production de ciment.

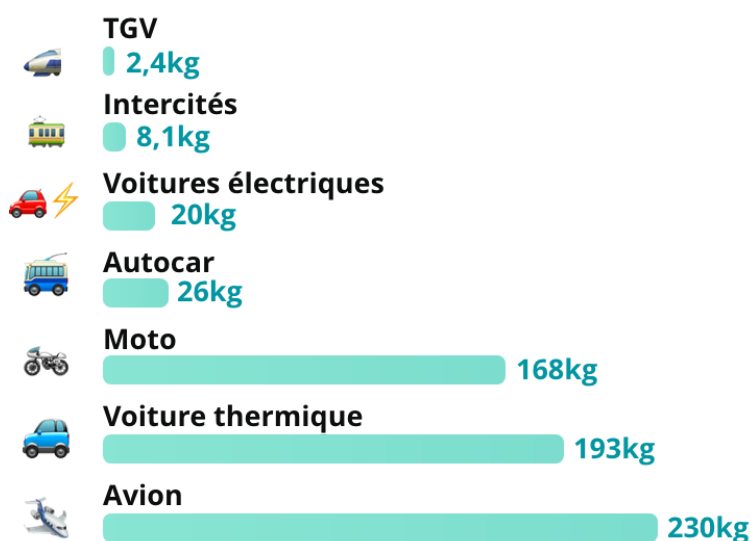
C. Transports, le roi du pétrole

À l'échelle mondiale, les transports représentent près de 15% des émissions de GES (très majoritairement du CO₂). Attention toutefois, la production des moyens de transport (construction des voitures, des avions...) est, elle, comprise dans le secteur « Industrie ». Les 15% des GES évoqués correspondent aux GES émis lors des déplacements, par la consommation de carburants.

Le principal émetteur du secteur est de loin le transport routier, avec 10,5% des émissions mondiales. Le transport routier intègre les véhicules légers et lourds, c'est-à-dire motos, voitures et camions. La part mondiale d'émissions du transport aérien est de l'ordre de 2%.

S'il est vrai que, à titre individuel, votre empreinte carbone est beaucoup plus forte si vous voyagez en avion plutôt qu'en voiture, l'impact de la catégorie routière est significativement plus important que celui de l'aviation étant donné le nombre de déplacements routiers à l'échelle planétaire.

Impact pour 1 000 km en France



**Equivalent CO₂ par personne
phase d'usage uniquement**



Pour un français

source :

<https://ecolab.ademe.fr/blog/transport/impact-carbone-mobilite-eco-deplacement.md>

D. L'agriculture, la championne multi-catégories

L'agriculture et l'utilisation des terres sont responsables de 24% des GES, selon le GIEC.

Ce secteur est à l'origine de l'essentiel des émissions mondiales des gaz « hors CO₂ » : 2/3 du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) proviennent ainsi des activités agricoles, respectivement dus à l'élevage bovin et à l'utilisation des engrais.

L'élevage, par exemple, correspond à des émissions supérieures au secteur du transport ! L'élevage regroupe les émissions liées à la fermentation entérique des animaux d'élevage (qui ruminent et rejettent du méthane) et à l'alimentation animale.

Concernant les cultures, les émissions proviennent principalement de la fertilisation azotée minérale et organique (engrais minéraux, boues, composts, déjections animales), de l'apport d'amendements basiques (calcaire, dolomie), ainsi que de la riziculture. Ce n'est pas le riz en soi qui est émetteur de GES, mais la décomposition de la matière organique dans les champs de riz inondés qui produit du méthane, et s'échappe dans l'atmosphère principalement par des bulles d'air et à travers les plants de riz.

Ce secteur agricole contribue quand même aux émissions de CO₂, car il intègre le domaine de la foresterie et autre utilisation des terres (ou « AFAT »). Il prend donc en compte les flux de carbone dus à l'évolution des puits de carbone (gestion forestière, sols agricoles, boisement, artificialisation, retournement de prairie...).

Enfin, la déforestation, principalement provoquée par l'expansion de l'agriculture, la conversion des terres en pâturages, l'exploitation forestière destructive ainsi que les incendies de forêt, représentent 11% des émissions mondiales de GES.

E. Les bâtiments, une brique indispensable

Le secteur du bâtiment représente un peu plus de 6% des émissions mondiales de GES. Il comprend les bâtiments résidentiels et professionnels (« tertiaires »).

On intègre dans ce secteur les émissions de GES liées à la vie du bâtiment. On n'intègre pas les émissions liées à sa construction (la fabrication de matériaux, le ciment notamment, est comptabilisée dans les chiffres de l'industrie). Compte tenu de la nature des émissions, les chiffres du secteur bâtiment sont très hétérogènes dans le monde, car les besoins sont très différents en fonction des conditions climatiques.

Les émissions de GES sont donc essentiellement liées au chauffage et à la climatisation. On comprend donc bien pourquoi la performance énergétique joue un rôle prépondérant : un bâtiment bien isolé a moins besoin d'être chauffé ou climatisé.

Le chauffage et la climatisation utilisent des combustibles fossiles et des gaz hydrofluorocarbures (HFC). Ces derniers sont des gaz principalement utilisés comme réfrigérants dans les climatiseurs et les réfrigérateurs, ou encore comme agents de propulsion dans les aérosols. Ils sont constitués d'atomes de carbone, de fluor et d'hydrogène. Ceux sont de puissants GES, avec une capacité de réchauffement¹⁴ jusqu'à 14 800 fois supérieure à celle du CO₂ !

Il existe un énorme potentiel pour réduire le niveau actuel des émissions de GES, mais l'action est trop lente selon les défenseurs de l'environnement. Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, l'Alliance mondiale pour le bâtiment et la construction, hébergée par le PNUE, vise une amélioration de la consommation d'énergie de 30% dans le secteur du bâtiment et de la construction.

Après s'être stabilisées grâce au développement de nouvelles techniques, de nouveaux outils, de nouveaux produits et de nouvelles technologies (pompes à chaleur, meilleures

¹⁴ PRG100 entre 437 et 14800.

fenêtres, isolation renforcée, appareils écoénergétiques et conception plus intelligente) les émissions du secteur sont reparties à la hausse avec l'augmentation en nombre des systèmes de climatisation et d'évènements climatiques intenses (canicules...).

F. Le numérique : le nouveau secteur qui monte, qui monte

Après avoir détaillé les 5 secteurs majeurs en termes d'émissions de GES anthropiques, on a souhaité rajouter un secteur « bonus » : le numérique. Pourquoi bonus ?

Car malheureusement aujourd'hui, il n'a jamais été étudié de manière isolée par des études d'ampleur mondiale. Il n'existe donc aucun chiffre, même à l'échelle d'un pays. Seul un rapport du Shift Project a essayé de quantifier l'impact de ce secteur, mais les chiffres sont à prendre avec des pincettes, étant donné qu'ils n'ont pas fait l'objet d'une validation scientifique internationale.

En revanche, ce qui est certain, c'est que le numérique génère des GES et que ce secteur ne cesse de grandir. Selon les premiers chiffres, son empreinte énergétique augmenterait de 9% par an. Elle inclut :

- L'énergie de fabrication des terminaux (serveurs, réseaux, terminaux), aujourd'hui pris en compte dans le secteur Industrie et Energie.
- La multiplication des périphériques numériques (smartphones, objets connectés...) qui sont très fréquemment renouvelés, aujourd'hui pris en compte dans le secteur Industrie.
- L'explosion du trafic de données et des usages vidéos (Netflix, Youtube, ou dernièrement Zoom et Skype pendant le Covid-19) qui demandent énormément de bande passante, aujourd'hui pris en compte dans le secteur Industrie.

Selon un rapport du Sénat, en 2019, le numérique a produit 3,7% des gaz à effet de serre dans le monde, et 2% du total des émissions françaises, soit 15 millions de tonnes de CO₂. Un chiffre qui pourrait grimper à 6,7% du total national en 2040, bien au-dessus de l'aviation (4,7%). Si c'était un pays, le secteur du numérique serait le cinquième plus gros émetteur mondial de CO₂.

Part numérique des émissions de GES

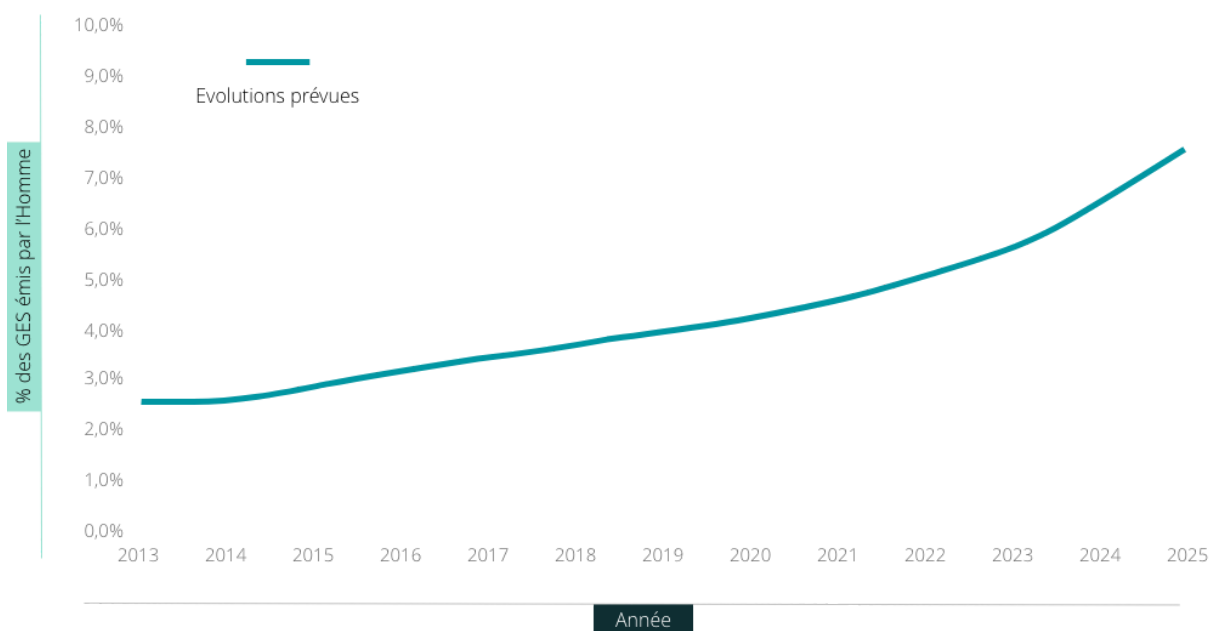


Figure 3 : évolution 2013-2025 de la part du Numérique dans les émissions de GES
[Source : [Lean ICT Materials] Forcast Model. Repris par Time For The Planet à partir du document produit par The Shift Project à partir des données publiées par Andrae & Elder en 2015

Au-delà de son impact en GES, il faut surveiller ce secteur de près, car :

- Il capte une part de plus en plus « démesurée » de l'électricité disponible, ce qui accroît la tension sur les sources de production d'électricité décarbonée.
- Il génère une demande croissante en métaux « critiques » (disponibles de manière limitée), dont beaucoup se trouvent être également indispensables aux technologies bas-carbone.

C'est donc un secteur « bonus » qui intéresse évidemment Time for the Planet et qui entre dans son périmètre d'action. Tant qu'il n'a pas été documenté et chiffré par le GIEC, nous conserverons le fait qu'il soit réparti entre Industrie et Énergie, c'est à dire au sein de nos 5 secteurs identifiés comme prioritaires.

IV. Les 20 problèmes que Time for the Planet adresse : notre matrice d'action et nos partis pris

Maintenant que nous avons détaillé nos 4 leviers d'action d'atténuation, et nos 5 secteurs prioritaires, nous pouvons construire une matrice pour déterminer clairement le périmètre d'intervention de Time for the Planet.

Nous allons identifier, sélectionner puis financer des solutions qui entrent dans les cases de cette matrice. Voici donc les 20 problèmes que nous souhaitons aborder :

	Zéro émission	Efficacité énergétique	Sobriété	Captation
Energie	Produire et stocker les énergies renouvelables sans métaux critiques/rares	Améliorer le taux de retour énergétique des solutions renouvelables	Décentraliser la production d'énergie et rendre le réseau intelligent	Capter les GES émis par les centrales
Industrie	Fabriquer des matériaux sans sources fossiles	Récupérer et utiliser la chaleur fatale	Augmenter la durée de vie des biens et recycler	Capter les GES émis par les usines
Transport	Se déplacer sans utiliser de combustibles fossiles	Améliorer les performances énergétiques des véhicules	Optimiser les déplacements des biens et des personnes	Capter les GES émis par les véhicules
Agriculture	Cultiver sans engrais azotés	Restructurer les terres agricoles	Développer les alternatives à la consommation de viande et réduire le gaspillage	Sécuriser et développer les puits de carbone naturels
Bâtiment	Construire avec des matériaux bas carbone	Chauffer et climatiser sans HFC ni combustibles fossiles	Rénover maisons et bâtiments	Séquestrer le carbone

Pour avoir des détails supplémentaires ou pour savoir si votre innovation entre bien dans cette matrice, n'hésitez pas à contacter directement denis@time-planet.com.

Vous pouvez également directement proposer une innovation via notre [site internet](#).

Vous noterez que nous avons quelques partis pris spécifiques. En voici le détail :

1. Pour décarboniser l'énergie, nous voulons miser sur l'énergie renouvelable et les flux infinis.
2. Pour déployer à large échelle une énergie 100% décarbonisée, l'une des clés est le stockage de l'énergie, qui est donc l'un de nos axes majeurs.
3. Pour éviter de retrouver les problèmes liés aux énergies fossiles (stock limité, sécurité...) dans les systèmes de stockage, nous souhaitons développer des solutions de stockage de l'énergie sans métaux « critiques » ou terres rares. Dans la même logique, nous souhaitons des innovations avec une durée de vie la plus longue possible.
4. Les énergies renouvelables sont déjà bien maîtrisées, néanmoins, il est souhaitable d'améliorer leur rendement énergétique. Aujourd'hui, ce rendement atteint un plafond, ce qui limite leur adoption et crée donc des contraintes de superficie disponibles importantes.

Nous travaillons encore à définir nos partis pris et d'autres éléments seront bientôt mis en ligne.

V. L'effet rebond, un problème (mais pas directement le nôtre)

Une question qui est souvent posée lorsqu'on parle de Time for the Planet est le risque d'engendrer un « effet rebond ». De quoi parle-t-on, au juste ?

L'effet rebond ou « paradoxe de Jevons » constitue une limite contre-intuitive à l'efficacité d'une innovation. Il a en effet déjà été observé qu'une amélioration (de rendement, d'efficacité, d'économie d'énergie...) ne soit pas synonyme de diminution proportionnelle de la consommation de ressources à l'échelle globale, voire qu'elle se traduise par une augmentation !

Prenons un exemple : à un instant t , un constructeur est capable de construire un moteur de voiture qui va à 90 km/h, qui occupe 1 mètre cube sous le capot et consomme 2 litres d'essence par heure. Grâce à une innovation, ce même moteur peut occuper dorénavant la moitié de la place initiale et consommer 1L par heure pour atteindre la même vitesse. C'est une belle amélioration en termes d'efficacité. Mais immédiatement, le constructeur se demande quoi faire de la place libérée sous le capot et décide de doubler la puissance du moteur. Le nouveau moteur occupe à nouveau 1 mètre cube, mais peut cette fois monter à 130 km/heure. Un vrai atout pour vendre davantage pour le constructeur ! Seul problème : ce nouveau moteur consomme dorénavant 4 litres par heure. L'innovation de départ a entraîné un effet rebond défavorable en termes de consommation d'énergie. À l'inverse, si le constructeur s'était contenté de mettre en place l'innovation initiale, la consommation d'énergie aurait bien été divisée par deux et la voiture aurait pu être moins lourde.

L'effet rebond ne vient donc pas directement de l'innovation en tant que telle, mais de l'opportunité de « faire toujours plus ». D'où l'importance d'allier les innovations avec le levier de la sobriété. Baisser les émissions de GES d'une usine ne doit pas être vu comme l'opportunité d'en créer une seconde qui maintiendra le niveau de GES constant, mais bien de baisser le nombre d'émissions de GES total.

Un autre risque, plus "psychologique", lié à l'effet rebond, est souvent pointé du doigt pour les acteurs comme Time for the Planet.

Selon certains, l'existence même d'initiatives comme Time for the Planet, basées sur l'innovation, pourraient inciter les citoyens à croire que le dérèglement climatique est en passe d'être solutionné dans les prochaines années. Et donc leur permettre de se désintéresser du sujet du climat et de ne pas modifier leurs comportements... alors que nous ne cessons de marteler que le rôle de Time for the Planet sera de contribuer à la lutte, mais sera bien loin de suffire ! Cette lutte exigera la mobilisation de tous et toutes et cela sur des décennies.

Nous sommes donc très conscients des risques liés à l'effet rebond. Pour autant, faut-il renoncer à innover et à améliorer les rendements ? Bien sûr que non !

Pourquoi ? Pour au moins 4 raisons :

. D'abord, parce que certaines innovations entraînent une telle diminution des émissions de GES que l'effet rebond a peu de chance de rattrapper l'économie d'émissions de GES réalisée. Par exemple, l'introduction des TIC (technologies de l'information) a entraîné une augmentation des GES émis, lié aux infrastructures (data centers, lignes, devices...) nécessaires pour faire fonctionner le "monde virtuel". Néanmoins, plusieurs rapports, dont celui du WWF en 2008, montrent que le bilan carbone des TIC est positif : leurs émissions de GES est bien inférieur aux économies d'émissions réalisées grâce à ces technologies. Les principaux leviers cités par l'académie des technologies sont :

- l'informatique embarquée dans les véhicules et l'optimisation du transport (1,5Gt)
- l'e-commerce, l'industrie et l'administration dématérialisée (0,9Gt)
- l'utilisation des TIC dans le secteur de l'énergie et sans l'industrie (0,8Gt)
- l'utilisation des TIC dans les logements existants pour optimiser la consommation (0,5Gt)
- l'utilisation des TIC dans les nouveaux bâtiments (0,4 Gt).

. La deuxième raison ? Certaines technologies déjà existantes ont aujourd'hui un mauvais bilan carbone, mais cela pourrait évoluer dans un futur proche. Notamment, si nous parvenons à produire et à stocker l'électricité et ce, sans avoir besoin d'extraire des matières premières rares.

Prenez la voiture électrique. Aujourd'hui, si elle a un mauvais bilan carbone, c'est essentiellement lié à l'origine de la production de l'électricité. Ainsi, en Allemagne, qui fait encore la part belle au charbon, le bilan carbone de la voiture électrique est largement moins bon qu'en France, où l'on s'appuie majoritairement sur l'énergie nucléaire, bas carbone. Il est absurde de décrier la voiture électrique dans l'absolu. Nous devons plutôt prendre le pari de transformer la majorité du parc de machines (automobiles, industrielles, aériennes) en machines fonctionnant à l'électricité, pour que l'impact de la recherche sur l'énergie renouvelable soit immédiat et massif. On doit se tenir prêts. Si la solution est trouvée sur le plan de la production et du stockage de l'énergie renouvelable, il serait dommage que le parc de machines fonctionne toujours au pétrole et au gaz... Toute la transition doit se faire en même temps.

. La troisième raison est que notre société est en plein changement. Les fonds d'investissement, les États, les entreprises mettent de plus en plus d'argent sur la table chaque jour pour s'attaquer au problème des émissions de GES. Nous sommes encore dans une période schizophrène, où l'ancien et le nouveau monde se côtoient. Il existe toujours des investissements dans le pétrole, mais il y a aussi des motifs d'espoir, comme les engagements des banques ou des Etats de ne plus utiliser de charbon à un horizon plus ou moins court.

. Enfin, dernière raison. L'effet rebond porte parfois sur le report de l'utilisation de l'argent économisé par une économie d'énergie sur la consommation additionnelle dans un autre secteur. Par exemple, si un particulier économise en énergie après avoir effectué une rénovation thermique de sa demeure, ou fait l'acquisition d'un panneau solaire, les liquidités dégagées peuvent lui permettre d'effectuer de nouveaux achats (vêtements, voyages, etc...). Ce raisonnement est exact, mais là encore, si l'on raisonne à l'échelle globale, le fait

de réduire considérablement l'impact carbone de l'ensemble des champs de l'économie va aussi réduire l'impact de l'effet rebond dans chaque secteur. Si par exemple on considère que pour 100 euros économisés sur l'énergie, un Français va acheter 30 euros de vêtements en plus, le fait que les vêtements en question aient été fabriqués avec une énergie électrique, issue de panneaux solaires, transportés par des camions à hydrogène, et tissés par des machines électriques, rend l'impact carbone de l'effet rebond bien plus faible que dans un monde fonctionnant, comme actuellement, avec 80% d'énergies fossiles.

Ainsi, même si nous sommes conscients des risques de l'effet rebond, nous souhaitons réaffirmer notre conviction qu'il nous faut continuer à innover.

Et pourrons-nous contrôler l'ensemble des effets rebonds ? Malheureusement non. D'abord, ils sont très difficilement quantifiables. Ensuite, nous n'avons pas la main dessus, puisqu'ils sont le résultat de nombreuses variables économiques, fiscales ou encore politiques. Aux décideurs de réguler et d'encourager la sobriété.

À notre échelle, nous pouvons simplement limiter l'augmentation des ressources nécessaires à nos innovations :

- Pas d'obsolescence programmée, évidemment : on cherche des solutions durables, recyclables...
- Analyser les ressources amonts nécessaires à la production de nos solutions (énergie carbone ? métaux critiques ? terres rares ?)

Mais vous avez des copains inventeurs autour de vous ?

PARTIE 4 :

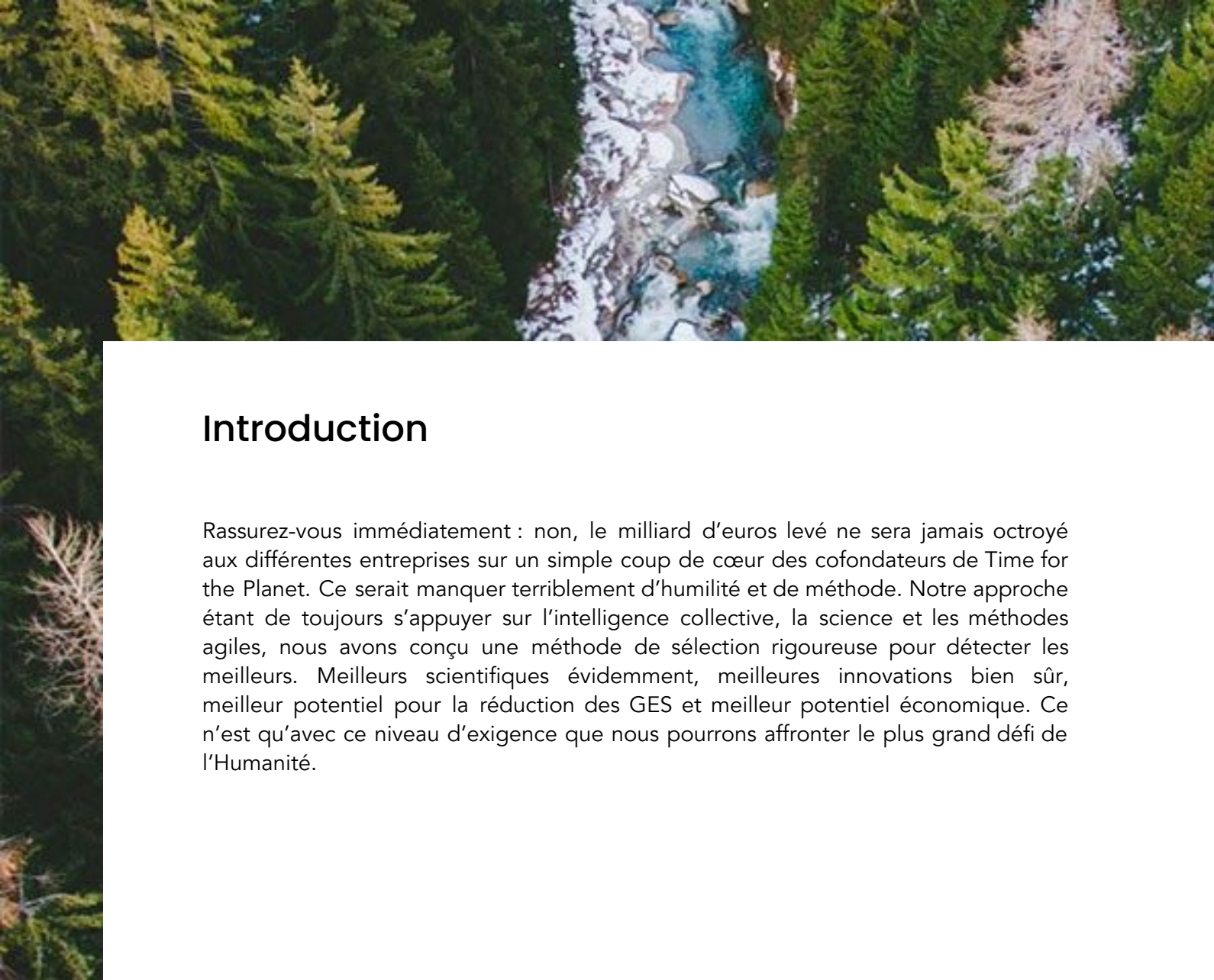


Où l'on détaille notre méthode de détection et de sélection des innovations

Pas la peine de m'expliquer
votre innovation,
comme vous êtes le frère
de la belle mère
de ma voisine...
je suis sûr que ça va être top !



etpourquoipascaline



Introduction

Rassurez-vous immédiatement : non, le milliard d'euros levé ne sera jamais octroyé aux différentes entreprises sur un simple coup de cœur des cofondateurs de Time for the Planet. Ce serait manquer terriblement d'humilité et de méthode. Notre approche étant de toujours s'appuyer sur l'intelligence collective, la science et les méthodes agiles, nous avons conçu une méthode de sélection rigoureuse pour détecter les meilleurs. Meilleurs scientifiques évidemment, meilleures innovations bien sûr, meilleur potentiel pour la réduction des GES et meilleur potentiel économique. Ce n'est qu'avec ce niveau d'exigence que nous pourrons affronter le plus grand défi de l'Humanité.

I. Où trouver ces fameuses innovations ?

Commençons par le commencement. Avant de sélectionner et de financer les innovations, il faut déjà en « sourcer » un maximum, afin que les meilleures puissent devenir candidates à notre financement.

Il existe à tout instant des milliers d'innovations dans le monde entier, capables de changer notre futur. Eplucher les revues scientifiques ou les blogs d'innovations ne suffira pas à toutes les détecter. Nous devons donc être au plus près des inventeurs et des scientifiques.

Pour cela, nous nous rapprochons des réseaux de scientifiques, des laboratoires, des chercheurs etc. Nous suivons également toute l'actualité scientifique internationale (colloques, conférences, publications...).

Mais le plus efficace, c'est tout simplement d'avoir du lien humain. Connaissez-vous la théorie des 6 degrés de séparation ? Nous sommes tous à 6 relations de distance de n'importe quelle autre personne dans le monde.

Notre communauté d'associés et leurs réseaux sont nos plus grandes forces pour identifier les solutions à nos 20 problématiques. Cet aspect participatif est essentiel dans notre processus de détection, d'où l'importance d'avoir des associés en grand nombre et de devenir un mouvement citoyen international d'une ampleur inédite.

Concrètement, comment cela se passe-t-il ? Tout le monde peut [proposer une innovation directement sur notre site](#) en quelques minutes. Nous prenons alors contact avec l'inventeur pour plus de détails sur sa solution : son stade d'avancement, le modèle économique envisagé... bref toutes les informations nécessaires pour obtenir une "fiche innovation" complète. Cette fiche est importante, car elle sert de support à la présélection.

Nous avons donc une stratégie de détection participative, qui deviendra de plus en plus puissante au fur et à mesure que le mouvement Time for the Planet grossira.

II. Quels types d'innovations cherchons-nous ?

Deux visions du monde s'opposent souvent dans le débat sur les innovations du futur : *high tech* versus *low tech*.

D'un côté, il y a les tenants d'une approche toujours plus technologique : la science pourrait à elle seule permettre une poursuite de la civilisation humaine avec le modèle de développement actuel. Plus de science, toujours plus de science : transhumanisme, objets tous connectés entre eux...

À l'opposé, il y a celles et ceux qui défendent une dé-technologisation consistant à utiliser des techniques n'impliquant pas ou très peu de consommation d'énergie (le *low tech*), et dont le coût de développement est très faible, car elles sont basées uniquement sur des techniques déjà maîtrisées.

Time for the Planet n'est pas dogmatique et mise sur un mélange de *high tech* et de *low tech* en fonction des enjeux. Voire de 0 tech si l'occasion se présente !

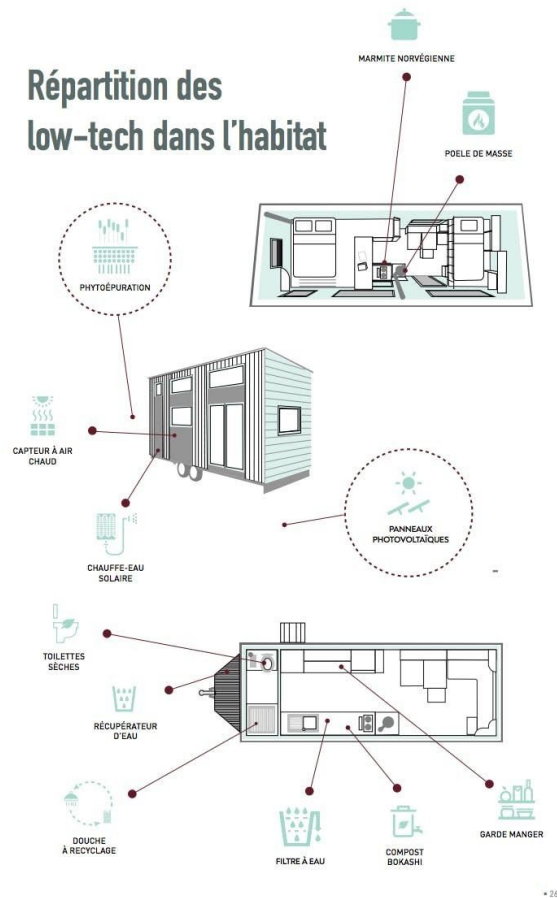
Nous pouvons tout à fait concevoir la coexistence de milliers de vélos dans les rues de Paris avec des taxis autonomes électriques, conçus en bambous et avec des batteries organiques. Rien ne s'y oppose économiquement ou intellectuellement. La technologie n'est pas responsable des dégâts environnementaux, elle n'est que le résultat de choix qui ont été opérés dans un monde où les limites écologiques n'étaient pas conscientisées.

Les 20 problématiques identifiées par Time for the Planet peuvent être adressées indifféremment par des innovations nécessitant de la *high tech*, du *low tech*, voire par de simples innovations de *business models*.

Prenons 3 exemples :

→ Low tech : Populariser des maisons à très bas coût et qui fonctionnent à base de *low tech* :

Répartition des low-tech dans l'habitat



Source : Low tech lab

→ High tech : Enregistrer les informations sur de l'ADN de synthèse, pour stocker l'ensemble des données du monde avec très peu d'utilisation d'énergie.

→ Innovation de concept/business model : Site internet permettant de donner une seconde vie aux objets électroniques (reconditionné, occasion, etc...). Exemple de Back Market :


Tous les produits ▼

Revendez votre appareil sans quitter votre canapé 🏠 (ou presque)

**Votre ancien Galaxy S4
vaut son pesant d'or**

Vendez vos produits électroniques
⌚ en 2 minutes chrono !

Vendre



Back market

III. Quels sont les critères d’appréciation lors de la sélection de ces innovations ?

Le premier critère d’appréciation est évident : est-ce que l’innovation étudiée appartient bien au champ d’action de Time for the Planet. Pour cela, il suffit de se référer à la matrice présentée en partie 3.IV de ce Dossier Scientifique.

Ensuite, 3 autres critères sont pris en compte :

- **L’impact et le marché potentiel** : la solution proposée doit adresser un marché suffisamment important et être suffisamment efficace pour avoir un impact significatif et mesurable sur les émissions ou la captation de GES au niveau de la planète.
- **La maturité technique et le degré d’innovation** : nous sélectionnerons des solutions à faible R&D et matures, si leur impact est visible à court terme. Les solutions à fortes R&D seront choisies uniquement si l’impact est visible mondialement à moyen ou long-terme.
- **La facilité de déploiement de la solution en open source** : toutes les entreprises ne sont pas faites pour se déployer en open source, cela dépend beaucoup du business model envisagé, ainsi que du niveau de sur-mesure nécessaire pour un déploiement mondial et rapide.

IV. Les étapes de sélection des innovations

Maintenant que le cadre d'analyse est clair, encore faut-il réaliser une évaluation aussi objective que possible. Voici les différentes étapes qui répondent à cet enjeu.

A. Présélection par l'intelligence collective

Afin d'établir une première notation des innovations détectées, nous rassemblons un vivier d'évaluateurs, répartis dans le monde entier. Composé d'experts scientifiques, de professionnels des secteurs en question ou encore d'utilisateurs potentiels, la diversité de ce panel d'évaluateurs offre la garantie d'une notation pertinente. Cette présélection collective limite les biais individuels au maximum (pays, expertise, entourage, sexe...).

Ce vivier note chacun des trois critères présentés ci-dessus. Ainsi, toutes les solutions sont d'abord étudiées sur la base d'un référentiel commun pour qu'elles aient toutes leurs chances.

Présélection faite, nous pouvons décortiquer plus en détail chaque innovation ! Il faut alors valider la pertinence technique, le potentiel commercial et l'adéquation au modèle de Time for the Planet pour chaque solution, avant d'envisager la création d'une entreprise filiale pour porter le projet. C'est crucial. Pour cela, nous ne mettons donc en place pas une, ni deux, mais trois étapes de validation !

B. Validation par le comité scientifique

La première validation est avant tout scientifique et technique. En effet, rien ne sert d'estimer le potentiel de marché ou de s'interroger sur l'éthique d'une solution qui ne fonctionne pas.

Le rôle du comité scientifique est d'émettre un avis concernant la pertinence scientifique et la faisabilité technique. Cet avis est suivi d'un vote qui permet à la solution de passer à l'étape suivante de validation. En cas de vote négatif de la part du comité, Time for the Planet ne financera pas la solution.

Qui est en charge de cette validation ? Il s'agit d'un comité scientifique composé :

- D'un Président permanent, garant de la méthode et de l'approche Time for the Planet
- De 3 à 12 membres, experts scientifiques.

Les membres sont nommés pour 3 ans et le renouvellement du comité s'effectuera par tiers.

Les experts ne sont pas rémunérés pour cette activité. Par ailleurs, ils ne doivent pas se retrouver en situation de conflit d'intérêt, notamment par rapport à l'ensemble de leurs activités professionnelles ou associatives. En cas de conflit d'intérêt potentiel, le membre pourra assister aux réunions mais en aucun cas participer aux votes concernés.

Ce comité scientifique se réunit autant de fois que nécessaire, mais au minimum une fois par trimestre. Lors de ces comités, les innovateurs sont également conviés pour échanger directement avec les scientifiques et défendre leur solution.

Les décisions au sein du conseil de surveillance sont prises à la majorité, selon la règle 1 membre = 1 voix. En cas d'égalité, le Président a une voix prépondérante.

C. Validation du potentiel marché

Une solution scientifique et technique ne correspond pas forcément à une attente du marché.

Il faut donc entamer une démarche d'analyse de *product / market fit* c'est-à-dire, de réfléchir à l'avantage concurrentiel de la solution qui va faire qu'il corresponde à une demande du marché. Cet avantage peut par exemple être d'offrir le prix plus bas, une meilleure qualité, une plus grande durabilité...

Time for the Planet, le comité scientifique, et l'innovateur mènent cette réflexion conjointement avant de passer à une phase de « tests à haute fréquence » pour valider le potentiel marché de manière empirique.

Pour cette étape de tests à haute fréquence, c'est Time for the Planet qui reprend la main. En l'espace de 3 semaines, avec une équipe dédiée de « *growth hackers* », et un budget de plusieurs milliers d'euros, nous allons chercher à déterminer l'appétence du marché et la pertinence du modèle économique envisagé.

Ces tests sont effectués dans des conditions réelles : prises de rendez-vous avec des prospects comme si la solution était déjà disponible, création de *landing pages* présentant la solution, publicité sur les réseaux sociaux, *retargeting*...

À l'issue de cette phase, une analyse des KPI obtenus par ces tests permet à Time for the Planet de décider de continuer ou non vers l'étape suivante.

Quelle que soit la décision de Time, l'ensemble des résultats de ces tests et leur analyse seront fournis à l'innovateur, afin qu'il puisse éventuellement perfectionner son discours commercial ou son positionnement.

D. Validation éthique

Une fois l'innovation validée scientifiquement et économiquement, reste l'ultime étape : une présentation à l'ensemble des associés de Time for the Planet.

Après une vérification par les cofondateurs de l'adéquation entre les valeurs de l'innovateur et celles de Time for the Planet, nous nous assurons également de l'absence de conflit d'intérêt. Ainsi, nous garantissons aux associés une première validation éthique.

Ensuite, nous préparons un dossier d'investissement. Il présente la solution, les différentes analyses (technique, marché, équipe...) et le détail de l'investissement proposé dans la filiale (date, taille du ticket...). Ce dossier est dans un premier temps soumis au Conseil de Surveillance de Time for the Planet afin qu'il émette un avis. Le dossier et l'avis sont ensuite envoyés à l'ensemble des associés.

Pour finir, une Assemblée Générale est convoquée avec l'ensemble des associés de Time for the Planet. Une résolution d'investissement dans la filiale est présentée et mise au vote au cours de l'Assemblée Générale.

→ Si elle est acceptée, la filiale qui va développer la solution peut être créée.

→ A l'inverse, si elle est rejetée, le dossier peut être retravaillé en prenant en compte les critiques, pour être amélioré avant d'être présenté à nouveau devant l'Assemblée Générale. Il peut également être complètement abandonné si le rejet a été important.



Conclusion et contacts

Vous l'avez compris : it's Time for the Planet ! Nous jouons contre la montre, mais tous ensemble, afin de construire un futur plus enviable que celui qu'on nous prédit.

Et c'est un jeu qui ne se jouera qu'en une seule manche. Nous n'aurons pas de seconde chance. Alors, faisons un grand match ! Rassemblons 1 milliard d'euros pour créer 100 entreprises qui luttent contre le dérèglement climatique.

Si après la lecture de ce dossier scientifique, vous avez envie d'agir et de ne plus rester sur le banc des spectateurs, rejoignez-nous :

- Devenez associé.e de Time for the Planet à partir d'un euro directement sur notre site : www.time-planet.com,
- Parlez à vos amis scientifiques et entrepreneurs de notre modèle inédit, et encouragez-les à nous contacter,
- Si vous avez envie de vous engager bénévolement à nos côtés, écrivez-vous,
- Communiquez sur vos réseaux sociaux pour nous aider à toucher vos communautés.

Nous sommes déjà des milliers. Soyons des millions.

It's Time for the Planet.

Contacts :

. Sur le dossier scientifique et sa pédagogie : coline@time-planet.com

. Sur les innovations et le périmètre d'action : denis@time-planet.com

. Sur les différentes manières d'aider Time for the Planet : nicolas@time-planet.com

Bibliographie

GIEC (2018). Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C. *Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté* [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield]. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.
<https://drive.google.com/file/d/1koKCKaS6HuUwl-XHcpaRoWpy63-8Mmum/view?usp=sharing>

GIEC (2014). Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. *Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
<https://drive.google.com/file/d/1nABkAr9R00O97loX2TyUstXd1yW89Nxe/view?usp=sharing>

GIEC (2013). Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. *Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique. 204 pages.
https://drive.google.com/file/d/1prvFx3p2HYkefZnmKilPSarr_ExmyCYg/view?usp=sharing

GIEC (2014). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Résumés, foire aux questions et encarts thématiques. *Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Publié sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 201 pages
<https://drive.google.com/file/d/1Ex2FBFDjD--vI6qEsp42RiD4ipY0gvZ8/view?usp=sharing>

GIEC (2014). Changements climatiques 2014, L'atténuation du changement climatique. *Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique. 158 pages.

https://drive.google.com/file/d/1P_rgyX4j8uXv3Rf9_2cGFaAXXibw3jxS/view?usp=sharing

GIEC (2012). Résumé à l'intention des décideurs. *Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique* [sous la direction de Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor et P.M. Midgley]. Rapport spécial des Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, 20 pages.

https://drive.google.com/file/d/1zgM0h6t8NEHW4sg_xyjrc_1IZPjg2Qxs/view?usp=sharing

GIEC (2019). Résumé à l'intention des décideurs, L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique. *Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique* [sous la direction de H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N. M. Weyer]. 33 pages.

https://drive.google.com/file/d/14_WxNUBDqKnHkOfIz18e--Eme7XzxeL1/view?usp=sharing

GIEC (2019). Résumé à l'intention des décideurs, Changement climatique et terres émergées. *Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres*. [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (dir. publ.)]. 36 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1nCT1eLYa7HVwNeCv68kliT2ytwKUmKoJ/view?usp=sharing>

PNUE (2019). *Frontières 2018/19, Questions émergentes d'ordre environnemental*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi. 78 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1cYItY7GcOc-OSHw06IncWWHfoY8KQyJQ/view?usp=sharing>

OMM (2018) Changement climatique : des solutions par la science. *Le journal de l'Organisation météorologique mondiale - volume 67 (2)*. 75 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1zSOrlzZWWIyaecOYr-UIKgQhZh-inKyX/view?usp=sharing>

OMM (2019). The global climate 2015-2019. [Peter Siegmund, Jacob Abermann, Omar Baddour, Pep Canadell, Anny Cazenave, Chris Derksen, Arthur Garreau (Météo-France), Stephen Howell, Matthias Huss, Kirsten Isensee, John Kennedy, Ruth Mottram, Rodica Nitu, Selvaraju Ramasamy, Katherina Schoo, Michael Sparrow, Oksana Tarasova, Blair Trewin, Markus Ziese]. 21 pages.

https://drive.google.com/file/d/1cMVSvzmG48AnBGyll3KmUupo_aPYgMVW/view?usp=sharing

PNUE, Christensen, J. and Olhoff, A. (2019). *Lessons from a decade of emissions gap assessments*. United Nations Environment Programme, Nairobi. 18 pages.

<https://drive.google.com/file/d/14xbV5laUulFph20PmCKuZPIFFtACI22t/view?usp=sharing>

Global Carbon Project (2019). Global Energy Growth Is Outpacing Decarbonization. *A special report for the United Nations Climate Action Summit September 2019*. [Jackson RB, Le Quéré C, Andrew RM, Canadell JG, Korsbakken JI, Liu Z, Peters GP, Zheng B, Friedlingstein], International Project Office, Canberra Australia. 12 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1ynwgeg45QDxgrklchTxzlxinNd92cfXM/view?usp=sharing>

Global Carbon Project (2019). Carbon budget and trends 2019.

[www.globalcarbonproject.org/carbonbudget] published on 4 December 2019, along with any other original peer-reviewed papers and data sources as appropriate. 90 slides.

<https://drive.google.com/file/d/1W9e3jvJW3SrvyiA0hNQZQAR30Xz83KJr/view?usp=sharing>

Citepa (2019). Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques, Bilan des émissions en France de 1990 à 2017. *Rapport national d'inventaire*. 447 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1LJcO9IWAKP6KDWvwWnhkok6A-N3mwz3l/view?usp=sharing>

Ministère de la transition écologique et solidaire et I4CE (2020). Datalab - Chiffres clés du climat 2020 - France, Europe et Monde. 88 pages.

https://drive.google.com/file/d/1l1etT1_gGVGWqrLyCLsUs-LogFXiulMc/view?usp=sharing

ONERC, 2018. Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique. *Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement*. 199 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1x7t6o34EXOn5QnRggyVN7HAI7Sfg2llo/view?usp=sharing>

Agence Internationale de l'Énergie ou IEA (2020). The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. *Global Energy Review 2020*, Paris. 52 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1IJZQiEEg4SIAdUwDU7-UrQUUBZb75Tpx/view?usp=sharing>

Agence Internationale de l'Énergie ou IEA (2020), Accelerating technology progress for a sustainable future. *Special Report on Clean Energy Innovation*, Paris. 183 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1vTmK3RnPrNwuRFEJ6G7BmKMvaAyUJhPu/view?usp=sharing>

ONU, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. 46 pages.

https://drive.google.com/file/d/1Bj-008CITh34NfKktTQVq_F3DqWZkp1W/view?usp=sharing

Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2019). Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *2019 global status report for buildings and construction*. 39 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1MOgx60JdmjVuzEvHK5ek9kKH1-AQIQph/view?usp=sharing>

Agence Européenne pour l'Environnement, 2015. Vivre sous un climat changeant. *Signaux 2015*. 37 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1jpVLIsZCrJpiF56uRfx45hxq8rQvMx6A/view?usp=sharing>

HLPE (2012). Sécurité alimentaire et changement climatique. *Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale*, Rome. 115 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1txjKuuQP5nCE0KKdddvAb7dVyA4bcEcv/view?usp=sharing>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ou FAO (2016). Elevage et changements climatiques. *L'action de la FAO face aux changements climatiques*. 16 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1GUJqvUcqDBVhc2Al-9YrgQ5zywshTeG3/view?usp=sharing>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ou FAO (2016). Adapter l'agriculture face au changement climatique. *L'action de la FAO face aux changements climatiques*. 16 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1GUJqvUcqDBVhc2Al-9YrgQ5zywshTeG3/view?usp=sharing>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ou FAO (2016). Energie, agriculture et changements climatiques : Vers une agriculture intelligente en matière d'énergie. *L'action de la FAO face aux changements climatiques*. 16 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1GUJqvUcqDBVhc2Al-9YrgQ5zywshTeG3/view?usp=sharing>

GIEC (2011). Résumé à l'intention des décideurs et Résumé technique. *Rapport spécial du GIEC sur les sources d'énergie renouvelable et l'atténuation des effets des changements climatiques* [sous la direction de O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer et C. von Stechow], Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique. 242 pages.

https://drive.google.com/file/d/1H_bOcF6BpnkNgBABZo3PFHPbLkgivlB8/view?usp=sharing

ADEME (2015). Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations. *Rapport*. 163 pages.

https://drive.google.com/file/d/1DkeG3lJUKhFq_c3gDXrkSEDB3WR701nU/view?usp=sharing

ADEME (2018). Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie : à chaque secteur ses solutions. *Rapport*. [Marina BOUCHER, Manon GERBAUD, ENEA Consulting, David BARDINA, Suzan HMOUD, Céline HUITRIC, Kerdos Energy, Mehdi GUELLIL, Etienne MARTIN]. 148 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1eG-ITnrgyfC1BzYhnJ30X6WUE91-6c3/view?usp=sharing>

ADEME (2017). Actualisation du scénario Energie-Climat ADEME 2035-2050. [Guilain Cals, Patricia Sidat, Robert Bellini, Vincent Guenard, Nadine Berthomieu, David Canal, Philippe Laplaige, Julien Delanoe, Rodolphe Morlot, Stéphane Biscaglia, Astrid Cardona Maestro, Simon Thouin, Marc Bardinal, Thomas Eglin, Bruno Gagnepain, Sarah Martin, Florence

Proharam, Frédéric Streiff, Aicha El Khamlichi, Luc Bodineau, Guillaume Bastide, Yves Moch, Solène Marry, Anne Lefranc, Mathieu Mefflet-Piperel, Mathieu Chassignet, Séverine Boulard, Sandrine Carballes, Bertrand Olivier Ducreux, Stéphane Barbusse, Gabriel Plassat, Maxime Pasquier, Yann Tréméac, Marie-Laure Nauleau, Laurent Meunier, Gaël Callonnec]. 42 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1JdaeHqcBNo-xQUGDsHVriYA20JvaF2cd/view?usp=sharing>

ADEME, I-CARE & Consult (2016). Sols et Changement climatique : Impacts et Adaptation. *Etat des lieux de la recherche et identification de pistes de recherche*. 93 pages.

<https://drive.google.com/file/d/1MWY7Af9V283CWGa5BhMSI-Ziu5KXWDsv/view?usp=sharing>