

# Les changements physiques du climat en 11 questions

Retour sur le 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, groupe de travail 1

**E**n août 2021, le GIEC a finalisé la première partie de son 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation, dont nous avons présenté les messages clés. Nous revenons ici sur ce rapport, avec deux objectifs : être plus complets et expliquer davantage. Nous avons choisi une présentation sous forme de questions-réponses dont nous espérons qu'elle vous guidera dans la découverte de la grande quantité d'informations fournies par le GIEC. La liste de questions se trouve en page 4.

En complément, un article introductif rappelle le rôle du GIEC, ses méthodes de travail, et l'objet des rapports que le GIEC doit publier en 2022. Deux articles donnent un aperçu des coulisses de la préparation de ces rapports, sous la forme du témoignage de participants à différentes étapes : le Dr Rafiq Hamdi, de l'IRM, aborde son expérience d'auteur principal, et Elisabeth Rondiat, qui a été notre collaboratrice jusqu'en août 2021, relate sa participation à l'assemblée plénière d'approbation du rapport.

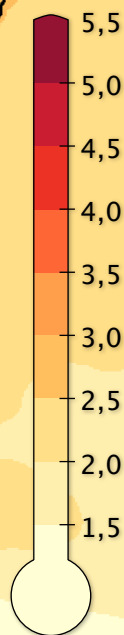
À la suite des inondations de juillet 2021, le bureau d'études Stucky a reçu le mandat de réaliser une analyse de la manière dont les voies d'eau et les barrages ont été gérés. Ce travail a été réalisé avec la collaboration de l'Université de Liège, et s'est achevé en décembre. Nous présentons brièvement le rapport qui en a résulté. Cela nous permet d'aborder une première fois ces événements catastrophiques de 2021, qui demanderont des recherches approfondies au cours des prochaines années.

La Plateforme wallonne pour le GIEC vous souhaite une excellente année 2022 et voudrait communiquer sa solidarité à toutes celles et ceux qui souffrent, que ce soit à la suite de dégâts liés au climat ou à d'autres circonstances.

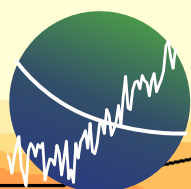
Bruna Gaino, Pénélope Lamarque, Philippe Marbaix et Jean-Pascal van Ypersele

## Sommaire

Introduction : le 6 <sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC.....	2
Les changements physiques du climat en 11 questions.....	4
Inondations de Juillet 2021 : Analyse de la gestion des voies hydrauliques .....	21
Impressions sur la Plénière d'approbation du rapport.....	23
Mon expérience d'auteur du 6 <sup>e</sup> rapport d'évaluation.....	24
Agenda .....	26



Arrière plan :  
Accroissement des températures maximales mensuelles (TXx, par rapport à 1960-1990) pour un réchauffement global moyen de 3°C. Source : données extraites de l'Atlas régional du GIEC, voir page 20 (graphisme PwG)



**PwG**  
Plateforme wallonne  
pour le GIEC



**Wallonie**  
environnement



**Awac**

# > Introduction : le 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC

Rédaction : Pénélope Lamarque et Philippe Marbaix

La publication du 6<sup>e</sup> Rapport d'évaluation du GIEC (AR6) [1] est l'aboutissement d'un processus qui a débuté en 2017. Ce rapport a été présenté dans nos Lettres n°6 et 17 [2]. Comme les rapports d'évaluation qui l'ont précédé, l'AR6 comporte 3 volumes correspondant aux contributions de chacun des groupes de travail et un volume de synthèse (illustration au centre de cette page). Le calendrier prévoit la finalisation de l'ensemble en 2022, de sorte à fournir une base scientifique pour l'évaluation des progrès accomplis dans le cadre de l'Accord de Paris, que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques doit achever en 2023 [3].

La contribution du groupe de travail I, consacrée aux changements physiques du climat, a été finalisée et approuvée en séance plénière le 6 août 2021. Dans le numéro spécial qui a suivi (Lettre n°21), nous présentons une traduction des messages et de quelques figures clés du rapport. Ce premier volume de l'AR6 met à jour l'information contenue dans la précédente évaluation, en 2013. Il inclut de nouvelles observations, conclut qu'il est sans équivoque que les activités humaines ont réchauffé l'atmosphère, les océans et les terres, fait le point sur le réchauffement associé à différents scénarios pour le futur... Parmi les sujets qui ont fait l'objet d'une attention particulière, on trouve les événements extrêmes et une évaluation des changements physiques qui affectent la société ou les écosystèmes.

Le rapport du groupe de travail I comporte plusieurs parties [4]:

- Le résumé pour les décideurs (élément le plus synthétique, destiné à un public plus large et discuté ligne par ligne en séance plénière).
- Le résumé technique (plus approfondi et non discuté en plénière).
- Un atlas présenté sous forme interactive (voir encadré à la fin de cette Lettre).
- 12 chapitres, qui constituent la base de l'évaluation réalisée par les scientifiques. L'ensemble comporte plusieurs milliers de pages, dont environ 1/3 sont dédiés à l'évolution du climat à l'échelle globale, 1/3 à la compréhension des processus et 1/3 aux informations climatiques régionales. Ces chapitres incluent notamment des réponses aux questions fréquentes (en anglais FAQs, *Frequently Asked Questions*), qui sont regroupées sous la forme d'un document unique [5].

Ce rapport est le résultat d'un long processus de synthèse d'informations, de rédaction et de relectures. La rédaction a été confiée à 234 auteurs principaux, issus de 65 pays [6], qui ont pris en compte environ 14000 publications scientifiques. Selon les procédures, deux ébauches de chaque chapitre ont été soumises à relecture, ce qui a permis d'obtenir 78000 commentaires d'experts et de gouvernements.

Après la traduction succincte présentée dans la Lettre n°21, il nous a semblé important de présenter des éléments de ce rapport d'une manière plus complète, en ajoutant aussi des explications dont nous espérons qu'elles faciliteront la compréhension des différents éléments et des liens entre ces éléments.

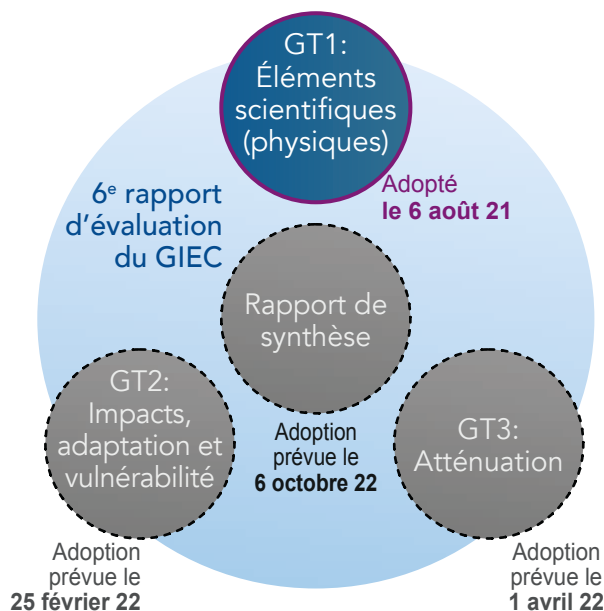
Cette Lettre est aussi une occasion de vous dévoiler quelques aspects des « coulisses » de la préparation d'un rapport du GIEC, avec deux articles rédigés par des participant·e·s :

- Élisabeth Rondiat, océanographe formée à l'ULiège et collaboratrice de la Plateforme wallonne pour le GIEC de mars à août 2021, a pris part pour la première fois à une assemblée plénière, en tant que membre de la délégation belge lors de l'approbation du résumé à l'intention des décideurs
- Le Dr Rafiq Hamdi, de l'Institut Royal Météorologique, dont c'était la première expérience en tant qu'auteur principal, a participé à la rédaction du chapitre 10 (*Linking global to regional climate change*).

[1] Dans cette Lettre, tous les acronymes relatifs au GIEC sont indiqués en anglais, car il nous a semblé qu'ils sont plus connus dans cette langue que traduits. AR6 signifie 6<sup>th</sup> Assessment Report, et peut être traduit par 6<sup>e</sup> Rapport d'évaluation (RE6). SPM signifie Summary for Policymakers, en français Résumé pour les décideurs. Quand nous faisons référence à une partie de rapport (telle que le SPM) sans plus de précision, il s'agit de la contribution du groupe de travail 1 à l'AR6.

[2] L'ensemble de l'AR6, ainsi que les 3 rapports spéciaux déjà publiés, est présenté dans la Lettre n°17 : [plateforme-wallonne-giec.be/lettre-17](http://plateforme-wallonne-giec.be/lettre-17) (pour les autres lettres, voir [plateforme-wallonne-giec.be/lettre](http://plateforme-wallonne-giec.be/lettre)).

[3] Le « bilan mondial », en anglais « Global stocktake » (GST).



[4] Contribution du groupe I au 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation : [ipcc.ch/report/ar6/wg1](http://ipcc.ch/report/ar6/wg1)

[5] [ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FAQ](http://ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FAQ)

[6] Les auteurs principaux sont nommés par le Bureau du groupe de travail concerné au début du processus de rédaction. Ils ont obtenu l'aide de 517 auteurs contributeurs pour rédiger des aspects spécifiques.

# Le rôle du GIEC et la participation belge

Le GIEC (Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, en anglais Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), ne réalise pas de travaux de recherche : il synthétise les résultats publiés dans la littérature scientifique en s'appuyant sur une expertise multidisciplinaire. Son rôle est d'évaluer et synthétiser sans parti pris, de manière méthodique, objective et transparente les informations scientifiques, techniques et socio-économiques pertinentes disponibles dans le monde entier en rapport avec la question des changements climatiques. Le GIEC identifie les points de consensus et précise les limites d'interprétation des résultats, les incertitudes et les divergences éventuelles. Il utilise pour cela une terminologie précise qui permet d'attribuer à chaque conclusion clé un niveau de confiance qualitatif (de très faible à très élevé) [7]. Quand c'est possible, un niveau de probabilité quantitatif est défini et exprimé à l'aide d'une échelle également codifiée (les termes « probable », « très probable », ... réfèrent à des niveaux de probabilité spécifiques). Ces rapports doivent être pertinents pour éclairer la prise de décision politique, mais ne doivent en aucun cas prescrire de choix de nature politique (en anglais : *policy relevant, but not policy prescriptive*).

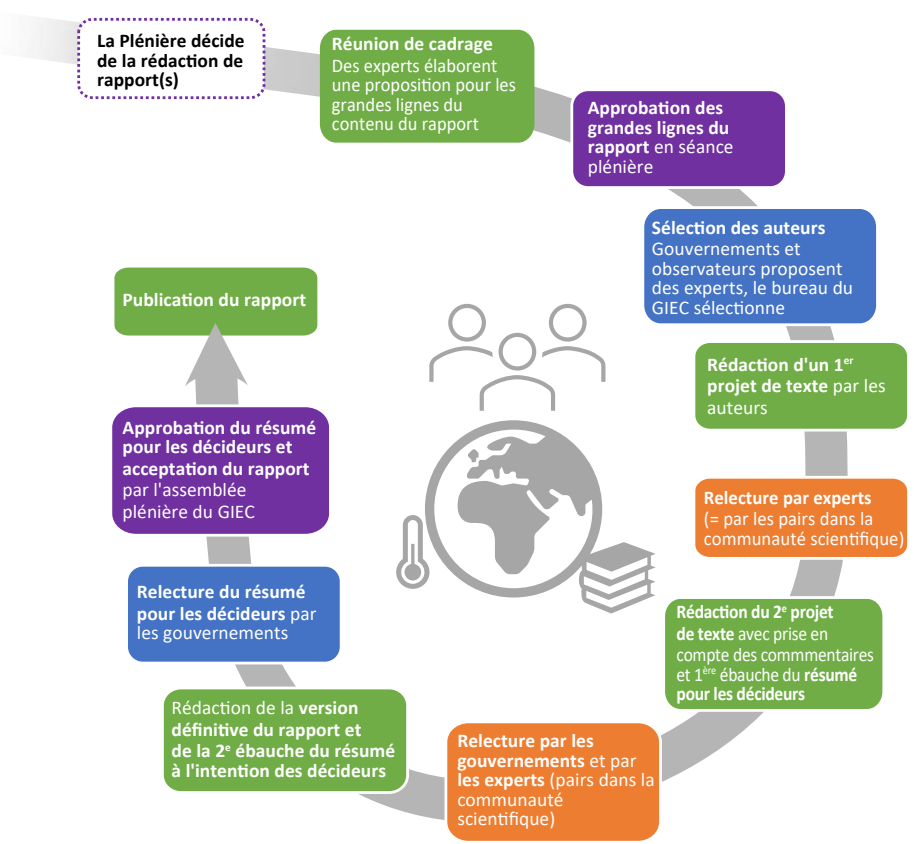
[7] Chaque conclusion se fonde sur une évaluation des éléments de preuve et de leur degré de concordance. Cinq qualificatifs sont utilisés pour exprimer le degré de confiance : très faible, faible, moyen, élevé et très élevé. Les qualificatifs suivants sont utilisés pour indiquer la probabilité évaluée d'un résultat : quasiment certain (probabilité de 99 à 100 %), très probable (90 à 100 %), probable (66 à 100 %) (...).  
Source : Note de bas de page 4 du SPM.

## Pourquoi est-il qualifié d' « intergouvernemental » ?

Le GIEC est ouvert à tous les pays membres des deux institutions des Nations unies qui l'ont mis en place en 1988 : l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations unies pour l'environnement. Chaque pays identifie un point focal qui sert de point de contact entre le GIEC et chaque gouvernement. Le GIEC tient une réunion plénière une ou deux fois par an et définit ainsi les grandes lignes de son travail. Au début de chaque nouveau cycle d'évaluation, le GIEC procède à l'élection des membres de son Bureau, suivant le principe « un pays, une voix ».

La rédaction du résumé pour les décideurs est le fruit d'un travail assez particulier à l'interface entre science et politique. D'une part, il s'agit d'exprimer les conclusions les plus importantes d'une manière qui soit compréhensible par des personnes dont le domaine de compétence est parfois éloigné des sujets et méthodologies scientifiques. D'autre part, il s'agit de parvenir à un texte approuvé par l'ensemble des représentants des États membres, en dépit de leurs circonstances nationales et économiques différentes : c'est l'objectif de la réunion en assemblée plénière. Le texte y est discuté ligne par ligne, et si nécessaire mot par mot. Chaque membre peut demander des modifications de la formulation, s'opposer à une phrase par exemple s'il juge que celle-ci manque de « neutralité » face aux choix politiques, ou n'est pas claire... La plupart des changements ne font que reformuler, et le texte peut effectivement gagner en clarté. Les discussions de la plénière du groupe 1 au mois d'août, ont notamment permis d'introduire plus de précision sur les types de sécheresses qui sont importantes dans certaines régions du monde. La rigueur scientifique est assurée par le fait que les auteurs ont le dernier mot : aucune phrase ne peut être approuvée sans leur accord. Cependant, personne n'a le pouvoir d'imposer un élément : si des pays s'opposent fermement à une phrase, celle-ci peut être retirée, ou exprimée sous une forme qui en limite la portée.

Une fois approuvé par les délégations des États membres, le résumé pour les décideurs peut difficilement être contesté par ces États, ce qui contribue à sa force. Les représentants des gouvernements n'interviennent pas dans le contenu des chapitres du rapport ni dans celui du résumé technique, qui sont acceptés tels que produits par les scientifiques [8]. Ce processus facilite l'appropriation des rapports du GIEC par les décideurs, tout en établissant un socle de connaissances scientifiquement rigoureux.



[8] A l'exception d'ajustements nécessaires pour refléter des formulations précises qui se trouvent dans le Résumé pour les décideurs suite aux débats en assemblée plénière. Précisons que les gouvernements peuvent faire des commentaires sur les chapitres, mais uniquement par écrit, dans le cadre de la 2<sup>e</sup> relecture. Les réponses des auteurs à tous les commentaires sont rendues publiques après la finalisation du rapport.

## Quel est le rôle de la Belgique et de la Plateforme wallonne pour le GIEC dans ce rapport ?

Chaque gouvernement dispose d'un point focal national, par lequel passent les communications « officielles » avec le GIEC. En Belgique, cette mission est assurée par Belspo, la Politique scientifique fédérale. En octobre 2021, monsieur Alexandre Fernandes a succédé à madame Martine Vanderstraeten. Nous voudrions remercier chaleureusement madame Vanderstraten pour son soutien continu aux travaux du GIEC et aux experts belges pendant les très nombreuses années où elle a assuré le point focal et dirigé la délégation belge.

Dans le cadre de la relecture des rapports du GIEC, la PwG contacte les experts inscrits à son Registre [9], et organise des réunions d'information et d'échange de point de vues. Lorsqu'il s'agit d'une relecture ouverte aux commentaires gouvernementaux, la plateforme communique les propositions de commentaires reçues lors de ces réunions au point focal belge.

L'ensemble des commentaires reçus par le point focal est discuté au sein du groupe de coordination fédéral (CIS-IPCC), responsable de l'approbation des commentaires soumis au nom de la Belgique. Des membres de la PwG ont régulièrement été invités à faire partie de la délégation belge lors des réunions plénières du GIEC.

Plusieurs scientifiques belges font partie des auteurs principaux du 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC. Pour le groupe de travail I, il s'agit du Dr Rafiq Hamdi (IRM), du Pr Philippe Huybrechts (VUB) et du Dr Joeri Rogelj (Imperial College London).

[9] PwG : Plateforme wallonne pour le GIEC. Toute personne qui dispose d'une expertise pertinente (ce qui est très vaste) peut demander de faire partie du Registre (francophone) : voir [plateforme-wallonne-giec.be](http://plateforme-wallonne-giec.be)



Les membres de la Plateforme qui ont pris part à la Plénière d'approbation de la contribution du groupe de travail 1, par téléconférence.

## > Les changements physiques du climat en 11 questions

Rédaction : Philippe Marbaix, Pénélope Lamarque, Bruna Gaino et Jean-Pascal van Ypersele

Après la traduction succincte présentée dans la Lettre n°21, nous souhaitons présenter davantage d'éléments du premier volume de l'AR6, et le faire d'une manière plus accessible. Nous avons choisi de procéder par questions-réponses. Nous espérons que ce format vous permettra de bien identifier le sujet de chacune des parties de l'article, tout en répondant peut-être à des questions que vous vous posez.

Les réponses que nous apportons se fondent en priorité sur le Résumé pour les décideurs du 1<sup>er</sup> volume de l'AR6, mais avons aussi utilisé des éléments tirés des questions fréquentes (en anglais *Frequently Asked Questions*, FAQ), auxquelles les auteurs de chaque chapitre du rapport ont contribué. Quand cela nous a semblé nécessaire pour expliquer un élément, nous avons aussi fait appel à d'autres sources, dans les chapitres ou, dans quelques cas, directement dans la littérature scientifique. La version électronique de cet article permet d'accéder aux réponses en un clic sur la question dans le tableau ci-dessous.

### Liste des questions-réponses présentées dans cet article

Q1. Comprenons-nous mieux les changements climatiques aujourd'hui qu'au début des travaux du GIEC ?... 5	5
Q2. Comment savons-nous que les activités humaines sont responsables des changements climatiques ? ..... 6	6
Q3. Peut-on attribuer un évènement extrême aux changements climatiques ? ..... 7	7
Q4. Quels sont les grands changements climatiques observés ? ..... 8	8
Q5. Quels sont les facteurs qui contribuent au réchauffement climatique ? ..... 10	10
Q6. Quels scénarios pour le futur du climat ? ..... 12	12
Q7. Plus de réchauffement qu'estimé dans le rapport de 2013 ? ..... 13	13
Q8. Que faut-il faire pour stopper les changements climatiques ? ..... 14	14
Q9. « Budget carbone » : que peut-on encore émettre sans dépasser 1,5 ou 2 °C ? ..... 15	15
Q10. Quelle sera l'évolution des évènements extrêmes ? ..... 17	17
Q11. Quels sont les facteurs climatiques qui vont causer des impacts ? ..... 19	19
Complément hors liste : présentation de l'Atlas interactif ..... 20	20



# Comprenons-nous mieux les changements climatiques aujourd'hui qu'au début des travaux du GIEC ?

1990 : Premier rapport du GIEC (FAR)		2021 : Sixième rapport du GIEC (AR6)	
		<b>Compréhension du climat</b>	
Comprise sur la base de simulations théoriques	Influence humaine sur le climat	Etablie sans équivoque	
Estimations incohérentes	Budget énergétique	Estimations cohérentes ("budget fermé") : entrées = sorties + énergie absorbée	
Estimations incohérentes	Contribution à l'élévation du niveau des mers	Estimations cohérentes : somme des contributions = élévation du niveau de la mer observée	
		<b>Observations</b>	
0.3-0.6°C	Réchauffement climatique depuis la fin des années 1800 à la fin des observations	0.95-1.20°C	
1887 stations prises en compte (1861-1990)	Mesures de température à la surface des continents	Jusqu'à 40 000 stations (1750-2020)	
5 millions d'années (température) 5 millions d'années (niveau des mers) 160 000 ans (CO <sub>2</sub> )	Archives géologiques	65 millions d'années (température) 50 millions d'années (niveau des mers) 450 millions d'années (CO <sub>2</sub> )	
1955-1981 (deux régions)	Évaluation de la chaleur contenue dans les océans	1871-2018 (global)	
Température, couverture neigeuse, bilan radiatif terrestre	Téledétection par satellite	Température, cryosphère, bilan radiatif de la Terre, CO <sub>2</sub> , niv. de la mer, nuages, aérosols, occupation des sols, etc.	
		<b>Modèles climatiques</b>	
Globaux 500 km	Résolution typique des modèles	Globaux 100 km	Régionaux 25-50 km
Circulation de l'atmosphère et de l'océan Transfert radiatif Physique du sol Glace de mer	Principaux éléments modélisés	Circulation de l'atmosphère et de l'océan Transfert radiatif et bilan radiatif terrestre Physique du sol Glace de mer Chimie atmosphérique Utilisation/occupation du sol, Biogéochimie des terres et des océans Interactions entre aérosols et nuages Température Couverture neigeuse	

Figure 1 : Exemples d'éléments qui illustrent le développement des connaissances. Source : FAQ 1.1.

Après le premier rapport du GIEC, finalisé en 1990, la compréhension des changements climatiques a continué de se développer fortement [1]. Ce premier rapport concluait que les changements climatiques d'origine humaine deviendraient bientôt manifestes, mais ne pouvait pas encore confirmer qu'ils étaient déjà en cours. Aujourd'hui, les preuves sont irréfutables : le climat a effectivement changé depuis l'ère préindustrielle et les activités humaines en sont la cause principale. Grâce à l'obtention de beaucoup de nouvelles données et à des modèles plus complets et plus détaillés, nous comprenons mieux comment l'atmosphère interagit avec l'océan, la glace, la neige, les écosystèmes et les surfaces continentales de la Terre.

La figure 1 donne un aperçu des principaux progrès qui ont été réalisés au cours de ces 30 dernières années.

Depuis 1990, de nombreux nouveaux instruments ont été déployés pour acquérir des données dans l'atmosphère, au sol, en mer, et depuis l'espace. D'anciennes données d'observation ont été collectées et ajustées pour tenir compte des changements historiques d'instruments et de méthodes de mesures. Les carottes de glace (forage dans les glaces qui se sont accumulées), les sédiments, les fossiles et d'autres sources nous ont beaucoup appris sur les changements du climat de la Terre au cours de son histoire.

Ces données ont contribué à l'approfondissement de la connaissance du système climatique. Par exemple, on a pu déterminer que les océans absorbent la majeure partie de l'excès d'énergie qui est piégé par l'ajout de gaz à effet de serre, et que l'océan se

réchauffe même en profondeur. En 1990, on en savait très peu sur la réaction des grandes calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique au réchauffement, alors qu'on sait maintenant qu'elles vont subir des changements importants au cours de ce siècle et contribuer de manière substantielle à la hausse du niveau des mers.

Alors qu'en 1990, la majorité des modèles se concentraient sur l'atmosphère, avec une représentation simplifiée de la surface des océans et continents, les modèles actuels du « système Terre » incluent une représentation détaillée des océans, de la glace, de la neige, de la végétation et bien d'autres variables.

Enfin, la compréhension théorique du système implique que les changements causés par l'influence humaine aient des caractéristiques structurelles spécifiques, et celles-ci correspondent aux observations. Par exemple, alors que la partie inférieure de l'atmosphère (la troposphère) se réchauffe, elle se refroidit à haute altitude (dans la stratosphère). La correspondance entre les observations et les prédictions théoriques a apporté de nouvelles preuves que l'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre d'origine anthropique est bien la cause principale du réchauffement (voir question 5).

[1] Cette réponse est largement extraite de la FAQ1.1 de l'AR6, mais elle n'en constitue pas une traduction littérale et ne reprend pas tous les éléments.



# Comment savons-nous que les activités humaines sont responsables des changements climatiques ?

Les activités humaines sont les principales responsables des changements climatiques depuis le milieu du 20e siècle [2]. Cette conclusion est basée sur une multitude de preuves qui vont bien au-delà de la seule évolution des températures moyennes. On constate des changements dans les océans, les glaces, les températures en surface dans toutes les régions ainsi qu'en altitude. Ces changements sont cohérents avec notre compréhension du système climatique et de l'accroissement de l'effet de serre, ainsi qu'avec les résultats de modèles qui représentent les processus climatiques.

[2] Sources principales : Résumé pour les décideurs, Section A, et question fréquente 3.1 : SPM AR6 How do we Know Humans are Responsible for Climate Change?

## Facteurs de changements climatiques

Les changements climatiques peuvent avoir des causes anthropiques ou naturelles. Les causes naturelles ont eu un rôle important dans le passé de la Terre — à l'échelle de milliers d'années et plus dans le passé (cycles glaciaires, etc.). Cependant, à l'échelle de dizaines ou centaines d'années et dans le climat actuel, il n'y a que deux facteurs naturels qui influencent le climat :

- Les fluctuations d'activité solaire, qui altèrent légèrement la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre
- Les éruptions volcaniques de grande ampleur, qui augmentent la quantité d'aérosols sulfatés (c'est à dire de particules en suspension qui interagissent avec le rayonnement solaire). Cela diminue la température moyenne de quelques dixièmes de degrés pendant quelques années, par rapport à la situation sans éruption.

L'effet moyen de ces facteurs sur quelques dizaines d'années est très faible. Les températures et les phénomènes climatiques fluctuent aussi d'une année à l'autre et sur plusieurs années sans que cela vienne d'une cause extérieure : on parle de « variabilité interne ». Le phénomène « El Niño » en est un exemple. Restent les facteurs de perturbation du climat d'origine humaine, c'est-à-dire principalement :

- L'accroissement de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère
- L'accroissement de la quantité de particules en suspension dans l'air (par définition, des aérosols ; en moyenne, ils contribuent à « refroidir » le climat en renvoyant une partie de l'énergie solaire vers l'espace [3]).

[3] Voir question 5

La toute grande part de ces émissions vient de l'usage des combustibles fossiles, suivis des changements d'usage des sols (déboisement) et d'autres sources [4].

[4] Voir FAQ 3.1 : How do we Know Humans are Responsible for Climate Change?

Un point clé de notre compréhension du rôle des activités humaines est que les concentrations en gaz à effet de serre ont augmenté au cours des dernières décennies à un rythme qui est sans précédent depuis au moins 800 000 ans. Il existe plusieurs preuves que cela vient des activités humaines. Ensuite, le lien entre cette augmentation et le réchauffement, c'est-à-dire l'accroissement de l'effet de serre, est compris dans son principe depuis plus d'un siècle.

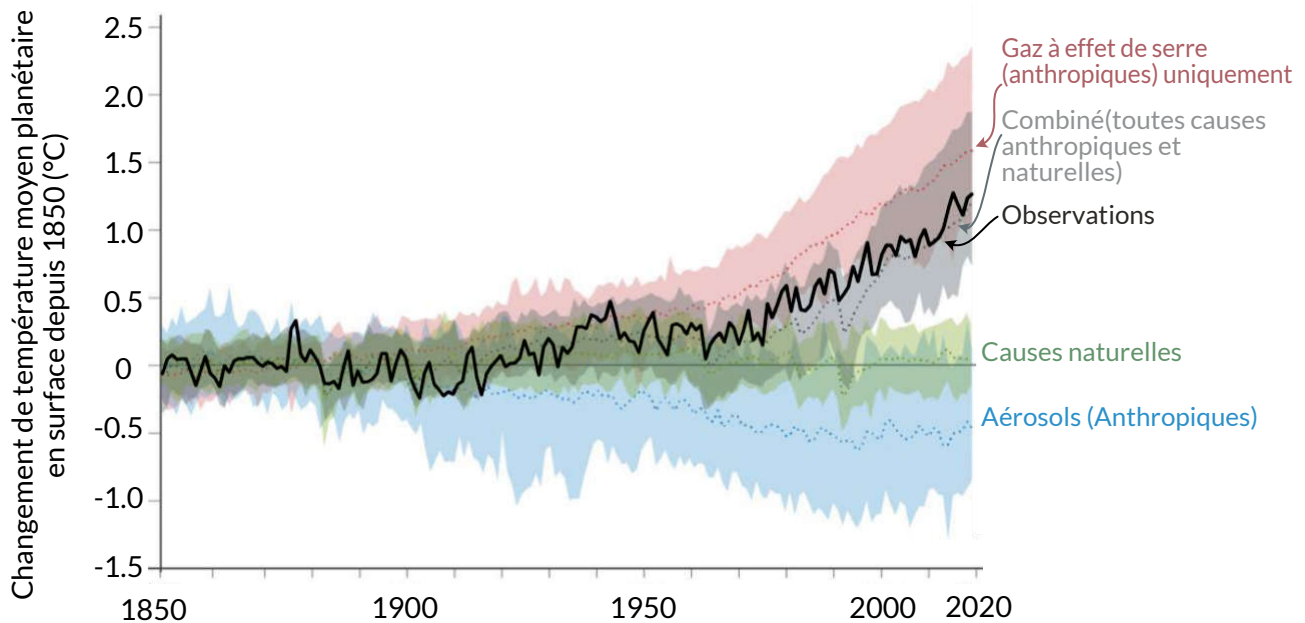
## Confrontation de simulations climatiques avec et sans influence humaine

Les modèles climatiques sont basés sur des principes physiques bien connus, et permettent de simuler l'évolution du climat en tenant compte, ou non, des facteurs anthropiques. Les simulations ainsi obtenues ne correspondent aux observations que si l'on inclut les changements d'origine humaine dans le modèle, en particulier l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Il y a 20 ans, le 3<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC était déjà clair à cet égard [5]. Deux décennies supplémentaires ont apporté autant de nouvelles observations du réchauffement, et permis de compléter et améliorer les modèles (voir question 1). La figure 2 illustre cette comparaison entre résultats de modèles et observations pour les températures moyennes en surface.

[5] 3<sup>e</sup> rapport d'évaluation (2001), chapitre 12, page 698 (traduction informelle) : « La plupart des études montrent qu'au cours des 50 dernières années, le taux et l'ampleur estimés du réchauffement dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre seuls sont comparables, voire supérieurs, au réchauffement observé. En outre, la plupart des estimations des modèles qui prennent en compte à la fois les gaz à effet de serre et les aérosols sulfatés sont cohérentes avec les observations sur cette période. »

Cette comparaison est loin d'être la seule preuve que les activités humaines sont la cause dominante des changements climatiques récents. Les modèles, les observations, et notre compréhension des phénomènes correspondent aussi sur de nombreux autres points : les variations géographiques du réchauffement en surface, le fait qu'à haute altitude (dans la stratosphère), on constate un refroidissement, le réchauffement de l'océan, la fonte des glaces... [6]

[6] Voir question suivante



**Figure 2. Le réchauffement observé (1850-2018) n'est reproduit que dans les simulations qui incluent l'influence humaine.**

La figure compare les températures moyennes globales en surface observées à celles obtenues par les modèles climatiques en tenant compte de la réponse à l'ensemble des forçages humains et naturels (bande grise), aux gaz à effet de serre uniquement (bande rouge), aux aérosols et autres facteurs humains uniquement (bande bleue) et aux forçages naturels uniquement (bande verte). Les lignes colorées indiquent la moyenne multimodèle, et les bandes colorées indiquent la fourchette de 5 à 95 % de chaque ensemble de simulations individuelles. Source : FAQ 3.1, Figure 1.

### Comparaison avec le passé

Un autre axe de preuve de l'influence humaine est la comparaison à l'évolution climatique plus ancienne. L'analyse d'archives paléoclimatiques telles que les cernes de croissance des arbres montre que le réchauffement observé ces 50 dernières années dépasse celui de n'importe quelle période de 50 ans au cours des 2000 dernières années. De plus, le réchauffement actuel est global et plus uniforme que les fluctuations observées au cours de ces deux derniers millénaires. Il inverse une tendance générale qui était au refroidissement depuis environ 6500 ans. Cette tendance au refroidissement a été ponctuée de décennies et de siècles plus chauds, mais ces fluctuations ont été mineures par rapport au réchauffement persistant et important qui a commencé au milieu du 19<sup>e</sup> siècle. Il faut remonter le temps d'au minimum 125 000 ans pour trouver une température de surface moyenne plus élevée qu'actuellement pendant plusieurs siècles [7].

← [7] Source : FAQ 2.1. *The Earth's temperature has varied before. How is the current warming any different?*

## Q3 Peut-on attribuer un événement extrême aux changements climatiques ?

Il est courant de se demander si les changements climatiques d'origine humaine sont à l'origine d'une catastrophe subie dans notre pays ou ailleurs [8]. Lorsque des événements météorologiques et climatiques extrêmes [9] se produisent, l'exposition [10] et la vulnérabilité [11], notamment celle des personnes, de ressources clés, et d'écosystèmes, jouent un rôle important dans la détermination de l'ampleur et des impacts de la catastrophe qui en résulte éventuellement. Par exemple, dans le cas des inondations, celles-ci ne dépendent pas seulement d'un facteur tel que l'intensité des précipitations, mais aussi de la gestion des cours d'eau, de la présence d'habitations en zone inondable... L'ampleur d'une catastrophe n'implique donc pas en elle-même que les changements climatiques en soient la cause.

← [8] Référence principale : FAQ 11.3 : *Did climate change cause that recent extreme event in my country?*

[9] Un événement extrême est une situation où la valeur prise par une variable météorologique ou climatique est située au-dessus (ou au-dessous) d'un seuil proche de la limite supérieure (ou inférieure) de la plage des valeurs observées pour cette variable. Par définition, les caractéristiques de ce que l'on qualifie d'événement extrême peuvent varier d'un endroit à l'autre. (...) Pour plus d'information, voir le glossaire de l'AR6 GT1 pour les mots « climate extreme » et « extreme weather event ».

↑ [10] L'exposition est définie par le GIEC comme la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un cadre susceptible de subir des dommages.

[11] La vulnérabilité est définie par le GIEC comme la propension ou prédisposition à subir des dommages. La notion de vulnérabilité englobe divers concepts et éléments, tels que la sensibilité ou la fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.

L'analyse présentée dans le rapport du groupe de travail 1 porte sur l'évènement météorologique ou climatique lui-même, et non sur ses conséquences [12]. Même dans ce contexte plus ciblé, il n'y a pas de réponse scientifique à la question de savoir si un évènement météorologique particulier a été « causé par les changements climatiques », car il y a des extrêmes qui se produisent naturellement : tout évènement météorologique et climatique spécifique est le résultat d'un mélange complexe de facteurs humains et naturels. En revanche, les scientifiques peuvent quantifier l'importance relative des influences humaines et naturelles sur l'ampleur et/ou la probabilité d'un phénomène météorologique extrême spécifique. On ne dit pas qu'un évènement a été « causé » par le réchauffement, mais bien que sa probabilité et/ou son ampleur ont changé à cause du réchauffement : cela, c'est quantifiable. Ces informations sont importantes pour la prise de décision en matière de réduction des risques de catastrophe, car elles indiquent l'évolution future de la probabilité et de l'ampleur des évènements extrêmes susceptibles de causer des impacts sévères.

← [12] Les impacts seront abordés dans la contribution du groupe de travail 2, dont l'approbation est prévue en février 2022.

L'AR6 indique que les preuves de changements qui concernent les évènements extrêmes, ainsi que de leur attribution aux facteurs d'origine anthropique, se sont renforcées depuis l'AR5 [13]. Il est établi que les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine ont entraîné une augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité de certains phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes depuis l'époque préindustrielle.

← [13] Voir SPM, section A3.

### Quels changements des évènements extrêmes a-t-on constatés ?

L'influence humaine est particulièrement claire en ce qui concerne les vagues de chaleur. En ce qui concerne les évènements de fortes précipitations, le rapport indique qu'elles ont augmenté depuis 1950 sur la plupart des zones continentales où l'on dispose d'observations suffisantes pour conclure, et que les changements climatiques d'origine anthropique en sont probablement [14] la cause. En ce qui concerne les sécheresses, il y a également un accroissement anthropique dans certaines régions (le degré de confiance est moyen) [15]. L'évaluation de l'évolution des cyclones tropicaux se confirme et se précise : l'AR6 juge probable que la proportion de cyclones les plus intenses ait augmenté au cours des quatre dernières décennies et qu'ils atteignent leur puissance maximale à une latitude située plus au nord. Le GIEC ajoute, avec un degré de confiance moyen, que cela ne peut pas être expliqué par la seule variabilité naturelle.

← [14] C'est à dire qu'il y a plus de 66% de chances que ce soit le cas.

[15] Au niveau global, des estimations de l'évolution d'indicateurs d'évènements extrêmes sont données à la figure 9 (question 10). Pour plus d'information au niveau géographique, voir La Lettre n°21, page 4. Voir aussi la section A.3 du SPM.

## Q4 Quels sont les grands changements climatiques observés ?

Le réchauffement moyen observé à la surface du globe entre la période de référence 1850-1900 et la période 2011-2020 est estimé à environ 1,09 °C [16]. Lorsqu'on estime le niveau de réchauffement causé par les activités humaines, on arrive à la même valeur, aux incertitudes près : les facteurs anthropiques, c'est à dire principalement l'émission de gaz à effet de serre, peuvent donc expliquer l'entièreté du réchauffement. Il existe des facteurs naturels qui modifient les températures à l'échelle de quelques années (voire décennies) : les éruptions volcaniques, de faibles fluctuations dans l'énergie émise par le Soleil, et une variabilité d'origine interne au système climatique [17]. Cependant, on estime qu'au total depuis le 19e siècle jusqu'aux années 2010, ces facteurs naturels n'ont pas modifié les températures moyennes sur la planète d'une façon significative [18].

L'effet de la hausse de température se répercute sur l'ensemble du système climatique [19] avec des changements observables dans l'atmosphère, l'océan, la cryosphère (les glaces et la neige) et la biosphère ainsi que leurs interactions. L'ensemble des changements observés forme une image cohérente et conforme à ce qu'on attend dans un monde qui se réchauffe. La figure 2 présente des exemples clés de ces observations.

← [16] 1.09°C est la meilleure estimation ; autour de cette valeur, il y a une marge d'incertitude : le GIEC estime qu'il est très probable (> 90% de chances) que ce réchauffement moyen soit entre 0,95 et 1,2°C. Le réchauffement est plus fort sur les continents (environ 1.59°C) que sur les océans.

[17] Les principales composantes du système climatique sont l'atmosphère, l'océan, les glaces, les terres et la biosphère.

[18] La meilleure estimation de l'ampleur de l'effet total des facteurs naturels sur la période considérée est zéro, avec une plage d'incertitude de l'ordre de +/- 0.2°C. Ce n'est pas la seule preuve de l'origine anthropique du réchauffement : voir question 1.

[19] Le GIEC le divise en 5 parties majeures : l'atmosphère, l'hydrosphère (dont l'océan, les rivières...), la cryosphère (la neige et les glaces), la lithosphère (incluant les sols) et la biosphère.



Parmi les grands changements observés, on constate [20] :

- Une augmentation des précipitations, en moyenne sur la planète, depuis les années 1950. Il est probable que l'influence humaine ait modifié la répartition des précipitations sur la planète depuis ce moment.
- Le recul global des glaciers depuis 1990, dont la cause principale est très probablement anthropique. Le retrait simultané de quasiment tous les glaciers est sans précédent depuis au moins 2000 ans.
- La diminution de la couverture de glace de mer dans l'Arctique, en grande partie attribuable aux activités humaines.
- Le réchauffement des océans (entre 0 et 700 m), qui est virtuellement certain, et causé à plus de 95 % de chances par les activités humaines
- L'accélération de la hausse du niveau des mers au cours des dernières décennies, dont les activités humaines sont très probablement la cause principale depuis 1971. La hausse constatée depuis 1900 est supérieure à celle qui a eu lieu au cours de n'importe quel siècle depuis au moins 3000 ans.
- Des changements dans la biosphère, avec un déplacement des zones climatiques vers le nord et un allongement de la saison de croissance des végétaux dans l'hémisphère nord (au-delà des tropiques).

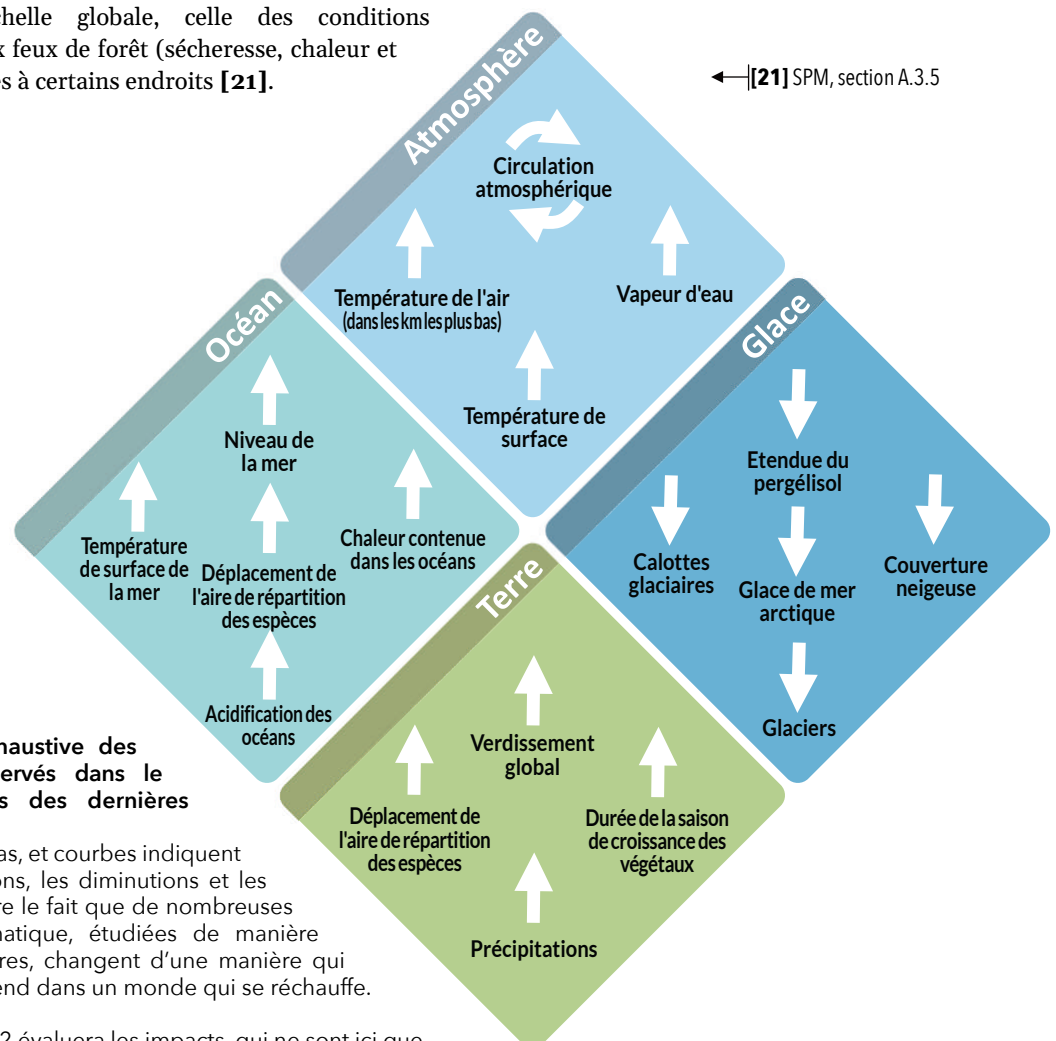
← [20] Pour plus de détails, voir SPM, sections A.1.4 à A.1.8 et A.2

### Évènements extrêmes

Les changements climatiques d'origine anthropique affectent déjà beaucoup d'évènements météorologiques et climatiques extrêmes dans toutes les régions du globe. Ces changements sont résumés en réponse à la question 3. Certains évènements extrêmes qui se sont produits au cours de la dernière décennie auraient été très peu probables en l'absence d'influence humaine sur le climat.

Lorsque ces évènements ont lieu simultanément, ils sont alors qualifiés d'évènements « composés », avec des conséquences spécifiques. Les activités humaines ont probablement augmenté la probabilité d'évènements extrêmes composés depuis 1950. Cela comprend l'augmentation de la fréquence des sécheresses et vagues de chaleur simultanées, à l'échelle globale, celle des conditions météorologiques favorables aux feux de forêt (sécheresse, chaleur et vent), et celle des pluies intenses à certains endroits [21].

← [21] SPM, section A.3.5



**Figure 3 : Synthèse non exhaustive des changements significatifs observés dans le système climatique au cours des dernières décennies.**

Les flèches vers le haut, vers le bas, et courbes indiquent respectivement les augmentations, les diminutions et les changements. Cette figure illustre le fait que de nombreuses composantes du système climatique, étudiées de manière indépendante les unes des autres, changent d'une manière qui correspond à ce à quoi l'on s'attend dans un monde qui se réchauffe.

Source : FAQ 2.2 Figure 1.

(Le rapport du groupe de travail 2 évaluera les impacts, qui ne sont ici que brièvement évoqués).

# Quels sont les facteurs qui contribuent au réchauffement climatique ?

Comme indiqué à la réponse précédente, l'estimation de la contribution des activités humaines au réchauffement moyen en surface est égale au réchauffement observé [22], c'est à dire que les contributions naturelles sont, en moyenne, négligeables. Dans cette réponse, nous examinons les facteurs anthropiques plus en détail [23]

## Gaz à effet de serre

La figure 4 présente l'estimation de la contribution de chacune des causes de changements climatiques à l'évolution des températures depuis la seconde moitié du 19e siècle. Les facteurs qui ont le plus contribué à ce réchauffement jusqu'à présent sont les émissions anthropiques de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de méthane (CH<sub>4</sub>). Les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent essentiellement de la production d'énergie à l'aide des « combustibles fossiles », c'est-à-dire le gaz, le pétrole et le charbon, ainsi que du déboisement. Les sources principales de méthane sont les activités agricoles, mais aussi l'extraction, le transport et l'utilisation des combustibles fossiles, et les déchets (décomposition en l'absence d'oxygène) [24]. Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) provient principalement de l'agriculture, et les gaz fluorés (indiqués « halogénés » sur la figure) ont diverses applications pour le refroidissement et dans l'industrie. Ces gaz persistent dans l'atmosphère d'une douzaine d'années (pour le CH<sub>4</sub>) à plusieurs siècles voire au-delà (pour le CO<sub>2</sub> et certains gaz fluorés).

## Autres contributions anthropiques au réchauffement

Les émissions de composés organiques volatils et le monoxyde de carbone (CO) [25] ont également contribué au réchauffement d'une manière substantielle. Ce ne sont pas en eux-mêmes des gaz à effet de serre. Leur effet est indirect, à plus court terme, et plus complexe : on appelle ces gaz des « précurseurs » parce qu'ils entrent dans des réactions chimiques qui vont donner les composés qui ont un effet. La conséquence la plus marquée est une augmentation de la concentration d'ozone dans la partie inférieure de l'atmosphère [26]. L'ozone est un gaz à effet de serre, en plus d'être toxique quand il se trouve à basse altitude, où il affecte la respiration et les plantes [27].

[22] A l'incertitude près.

Le SPM présente ces valeurs pour la période 1850-1900 à la période 2010-2019, pour laquelle la meilleure estimation du réchauffement moyen observé est de **1.06 °C** (valeur très probablement entre 0.88 et 1.21 °C) et le réchauffement attribué aux activités humaines est estimé à **1.07 °C** (probablement entre 0.8 et 1.3 °C).

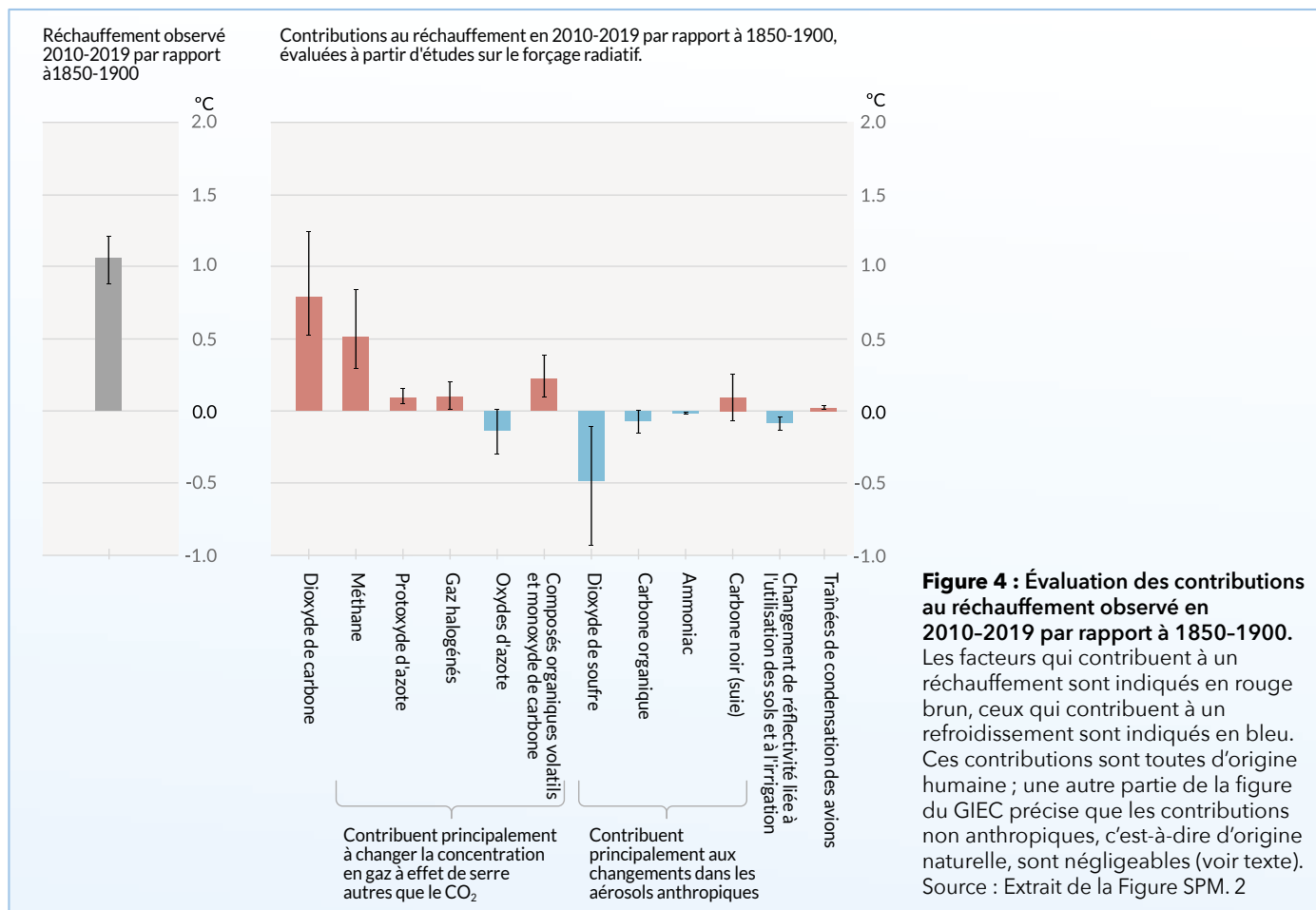
[23] L'ensemble de cette réponse se fonde principalement sur le Résumé pour les décideurs, section A.1. Pour plus d'information, voir la FAQ6.1 (consacrée aux facteurs de forçage climatique à courte durée de vie). La FAQ5.2 (effets de la fonte du pergélisol) offre également un complément.

[24] Voir Lettre n°22, consacrée aux systèmes alimentaires

[25] Une partie du CO est émise directement lors des combustions incomplètes, une autre résulte de réactions chimiques dans l'atmosphère suite à d'autres émissions, dont celles de méthane.

[26] La troposphère, qui s'étend jusqu'à environ 10 km d'altitude.

[27] Voir par exemple [tinyurl.com/irceline-ozone](http://tinyurl.com/irceline-ozone)



**Figure 4 : Évaluation des contributions au réchauffement observé en 2010-2019 par rapport à 1850-1900.** Les facteurs qui contribuent à un réchauffement sont indiqués en rouge brun, ceux qui contribuent à un refroidissement sont indiqués en bleu. Ces contributions sont toutes d'origine humaine ; une autre partie de la figure du GIEC précise que les contributions non anthropiques, c'est-à-dire d'origine naturelle, sont négligeables (voir texte). Source : Extrait de la Figure SPM. 2

Une autre cause de réchauffement est l'émission de particules de suie, ou « carbone noir », qui provient des combustions dites incomplètes : en plus du CO<sub>2</sub> et de l'eau, qui sont les produits de l'oxydation complète du combustible, il reste du carbone. Ces particules, par ailleurs très nocives, contribuent à augmenter l'absorption d'énergie solaire, surtout quand elles se déposent sur de la neige.

Enfin, les traînées de condensation générées par les avions ne constituent qu'un petit facteur de réchauffement comparativement à tous les autres. Cependant, contrairement à ces autres facteurs, il ne provient que d'une seule activité spécifique. Or l'effet des traînées n'est pas négligeable par rapport aux émissions du seul secteur aérien, qui lui-même s'ajoute à beaucoup d'autres (dont la contribution individuelle est parfois relativement faible : tout à une certaine importance).

## **Un refroidissement... qui masque une partie du réchauffement**

Les émissions qui contribuent le plus à un effet de refroidissement sont celles de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). La grande majorité de ces émissions résulte de la présence de soufre dans les charbons et dérivés pétroliers [28]. Le dioxyde de soufre est un gaz qui se transforme dans l'atmosphère en particules d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et de sulfates (contenant l'ion SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), qui contribuent à l'acidification des pluies, et sont nuisibles pour la végétation. Ces particules en suspension dans l'air (ce qu'on appelle un aérosol) contribuent à diffuser l'énergie solaire, avec pour conséquence une réduction de la part qui réchauffe la Terre. Elles altèrent également la formation des nuages et la taille des gouttes d'eau qu'ils contiennent, ce qui modifie les flux d'énergie avec un effet global de refroidissement [29].

Il s'agit cependant d'un effet à court terme : en gros, cela dure jusqu'à la pluie suivante. Lorsqu'on diminue l'usage des combustibles fossiles, ou que l'on introduit des réglementations pour diminuer la présence de soufre dans les combustibles ou les fumées, l'effet de refroidissement diminue immédiatement. De son côté, l'effet de réchauffement lié au CO<sub>2</sub> continue à croître tant que l'on brûle du carbone, et persiste très longtemps après l'émission. Autrement dit, le réchauffement temporairement « masqué » par les aérosols soufrés va se révéler plus tard, mais il peut être en partie compensé par la réduction simultanée de facteurs de réchauffement qui sont aussi à court terme (composés organiques volatils, suies...).

Parmi les facteurs qui ont un plus petit rôle de refroidissement, on trouve d'abord les oxydes d'azote, c'est à dire principalement le NO et le NO<sub>2</sub> (à ne pas confondre avec le N<sub>2</sub>O précité [30]). Leur effet principal est de contribuer à l'oxydation du méthane, et donc à éliminer une partie de ce gaz à effet de serre (d'où la tendance au refroidissement). Ces composés sont aussi impliqués dans d'autres réactions qui ont divers effets climatiques [31]. Notons enfin l'effet des changements d'utilisation des sols, qui modifient la quantité de rayonnement solaire réfléchi : on pense notamment au déboisement, qui remplace une surface globalement sombre (forêt) par une surface généralement plus claire, telle qu'une culture. L'irrigation affecte quant à elle l'évaporation, ce qui a un léger effet indirect sur le climat [32].

← [28] Voir [aeronomie.be/fr/encyclopedie/dioxyde-souffre-gaz-latmosphere-terrestre](http://aeronomie.be/fr/encyclopedie/dioxyde-souffre-gaz-latmosphere-terrestre)

[29] Pour plus d'information, voir la FAQ 7.2 de l'AR5 : Quels sont les effets des aérosols sur le climat et le changement climatique ? [ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/WGI\\_AR5\\_FAQ\\_FR.pdf](http://ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/WGI_AR5_FAQ_FR.pdf)

← [30] Formule générale NO<sub>x</sub>. Voir par exemple [eea.europa.eu/help/glossary/eper-chemicals-glossary/nitrogen-oxides-nox](http://eea.europa.eu/help/glossary/eper-chemicals-glossary/nitrogen-oxides-nox)

[31] Pour plus d'information, voir notamment l'AR6 GT1 chapitre 6, section 6.4, consacrée aux effets radiatifs et climatiques des forçages à courte durée de vie.

[32] Sans effet direct, en dépit du fait que la vapeur d'eau soit un gaz à effet de serre, voir AR6 GT1 chapitre 7 section 7.3.4.1. Voir aussi la note [47].

Pour simuler le climat futur, on s'appuie sur des scénarios relatifs aux émissions de gaz à effet de serre. Ces émissions dépendent d'hypothèses qui concernent l'économie et la société.

## Trajectoires socio-économiques : SSP1, SSP2...

L'AR6 se fonde sur un ensemble de descriptions de futurs possibles : les «trajectoires socio-économiques partagées» (en anglais SSP, pour Shared Socio-economic Pathways). Chacun de ces futurs décrit une évolution du monde à laquelle est associée une croissance démographique, des caractéristiques de développement humain, économique, technologique, une plus ou moins grande attention à l'environnement et aux ressources... La figure 5a donne un aperçu des 5 contextes socio-économiques considérés [33]. Ils sont classés selon deux axes dont l'un indique des difficultés croissantes pour l'atténuation (réduction d'émissions) et l'autre indique des difficultés croissantes pour l'adaptation (Figure 5a).

## Scénarios d'émissions : SSP1-1.9, SSP1-2.6...

Chacune de ces trajectoires socio-économiques peut mener à différents niveaux d'émissions en fonction des efforts réalisés ou non pour les réduire [34]. Un petit nombre de scénarios d'émissions ont été sélectionnés pour faire des simulations du climat futur : grâce à cela, différents instituts de recherche ont obtenu des projections climatiques pour les mêmes émissions et ont pu comparer leurs résultats. Ces scénarios d'émissions sont désignés par un symbole en 2 parties : la première indique le scénario socio-économique (par exemple SSP1) et la seconde précise la valeur du «forçage radiatif en 2100» (c'est le «2.6» dans la dénomination «SSP1-2.6»). Cette valeur représente le «déséquilibre énergétique» auquel la planète est soumise, c'est-à-dire l'ampleur de l'accroissement de l'effet de serre par les activités humaines. Chaque scénario définit une trajectoire d'évolution pour toutes les émissions et autres causes anthropiques de perturbation du climat. La figure 5b illustre cela pour les émissions de CO<sub>2</sub>.

L'ensemble de 5 scénarios couvre la gamme d'émissions jugées plausibles. Les plus défavorables (SSP5-8.5 et SSP3-7.0) correspondent à l'absence de nouvelles mesures d'atténuation (les engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris ne seraient pas concrétisés). Au contraire, le scénario SSP2-4.5, correspond à des émissions en 2030 de l'ordre de ce qui serait obtenu si tous les États réalisent les objectifs annoncés jusqu'à présent [35]. Le scénario SSP1-2.6 limite le réchauffement sous 2 °C en 2100, en lien avec des émissions de CO<sub>2</sub> nettes nulles [36] dans la seconde moitié du siècle. Enfin, le scénario SSP1-1.9 a été ajouté après l'Accord de Paris et limite le réchauffement à environ 1,5 °C en 2100, avec des émissions de CO<sub>2</sub> mondiales nettes nulles dès 2050 [37].

## Concentrations en CO<sub>2</sub> et réchauffement moyen

Pour chaque scénario, on détermine ce que deviennent les substances émises. En particulier, le CO<sub>2</sub> ajouté à l'atmosphère se répartit dans l'océan, la végétation et les sols : on le représente dans des modèles du «cycle du carbone». On obtient ainsi l'évolution de la concentration atmosphérique illustrée à la figure 5c. Les modèles du «système Terre» traitent l'ensemble des facteurs de perturbation du climat. Au niveau climatique, ils simulent les échanges d'énergie, d'eau, et les vents, ce qui détermine l'évolution des courants atmosphériques et océaniques, de la couverture de glace, etc. L'évolution de la température moyenne qui en résulte est présentée à la figure 5d.

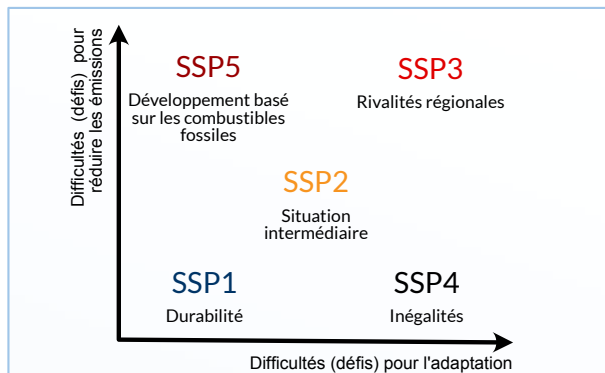


Figure 5a: Trajectoires communes d'évolution socio-économique [33]

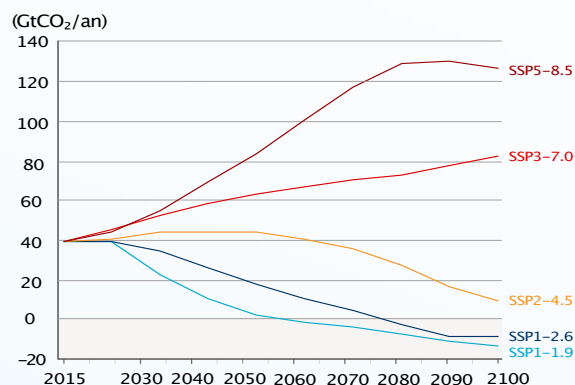


Figure 5b : Émissions de CO<sub>2</sub> (figure SPM4.a)

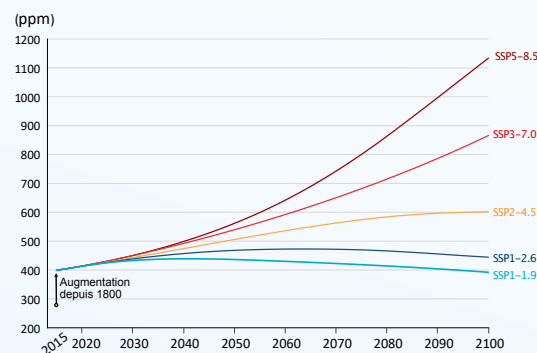


Figure 5c : Concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (d'après Meinshausen, M. et al. 2020: doi.org/10/gg8vs4)

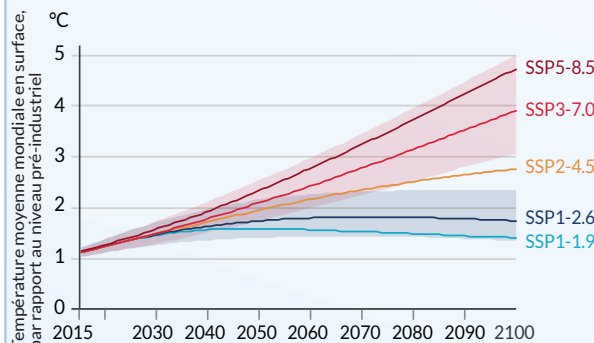


Figure 5d: Température moyenne mondiale en surface pour un ensemble des modèles. Les plages de couleurs claires indiquent la gamme «très probable» (probabilité > 90%) pour SSP3-7.0 et SSP1-2.6 (fig. SPM.8)

[33] O'Neill, B.C. et al. 2017, Global Environmental Change, doi.org/10/f3pvqj

[34] Le rapport du groupe de travail 3 explore ces scénarios plus en détail.

[35] Contributions Déterminées au niveau National, voir Lettre n°16.

[36] Les émissions nettes de CO<sub>2</sub> sont les émissions anthropiques dont on soustrait le retrait de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère par des actions humaines délibérées. Le retrait de CO<sub>2</sub> comprend les procédés chimiques qui permettent de retirer du CO<sub>2</sub> de l'atmo-

sphère pour le stocker ensuite (notamment en sous-sol), et l'absorption supplémentaire par la végétation si celle-ci est due une activité humaine spécifique (ce qui inclut le reboisement, mais pas le fait qu'une forêt absorbe du CO<sub>2</sub> à cause de l'augmentation de sa concentration dans l'atmosphère). Voir le glossaire du GIEC et la Lettre n°14, page 8 : plateforme-wallonne-giec.be/lettre-14

[37] Voir section Cross-Chapter Box 1.4: The SSP scenarios as used in Working Group I



La réponse courte à cette question est simple : les estimations du réchauffement moyen dans chacun des rapports successifs, pour des émissions similaires, sont très proches. Le nouveau rapport reflète cependant une amélioration : le niveau de confiance attribué à cette évaluation a augmenté.

## Sensibilité du climat aux gaz à effet de serre : la marge d'incertitude se réduit

L'une des manières dont on évalue la réponse du climat aux gaz à effet de serre [38] est la «sensibilité climatique à l'équilibre». Elle indique le réchauffement mondial en surface qui serait atteint à très long terme si l'on doublait la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et qu'on la maintient à ce niveau (c'est-à-dire quand le système aurait atteint un équilibre ; le concept est théorique). Dans l'AR6, on estime cette sensibilité climatique à 3 °C. Ce n'est pas une surprise : l'un des premiers rapports sur les changements climatiques, publié en 1979 et connu sous le nom de son premier auteur Jules Charney [39], indiquait déjà 3 °C comme valeur la plus probable, à l'intérieur d'une gamme de 1,5 à 4,5 °C. La marge d'incertitude était encore la même dans l'AR5. L'AR6 conclut que la sensibilité climatique à l'équilibre se situe probablement entre 2,5 et 4 °C [40]. Cette réduction de l'incertitude semble modeste mais représente un fait nouveau. C'est un ensemble de preuves qui ont permis de confirmer et préciser l'estimation : le développement des connaissances au sujet des processus climatiques, les données d'observation directe, les informations relatives aux paléoclimats, et la combinaison de ces données avec des analyses réalisées à l'aide de modèles climatiques.

## Températures moyennes projetées

La figure 6 indique le réchauffement moyen projeté pour la fin de ce siècle, par rapport aux températures préindustrielles, pour les deux derniers rapports d'évaluation. Pour la première fois dans un rapport du GIEC, l'évaluation présentée dans l'AR6 n'est pas uniquement une moyenne de résultats de modèles : elle combine ces résultats avec des contraintes associées à la manière dont les modèles peuvent «reproduire» les observations pour le passé et tient aussi compte d'estimations relatives à la sensibilité climatique (en partie exposée au paragraphe précédent) [41].

Dans la figure 6, l'incertitude est illustrée par les barres verticales. Pour l'AR5, ces barres représentent la fourchette de valeurs «probables», c'est-à-dire qu'il y a 66 % de chances que le réchauffement moyen se situe dans cette gamme. Pour l'AR6, les barres indiquent la gamme «très probable», c'est-à-dire qu'il y a 90 % de chances que le réchauffement moyen soit situé dans cette gamme. Il s'agit donc d'une diminution importante de l'incertitude, puisqu'il est maintenant beaucoup moins probable que le réchauffement soit au-dessus ou en dessous des barres de couleurs, qui ont à peu près la même hauteur pour les deux rapports.

Sur cette figure, on constate aussi que l'estimation du réchauffement présentée dans l'AR6 est un peu supérieure à celle présentée dans l'AR5. Le GIEC attribue environ la moitié de ces différences à une sensibilité climatique un peu plus élevée dans l'AR6 (cela ne représente qu'environ 0,1 à 0,15 °C) [42]. Le reste de l'écart entre niveaux de réchauffement s'explique par de petites différences entre les scénarios utilisés dans chacun des rapports (SSP et RCP). Par exemple, les scénarios RCP4.5 et SSP2-4.5 ont en commun la valeur «4.5», qui indique qu'ils correspondent à un effet similaire sur le climat en 2100 [43]. Le détail des émissions n'est cependant pas identique, un scénario pouvant correspondre à un peu plus d'émission de CO<sub>2</sub> et l'autre à un peu plus d'émission de méthane, et d'autres détails techniques ajoutent de petites différences entre scénarios.

[38] Plus généralement, la réponse aux facteurs qui perturbent l'équilibre énergétique de la planète (le forçage radiatif), voir question 5.

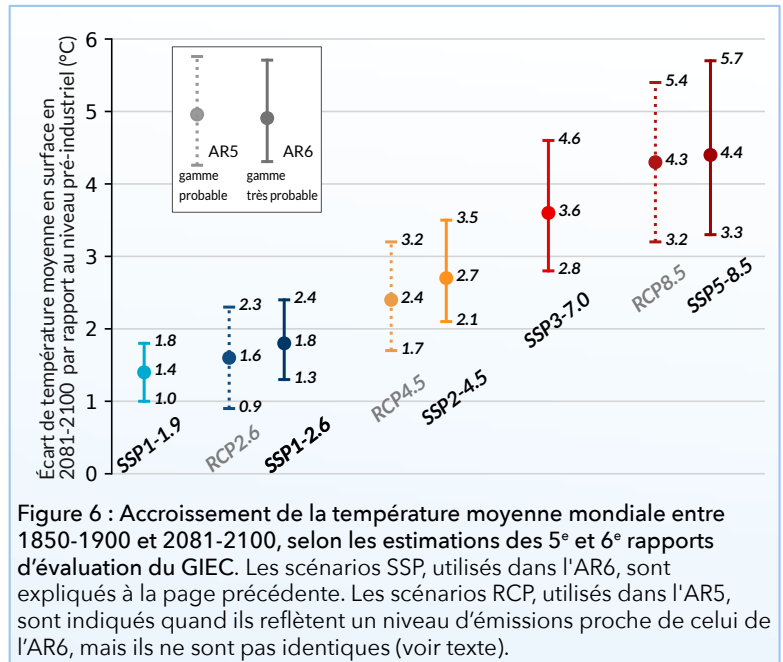


Figure 6 : Accroissement de la température moyenne mondiale entre 1850-1900 et 2081-2100, selon les estimations des 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> rapports d'évaluation du GIEC. Les scénarios SSP, utilisés dans l'AR6, sont expliqués à la page précédente. Les scénarios RCP, utilisés dans l'AR5, sont indiqués quand ils reflètent un niveau d'émissions proche de celui de l'AR6, mais ils ne sont pas identiques (voir texte).

Source de la figure : AR5 table SPM.2 et AR6 table SPM.1. Graphique PwG, inspiré par [carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science](https://carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science)

[39] Charney, J.G. et al., 1979: Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment. National Research Council (NRC), doi.org/10.17226/12181 (voir page 16). Pour plus d'information, voir chapitre 7, section 7.5.4.

[40] Par «probablement», le GIEC entend qu'il y a deux chances sur trois qu'il en soit ainsi. Le rapport estime aussi qu'il est très probable (> 90% de chances) que la sensibilité climatique se situe entre 2 et 5°C.

[41] Pour d'autres informations sur les projections en matière de températures moyennes, voir le SPM, section B.1, et aussi le Résumé Technique, Cross-section Box TS.1 et la section TS.3. La «meilleure estimation» du réchauffement, obtenue en tenant compte de ces différents éléments, est un peu plus basse que la moyenne des modèles (issus de la coordination internationale CMIP6, [wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6](https://wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6)).

[42] Pour la différence entre les scénarios SSP5-8.5 et RCP8.5, la différence de sensibilité est la cause principale (source : Résumé technique, section TS.1.3.1)

[43] C'est à dire que les deux scénarios ont le même forçage radiatif en 2100, soit 4.5W/m<sup>2</sup> (voir page précédente).

## Chaque tonne de CO<sub>2</sub> émise accroît le réchauffement planétaire

Le 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation confirme ce qu'indiquait déjà l'AR5 : les températures augmentent de manière quasiment proportionnelle aux émissions totales, cumulées année après année. Autrement dit, chaque tonne de CO<sub>2</sub> émise accroît la température moyenne en surface, de manière quasi « définitive » [44]. Arrêter d'émettre du CO<sub>2</sub> ne permet pas de revenir à un climat non perturbé par les activités humaines passées, cela permet « seulement » de stopper le réchauffement planétaire.

La figure 7 illustre la proportionnalité entre émissions cumulées et températures. Pour mille milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> (1000 GtCO<sub>2</sub>) émises, la température moyenne en surface augmente d'environ 0,45 °C [45]. Cette proportionnalité résulte d'un ensemble de phénomènes et n'est qu'approximative [46].

## Et les autres gaz à effet de serre ?

L'axe horizontal de la figure se rapporte aux émissions totales de CO<sub>2</sub>, sans tenir compte des autres gaz. L'axe vertical se rapporte à l'accroissement de température moyenne en surface ; cet accroissement résulte d'un ensemble de facteurs anthropiques (voir question 5). Comment est-il possible que le réchauffement ne semble dépendre que des émissions de CO<sub>2</sub> ?

[44] Sur plusieurs siècles : voir par exemple Zickfeld, K. et al. 2013: Long-Term Climate Change Commitment and Reversibility: An EMIC Intercomparison. J. Climate, doi.org/10/f45wx4

[45] Meilleure estimation selon l'AR6, qui juge probable que cette valeur soit entre 0.27°C et 0.63°C (le terme « probable » signifie que la probabilité est de 66% ou plus).

[46] Elle résulte d'une combinaison de phénomènes, dont les principaux sont ceux-ci : d'une part, l'absorption de chaleur par l'océan limite temporairement la hausse de température - ce caractère temporaire implique une tendance à la poursuite du réchauffement longtemps après l'émission -, et d'autre part le cycle du carbone « déplace » progressivement une partie du CO<sub>2</sub> « en excès » depuis l'atmosphère vers l'océan, la végétation et les sols, ce qui réduit l'effet de serre et donc le réchauffement futur. Ces deux phénomènes déterminent les conséquences futures des émissions passées, et ils se compensent approximativement, l'un induisant une tendance à la hausse et l'autre une tendance à la baisse des températures moyennes. C'est ainsi qu'en l'absence de nouvelles émissions (émissions 'nettes' nulles), la température devient quasiment stable.

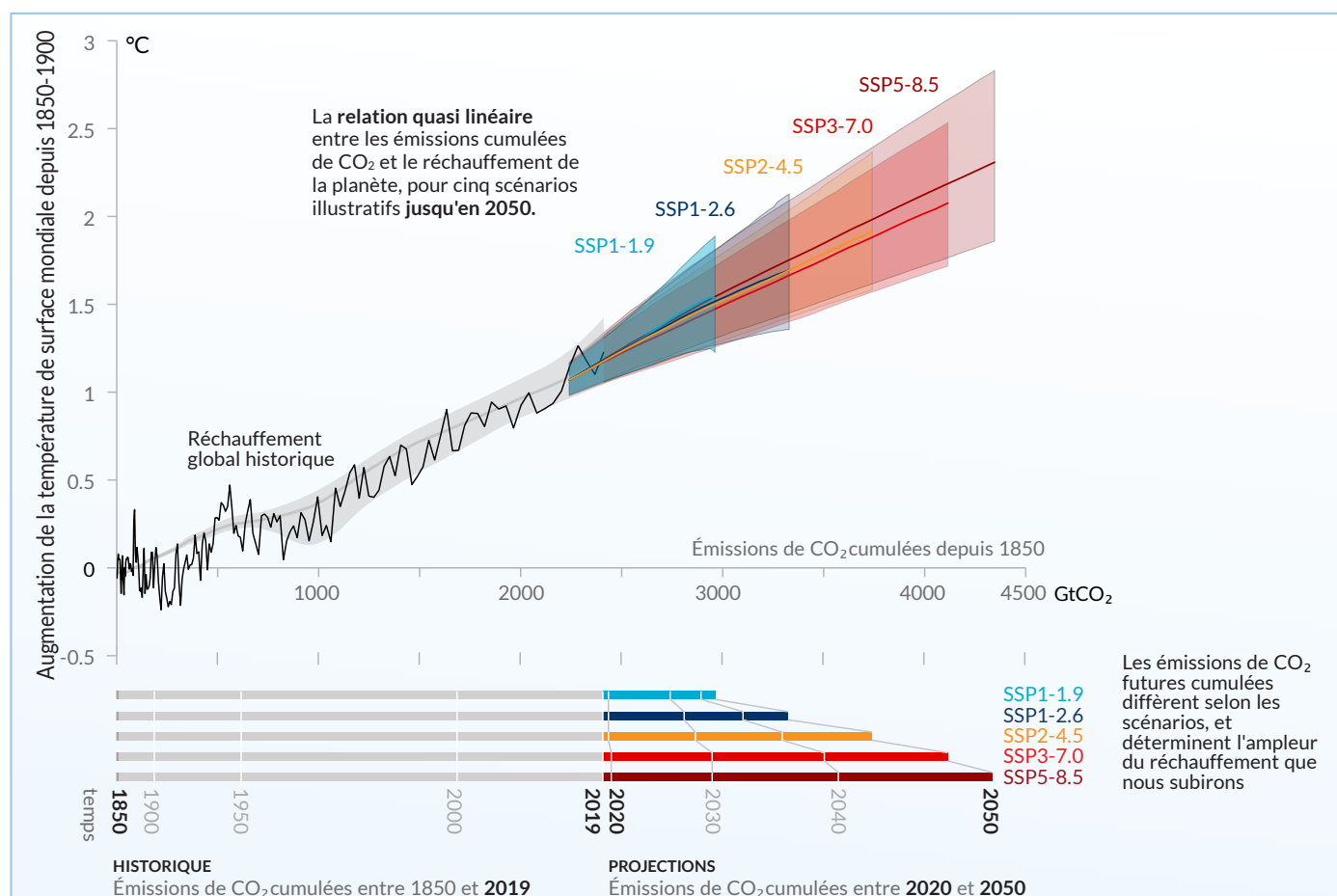


Figure 7 : Les données historiques (ligne noire fine) montrent l'augmentation observée de la température moyenne en surface depuis 1850-1900 en fonction des émissions historiques cumulées de dioxyde de carbone, de 1850 à 2019. Les zones colorées indiquent la fourchette de projections de la température moyenne en surface jugée très probable, et les lignes centrales colorées indiquent l'estimation médiane en fonction des émissions cumulées de CO<sub>2</sub>, de 2020 à 2050 pour l'ensemble des scénarios illustratifs (voir question 6). Les données s'arrêtent en 2050 parce que au-delà de cette date, les émissions sont négatives (absorption nette) pour certains scénarios, or il y a peu de preuves que la proportionnalité illustrée ici persiste dans cette situation. Traduction réduite et adaptée ; pour la légende complète, voir la source : figure SPM.10.

La réponse est que le dioxyde de carbone est de loin le principal gaz dont une partie des quantités émises reste longtemps dans l'atmosphère — de quelques décennies à plus d'un millénaire. Les autres gaz à effet de serre sont émis en des quantités qui ont un effet climatique comparativement beaucoup plus petit, la principale exception étant le méthane [47]. Le méthane accroît substantiellement l'effet de serre suite aux activités humaines, mais il ne persiste dans l'atmosphère que quelques décennies (environ 12 ans après une émission de méthane, la moitié de la quantité émise est oxydée). Pour cette raison, le climat ne dépend pas des émissions cumulées de méthane : calculer le total émis depuis 150 ans n'est pas utile parce qu'une grande partie de ces émissions ne sont plus actuellement sous forme de CH<sub>4</sub>.

Cela ne permet pas pour autant de négliger les autres gaz à effet de serre : par exemple, le N<sub>2</sub>O persiste dans l'atmosphère de l'ordre d'une centaine d'années [48]. Les émissions d'aérosols et de gaz autres que le CO<sub>2</sub> diffèrent d'ailleurs d'un scénario d'émission à un autre, ce qui contribue à ce que le réchauffement correspondant diffère un peu, pour une même quantité de CO<sub>2</sub> cumulée.

L'AR6 conclut que pour stopper le réchauffement anthropique, il faut atteindre au moins des émissions nettes nulles de CO<sub>2</sub> (c'est-à-dire ne plus avancer vers la droite du graphique) et d'autre part assurer de fortes réductions des émissions des autres gaz à effet de serre. En ce qui concerne les émissions de méthane, le rapport affirme que des réductions « fortes, rapides et durables » limiteraient également l'effet de réchauffement résultant de la diminution de la pollution par les aérosols et amélioreraient la qualité de l'air [49]. De fait, l'effet principal des aérosols est un refroidissement de très courte durée (les aérosols étant des particules en suspension dans l'air) qui disparaît si on arrête de brûler des combustibles contenant du soufre (voir question 5). Pour éviter qu'il en résulte un réchauffement, une solution est de réduire simultanément les émissions de méthane, dont l'action est aussi à relativement courte durée [50]. Rappelons cependant qu'une partie des émissions de méthane résulte de l'usage des combustibles fossiles, donc la diminution de ce dernier contribuerait au résultat souhaité. De plus, le rapport du groupe de travail I se concentre sur la physique du climat, il n'évalue pas la pertinence de telle ou telle mesure de réduction. Or, du point de vue du réchauffement planétaire, « supprimer définitivement l'émission de méthane liée à une activité » est approximativement équivalent à « réduire un peu plus tôt les émissions de CO<sub>2</sub> » d'une autre activité : la physique ne fixe pas de priorité entre les mesures possibles [51].

[47] Il faut rappeler que la vapeur d'eau, dont la quantité n'est quasiment pas affectée de manière directe par les activités humaines, est un gaz à effet de serre naturel dont les variations sont bien simulées par les modèles climatiques. Elle n'est pas considérée comme un gaz à effet de serre anthropique.

[48] Et certains gaz fluorés persistent encore plus longtemps que le CO<sub>2</sub>, ce qui renforce l'importance des mesures prises pour limiter l'émission de ces gaz dans le cadre du protocole de Montréal, voir [Lettre n°1](#).

[49] Résumé pour les décideurs, section D.1. L'effet sur la qualité de l'air est lié au rôle du méthane dans la production d'ozone (voir question 5 et paragraphe D.1.7 du SPM)

[50] Elle diminue à l'échelle de la décennie, ce qui est tout de même plus long que l'effet des aérosols, qui se compte principalement en jours.

[51] Sauf indirectement, si on estime être « le dos au mur » face à un objectif de limitation du réchauffement, situation dans laquelle il pourrait devenir nécessaire d'agir au maximum sur tous les leviers possibles. C'est ce qu'affirme le Rapport spécial du GIEC sur un réchauffement de 1.5°C quand il indique que le choix d'« options de réponses » se réduit si les mesures de réduction sont prises trop tardivement (voir [ipcc.ch/sr15](http://ipcc.ch/sr15), section D1.3).

## Q9 « Budget carbone » : que peut-on encore émettre sans dépasser 1,5 ou 2 °C ?

« *Maintenir l'élévation de température moyenne (...) nettement en dessous de 2 °C (...) et poursuivre l'action pour limiter (...) à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels* » : c'est l'un des objectifs essentiels de l'Accord de Paris, de 2015 [52].

Le lien entre émissions cumulées et réchauffement avait déjà été présenté dans l'AR5. Il implique que, pour un niveau de réchauffement moyen donné, il existe un certain « budget carbone » : la quantité de CO<sub>2</sub> qui peut encore être émise avant que ce niveau soit atteint. Cela a été traduit dans l'Accord de Paris par l'objectif d'équilibre entre les sources et les absorptions anthropiques de gaz à effet de serre pour la deuxième moitié du siècle [53]. Ce type d'objectif d'équilibre entre sources et puits anthropiques est qualifié de « neutralité » carbone ou climatique.

[52] Adopté à la COP21 : 1/CP.21 : [unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fre/10a01f.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fre/10a01f.pdf)

[53] Les détails et questions non résolus par cet objectif résultent de la négociation, notamment le fait que dans l'Accord de Paris, l'équilibre entre sources et absorptions se rapporte aux gaz à effet de serre dans leur ensemble, alors que la relation présentée par le GIEC se rapporte au CO<sub>2</sub> (voir section précédente).

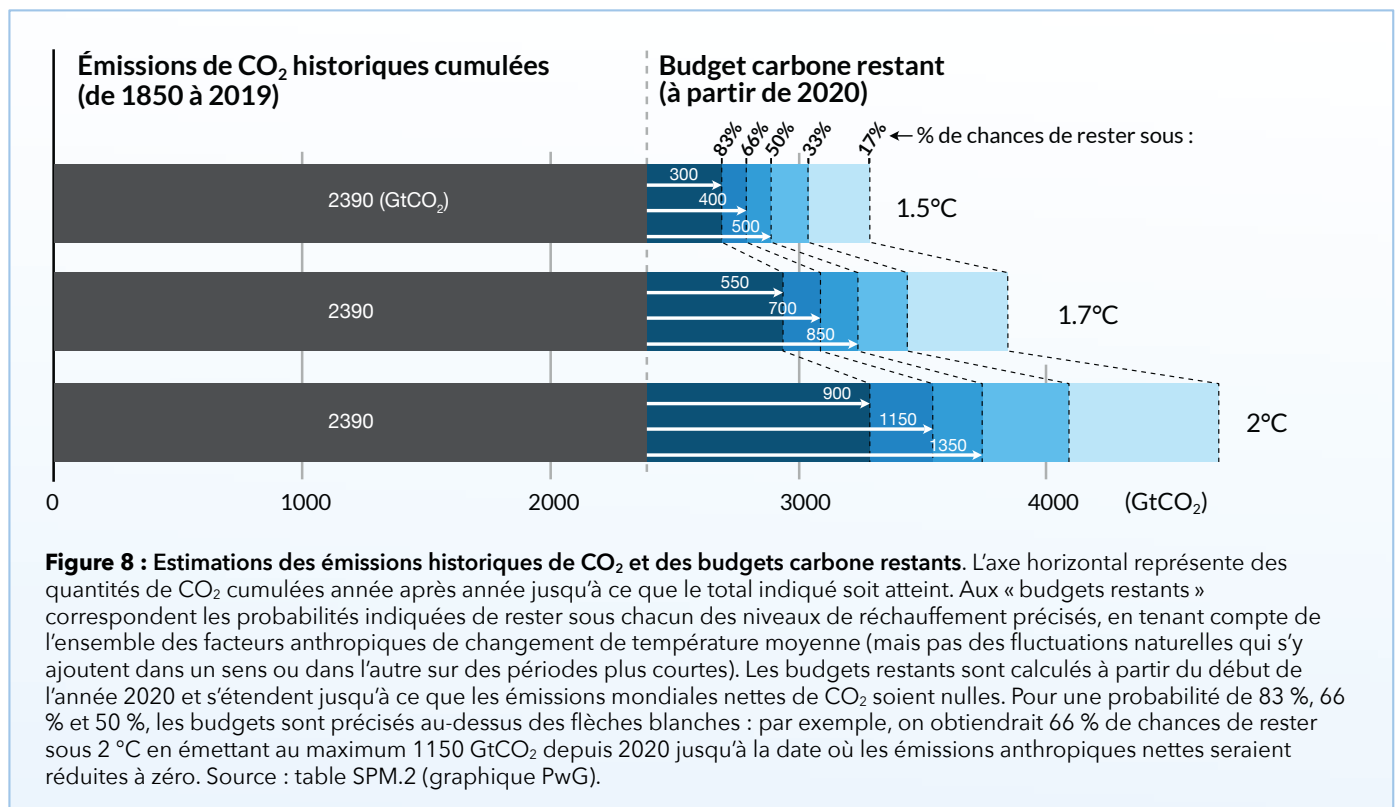
Par contre, le « Pacte de Glasgow », qui présente les décisions générales de la COP26 (2021) fait explicitement référence au CO<sub>2</sub> : il « reconnaît » que rester sous 1.5°C « requiert » des réductions d'émissions rapides et notamment que les émissions mondiales de dioxyde de carbone nettes deviennent nulles vers le milieu du siècle (paragraphe 17), ce qui correspond à l'une des conclusions du Rapport spécial du GIEC sur un réchauffement de 1.5°C (SR15, voir Lettre n°11 : [plateforme-wallonne-giec.be/lettre-11](http://plateforme-wallonne-giec.be/lettre-11); pour le pacte de Glasgow, voir [unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26\\_auv\\_2f\\_cover\\_decision.pdf](http://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf)).

Le 6<sup>e</sup> rapport met les « budgets carbone » à jour, comme présenté à la figure 8 [54]. Comparativement au rapport précédent, la méthodologie a été affinée de plusieurs manières, notamment en ce qui concerne les détails de la définition de la température moyenne mondiale. Cela implique de petits changements, mais ils sont perceptibles parce que les budgets en question sont aussi très petits : les niveaux de 1,5 ou 2 °C sont déjà proches. Les budgets restants (à partir de 2020) représentent des quantités de CO<sub>2</sub> similaires à celles estimées dans le rapport précédent (à partir de 2011) : les nouvelles valeurs, plus précises, sont un peu plus élevées que ce que l'on anticipait. Par le seul effet du passage du temps, les budgets se sont pourtant bel et bien réduits au cours des dernières années, à un rythme d'environ 40 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>) chaque année. Pour obtenir 66 % de chances de rester sous 1,5 °C, on peut encore émettre environ 400 GtCO<sub>2</sub>, ce qui représente environ 10 ans à niveau d'émissions constant.

← [54] Pour plus d'information, voir section D.1 du SPM.

Toutes ces valeurs sont approximatives, notamment parce qu'elles dépendent des émissions des autres gaz, et seront encore précisées dans le rapport du 3<sup>e</sup> groupe de travail, dont la publication est prévue pour le printemps 2022. Mais ces incertitudes n'impliquent que quelques années de plus ou de moins que ce qui est annoncé : au final, pour stopper le réchauffement, il faut que le bilan net des activités humaines cesse d'être un ajout de CO<sub>2</sub> à l'atmosphère [55].

← [55] Il s'agit bien des seules activités humaines, telles que le reboisement, en ne comptant aucune absorption qui n'est pas le résultat direct d'une telle action. C'est parce que, en plus de ce bilan des activités humaines, il y a une réaction des processus naturels qui « compense » une partie de nos émissions par l'absorption de CO<sub>2</sub>, que la stabilisation des températures est possible, comme exposé à la note [46].



### Le niveau des mers continuera de monter pendant longtemps

Si les émissions nettes de CO<sub>2</sub> devenaient négatives à l'échelle mondiale (c'est-à-dire que le captage de CO<sub>2</sub> qui résulte directement d'actions humaines retirait de l'atmosphère une quantité supérieure aux émissions), et ce dans la durée, la tendance à l'acidification des océans (liée au CO<sub>2</sub> dissous) s'inverserait. Progressivement, l'augmentation de la température de surface induite par le CO<sub>2</sub> s'inverserait également. Cependant, d'autres changements climatiques se poursuivraient dans la direction actuelle pendant des décennies ou des millénaires. En particulier, il faudrait plusieurs siècles, voire millénaires, pour que le niveau des mers baisse, même avec un fort niveau d'absorption impliquant de larges émissions négatives [56].

← [56] Paragraphes D1.5 et D.1.6 du SPM. Rappelons aussi que les méthodes de captage de CO<sub>2</sub> (retrait de l'atmosphère) peuvent avoir des effets néfastes, surtout si elles font appel à de grandes quantités de biomasse (paragraphe D.1.4)



# Quelle sera l'évolution des évènements extrêmes ?

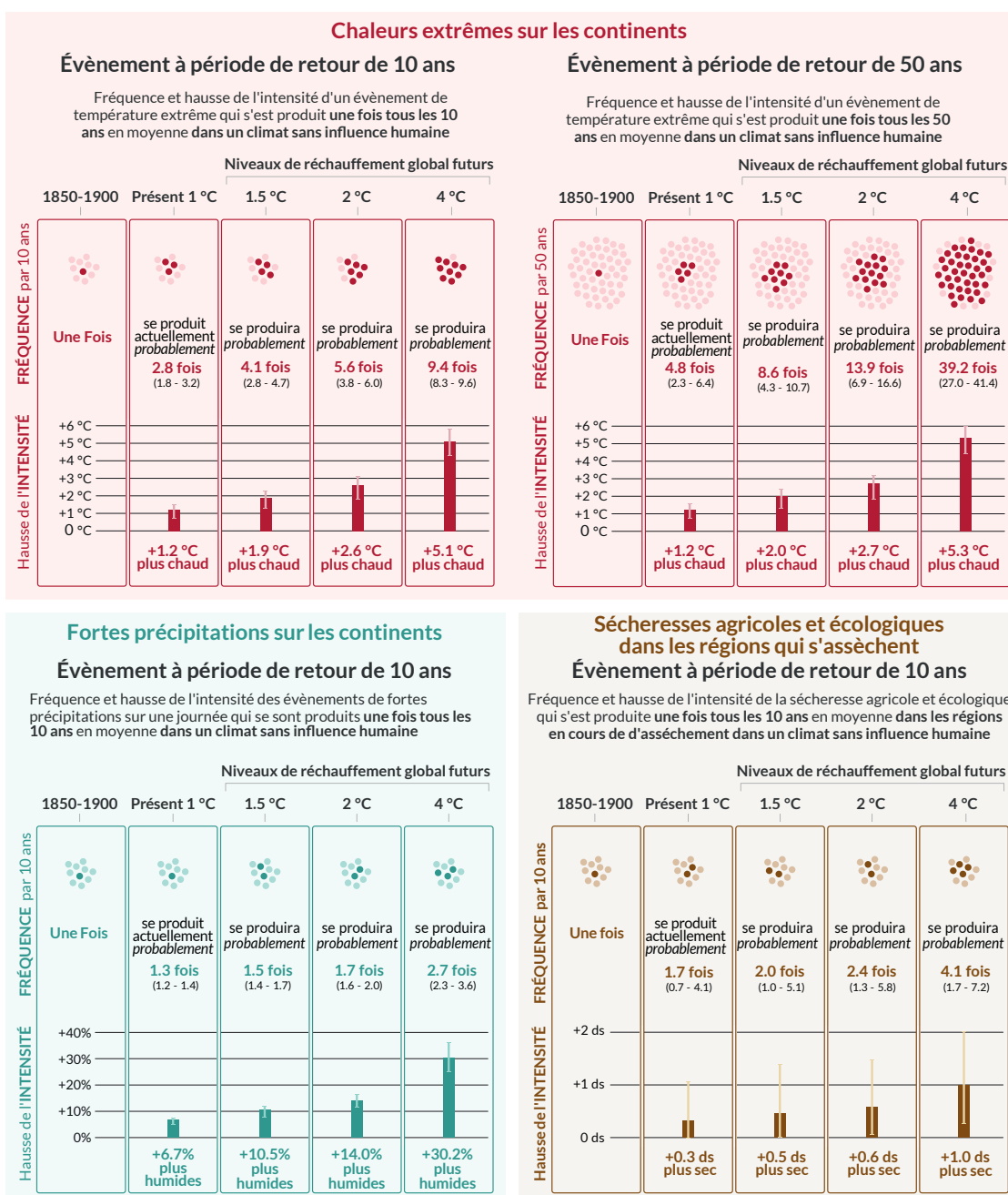
L'AR6 consacre pour la première fois un chapitre entier aux évènements extrêmes [57]. Ce chapitre rapporte de grandes avancées scientifiques en ce qui concerne l'évolution des évènements extrêmes et leur attribution aux activités humaines. Il évalue les changements à l'échelle régionale et planétaire, incluant les observations et leur attribution, et les projections des changements à différents niveaux de réchauffement.

Avec la poursuite du réchauffement climatique mondial, les changements déjà observés vont globalement s'accroître, notamment en ce qui concerne les extrêmes. En particulier, tout réchauffement d'un demi-degré supplémentaire entraîne un accroissement clairement discernable de l'intensité et de la fréquence des extrêmes de chaleur, des fortes précipitations et des sécheresses agricoles et écologiques [58]. Même dans le cadre d'un scénario très optimiste où le réchauffement global serait limité à 1,5 °C, la fréquence et l'intensité des extrêmes continueraient d'augmenter. La figure 9 synthétise l'augmentation globale des extrêmes.

[57] Chapitre 11 : [ipcc.ch/report/ar6/wg1](http://ipcc.ch/report/ar6/wg1)  
Rappelons que le GIEC avait publié en 2012 un rapport spécial consacré à la gestion des risques de catastrophes et phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique : [tinyurl.com/ipccsrex2](http://tinyurl.com/ipccsrex2)

Cette section se fonde principalement sur la Partie B du SPM et la FAQ 11.2: *Will unprecedented extremes occur as a result of human-induced climate change?*

[58] Voir question précédente et section B.2.2. du SPM.



**Figure 9 : Evolution des extrêmes de température, précipitation et sécheresses.** La figure montre le changement de fréquence ou le changement d'intensité, pour un climat plus chaud, en partant d'un évènement qui se produisait une fois tous les 10 ou 50 ans dans le climat de la période préindustrielle. Dans la partie supérieure, chaque point représente une année. Les points de couleur sombre indiquent les années où un évènement d'intensité égale ou supérieure à celle de la période pré-industrielle se produit (augmentation de fréquence à seuil d'intensité constant). Pour plus d'information, voir la légende de la figure source : SPM.6.

Les événements extrêmes futurs peuvent différer de ceux du passé de différentes manières :

- Être de plus grande ampleur, c'est-à-dire que la situation que l'on rencontre à une fréquence donnée devient plus intense. Sur la figure 9, c'est ce que montre la ligne « intensité ». Par exemple, dans le cas des événements de forte chaleur qui surviennent environ tous les 10 ans (en haut à gauche), une augmentation de la température moyenne globale de 4 °C a pour conséquence qu'en moyenne tous les 10 ans, on aura un événement qui sera 5.1 °C plus chaud que l'événement qui survenait tous les 10 ans dans le climat non perturbé. Cela pourra faire apparaître des événements « sans précédent » en termes d'intensité, au sens où un événement de l'intensité en question n'a jamais été observé (dans le cas présent, un niveau de température jamais atteint dans le passé).
- Être plus fréquents, c'est-à-dire qu'un événement d'une ampleur donnée se reproduit plus souvent. En reprenant le premier cas de la figure 9, et pour un réchauffement mondial de 4 °C, un événement du niveau de température qui se produisait environ tous les 10 ans atteindra ce même niveau de température (ou plus) 9,4 fois en 10 ans ! Dans ce cas, c'est la fréquence des événements qui peut être considérée comme « sans précédent ».
- Se produire dans des régions qui n'ont jamais connu le type d'événement en question auparavant. Par exemple, avec l'élévation du niveau de la mer, des inondations côtières peuvent se produire dans de nouveaux endroits et des incendies de forêt peuvent se produire dans des zones, telles que certaines parties de l'Arctique, où la probabilité d'un tel événement était faible auparavant.
- Être sans précédent d'un point de vue temporel. Par exemple, les températures extrêmement chaudes peuvent survenir plus tôt ou plus tard dans l'année que par le passé. Ces changements peuvent poser problème notamment pour l'agriculture.
- Constituer de nouveaux événements composés, où plusieurs événements extrêmes de types différents ou similaires se produisent simultanément et/ou successivement, d'une manière qui ne se produisait pas ou se produisait moins souvent dans le passé. Ces événements composés peuvent souvent avoir un impact sur les écosystèmes et les sociétés plus fort que lorsque les événements se produisent isolément. Par exemple, une sécheresse accompagnée d'une chaleur extrême augmentera le risque d'incendies de forêt et de dommages ou pertes agricoles. Comme les événements extrêmes individuels deviennent plus intenses en raison des changements climatiques, cela peut engendrer des événements combinés sans précédent dans le passé, avec des impacts accrus.

## **Ampleur et répartition géographique des principaux changements**

On s'attend à ce que la plus forte augmentation des températures des jours les plus chauds survienne aux latitudes moyennes et dans les régions semi-arides, ainsi que dans la région de la mousson sud-américaine. Dans ces régions, l'augmentation des températures extrêmes devrait atteindre 1,5 à 2 fois l'ampleur du réchauffement mondial moyen. La carte montrée en couverture de cette Lettre donne un exemple lié à cela : l'augmentation des températures maximales atteint presque 6 °C pour une augmentation des températures moyennes mondiales de 3 °C. La région Arctique devrait connaître la plus forte augmentation de la température des jours les plus froids, à environ 3 fois le taux de réchauffement planétaire. Avec la poursuite du réchauffement climatique, la fréquence des vagues de chaleur marines continuera aussi d'augmenter, en particulier dans l'océan tropical et dans l'Arctique [59].

Il est très probable qu'un réchauffement supplémentaire entraînera une intensification des épisodes de fortes précipitations, qui deviendront plus fréquents dans la plupart des régions. À l'échelle mondiale, sur les continents, les extrêmes pour la quantité de pluie sur une journée s'intensifieront d'environ 7 % pour chaque degré de réchauffement (figure 9) [60].

La proportion des cyclones tropicaux intenses (de catégorie 4 ou 5) et les vitesses de vent maximales des cyclones tropicaux les plus intenses continueront d'augmenter à l'échelle mondiale, selon les projections (on s'attend à ce que le nombre total de cyclones reste stable ou diminue, mais avec davantage de cyclones parmi les plus puissants).

[59] Voir section B.2.3 du SPM

[60] L'air peut contenir environ 7 % de vapeur d'eau en plus par degré de réchauffement, c'est un principe physique de base lié à l'équilibre entre eau liquide et vapeur d'eau; cela permet à l'atmosphère de transporter davantage d'eau et influence particulièrement la quantité de pluie maximale.

# Quels sont les facteurs climatiques qui vont causer des impacts ?

Pour la première fois, ce rapport du GIEC comprend un chapitre spécifiquement dédié à l'évaluation des facteurs liés aux changements climatiques qui peuvent avoir des conséquences pour les êtres humains ou leur environnement [61]. Dans ce cadre, le rapport définit le concept de « facteurs d'impacts climatiques » (en anglais *Climate Impact Drivers*, CID). Les CIDs sont des modifications des conditions physiques du système climatique qui affectent un élément de la société ou des écosystèmes. En fonction de la tolérance du système, les CIDs et leurs changements peuvent avoir des conséquences néfastes, bénéfiques, neutres ou combiner plusieurs de ces situations. Ils concernent tous les facteurs climatiques, tels que la température (gel, canicules...), l'eau (dont la présence augmente ou diminue), le vent et les tempêtes...

Les facteurs d'impacts climatiques doivent être évalués à l'échelle locale ou régionale vu l'interaction directe des infrastructures et des écosystèmes avec leur environnement immédiat. Avec la poursuite du réchauffement climatique,

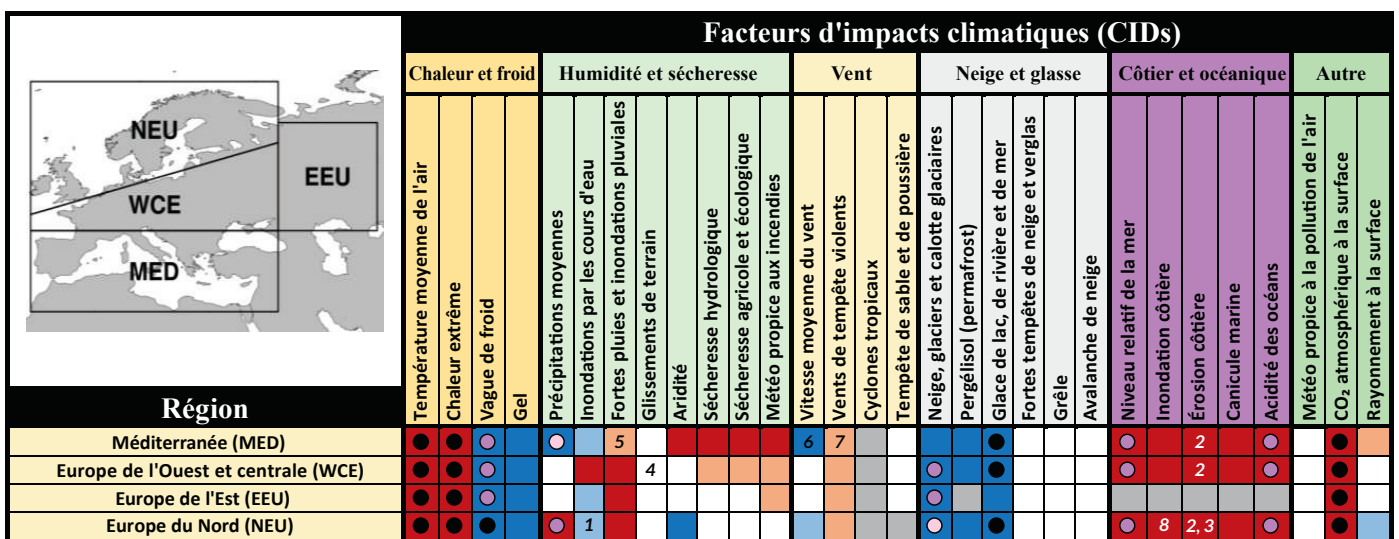
chaque région du monde fera de plus en plus l'expérience des changements simultanés et multiples de CIDs, mettant sa résilience et sa capacité d'adaptation à l'épreuve. Le Résumé pour les décideurs présente une synthèse globale de l'évolution des CIDs sous la forme du nombre de régions affectées par un changement dans un sens ou dans l'autre [62]. Elle montre notamment que beaucoup de changements touchent toute la planète de manière quasiment identique (vagues de chaleur ou de froid, neige et glaciers...), alors qu'une minorité change de manière contrastée selon les régions (aridité, vent moyen...).

## Facteurs d'impacts climatiques en Europe

La figure 10 présente une évaluation de la direction du changement projeté pour chaque facteur d'impacts climatiques en Europe, ainsi que le moment où ce changement dépasse la variabilité naturelle.

[61] Il s'agit du chapitre 12. Le précédent rapport d'évaluation (AR5) comportait un chapitre dédié aux aspects régionaux, mais celui-ci adopte une nouvelle approche fondée sur l'information pertinente pour l'évaluation des impacts. Il s'agit ici d'évaluer les facteurs de causalité de nature physique, et non les impacts eux-mêmes, dont l'évaluation est la tâche du groupe de travail 2.

[62] Voir figure SPM.9.



- À l'exclusion du sud du Royaume-Uni.
  - Le long des côtes sablonneuses et en l'absence de puits/sources de sédiments supplémentaires ou d'obstacles physiques au recul du littoral.
  - Le littoral de la mer Baltique progresse vers l'avant si les taux de changement du trait de côte actuel se poursuivent.
  - Dans les Alpes, le risque de glissement de terrain est susceptible d'augmenter.
  - Faible confiance en une diminution dans la partie la plus méridionale de la région.
  - Diminution générale, sauf en mer Égée où l'on observe une augmentation.
  - Confiance moyenne dans la diminution de la fréquence et l'augmentation des intensités.
  - Sauf dans la région nord de la mer Baltique.
- Est déjà apparent dans la période historique (confiance moyenne à élevée)
  - Émergera (de la variabilité naturelle) dans les années 2050 au moins dans les scénarios RCP8.5 et SSP5-8.5 (confiance moyenne à élevée)
  - Émergera entre les années 2050 et 2100, au moins dans les scénarios RCP8.5 et SSP5-8.5 (confiance moyenne à élevée)

Légende	
■	Confiance élevée en une diminution
■	Confiance moyenne en une diminution
■	Confiance faible pour la direction du changement
■	Confiance élevée en un accroissement
■	Peu pertinent dans l'ensemble

**Figure 10 : Résumé de la direction du changement projeté pour les facteurs d'impacts climatiques en Europe et du niveau de confiance associé.** On considère les changements caractéristiques agrégés, pour le milieu du siècle et dans les scénarios où les émissions sont « moyennes » (tels que SSP3-4.5) ou élevées, résultant en un niveau de réchauffement moyen global compris entre 2 et 2.4 °C au-dessus du niveau préindustriel. La définition des régions est indiquée à gauche du tableau. Le tableau indique également le moment où le changement de facteur d'impact « émerge » de la variabilité interannuelle naturelle (c'est-à-dire la dépasse en amplitude), si le niveau de confiance est jugé au minimum moyen (les détails explicatifs sont fournis en bas de la figure).  
Note : cette légende est présentée ici sous une forme vulgarisée ; pour la formulation complète, voir chapitre 12, table 12.7.

Les principaux changements sont les suivants [63] :

- Chaleur et froid : Le réchauffement va se poursuivre, et il est très probable que la fréquence des chaleurs extrêmes va s'accroître au 21<sup>e</sup> siècle, d'autant plus que l'on se rapproche du sud du continent. Les seuils critiques pour la santé, l'agriculture et d'autres secteurs seront plus fréquemment dépassés, d'une manière qui dépend fortement du scénario d'émissions. Il est probable que les vagues de froid vont quasiment disparaître vers la fin du siècle.
- Eau : Les inondations par débordement de cours d'eau vont s'accroître dans la région « Europe centrale et de l'Ouest » (telle que définie dans le cadre de l'AR6, voir figure 10) ; le niveau de confiance est élevé à partir du milieu du siècle, sauf dans les scénarios où les émissions sont faibles (tels que RCP2.6) [64]. Dans les autres parties de l'Europe (nord, est et sud), le risque d'inondations pourrait diminuer (le niveau de confiance est moyen). L'aridité et les sécheresses vont s'accroître dans la région méditerranéenne à partir du milieu du siècle, à l'exception des scénarios où les émissions sont faibles [65]. Les conditions favorables aux feux de forêt seront plus présentes.
- Vent : La vitesse moyenne du vent a diminué au cours du siècle passé en Europe, mais il n'y a pas de lien établi avec le réchauffement global. Les projections indiquent aussi diminution de la force moyenne du vent dans les régions méditerranéennes et dans une partie du nord de l'Europe [66]. Il n'y a pas de changement futur bien déterminé en Europe de l'Ouest, centrale, et de l'Est (voir Figure 10). Pour un réchauffement de 2°C ou plus, on s'attend à une légère augmentation de la fréquence et de la force des vents forts et tempêtes (niveau de confiance moyen).
- Neige et glace : L'étendue et la durée saisonnière de la couverture de neige vont se réduire, et les glaciers vont continuer à reculer. La fonte et la dégradation du pergélisol (en anglais permafrost) vont s'accroître au cours du siècle.
- Côtes et océans : Il est extrêmement probable que l'élévation relative du niveau de la mer se poursuive autour de l'Europe (à l'exception du nord de la mer Baltique), contribuant à l'augmentation des inondations côtières dans les zones de faible altitude et au recul du littoral le long de la plupart des côtes sableuses.

← [63] Voir chapitre 12, section 12.4.5 Europe. Nous en présentons ici seulement des extraits, pas une traduction complète.

[64] La zone « Europe centrale et de l'Ouest » reste très grande par rapport à la Belgique, et le rapport (figure 12.9) suggère qu'il y aura des changements contrastés (positifs et négatifs) à l'intérieur de cette région. Cela implique qu'il y aura davantage de changements au niveau local que ce que l'on peut voir dans une moyenne. De plus, l'évaluation est principalement basée sur des modèles régionaux à haute résolution (voir euro-cordex.net), dont les résultats ne sont pas encore basés sur la dernière génération de scénarios présentée dans l'AR6. Pour au moins ces deux raisons, tirer des conclusions quantitatives pour la Belgique nécessite une analyse qui dépasse le cadre de cette Lettre, et dans une large mesure, celui d'un rapport du GIEC – qui doit couvrir toute la planète.

[65] Scénarios RCP2.6 et SSP1-2.6 (voir question 6).

[66] Voir section 12.4.5.3 (chapitre 12). Ce texte indique une baisse pour l'Europe du Nord, avec un niveau de confiance moyen ; notre compréhension se fonde aussi sur l'Atlas régional (voir ci-dessous), qui suggère que l'évolution du vent moyen projetée pourrait varier à l'intérieur des régions considérées.

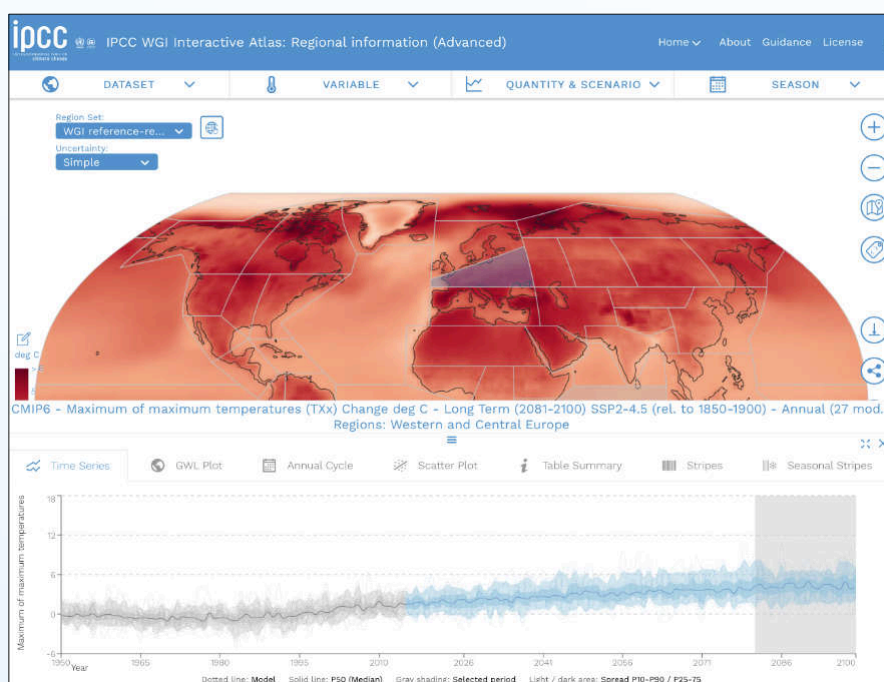
## Atlas interactif

En complément du rapport, le GIEC met à disposition un site web qui donne accès à un grand ensemble de données. Une première partie reprend des observations et des projections pour le futur, pour les différents scénarios présentés dans cette Lettre (question 6). Différentes variables climatiques sont accessibles, y compris en ce qui concerne les valeurs extrêmes. Elles sont principalement présentées sous forme de cartes et de courbes d'évolution temporelle, complétées d'autres types de graphiques. Il est également possible de télécharger des données.

Une deuxième partie du site permet d'accéder à des informations quantitatives au sujet des facteurs d'impacts climatiques (CIDs) présentés à la question 11 ci-dessus.

L'exploration de ce grand ensemble de données est très intéressante, mais n'est probablement pas évidente au premier abord. Le site dispose cependant d'une documentation complète, avec une vidéo introductive. En date de publication de cette Lettre il est possible de répondre à une enquête relative à votre « expérience d'utilisateur » ; certains détails de la documentation sont encore en développement.

Accès : <https://interactive-atlas.ipcc.ch>





# > Inondations de Juillet 2021 : Analyse de la gestion des voies hydrauliques

Rédaction : PwG [\*]

## Rapport du bureau Stucky et de l'Université de Liège

À la suite des inondations de juillet 2021, le cabinet du ministre Philippe Henry a confié au bureau d'études suisse Stucky, en collaboration avec l'Université de Liège (professeurs Catherine Fallon et Jacques Teller), le mandat de réaliser une analyse indépendante de la manière dont les voies d'eau et les barrages ont été gérés pendant cette crise. La première partie de cette étude, publiée en octobre 2021 [1], analyse le déroulement de la situation vécue en juillet, notamment en ce qui concerne les précipitations, les débits observés, la gestion du barrage d'Eupen, la qualité des informations disponibles, les mécanismes de prise de décision et la perception des événements par les citoyens. La seconde partie, publiée en décembre 2021, présente des recommandations pour le futur [2].

L'analyse de la crise confirme notamment le caractère très rare du phénomène pluvieux : la quantité de pluie tombée au cours de cet épisode correspond quasiment au double des quantités observées dans le passé, et le débit de la Vesdre a « dépassé la crue centennale ». À notre connaissance, ce document ne traite pas du rôle des changements climatiques. Cependant, et comme l'indique le rapport du GIEC, on attend une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de forte pluie dans un climat plus chaud (voir question 10). Les projections pour la Belgique vont dans le même sens (voir plus bas). Une première étude confirme d'ailleurs les changements climatiques ont augmenté et augmenteront encore la probabilité d'événements de fortes pluies comme celles qui, à l'été 2021, ont contribué aux inondations en Belgique, en Allemagne et au Luxembourg [3].

Selon l'analyse dirigée par le bureau Stucky, le barrage d'Eupen [4] « a joué son rôle d'écrêtage de la crue » et « les manœuvres ont été réalisées conformément à la note de manutention ». Le rapport précise que sans le barrage, « la situation aurait été encore plus catastrophique » [5].

Les auteurs indiquent que la configuration de la vallée de la Vesdre et les caractéristiques de son urbanisation ont pour conséquence que l'habitat y est très vulnérable [6]. Ils rappellent aussi qu'aucune règle ne s'oppose à la construction en zone inondable de manière contraignante, bien que les assureurs puissent refuser d'accorder des contrats pour les constructions dans ces zones. Par ailleurs, ils estiment qu'il y a un manque de clarté dans le partage des responsabilités entre les différentes instances qui interviennent dans la gestion des risques et dans celle des crises.

[\*] Cet article a bénéficié de la relecture d'une version préliminaire par le professeur Jacques Teller, que nous remercions. La version publiée est entièrement sous responsabilité de la Plateforme, à l'exception des éléments recopiés des sources indiquées.

[1] Premier volet de l'étude (analyse des faits) : [tinyurl.com/stucky-1](https://tinyurl.com/stucky-1)

[2] Deuxième volet de l'étude (recommandations) : [tinyurl.com/stucky-2](https://tinyurl.com/stucky-2)

[3] Kreienkamp et al., 2021 : Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. World Weather Attribution: [tinyurl.com/wwa-2021](https://tinyurl.com/wwa-2021). L'étude se consacre aux pluies et non à la probabilité de l'inondation elle-même, plus complexe à étudier de manière quantitative. Elle précise cependant que les fortes pluies sont l'un des facteurs de causalité des inondations. Il est possible que le réchauffement global n'ait fait qu'aggraver des inondations qui auraient quand même été majeures en l'absence de changements climatiques : à ce stade, la marge d'incertitude est grande, même en ce qui concerne les pluies. Une difficulté fondamentale de l'analyse d'événements extrêmes est qu'ils sont rares, par définition, ce qui limite la quantité de données disponibles.

[4] Sur la Vesdre, qui s'écoule ensuite vers des localités qui ont été très touchées, dont Verviers et Pepinster. L'analyse détaillée présentée dans ce rapport se concentre sur le bassin de la Vesdre. En dehors de cette région particulièrement touchée, d'autres villes ont aussi été fortement inondées, notamment Rochefort. Pour plus d'information, voir par exemple [wallonie.be/fr/actualites/inondations-202-communes-wallonnes-reconnues-comme-calamites-naturelles](https://wallonie.be/fr/actualites/inondations-202-communes-wallonnes-reconnues-comme-calamites-naturelles)

[5] Voir section 2.1 de la 2<sup>e</sup> partie de l'étude, qui précise que la rapidité de la crue n'a pas permis de créer une réserve supplémentaire pour retenir ensuite davantage d'eau, et que la création d'une réserve supplémentaire n'était pas prévue par la note de manutention.

[6] Voir notamment les projets de *Plans de gestion des risques d'inondations 2022-2027* : [inondations.wallonie.be/home/directive-inondation/plans-de-gestion-des-risques-dinondation/pgri-2022-2027.html](https://inondations.wallonie.be/home/directive-inondation/plans-de-gestion-des-risques-dinondation/pgri-2022-2027.html)



Photo : Forrières (Nassogne), le 15 juillet 2021, avec l'autorisation de M Blaise



Les recommandations présentées dans la deuxième partie de l'étude sont réparties en quatre domaines : la gestion des barrages, les systèmes d'alerte, la prévention des crues, et la planification et gestion de crise. Deux tiers des 35 mesures proposées sont jugées urgentes. Certaines mesures peuvent probablement être mises en œuvre rapidement, notamment lorsqu'il s'agit d'adapter des procédures de gestion (barrages, systèmes d'alerte), alors que d'autres impliquent des changements de grande ampleur, par exemple quand il s'agit d'élargir les cours d'eau, de créer des zones inondables, de rehausser des berges ou des ponts, de modifier le plan de secteur...

Nous avons vu peu de références explicites aux changements climatiques dans la partie du rapport consacrée aux recommandations. Une mesure a été proposée par le SPW Mobilité et Infrastructures et validée par les auteurs : « engager la réflexion sur la prise en compte du changement climatique pour la résilience des ouvrages hydrauliques et pour la détermination de l'aléa d'inondation ».

L'étude rappelle que jusqu'à présent, en Wallonie, les changements climatiques ont principalement été pris en compte via un scénario où les débits sont augmentés de 30 % au-dessus de la valeur extrême centennale. Est-ce suffisant ? Dans le cadre des derniers scénarios climatiques établis pour la Belgique, une augmentation des précipitations extrêmes nettement supérieure à 30 % a été simulée par une partie des modèles, pour la fin de ce siècle comparativement à la fin du siècle précédent [7]. Le risque est plus grand si les émissions de gaz à effet de serre sont élevées, mais une augmentation importante de l'intensité des pluies extrêmes est également possible dans un scénario où le réchauffement planétaire n'atteint pas 2 °C.

On estime par ailleurs qu'en l'absence de changements climatiques additionnels, un événement de l'ampleur de celui de l'été dernier surviendrait toutes les quelques centaines d'années *en un endroit donné* [8]. Dans ces conditions, n'est-il pas urgent d'étendre l'analyse des risques au-delà de l'évènement qui survient une fois par cent ans ?

Ces quelques remarques ne donnent qu'un aperçu des questions qui se posent, elles ne peuvent évidemment pas remplacer une mise à jour et un approfondissement de l'analyse scientifique.

[7] L'étude qui présente ces scénarios s'intéresse principalement à la quantité de pluie qui tombe en une journée, dont elle analyse notamment la quantité maximale atteinte en moyenne tous les 15 ans. L'augmentation de ces valeurs extrêmes concerne aussi bien l'été que l'hiver. Source : Termonia et al. 2018: *The CORDEX.be initiative as a foundation for climate services in Belgium*. Climate Services, [doi.org/10/gg4vzb](https://doi.org/10/gg4vzb). Voir aussi notre Lettre n°18.

[8] Kreienkamp et al. [3] évalue la probabilité que cela survienne en un endroit donné à 1 sur 400 ans, et précise que cela signifie qu'on peut s'attendre à ce que la survenue *plus d'une fois en 400 ans à l'intérieur d'une zone* située entre le nord des Alpes et les Pays-Bas (pas toujours au même endroit). Aussi bien cette étude que le rapport de Stucky et de l'ULiège précisent que l'incertitude qui affecte ces estimations de période de retour est grande, car on ne dispose pas d'observations sur une aussi longue période de temps.



# > Impressions sur la Plénière d'approbation du rapport

Elisabeth Rondiat, membre de la plateforme wallonne pour le GIEC de mars à août 2021  
et membre de la délégation belge lors de la séance plénière d'approbation du volume 1 de l'AR6

Aux quatre coins de la planète, les effets des changements climatiques se font indéniablement ressentir. Cet été, nous avons observé et subi un nombre inédit de catastrophes climatiques dont des inondations sans précédent en Europe, des records de chaleur atteints à de nombreux endroits du globe, ainsi que des incendies dévastateurs. Ces manifestations des changements climatiques soulignent l'urgence de la situation et l'importance d'actions immédiates au niveau politique.

C'est dans ce contexte que s'est tenue, du 26 juillet au 6 août 2021, la session d'approbation de la contribution du groupe de travail 1 au 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC, couplée à la 54<sup>e</sup> assemblée Plénière. J'ai eu l'opportunité d'y prendre part au sein de la délégation belge, placée sous la responsabilité du professeur Jean-Pascal van Ypersele.

Le premier jour de cette plénière, une personne de la délégation française a partagé un Tweet : Qu'est-ce qui ressemble à un sport olympique, mais n'en est pas un ? Une Plénière du GIEC. Naïvement, j'avais souri, mais n'avais pas encore réalisé à quel point cela était véridique.

Participer à l'adoption d'un rapport du GIEC était à mes yeux une occasion unique de découvrir les procédures d'une entité que j'ai toujours énormément admirée au cours de mon parcours scientifique. Pour parvenir à l'approbation du *Résumé pour les décideurs de la contribution du Groupe de Travail I (aspects physiques) au sixième Rapport d'évaluation*, chaque ligne de ce texte a été soumise à une discussion en assemblée plénière, sous le contrôle des auteurs scientifiques.

Approuver 40 pages en 10 jours, cela semble a priori faisable. Néanmoins, cette 54<sup>e</sup> Plénière était unique, car organisée en pleine crise sanitaire, nous obligeant à nous réunir en mode virtuel. Il s'agissait d'un vrai défi organisationnel et technique pour permettre la participation des nombreuses délégations réparties aux quatre coins du monde. Il n'est pas facile de réunir des personnes se trouvant dans tous les créneaux horaires de la planète. Au sein de la délégation belge, nous pouvions nous estimer heureux avec des débuts de journée à 6 h et des fins à minuit. La délégation de Nouvelle-Zélande, par exemple, n'a pas été aussi chanceuse et passait parfois de longues nuits à débattre les changements à apporter au rapport.

De plus, le processus s'est révélé plus long et complexe que ce que j'avais pu imaginer. En effet, l'approbation du rapport dépend d'un consensus total entre les différentes délégations de tous les pays membres de l'ONU. Chaque mot qu'il contient doit être approuvé et plusieurs heures peuvent être passées à discuter d'une seule phrase, au gré de freinages ou blocages par l'une ou l'autre délégation qui ne la considère pas optimale. Les débats peuvent être longs et chaque pays défend sa vision, ou parfois même certains intérêts. Ces débats sont supervisés par un modérateur qui donne également la parole aux auteurs du rapport. Ces derniers répondent à leur tour aux diverses questions des délégations et assurent la validité scientifique du contenu, par rapport auquel ils ont toujours le dernier mot.

Comme j'ai pu le découvrir, ce processus est parfois fastidieux. Les premières séances plénières ne permettent qu'une analyse globale, paragraphe par paragraphe, des commentaires généraux. Les différentes parties du Résumé sont ensuite discutées en groupe de contact, en dehors des séances plénières. Et là, il n'était pas rare qu'en trois heures de discussion, seules quelques phrases, se comptant sur les doigts d'une main, fassent l'objet d'un consensus. La patience était la clé.

Cependant, durant ces 10 jours, j'ai pu réaliser l'importance de ce processus. L'implication des délégations gouvernementales permet l'apport d'avis extérieurs et non-experts sur le résumé. Ce regard externe contribue à rendre les messages essentiels plus compréhensibles, et donc à remplir la mission d'informer les décideurs politiques et le grand public. Au vu de l'urgence de la situation, ces messages doivent d'être clairs, concis et sans ambiguïtés.

Le vendredi 6 août, quand je pensais, je l'avoue, que jamais nous ne serions dans les temps, ce nouveau résumé pour les décideurs politiques a été approuvé lors d'une dernière séance plénière officielle. Il est le résultat de deux semaines intenses de travail. Deux semaines durant lesquelles nous avons passé de 6 à 12 h par jour et nuit devant nos écrans, à travailler intensément pour aboutir dans les temps. Ces deux semaines de travail peuvent s'apparenter à un vrai marathon, l'auteur du Tweet ne s'était pas trompé. Toutefois, le résultat justifiait tout l'effort effectué en amont. Le défi était de taille pour nous, pour les organisateurs et pour les auteurs qui ont également travaillé ardemment pendant les heures de repos des délégations pour apporter les modifications nécessaires.

J'espère que ce rapport, fruit de l'implication de tant de centaines de personnes, parviendra à remplir son rôle informatif et ouvrira les yeux de tous sur l'ampleur de l'urgence de la situation dans laquelle notre planète se trouve aujourd'hui.





# > Mon expérience d'auteur du 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation De la nomination à la session d'approbation

Rafiq Hamdi, chercheur à l'Institut Royal Météorologique,  
auteur principal du 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC (chapitre 10)

C'est vers la fin de l'après-midi du 2 février 2018 que j'ai reçu un email du secrétariat du GIEC annonçant ma sélection comme auteur principal (en anglais Lead Author, LA) de la contribution du Groupe I au 6<sup>e</sup> Rapport d'évaluation du GIEC. Cette sélection faisait suite à ma nomination comme candidat auteur par le Service public fédéral de programmation de la politique scientifique (BELSPO [1]). Le mandat : participer à la rédaction du chapitre 10, Relier les changements climatiques mondiaux et régionaux [2].

J'avais précédemment pris part à la rédaction du Rapport spécial sur les changements climatiques et les terres, publié en août 2019 [3], en tant qu'auteur contributeur (en anglais *Contributing Author*, CA). À ce titre, j'avais rédigé un point du rapport au sujet de l'impact de l'urbanisation sur le climat local des villes.

La première réunion du groupe d'auteurs principaux de l'AR6, dite *First Lead Author Meeting* (LAM1), s'est tenue en Chine à la fin juin 2018. Lorsque le groupe chargé de rédiger le chapitre 10 s'est réuni pour la première fois, je connaissais encore peu les procédures du GIEC et le rôle de auteurs principaux, qui est nettement plus étendu que celui des auteurs contributeurs. Environ 30 % des auteurs principaux étaient également novices. L'apprentissage nécessaire n'a pas été facile et a parfois généré des tensions entre auteurs, mais Valérie Masson-Delmotte, co-présidente du groupe de travail I, a fait les mises au point nécessaires pour maintenir une ambiance de travail sereine.

À la fin de la semaine de réunion, la répartition des sections entre auteurs était terminée.

De retour à Bruxelles, j'étais loin d'imaginer la quantité de travail que cela allait représenter, notamment en raison de ma désignation comme coordinateur de la 2<sup>e</sup> section du chapitre. Cette section traite de l'utilisation d'observations comme source d'information sur le climat régional, ce qui est plus vaste et plus diversifié que mon domaine d'expertise spécifique. J'ai dû impliquer plusieurs auteurs-contributeurs pour m'aider dans cette tâche et j'ai beaucoup appris.

L'écriture de rapports du GIEC suit des procédures et pratiques bien établies, avec plusieurs ébauches de textes soumises à relecture interne puis externe [4]. Dès mon retour de Chine, j'ai entamé la recherche et l'analyse de la littérature pertinente ainsi que l'identification d'auteurs contributeurs potentiels à contacter pour compléter l'expertise sur des aspects spécifiques.

Le groupe d'auteurs a rédigé une première ébauche de texte, appelée *zero order draft*, en commençant par effectuer une recherche systématique de la littérature scientifique « relue par les pairs » en lien avec notre sujet [5]. Pour chacune des informations importantes que nous en avons extraites de ces publications, nous avons veillé à construire un jugement au sujet des incertitudes et niveaux de confiance associés, pour lesquels les auteurs doivent suivre un cadre de travail et une terminologie bien définie par le GIEC [6]. Un autre objectif de ce travail est de bien représenter la diversité des études scientifiques, en étant notamment attentif à la littérature relative aux pays en développement, qui font souvent l'objet de moins de publications. Le *zero order draft* fait uniquement l'objet d'une relecture de type « interne », c'est-à-dire par d'autres scientifiques impliqués dans la préparation du rapport en cours ou dans de précédents rapports du GIEC.

Le traitement des commentaires reçus suite à cette relecture nous a aidés à rédiger la version suivante du texte : le *first order draft*. C'est la première ébauche soumise à une relecture « externe », c'est-à-dire ouverte à l'ensemble de la communauté scientifique, sur une base volontaire. Il en résulte de très nombreux commentaires (quelques milliers pour le chapitre 10). Les prendre en compte représente un travail de grande ampleur, indispensable pour parvenir au *second order draft*. Celui-ci fait l'objet d'un dernier tour de relecture ; en plus de la communauté scientifique, cette relecture est aussi ouverte aux gouvernements (via leurs points focaux pour le GIEC).

[1] Point de contact du GIEC pour la Belgique, voir page 4.

[2] *Linking global to regional climate change*

[3] *Special report on Climate change and Land* (voir [plateforme-wallonne-giec.be/lettre-14](http://plateforme-wallonne-giec.be/lettre-14))

## Pourquoi les villes sont-elles des « points chauds » du réchauffement climatique ?

En zones urbaines, les températures de l'air peuvent être supérieures de plusieurs degrés Celsius à celles des zones environnantes, en particulier pendant la nuit. Cet effet d'« îlot de chaleur urbain » résulte de plusieurs facteurs, notamment la réduction des mouvements d'air et le piégeage de la chaleur en raison de la proximité de grands immeubles, la chaleur générée directement par les activités humaines, les propriétés d'absorption de la chaleur du béton et d'autres matériaux de construction urbains, et la quantité limitée de végétation. La poursuite de l'urbanisation et l'intensification des vagues de chaleur associée aux changements climatiques amplifieront encore cet effet à l'avenir.

Source : question fréquente 10.2 de l'AR6, chapitre 10 : [ipcc.ch/report/ar6/wg1](http://ipcc.ch/report/ar6/wg1), traduction informelle par la PwG.

[4] Pour plus d'information, lire la fiche d'information *Comment fonctionne le processus d'examen du GIEC ?* [ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_review\\_process\\_fr.pdf](http://ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_review_process_fr.pdf)

[5] Pour plus de détails voir la fiche d'information *Sur quels documents le GIEC se fonde-t-il ?* [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_ipcc\\_assess\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_ipcc_assess_fr.pdf)

[6] *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties* (en anglais seulement) : [ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf](http://ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf)



Entre ces périodes de relecture, nous avons eu de nouvelles réunions d'auteurs du même type que le LAM1 au début du processus : le LAM2 a eu lieu à Vancouver, le LAM3 s'est tenu à Toulouse. Ces réunions ont contribué à la prise en compte des commentaires reçus et à assurer la coordination entre auteurs. La dernière réunion, après toutes les relectures du chapitre, est le LAM4. Elle est destinée à la préparation du *final government draft*, dont les chapitres ne sont plus soumis à relecture. Cette réunion a eu lieu en mode virtuel, car la pandémie liée au COVID 19 avait débuté.

En plus de ces grandes réunions de tous les auteurs du rapport, nous avons eu une centaine de réunions internes à notre chapitre, avec la participation d'auteurs d'autres chapitres afin d'assurer la cohérence de l'ensemble de la contribution du groupe de travail I. En fin de rédaction, nous avons fait une dernière recherche des publications scientifiques afin d'assurer que le chapitre soit le plus à jour possible. Pour toutes les évaluations où l'on a explicité un niveau d'incertitude ou de confiance, en suivant le vocabulaire codifié prévu par GIEC, ces qualificatifs ont été vérifiés plusieurs fois.

En 2020, le début de la pandémie a compliqué notre tâche, notamment en limitant l'accès à nos ressources habituelles à la suite du télétravail généralisé. Lors de la finalisation de la dernière ébauche (le *final government draft*), tout le groupe d'auteurs est resté connecté tard dans la nuit pour les dernières corrections. À l'issue de ce dernier effort, nous étions très contents du résultat, mais un peu déçus de ne pouvoir fêter cet accomplissement ensemble.

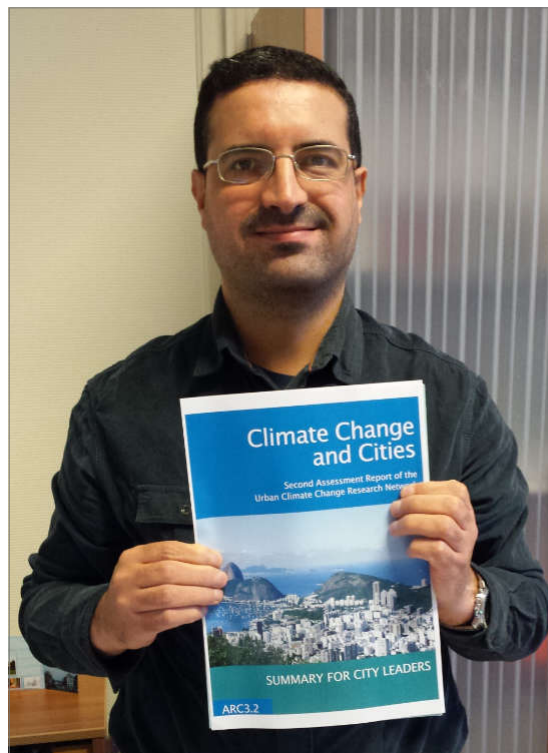
En plus du chapitre, j'ai été invité à participer à la rédaction du Résumé pour les décideurs (en anglais *Summary for Policymakers*, SPM). L'objectif principal était d'y contribuer dans mon domaine d'expertise spécifique, c'est-à-dire sur le thème du climat urbain. Il en a résulté le paragraphe C2.6 qui aborde l'effet combiné des changements climatiques et de l'urbanisation. Ce paragraphe a été approuvé en séance plénière moyennant quelques adaptations, et figure donc dans le texte final du SPM. J'en suis très fier !

La séance d'approbation SPM a duré deux semaines en mode virtuel. Cela a été une expérience unique et incroyable pour moi, même si auparavant j'avais déjà participé à la Plénière d'approbation du SPM du GTI pour l'AR5, au sein de la délégation belge. Cette fois-ci, en tant qu'auteur, mon implication et mon ressenti ont été très différents.

Ce que je retiens de ces deux semaines, c'est une sorte de « combat » pour le choix des mots. En effet, le SPM de chaque groupe de travail doit faire l'objet d'une approbation « mot par mot » lors d'une session plénière [7] à laquelle participent les représentants des gouvernements. Les auteurs, ainsi que les co-présidents du Groupe de travail concerné, sont là pour assurer la robustesse scientifique ainsi que la clarté du SPM. Les scientifiques gardent cependant toujours le dernier mot quant au contenu du rapport : rien ne peut être approuvé sans leur accord.

Les gouvernements présents ont globalement fait preuve de respect pour le travail scientifique des auteurs. Cependant, il est fréquent que des pays interviennent pour tenter d'orienter la formulation dans un sens qui serve leurs intérêts économiques ou politiques, ou pour tenter d'empêcher l'adoption d'une phrase qui pourrait heurter ces intérêts. Les pays qui ont des intérêts communs appuient mutuellement leurs déclarations. Par exemple, ceux qui craignent que leur développement soit freiné par des mesures de lutte contre les changements climatiques interviennent pour rappeler la responsabilité historique des pays développés dans l'émission de gaz à effet de serre. Quant aux pays pétroliers, ils tentent de limiter tout ce qui montre le rôle des combustibles fossiles : quand une phrase parle de CO<sub>2</sub>, ils demandent systématiquement d'inclure les autres gaz à effet de serre [8]. Ils tentent aussi d'ajouter autant de références que possible aux incertitudes liées aux modèles climatiques. À l'inverse, les pays menacés par la montée des eaux interviennent pour que les dangers associés au réchauffement climatique soient clairement mis en avant.

Les pays du sud de la Méditerranée m'ont semblé peu présents dans les discussions. C'est dommage, car la Méditerranée est un *hotspot* des changements climatiques, c'est à dire une région qui est particulièrement affectée. J'ai eu le sentiment que les pays d'Afrique, notamment les plus grands, pourraient prendre un rôle plus important lors des séances plénières, pour contribuer à la prise en compte des spécificités et intérêts de leur continent.



Rafiq Hamdi. Photo : IRM

[7] Pour plus des détails, voir la fiche d'information : *Comment le GIEC approuve-t-il les rapports ?* [ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS\\_ipcc\\_approve\\_fr.pdf](http://ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/04/FS_ipcc_approve_fr.pdf)

[8] Ce qui n'est pourtant pas toujours correct d'un point de vue scientifique : voir question sur les « budgets carbone ». Dans cette situation, le sens du texte déterminé par les scientifiques est maintenu.

# > Agenda

## Echéances relatives aux travaux du GIEC

Toutes les activités ci-dessous se rapportent au 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation du GIEC (AR6).

29 novembre - 30 janvier 2022	Relecture de la <b>dernière ébauche du rapport du groupe de travail III (Atténuation : réduction d'émissions)</b> . A ce stade, seuls les gouvernements pourront introduire des commentaires, ciblés sur le Résumé pour les décideurs. La Plateforme organisera prochainement une réunion à ce sujet pour les experts inscrits à son Registre (voir <a href="http://plateforme-wallonne-giec.be">plateforme-wallonne-giec.be</a> ).
10 Janvier - 20 Mars	Relecture de la <b>première ébauche du Rapport de synthèse</b> (qui regroupe des informations provenant des contributions des 3 groupes de travail), ouverte aux gouvernements <b>et aux experts à titre individuel</b> . Les experts inscrits au Registre de la Plateforme recevront plus d'information (voir <a href="http://plateforme-wallonne-giec.be">plateforme-wallonne-giec.be</a> ).
14 - 25 février 2022	Plénière d'approbation du <b>rapport du groupe de travail II (Impacts et adaptation)</b> au sixième rapport d'évaluation (AR6)
21 mars - 1 avril 2022	Plénière d'approbation du <b>rapport du groupe de travail III (Atténuation : réduction d'émissions)</b> au sixième rapport d'évaluation (AR6)

## Conférences et autres activités hors GIEC

Documents et vidéos en ligne <a href="#">Tout public</a>	<b>Congrès résilience : La Wallonie face aux risques environnementaux</b> Organisé par la Ministre wallonne de l'environnement, Céline Tellier, le Congrès résilience avait pour but de proposer des pistes d'action pour aider la Wallonie à mieux anticiper et gérer les risques environnementaux et leur impacts. <b>La vidéo de la soirée ainsi que les documents du diagnostic des risques environnementaux sont disponibles</b> à l'adresse : <a href="http://developpementdurable.wallonie.be/congres-resilience/programme">developpementdurable.wallonie.be/congres-resilience/programme</a>
<a href="#">Tout public</a>	<b>Enquête du Service public de Wallonie pour reconstituer le déroulement des inondations de juillet 2021 et contribuer à la prévention</b> <a href="http://memoire-inondations.wallonie.be/home.html">memoire-inondations.wallonie.be/home.html</a>
8 décembre - 10 février 2022 <a href="#">Tout public</a>	<b>Fuck the colibri !</b> <b>Cycle de conférences qui aborde les changements climatiques sous un angle inhabituel</b> Inscriptions : <a href="http://mumons.be/museum/activites/fuck-the-colibri/">mumons.be/museum/activites/fuck-the-colibri/</a>
21 février, 14 mars, 16 mars <a href="#">Tout public</a>	<b>Les changements climatiques</b> Colloque annuel sur le thème des changements climatiques par les étudiants des masters en géographie de l'ULiège Informations : <a href="http://rejouissiences.uliege.be/upload/docs/application/pdf/2021-12/climatechange-programme2022.pdf">rejouissiences.uliege.be/upload/docs/application/pdf/2021-12/climatechange-programme2022.pdf</a>

## Doctorats honoris causa UCLouvain 2022

### La fragilité du vrai

Chimamanda Ngozi Adichie, Florence Aubenas et Michael E. Mann recevront le titre de docteur honoris causa de l'UCLouvain les 1 et 2 février 2022.

Michael E. Mann, climatologue et géophysicien américain, est actuellement directeur du Earth System Science Center de l'Université d'Etat de Pennsylvanie.

En tant qu'expert des méthodes de reconstruction de l'évolution du climat, il a été l'un des auteurs principaux du troisième rapport du GIEC en 2001.

Il est cofondateur et contributeur du blog RealClimate : [realclimate.org](http://realclimate.org)

Doctorats honoris causa 2022 UCLouvain :

[uclouvain.be/fr/decouvrir/events/doctorats-honoris-causa-2022-la-fragilite-du-vrai.html](http://uclouvain.be/fr/decouvrir/events/doctorats-honoris-causa-2022-la-fragilite-du-vrai.html)



Photo : Joshua Yospy

# Missions de la Plateforme wallonne pour le GIEC

## **Objectifs**

La "Plateforme wallonne pour le GIEC" a été instaurée par le Gouvernement wallon en 2016. Ces principaux objectifs sont :

- de faciliter la participation des scientifiques wallons et francophones de Belgique aux activités du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat)
- de contribuer à la diffusion des évaluations réalisées par celui-ci auprès des différents décideurs et acteurs, y compris les citoyens.

Ces missions contribuent à aider la Wallonie à s'engager dans les politiques climatiques ambitieuses que requiert notamment l'Accord de Paris (2015). En 2019, la Région wallonne a renouvelé son soutien à la Plateforme en établissant une nouvelle convention-cadre qui lui a ajouté des missions, principalement en matière d'adaptation.

La plateforme est placée sous la responsabilité du professeur Jean-Pascal van Ypersele (Université catholique de Louvain).

## **Tâches générales en lien avec les travaux du GIEC**

Les principales missions en lien avec les travaux du GIEC consistent à

- informer les preneurs de décision via différents canaux (Lettre d'information, réponses à des demandes d'information, participation à des conférences)
- faciliter le travail de relecture des rapports du GIEC par des experts wallons et tenir à jour un registre d'experts : voir [plateforme-wallonne-giec.be](http://plateforme-wallonne-giec.be)
- participer à la valorisation et à la représentation à l'étranger des activités scientifiques liées au travail de la Plateforme
- contribuer, sur demande, aux travaux du comité des experts du décret climat.
- effectuer une veille scientifique générale sur tous les aspects des changements climatiques, en lien avec les missions qui précèdent

## **Impacts et adaptation en Wallonie**

Depuis 2019, la Plateforme est chargée de missions relatives aux impacts et à l'adaptation en Région wallonne :

- assurer une veille scientifique ciblée sur l'adaptation et les impacts des changements climatiques en Wallonie dans les différents secteurs
- développer une base de connaissances ainsi qu'une liste d'indicateurs d'impacts
- contribuer à faciliter l'intégration de l'adaptation dans les différentes politiques régionales (forêt, agriculture, gestion de l'eau, santé, ...)

Pour télécharger les Lettres précédentes et d'autres informations liées à la Plateforme ou au GIEC : [plateforme-wallonne-giec.be](http://plateforme-wallonne-giec.be)  
Inscription pour recevoir gratuitement les futures Lettres : [lettre@plateforme-wallonne-giec.be](mailto:lettre@plateforme-wallonne-giec.be) avec le sujet « abonnement »

Ce document peut être reproduit, y compris sous forme adaptée, à condition de respecter les droits de reproduction propres aux sources citées dans cette Lettre, quand il y a lieu, et d'indiquer le site [plateforme-wallonne-giec.be](http://plateforme-wallonne-giec.be) ainsi que le nom du ou des auteurs du contenu reproduit.

Impression : flyer.be, Korte Gotevlietstraat 9, 8000 Bruges

Editeur responsable : Pr Jean-Pascal van Ypersele, UCLouvain, Place Louis Pasteur 3, bte L4.03.08, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.