

Le GIEC et ses projections



Table des matières

Objectifs	3
Introduction	4
I - 1. Comment fait-on les prévisions ?	5
1. 1.1 Les scénarios	6
1.1. 1.1 Les scénarios	6
1.2. En résumé	7
2. 1.2 Les calculs	7
2.1. 1.2.1 Les calculs	7
2.2. Exercice : 1.2.2 Voyons si vous avez compris en revenant au sujet du réchauffement climatique :	7
2.3. Exercice : 1.2.3 Exercice « de l'utilité des statistiques »	8
3. 1.3 Vers 2100 en accélérant	9
4. 1.4. Les effets de seuil	9
5. 1.5 Pourquoi 2100 ?	10
6. En résumé	10
II - 2. Qu'est-ce que le GIEC ?	11
III - 3. Comment lire les rapports du GIEC ?	12
1. 3.1 Projections	12
2. 3.2 Cartographies du réchauffement attendu	14
3. 3.3 Les projections pour l'Europe	15
4. 3.4 Conséquences du réchauffement pour les sociétés humaines	16
IV - Conclusion	18
V - Bravo ! Vous avez terminé la leçon.	19
VI - Licence	20
Solutions des exercices	21

Objectifs



A l'issue de ce cours, vous serez capable de :

- comprendre ce qu'est une projection et en quoi elle diffère d'une prévision
- lister les principaux scénarios étudiés dans les rapports du GIEC
- donner des exemples d'effets de seuil et expliquer pourquoi ceux-ci peuvent compliquer les projections climatiques
- dire sur quoi repose la confiance qu'on peut accorder aux projections du GIEC
- consulter les rapports du GIEC pour savoir quel sera l'état probable des régions qui vous intéressent dans les prochaines années et jusqu'en 2100
- nommer une région où la vie humaine sera rendue drastiquement plus difficile par le réchauffement, et une région où elle pourrait être rendue plus facile
- donner l'augmentation entre les émissions de CO₂ passées et les émissions attendues jusque 2100 selon la trajectoire actuelle

Introduction

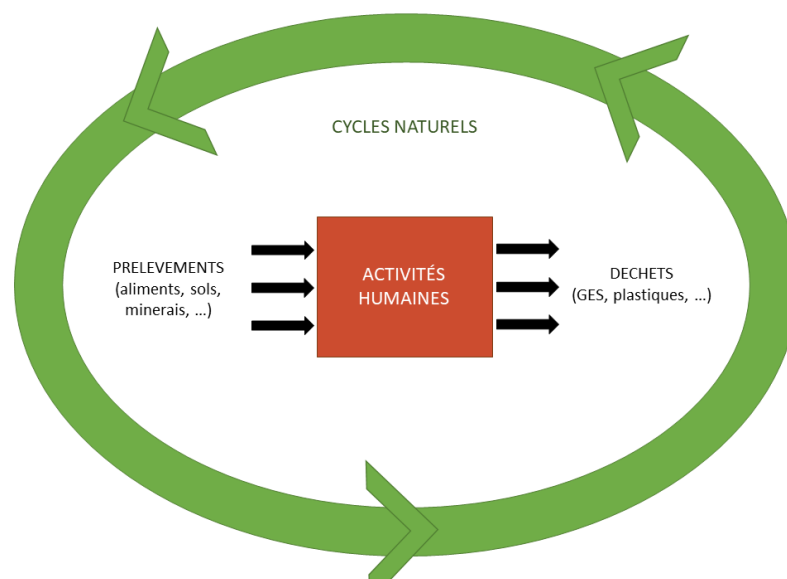


[cf. intro.mp3]

1. Comment fait-on les prévisions ?



Nous avons vu que le climat est un produit de la biosphère, c'est-à-dire que le climat ne serait pas ce qu'il est sans les interactions avec les êtres vivants. La biosphère est le théâtre de cycles naturels, physiques ou biologiques, que l'humanité perturbe en prélevant des ressources (animaux et végétaux pour l'alimentation, minéraux pour l'industrie) et en rejetant des déchets, notamment des GES, notamment du CO₂. On peut se représenter cela de manière sommaire par le schéma suivant :



Le climat est donc l'effet combiné de deux causes : les cycles naturels d'une part, les activités humaines (et notamment les émissions de GES) d'autre part. Nous considérons les cycles naturels macroscopiques comme indépendants de la volonté humaine et les physiciens et biologistes savent les caractériser par des équations d'évolution. Mais les activités humaines relèvent de décisions individuelles ou collectives que nous pouvons quelquefois orienter mais pour lesquelles rien, ou presque, n'est déterminé d'avance à nos yeux. Les cycles font l'objet de prédictions, les activités humaines ne peuvent faire l'objet que de conjectures.

Cela ne poserait pas de problème pour prédire le climat des décennies à venir si les humains n'ajoutaient qu'une goutte d'eau à la grande mécanique naturelle du climat. Mais comme nous l'avons vu, depuis deux siècles, les activités humaines ne sont plus du tout négligeables par rapport aux grands cycles naturels et ont un impact significatif sur le climat. Comment donc prédire le climat si celui-ci résulte à la fois de cycles macroscopiques prévisibles et d'actions humaines indéterminées ?

La solution adoptée par la communauté scientifique consiste à séparer le problème en deux. On commence par se fixer un certain nombre de scénarios possibles pour les activités humaines. Puis, dans chacun de ces scénarios, on fait les calculs sur la façon dont les grands cycles vont se comporter. Les résultats des projections climatiques dépendent donc du scénario retenu, et ne sont pas des prévisions à proprement parler, puisqu'elles ne prédisent pas le scénario, mais le prennent comme entrée dans leurs calculs. C'est pour marquer cette différence que l'on parle de **projections** plutôt que de **prévisions**.

1. 1.1 Les scénarios

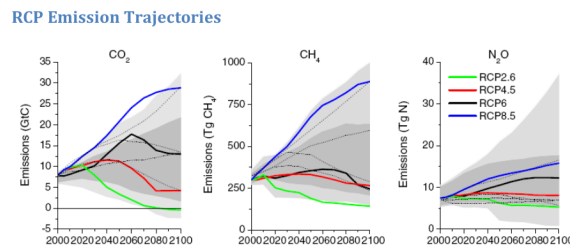
1.1. 1.1 Les scénarios

Comme vous vous en doutez, le nombre de scénarios imaginables est infini. Heureusement, tous les détails ne sont pas directement importants si l'on cherche à connaître l'évolution du climat. Le paramètre directement déterminant pour le climat, vous le connaissez maintenant par cœur, c'est la quantité de gaz à effet de serre (GES) relâchée dans l'atmosphère. On peut donc considérablement simplifier notre problème en envisageant chacun des scénarios uniquement selon la quantité d'émissions de GES associée.

Ces scénarios d'émissions sont maintenant standardisés. On les appelle les **Representative Concentration Pathways** (Trajectoires Représentatives de la Concentration), en abrégé RCP, caractérisés chacun par une évolution possible de la quantité de GES présente dans l'atmosphère d'ici à la fin du siècle. Ils sont au nombre de quatre, du plus pessimiste, le RCP 8.5, au plus optimiste, le RCP 2.6, en passant par le RCP 4.5 et le RCP 6.

À quoi se rapportent les chiffres de 8.5 ou 2.6 ?

Le chiffre indique le forçage radiatif atteint en 2100 suivant ce scénario, par exemple 8,5 Watt/m² dans le scénario RCP 8.5, c'est-à-dire le déséquilibre entre l'énergie reçue par la Terre et l'énergie renvoyée dans l'espace.



Les quatre scénarios sont représentés par des courbes de couleur et les trois graphiques représentent trois gaz à effet de serre, avec le plus connu, le CO₂ tout à gauche.

Quel scénario correspond au climat le plus chaud ?

Le scénario 8.5. Comme nous l'avons vu dans la première leçon, plus le forçage est grand, plus la planète se réchauffe.

Est-ce cohérent avec ce qu'on voit sur les trois graphiques ?

Oui : la courbe en bleu atteint le point le plus haut pour les 3 gaz à effet de serre représentés.

La décision de se limiter à quatre scénarios est récente. Auparavant, les chercheurs ont exploré une grande variété de scénarios, et les dessins montrent où les RCP se situent par rapport à la littérature antérieure : 95 % de celle-ci se trouve dans le grisé sombre, et 5 % dans le grisé léger.

On voit bien comment ils sont représentatifs : le RCP 8.5 représente le « business as usual » (BAU), sans aucune politique climatique. Le RCP 2.6 correspond au contraire à une politique de réduction drastique des émissions dès aujourd'hui.

Tiens ! La courbe verte commence pourtant plus haute que la courbe noire en émissions de CO₂ : est-ce une erreur ?

Non : c'est que pour réduire les émissions futures, il faut considérablement s'activer aujourd'hui, quitte à émettre plus de CO₂ à court-terme.

1.2. En résumé



- ✓ Le climat est l'effet combiné de deux causes : les cycles naturels, prévisibles, et les activités humaines, que nous ne savons pas prédire.
- ✓ Les climatologues procèdent donc en se fixant un certain nombre de scénarios possibles pour les activités humaines, dans lesquels ils simulent les phénomènes naturels.
- ✓ Les 4 scénarios de référence (RCP) sont indexés en termes d'émissions totales, jusqu'au scénario RCP 8.5 qui correspond au prolongement de la trajectoire actuelle.
- ✓ Le chiffre indique le forçage radiatif atteint en 2100. Plus le chiffre est haut, plus le réchauffement sera important.

2. 1.2 Les calculs

2.1. 1.2.1 Les calculs

L'avantage d'avoir fixé des scénarios-type est que l'on peut ensuite passer la main aux mathématiciens, physiciens, biologistes et autres scientifiques, qui vont pouvoir faire leurs calculs sans se soucier de savoir d'où viennent les émissions et comment elles sont produites. Connaissant les quantités de GES émises par les activités humaines à chaque instant, ils vont calculer le temps qu'il fera, en utilisant les équations habituelles de la météorologie.

Mais vous répondrez peut-être : chacun sait que les prévisions météorologiques ne sont guère fiables au-delà d'une ou deux semaines. Comment donc se fier à des prévisions climatiques qui s'étendent jusqu'à la fin du siècle?

La réponse est que le météorologiste à la radio doit annoncer le temps exact qu'il fera à un point et une date précis. À l'inverse, une climatologue propose des prédictions moyennes sur plusieurs années à venir et de façon probabiliste. Cela doit vous rappeler la toute première leçon où nous faisons la différence entre météo et climat.

La situation est analogue aux lancements d'un dé. À chaque lancer, au moment où le dé quitte la main du lanceur, sa trajectoire est parfaitement déterminée, et peut être calculée en appliquant les lois habituelles de la physique. Imaginez le météorologiste comme la personne qui s'occupe de calculer la trajectoire avant que le dé ne touche le tapis, et la climatologue comme la personne chargée de dire en moyenne les faces sur lesquelles le dé s'arrêtera le plus souvent. L'un peut prédire la position, dire par exemple à quel endroit le dé touchera le tapis, l'autre peut donner les probabilités d'obtenir tel ou tel résultat. L'une et l'autre réponses sont précises, l'une et l'autre sont scientifiques, l'une et l'autre utilisent les équations physiques du mouvement des vents, des précipitations, etc. bien que la seconde ne cherche pas à obtenir une prédiction à proprement parler, mais une description probabiliste des futurs possibles.

Est-ce qu'une telle réponse statistique, qui ne dit pas ce qui va se passer mais qui énonce les résultats possibles et donne une probabilité pour chacun d'eux, est utile ? Bien sûr que oui ! À choisir entre deux dés, mieux vaut jouer avec celui qui a 50 % de chances de faire 6 que celui qui n'en a que 10 %.

2.2. Exercice : 1.2.2 Voyons si vous avez compris en revenant au sujet du réchauffement climatique :

[solution n°1 p. 21]

Associez à chacun des métiers les activités qui le caractérisent

1. Comment fait-on les prévisions ?

Ne cherche pas à prédire le scénario d'émissions de GES dues aux activités humaines. Il est pris comme donnée dans ses calculs, comme le type de lancer du dé.

Cherche à prédire les températures et précipitations moyennes les plus probables sur la période future qui nous intéresse

Propose une réponse exacte : une seule météo est prédite pour chaque date

Cherche à prédire la température et les précipitations exactes de la date future qui nous intéresse

Ne cherche pas à prédire le scénario d'émissions de GES dues aux activités humaines. Il est pris comme donnée dans ses calculs, comme le type de lancer du dé.

Utilise les équations de la physique du climat

Effectue ses calculs une seule fois avec le maximum de précision

Propose une réponse probabiliste : montre les différentes moyennes possibles sur des périodes de plusieurs années, et les probabilités associées à chaque possibilités

Utilise les équations de la physique du climat

Effectue ses calculs de nombreuses fois, en modifiant chaque fois légèrement les conditions initiales pour tenir compte des erreurs possibles. Le bilan des résultats permet d'identifier les résultats les plus probables.

Le climatologue	Le météorologue

2.3. Exercice : 1.2.3 Exercice « de l'utilité des statistiques »

Pour chacun des scénarios, les climatologues donnent les probabilités que le réchauffement moyen soit de 1, 2, 3, 4°C ou même plus. Choisir une politique et s'y tenir, c'est choisir un des dés. Ne rien faire (business as usual), c'est choisir le dé estampillé RCP 8.5. Le climatologue ne vous donnera pas le climat qui prévaudra en 2100, mais la liste des climats possibles et la probabilité de chacun d'eux.

Question 1

[solution n°2 p. 21]

1. On vous propose le jeu suivant. Il y a deux urnes, chacune contenant uniquement des boules noires et des boules blanches. Vous devez en choisir une, choisir une couleur et tirer une boule. Si vous tirez une boule de la couleur que vous avez choisie, vous gagnez mille euros. Si vous tirez une boule de l'autre couleur, vous perdez dix euros. Etes-vous prêt(e) à jouer ?

Question 2

[solution n°3 p. 22]

2. Une statisticienne vous propose de vous dire, moyennant finances, la proportion de boules blanches et de boules noires dans chacune des urnes avant que vous ne choisissiez votre couleur et tiriez une boule. Êtes-vous prêt(e) à jouer avec son aide ? Combien êtes-vous prêt(e) à payer pour l'information (vous n'avez aucun doute sur la qualité de celle-ci). Rappelez-vous que vous pourrez choisir la couleur qui vous arrange une fois que la statisticienne vous aura donné les proportions.

3. 1.3 Vers 2100 en accélérant

Comme nous l'avons vu à plusieurs reprises, le CO₂ émis en excédent aujourd'hui ne commence à être éliminé naturellement que dans un millier d'années. Même si nous arrêtons net toutes nos émissions dès aujourd'hui, le stock de CO₂ présent dans l'atmosphère restera sensiblement inchangé pendant dix siècles et tout le troisième millénaire vivrait avec l'atmosphère que nous lui aurons léguée.

Mais, même dans ce cas, cela ne voudrait pas dire que le climat resterait inchangé pendant cette période. Et cela pour plusieurs raisons. D'abord, comme la leçon 2 nous l'a fait comprendre, le « remboursement » du sac de couchage atmosphérique de la Terre des dernières décennies a créé un déséquilibre structurel entre énergie reçue et énergie renvoyée. Le climat terrestre est donc en train d'évoluer naturellement vers un nouveau point d'équilibre, plus chaud.

En outre, le réchauffement va en s'accéléralant. C'est dû au fait que certains mécanismes, parfois très lents, finissent par en déclencher d'autres qui agissent en retour sur les premiers et les renforcent. Par exemple, le réchauffement en siècle 1 fait fondre une partie de la banquise, qui ne sera plus là en siècle 2. Or la glace réfléchit la lumière du soleil, et c'est autant d'énergie qui était renvoyée vers l'espace sans être interceptée par les GES. En siècle 2, il y aura donc moins de lumière solaire réfléchiée, et davantage de lumière absorbée par la surface et renvoyée sous forme de rayonnement infrarouge. Ce rayonnement sera intercepté par les GES et viendra réchauffer davantage l'atmosphère, et faire fondre encore davantage de banquise. Le réchauffement s'accélère donc d'année en année. Dans le cas des glaces polaires, leur fonte complète peut s'étaler sur plusieurs siècles et faire monter le niveau des mers de plusieurs dizaines de mètres.

On connaît plusieurs mécanismes naturels de ce genre, qui tous accélèrent le réchauffement au-delà de 2100. On n'en connaît pas qui le ralentissent. C'est pourquoi les rapports du GIEC, dans le cadre du RCP 8.5, parlent d'une élévation du niveau des mers de 1,5 à 2 cm par an jusqu'en 2100, puis de plusieurs centimètres par an au-delà. Il n'en dit pas plus, car on ne sait pas à quel rythme les glaces vont fondre. La fonte complète de la glace antarctique, à elle seule, élèverait le niveau des mers de 70 mètres (ce qui n'est heureusement pas pour tout de suite).

4. 1.4. Les effets de seuil

Les calculs actuels incorporent essentiellement tous les mécanismes dont la communauté scientifique juge qu'ils ont ou auront une influence sur le climat dans les deux ou trois siècles qui viennent. Ils n'incorporent pas des mécanismes bien identifiés, mais sur lesquels on n'a pas assez d'informations pour faire des prévisions (la chute d'un astéroïde sur la Terre, une nouvelle guerre mondiale). Une exception cependant : tous les scénarios font l'hypothèse que d'ici 2100 on aura inventé des processus industriels permettant d'extraire le CO₂ de l'atmosphère et de le séquestrer, et que ces processus pourront être déployés à l'échelle nécessaire. Nous en sommes très loin à ce jour, et à dire vrai on ne voit guère comment y arriver. Il n'empêche que cette industrie hypothétique joue un rôle fondamental dans les réductions d'émissions prévues par les RCP de 2.5 à 6.

Parmi les mécanismes physiques ou biologiques qui sont bien compris en théorie, mais sur lesquels on n'a pas suffisamment d'informations pour établir des prédictions certaines, il faut enfin mentionner les **effets de seuil**. En anglais, on parle de « tipping points », points de bascule. Le principe est le même que lorsqu'on charge une barque petit à petit : elle s'enfonce chaque fois un peu plus mais elle flotte

1. Comment fait-on les prévisions ?

toujours, et tout d'un coup, une petite charge supplémentaire la fait couler. Passer certains seuils peut conduire à des changements brutaux et colossaux à l'échelle d'un continent entier. Concernant le réchauffement climatique, les scientifiques qui ont réalisé la carte suivante en ont identifié neuf :

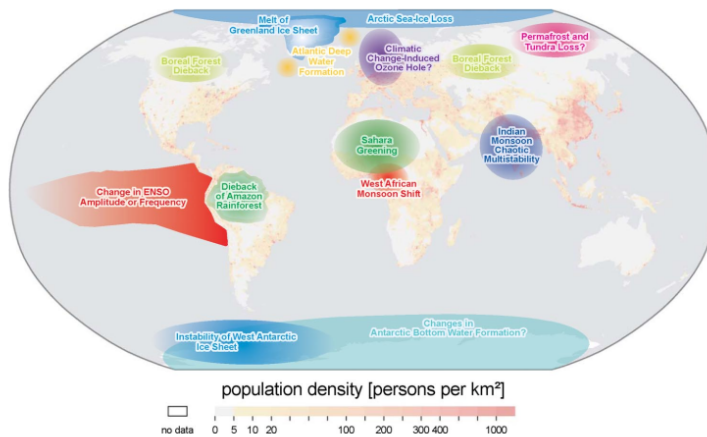


Fig. 1. Map of potential policy-relevant tipping elements in the climate system, updated from ref. 5 and overlain on global population density. Subsystems indicated could exhibit threshold-type behavior in response to anthropogenic climate forcing, where a small perturbation at a critical point qualitatively alters the future fate of the system. They could be triggered this century and would undergo a qualitative change within this millennium. We exclude from the map systems in which any threshold appears inaccessible this century (e.g., East Antarctic Ice Sheet) or the qualitative change would appear beyond this millennium (e.g., marine methane hydrates). Question marks indicate systems whose status as tipping elements is particularly uncertain.

Prenons le cas de la mousson. Vous savez qu'il s'agit d'un régime qui amène des précipitations importantes pendant une partie de l'année, le reste de l'année étant sec : c'est l'alternance entre saison sèche et saison des pluies autour de l'équateur, en Afrique de l'Ouest et en Inde. Ce que dit l'article, c'est qu'il y a un risque que ces régimes disparaissent avec le réchauffement climatique. Pour l'Inde, cela conduirait à une sécheresse généralisée, avec toutes les conséquences pour l'alimentation et la survie des populations que vous pouvez imaginer.

Notez néanmoins que ces effets de seuil n'amènent pas tous à plus de sécheresse : en Afrique par exemple, cela conduirait au verdissement du Sahara, dorénavant arrosé par des pluies. Ce serait une des rares conséquences positives du réchauffement climatique ! Pour le reste, vous pouvez si vous voulez aller consulter l'article original.¹

5. 1.5 Pourquoi 2100 ?

Pourquoi donc avoir retenu la date de 2100 ? L'idée est de trouver un compromis en montrant à la fois l'ampleur des changements à venir (dont les plus impressionnants n'advieront pas dans 10 ans mais dans 50 ou 60 ans) tout en étant suffisamment proche pour que les personnes vivant aujourd'hui se sentent concernées. Contrairement aux générations qui ont aujourd'hui le pouvoir de décision sur nos systèmes économiques et sociaux, ceux qui sont nés après 2000, par exemple vous qui participez à ce cours !, vivront toute leur vie professionnelle dans un climat qui se réchauffe, et ont une bonne chance que leur vieillesse se déroule à la fin du siècle dans les conditions décrites par les rapport du GIEC.

6. En résumé

- ✓ Pour chaque scénario d'émissions humaines, les climatologues proposent une projection statistique, qui indiquent les trajectoires possibles et leurs probabilités associées.
- ✓ Cette incertitude tient en partie à la difficulté de calculer l'ensemble des paramètres affectant le climat, mais aussi à des phénomènes d'accélération, qui augmentent l'ampleur des changements, et plus encore aux effets de seuil, à partir desquels l'intégralité du système peut être bouleversée.
- ✓ Les projections mettent le cap sur 2100, qui est un horizon à la fois suffisamment proche pour se sentir concernés et suffisamment lointain pour prendre la mesure de l'ampleur des changements à venir.

¹ https://www.pnas.org/content/pnas/105/6/1786.full.pdf?wptouch_preview_theme

2. Qu'est-ce que le GIEC ?



Il existe beaucoup de centres de recherche sur le climat, tels que l'ISPL (Institut Pierre-Simon de Laplace) à Paris et beaucoup d'institutions qui font de la prospective, comme la NASA aux États-Unis. Mais le **GIEC**, Groupe International d'Experts sur le Climat, est unique en ce qu'il représente un **consensus scientifique et politique international**.

Il a été fondé par l'Organisation des Nations Unies et l'Organisation Météorologique Internationale en 1988, sous le nom anglais « IPCC », pour International Panel on Climate Change, dans le but de « fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade ». Son site est le <https://www.ipcc.ch/>

et une partie est en français :

<https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>

Il ne s'agit pas d'un centre de recherche, mais d'une organisation intergouvernementale qui a 195 États membres. Pour remplir son mandat, elle fait appel à des scientifiques, mais leurs conclusions sont toujours soumises aux États membres, seuls habilités à les valider. Elle publie un rapport tous les six ans (chacun d'eux se décomposant en plusieurs sous-rapports), plus des rapports sur des sujets particuliers. Il y a eu cinq rapports, en 1990, 1995, 2001, 2007 et 2014, et on en attend un en 2022.

Les chercheurs qui collaborent aux rapports le font sur la base du volontariat et ne sont pas rémunérés. Ils représentent toutes les disciplines, et toutes les régions du globe, et le turnover est important :

<https://medialab.sciencespo.fr/en/news/cartographier-les-auteurs-du-giec/>

Leur travail consiste à compiler les différents résultats obtenus par les différentes équipes de chercheurs de part le monde, et d'en extraire les informations pertinentes. La procédure de validation est longue et complexe, entre les auteurs du rapport et les chercheurs dont ils rendent compte des résultats, puis entre les auteurs du rapport et les politiques qui représentent leur gouvernement et défendent leurs intérêts (songez à l'Arabie Saoudite, qui, économiquement parlant, n'a pas vraiment intérêt à remettre en question les émissions liées à la consommation d'hydrocarbures). Chaque rapport résulte donc d'un consensus scientifique et politique : toutes les informations publiées ont été validées par la communauté scientifique dans son ensemble et par les autorités politiques des pays concernés au terme d'un processus ouvert et transparent, fonctionnant sans financement privé. C'est un énorme avantage permettant de faire autorité, même si l'on peut craindre que ce consensus ne soit obtenu en minimisant les risques encourus.

En résumé



- ✓ Le GIEC est une institution intergouvernementale représentant 195 États membres.
- ✓ Il a pour mandat de faire la synthèse des études scientifiques disponibles sur l'évolution climatique.
- ✓ Le GIEC produit des rapports environ tous les 6 ans, qui font l'objet d'un consensus scientifique et politique et dont découle leur autorité sur la scène internationale.

3. Comment lire les rapports du GIEC ?

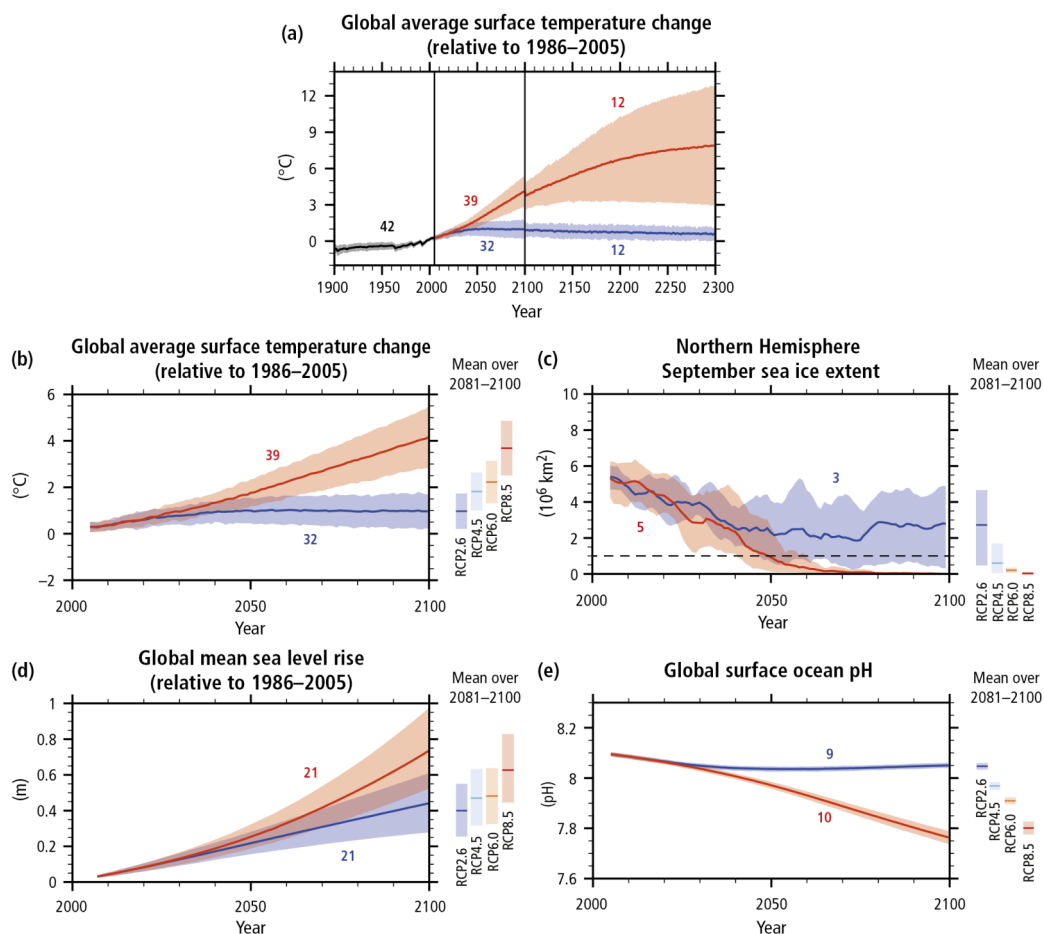


1. 3.1 Projections

Les rapports sont disponibles en ligne, sur le site du GIEC. Le rapport 2014, par exemple, en comporte en fait quatre : l'un présente les projections, c'est-à-dire le déroulement du réchauffement jusqu'en 2100 suivant les quatre scénarios retenus, l'autre sur la manière dont les activités humaines pourraient s'y adapter, le troisième sur la manière dont on pourrait l'atténuer, et un rapport de synthèse. Chacun de ces quatre rapports commence par un « résumé pour les décideurs » qui présente l'essentiel, et se termine par les annexes techniques.

En ce qui concerne les projections, elles sont toujours de nature probabiliste, comme nous l'avons expliqué, et elles sont donc présentées avec leur probabilité de réalisation.

La page 59 du Rapport de Synthèse présente les projections en ce qui concerne la température moyenne, l'extension de la banquise, l'élévation du niveau des mers et le pH des océans. La voici :



Commençons par le premier graphique qui s'affiche sur la page du rapport. Il indique la température moyenne annuelle à la surface du globe. Deux trajectoires possibles y sont représentées. La rouge correspond au scénario RCP 2.6, la bleue au scénario RCP 8.5.

On lit sur le graphique que la courbe rouge atteint la valeur 8 en 2300. Est-ce à dire qu'il fera 8 degrés Celsius en moyenne en 2300 dans ce scénario ?

Non bien sûr : le titre nous dit que, comme pour d'autres graphiques que nous avons vus dans les leçons précédentes, l'axe vertical du graphique indique les valeurs en comparaison avec la moyenne sur la période de référence 1986-2005. Ainsi dans le scénario 8.5, il fera en l'an 2300 8 degrés Celsius de plus qu'en 1986-2005.

On voit aussi que la première partie des deux courbes est identique, en noire. À quoi correspond-elle ?

Aux températures observées dans le passé. Plutôt rassurant qu'il s'agisse des mêmes courbes pour les deux scénarios !

Zoomons sur la courbe rouge. On voit tout autour une zone rouge pâle. À quoi correspond-elle à votre avis ? Et comment se comporte-t-elle au fil des années ?

Il s'agit d'une zone dans laquelle que le GIEC estime que la température future se trouvera à 95% de chances. On parle aussi d'un intervalle de confiance statistique. Rappelez vous du lancer de dé du climatologue : le climatologue sait qu'il ne peut pas prédire parfaitement la température future mais réalise de nombreuses simulations pour voir les valeurs que celle-ci a le plus de chance de prendre.

La ligne rouge foncée est la moyenne obtenue en utilisant les calculs de plusieurs équipes de recherche différentes (leur nombre est indiqué sur par des chiffres de la même couleur). On voit que moins d'équipes ont fait des projections au-delà de l'année 2100 : on lit 39 jusque 2100 puis 12 au-delà.

On voit aussi que la zone s'élargit avec les années. C'est logique : plus on essaie de prédire loin dans le futur, moins on est sûrs de nos projections, donc plus la zone où on s'attend à atterrir est grande.

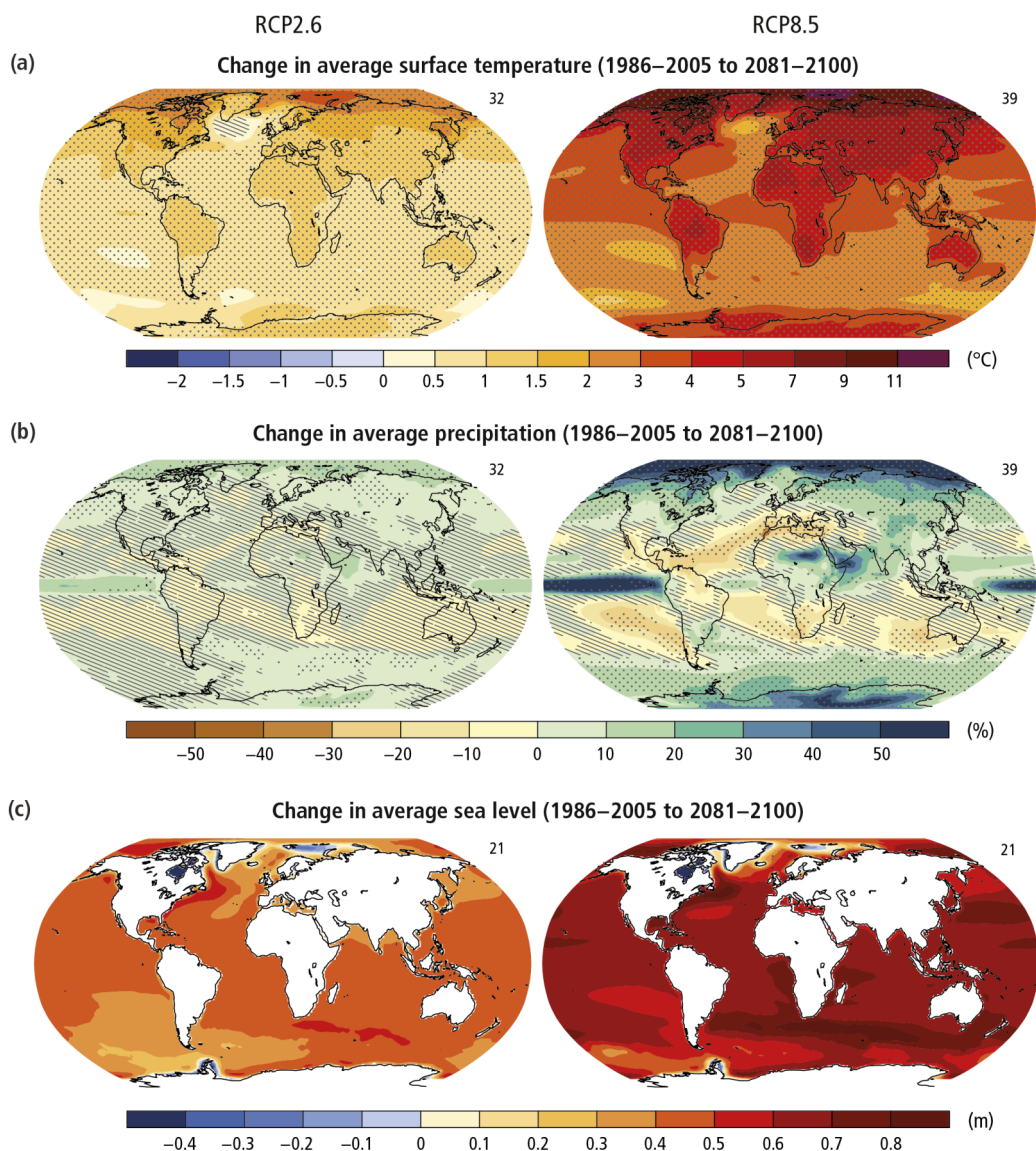
Lorsqu'on regarde la courbe bleue, on voit aussi la zone bleutée correspondant à un intervalle de confiance de 95% mais pas le même élargissement au fil des années. **Est-ce que la première partie de cette leçon peut nous fournir des explications possibles ?**

Comme nous l'avons discuté dans la première partie de la leçon, le réchauffement amorcé au cours de dernières décennies va se poursuivre et risque même de s'accélérer. Prédire les effets « boule de neige » est plus difficile que dans le scénario 2.6 où les émissions sont fortement limitées très rapidement. C'est même drastiquement plus compliqué lorsqu'on passe des effets de seuil.

La suite de la page 59 du rapport présente 4 autres graphiques dont l'évolution du niveau des mers, du pH des océans et de la surface de banquise arctique. Sans surprise, la courbe rouge est sous la bleue s'agissant de la surface de banquise, puisque plus il fera chaud, plus vite va fondre la banquise. Elle est aussi sous la courbe bleue pour le pH océanique, puisque plus le pH est faible, plus les océans sont acides ce qui correspond à davantage de CO₂ dissout dans les océans.

2. 3.2 Cartographies du réchauffement attendu

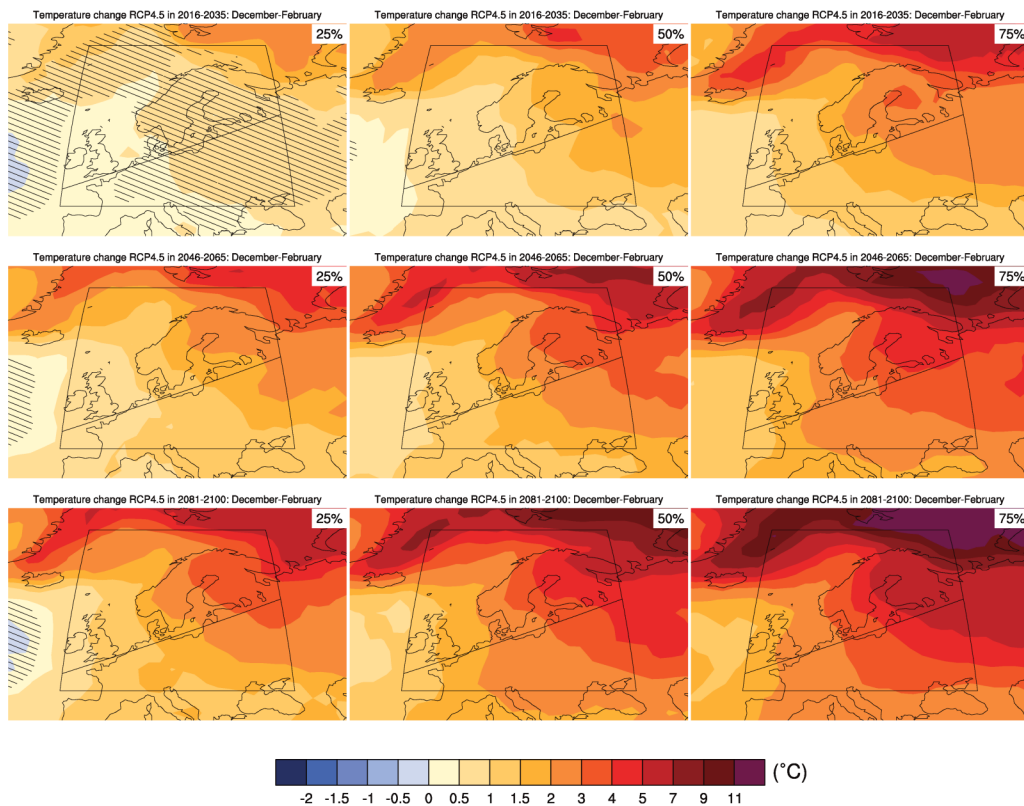
Ces projections globales sont détaillées géographiquement. Prenons par exemple la page 61 :



On voit tout de suite les **disparités régionales**. Pour le scénario 8.5, l'élévation moyenne des températures sur le globe est prévue pour 4°C, mais en Arctique elle sera de 13°C. Et curieusement, au Sud du Groenland, il y a une région où la température moyenne sera stable, et pourra même baisser dans le scénario RCP 2.6, dans le cadre d'un réchauffement général ! Intéressante aussi la toute dernière figure: cherchez donc à placer New York, Londres, Kolkota et Tokyo sur la carte.

3. 3.3 Les projections pour l'Europe

Dans le Rapport consacré à la physique du changement climatique, vous trouverez des cartes détaillées par grandes régions du monde. Si par exemple vous vous intéressez à l'Europe, voici le programme en ce qui concerne les températures d'hiver en Europe du Nord, suivant un scénario optimiste, où l'on a entrepris de limiter les émissions de GES, le RPC 4.5 :



Voilà les 9 graphiques qui s'affichent pour l'Europe. On va essayer de ne pas se perdre dans tous ces dégradés de rouges et oranges...

Commencez par regarder les titres : ils indiquent les dates. La première ligne montre donc trois projections pour l'hiver des années 2016-2035 ; la seconde ligne pour 2046-2065 ; la dernière pour 2081-2100. Et sans surprise : les cartes deviennent de plus en plus rouges à mesure qu'on descend ! Car même dans ce scénario optimiste, il fera plus chaud chaque année.

Comme d'habitude les résultats de ces projections sont statistiques : on propose donc une projection médiane et une « zone de confiance » autour de cette moyenne où on s'attend à trouver les résultats.

D'après vous, quelle colonne représente les valeurs médianes attendues ?

Il s'agit de la colonne centrale, avec ses trois cartes portant le chiffre 50%.

Et à quoi correspondent les cartes avec 25% à gauche et celles avec 75% à droite ?

Elles indiquent l'étendue de la zone de confiance autour de la moyenne attendue. Plus précisément, une carte 25% signifie que le GIEC estime qu'il y a moins de 25% de chances d'avoir un réchauffement plus faible que celui représenté sur la carte.

De façon analogue, une carte 75% signifie que le GIEC estime qu'il y a 75% de chances d'avoir un réchauffement plus faible que celui représenté sur la carte.

Ces trois cartes permettent donc de dessiner une zone de confiance dans laquelle on s'attend à atterrir.

Voyons si on a compris par une série de vrai ou faux :

- L'Angleterre et la France ont plus d'une chance sur deux de connaître un réchauffement de plus 0,5 degrés Celsius entre 2016 et 2035 => vrai, c'est ce que montre la carte 50% de la première ligne

- Dans tous les cas, le réchauffement est d'autant plus important qu'on regarde au Nord et vers l'Europe Centrale => vrai, c'est ce qu'on voit par le dégradé de couleurs sur toutes les cartes
- Il y a 75% de chances que le réchauffement fasse plus de 3 degrés en 2081-2100 en France et en Allemagne => faux : la carte 75% indique que 75% des simulations donnent un réchauffement inférieur ou égal à 2-3 degrés. Les 25% restants prédisent un réchauffement supérieur.
- L'hiver arctique a une chance sur deux de se réchauffer de 9°C au moins à la fin du siècle => vrai. C'est ce qu'on lit sur la carte centrale de la dernière ligne.

Les réchauffements sont donnés par rapport à la fin du 20ème siècle, il faut donc rajouter 0°6 pour trouver les réchauffements par rapport à l'ère préindustrielle. On voit que, même dans ce scénario optimiste, alors que le réchauffement moyen est de 4°C sur la région, l'hiver arctique a une chance sur deux de se réchauffer de 9°C au moins à la fin du siècle.

Vous trouverez sur

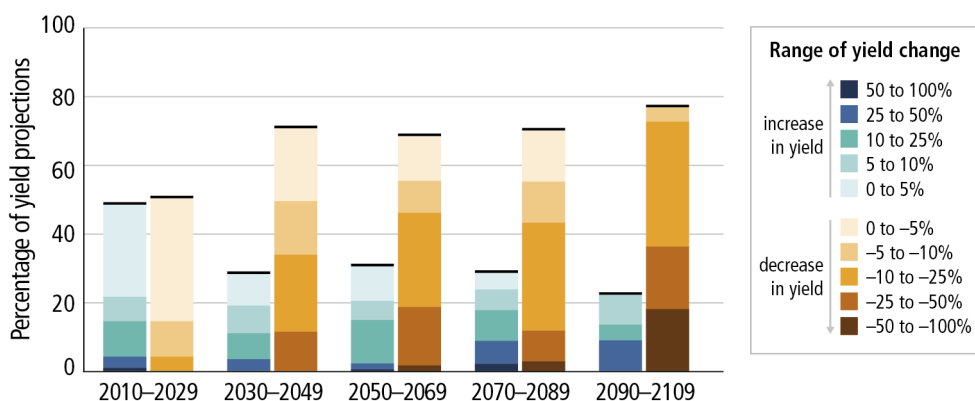
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/atlas-of-global-and-regional-climate-projections/>

l'évolution des températures d'été en Europe du Nord, et l'évolution des précipitations. Il s'agit d'un atlas des projections, et vous y trouverez des cartes analogues pour toutes les régions du monde.

4. 3.4 Conséquences du réchauffement pour les sociétés humaines

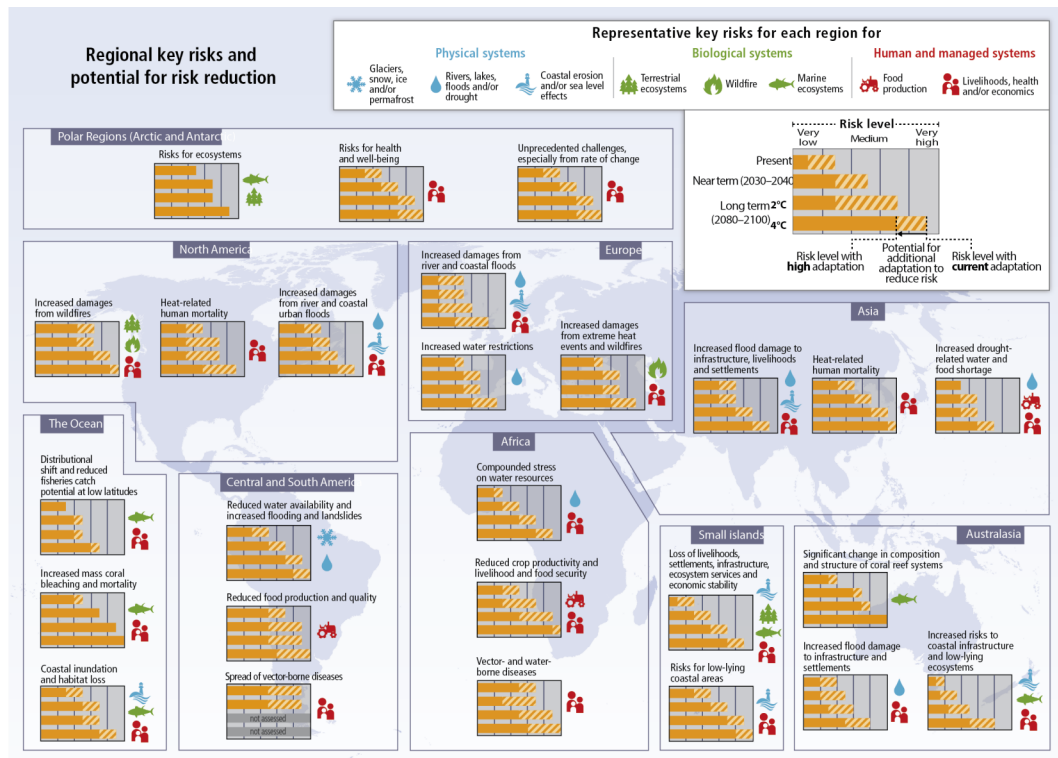
Ce réchauffement n'est pas sans conséquence. Voici par exemple, en page 69 du rapport de synthèse, l'évolution prévue des rendements des cultures de céréales au cours du 21ème siècle, par rapport aux rendements de celles-ci en 2000. Le tableau rassemble les résultats d'un millier de programmes de recherche menés sous des hypothèses variées, et il indique la progression ou au contraire le déclin des rendements de vingt ans en vingt ans. Certaines études concluent à une progression (en bleu), d'autres à une régression (en ocre-marron), et le tableau indique la proportion de chacune avec leurs conclusions. On voit que la grande majorité est pessimiste, voire très pessimiste :

- Alors qu'environ la moitié des études escomptent des augmentations de rendements au cours de la période 2010-2029 (la barre des bleus est presque au même niveau que la barre des ocres), seules 20% et quelques s'attendent à des augmentations sur la période 2090-2109.
- Parmi les études nombreuses qui s'attendent à des baisses de rendements à partir de 2030, près de 20 % concluent à une chute des rendements de plus de moitié à la toute fin du siècle (voir la portion marron la plus foncée sur la période 2090-2109), et près de 40 % à une chute de plus de 25% (si l'on additionne les deux ocres-marron les plus foncés sur cette période).



Par ailleurs, les cartes que nous avons vues représentent des moyennes, et ne contiennent pas toute l'information. Au fur et à mesure que la moyenne s'élève, les événements extrêmes deviennent plus fréquents. Les canicules se succèdent, chacune battant le record établi par la précédente. Des cyclones de plus en plus violents naissent sous les tropiques, et les années de sécheresse se prolongent ailleurs. Chaleur et sécheresse se combinent pour donner de gigantesques incendies, comme ceux qui ont ravagé l'Australie cette année.

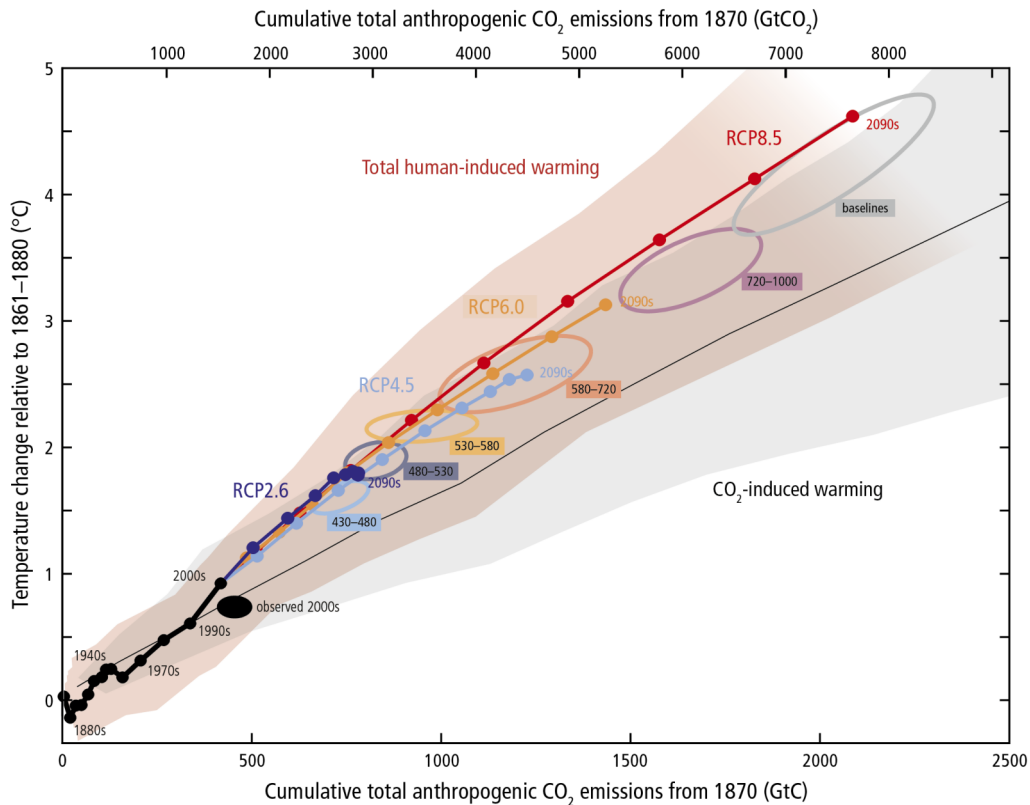
Le GIEC a tenté de dresser la liste des différents risques qui accompagnent le réchauffement : les incendies et les inondations ne sont que les plus visibles. Les résultats sont contenus dans les deux rapports sur l'atténuation et l'adaptation. On peut les résumer dans un tableau synthétique que voici, et qui est expliqué page 65 du Rapport de Synthèse :



Les risques sont évalués sous deux hypothèses, un réchauffement de 2°C par rapport à 1985 à la fin du siècle par, et un réchauffement de 4°C. Pour chacune d'elles, il donne le risque à court terme (2030-2040) et le risque à long terme (2080-2100). C'est expliqué dans le petit encart en haut à droite. Juste au-dessus, vous trouverez la classification des risques par type. On voit par exemple que l'Asie sera particulièrement touchée (pénurie alimentaire due à la sécheresse, destruction des villes et des infrastructures par des inondations, et mortalité directe due à la combinaison de chaleur et d'humidité, comme nous l'avions signalé dans la leçon sur la biologie). L'Amérique du Nord ne sera pas épargnée non plus, frappée notamment par la mortalité directe.

Conclusion

Pour conclure ce chapitre, il est bon de rappeler les hypothèses correspondant aux quatre scénarios retenus, les RCP 2.6, 4.5, 6 et 8.5. Ce sont essentiellement des scénarios d'émission de GES, et ils sont représentés par le graphique suivant, avec les réchauffements correspondants :



En abscisse (en haut du graphique) on lit la quantité totale de CO₂ émise par les activités humaines depuis 1870, et en ordonnées le réchauffement correspondant. Les dates sont indiquées directement sur la figure. On voit par exemple que sur le scénario 8.5, BAU, l'humanité est supposée avoir émis en 2090 plus de 7 500 Gigatonnes de CO₂, alors qu'aujourd'hui nous n'en sommes encore qu'à 1500 Gigatonnes. Est-il vraiment réaliste de penser qu'on va multiplier cette quantité par 6 ou 7 en moins d'un siècle ? Un scénario comme 2.6, qui arrive à moins de 2600 Gigatonnes, n'est-il pas beaucoup plus raisonnable ? Est-il si difficile d'y arriver ?

Hélas, ce n'est pas si simple, et la suite du cours s'attachera à cette question. Mais dès maintenant nous pouvons noter qu'entre 1970 et 2000, le stock de carbone a été doublé : on a émis autant de CO₂ en trente ans que durant tous les siècles précédents. Et on peut donc retourner la question : est-ce réaliste de penser que cette tendance s'inversera spontanément ?

Bravo ! Vous avez terminé la leçon.



Avant de passer à la leçon suivante, nous vous proposons de vous auto-positionner sur les objectifs clés de la leçon afin de faire le point sur votre apprentissage. Ce sondage n'est ni noté, ni obligatoire. Il est pour vous. Et si le sujet vous a passionné, n'hésitez pas à poursuivre avec la section "En savoir plus".

[cf.]

Licence



Ivar Ekeland et Aïcha Ben Dhia, co-auteur.e.s, ont souhaité faire de ce cours un bien commun en le plaçant sous licence libre Creative Commons CC-BY-SA 4.0. Cela signifie qu'en l'absence d'indication contraire, vous pouvez réutiliser, distribuer, citer, modifier et adapter les contenus de ce cours comme bon vous semble, y compris à des fins commerciales, tant que :

- Vous l'attribuez de la manière suivante : “Ivar Ekeland et Aïcha BenDhia, avec le soutien de l'Université Paris-Dauphine, la Fondation Madeleine et la société 2050” ;*
- Le contenu que vous créez sur la base de celui-ci est placé sous une licence similaire, c'est-à-dire qu'il n'interdit à personne de réutiliser vos améliorations.*

Pour plus de détails, nous vous invitons à consulter la licence complète : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>

Cette licence ne concerne toutefois pas les illustration ou les travaux référencés, qui demeurent placés sous leur mention légale d'origine.

Solutions des exercices



Solution n°1

[exercice p. 7]

Associez à chacun des métiers les activités qui le caractérisent

Le climatologue	Le météorologiste
Effectue ses calculs de nombreuses fois, en modifiant chaque fois légèrement les conditions initiales pour tenir compte des erreurs possibles. Le bilan des résultats permet d'identifier les résultats les plus probables.	Effectue ses calculs une seule fois avec le maximum de précision
Ne cherche pas à prédire le scénario d'émissions de GES dues aux activités humaines. Il est pris comme donnée dans ses calculs, comme le type de lancer du dé.	Ne cherche pas à prédire le scénario d'émissions de GES dues aux activités humaines. Il est pris comme donnée dans ses calculs, comme le type de lancer du dé.
Propose une réponse probabiliste : montre les différentes moyennes possibles sur des périodes de plusieurs années, et les probabilités associées à chaque possibilités	Propose une réponse exacte : une seule météo est prédite pour chaque date
Cherche à prédire les températures et précipitations moyennes les plus probables sur la période future qui nous intéresse	Cherche à prédire la température et les précipitations exactes de la date future qui nous intéresse
Utilise les équations de la physique du climat	Utilise les équations de la physique du climat

Solution n°2

[exercice p. 8]

Pas si je ne connais pas le nombre de boules noires par rapport au nombre de boules blanches.

Solution n°3

Quelle est la réponse la moins informative que vous pourriez obtenir de la statisticienne ? Réponse : 50-50. En effet, si elle vous disait par exemple 40-60, vous choisiriez la couleur noire et auriez 60% plutôt que 50% de chances de gagner 1000 euros. Dans le scénario 50-50, vous avez encore une belle espérance de gains : 50% de chances d'avoir 1000 euros et 50% de chances d'en perdre 10, donc $500 - 5 = 495$ euros en moyenne. Combien voulez vous payer pour entrer dans un jeu où au pire vous aurez 495 euros de gains espérés ? Cela dépend de votre aversion au risque mais ce qui est sûr c'est que les habitués du loto paient pour bien moins que ça !