

# Changements climatiques : de la Planète à la France

S. Planton

Association Météo et Climat, Société française de la météorologie et du climat, 73 avenue de Paris 94165 Saint-Mandé, serge.planton@free.fr

## Résumé

*Le changement climatique planétaire est sans équivoque et il est extrêmement probable que l'influence humaine a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. En France métropolitaine, au cours des 40 à 50 dernières années, le réchauffement climatique est aussi avéré mais les précipitations moyennes ne montrent pas de tendance très marquée. Le nombre de jours chauds et les sécheresses des sols ont augmenté et le nombre de jours froids a diminué, mais aucune tendance de long terme n'est observable pour les tempêtes.*

*A l'horizon 2050, les changements climatiques futurs ne dépendent pas de l'amplitude des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. Par contre, au-delà de cette échéance, ces scénarios peuvent conduire à une stabilisation des changements climatiques ou à leur amplification. En France, les conséquences attendues les plus marquées concernent les épisodes de vagues de chaleur et les épisodes de sécheresses. Les conséquences socioéconomiques sont potentiellement très importantes notamment dans le domaine agricole.*

## Introduction

Les évolutions climatiques dépendent de différents **facteurs naturels** comme les paramètres orbitaux de la terre à des échelles de quelques centaines à quelques dizaines de milliers d'années, de la variabilité solaire et volcanique jusqu'à des échelles de quelques années et d'une variabilité, à toutes les échelles de temps, interne à ce que l'on appelle le **système climatique** (atmosphère, océans, glaces, végétation, ...). Mais depuis quelques décennies, nous savons que les évolutions climatiques sont aussi fortement dépendantes des **activités humaines**, en particulier du fait de l'émission de certains gaz dans l'atmosphère comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) le méthane et le protoxyde d'azote qui ont la propriété de réchauffer la terre, d'où leur nom de **gaz à effet de serre**<sup>1</sup>.

Dans cet article, nous faisons un **bref point des connaissances sur les changements climatiques récents**, sur la part des évolutions du climat que l'on peut attribuer aux activités humaines, que ce soit à l'échelle de la planète ou à l'échelle de la France métropolitaine. Nous traitons aussi des **évolutions attendues du climat au cours de ce siècle** que l'on peut déduire de différents scénarios liés aux activités humaines. Les conséquences potentielles de ces évolutions sont multiples, mais nous ne ferons ici qu'en évoquer quelques-unes, en particulier certaines de celles qui ont un plus fort impact sur les activités agricoles.

## 1. Les changements climatiques récents

### 1.1. A l'échelle planétaire

Parmi les causes naturelles de variation du climat, la fluctuation de la forme de l'orbite de la terre autour du soleil avec une périodicité d'environ 100 000 ans est l'un des facteurs à l'origine de l'alternance entre des périodes froides (glaciaires) et chaudes (interglaciaires). La dernière période glaciaire a culminé il y a environ 21 000 ans. La température moyenne à la surface de la terre était alors environ 5°C plus froide qu'actuellement (entre 3 et 8°C plus froide) et le niveau des océans était 130 m plus bas (GIEC, 2013). Le climat s'est ensuite réchauffé en environ 10 000 ans puis est resté relativement stable jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle.

---

<sup>1</sup>Les gaz à effet de serre interceptent une partie des rayons infrarouges émis à la surface de la terre puis, les réémettant dans toutes les directions, en réémettent une partie vers la surface contribuant ainsi à la réchauffer davantage.

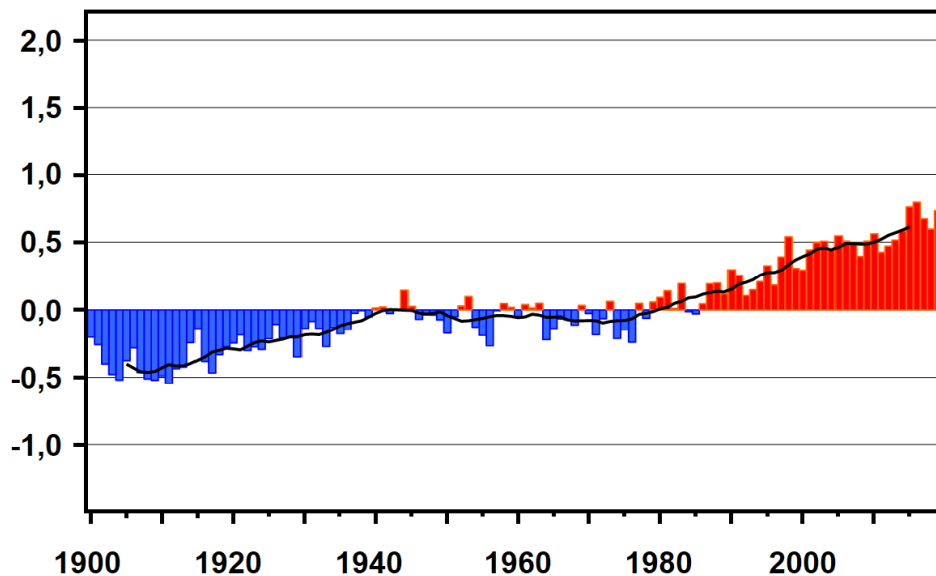


FIGURE 1 : Évolution de la température moyenne annuelle planétaire sur la période 1901-2019 (en °C), sous forme d'écart à la moyenne de référence 1961-1990. Le trait continu noir représente l'évolution des moyennes sur des périodes glissantes de 10 ans. Données issues de l'Université d'East Anglia (2020).

La reconstruction des températures de l'hémisphère nord des 1400 dernières années (GIEC, 2013), montre la singularité du XX<sup>e</sup> siècle marqué par un réchauffement très rapide. Ce réchauffement n'a cependant pas été régulier comme le montre la figure 1 qui représente la température moyenne planétaire de 1901 à 2018. Après une phase de réchauffement au cours de la première moitié du siècle, la température est restée relativement stable jusqu'au milieu des années 1970 avant de augmenter. En incluant l'évaluation de la température moyenne planétaire de l'année 2019 publiée par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2019), **19 des 20 années les plus chaudes depuis 1880<sup>2</sup> se situent au cours des 20 dernières années.**

Sur la même période, le réchauffement des océans qui fait augmenter leur volume par dilatation, la fonte des glaciers continentaux et plus récemment celle des inlandsis<sup>3</sup> du Groenland et de l'Antarctique, expliquent une **augmentation du niveau moyen de la mer** de l'ordre d'une vingtaine de centimètres. D'après le rapport spécial du GIEC sur les glaces et les océans (GIEC, 2019a), le rythme d'augmentation du niveau de la mer est de 3,6mm/an sur la période 2006-2015, soit 2,5 fois plus rapide que sur la période 1901-1990.

Combinant l'ensemble des observations acquises, les experts du GIEC ont conclu à « un **réchauffement climatique sans équivoque** » et au fait que « depuis les années 1950, beaucoup des changements observés sont sans précédent depuis des décennies jusqu'à des millénaires » (GIEC, 2013).

Jusqu'au début du siècle dernier les évolutions climatiques du dernier millénaire sont essentiellement expliquées par des facteurs naturels. A cette échelle de temps, les effets sur le climat des variations des paramètres orbitaux de la terre sont faibles. L'essentiel des évolutions de la température observée au cours de cette période s'expliquent par la variabilité volcanique, par la variation du rayonnement émis par le soleil et par la variabilité interne du climat, sans qu'il soit possible d'évaluer avec précision chacune des contributions.

Par contre, **ces facteurs naturels ne peuvent pas expliquer le réchauffement climatique depuis 1950 qui a notamment coïncidé avec une relative stabilité de l'irradiance solaire.** Il faut en chercher l'origine dans les activités humaines au travers de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre liée à l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et aux changements d'utilisation des terres (déforestation, etc.).

<sup>2</sup> Année marquant le début d'estimations indépendantes de la température moyenne planétaire

<sup>3</sup>Masse de glace terrestre d'échelle continentale, appelée aussi « nappe glaciaire »

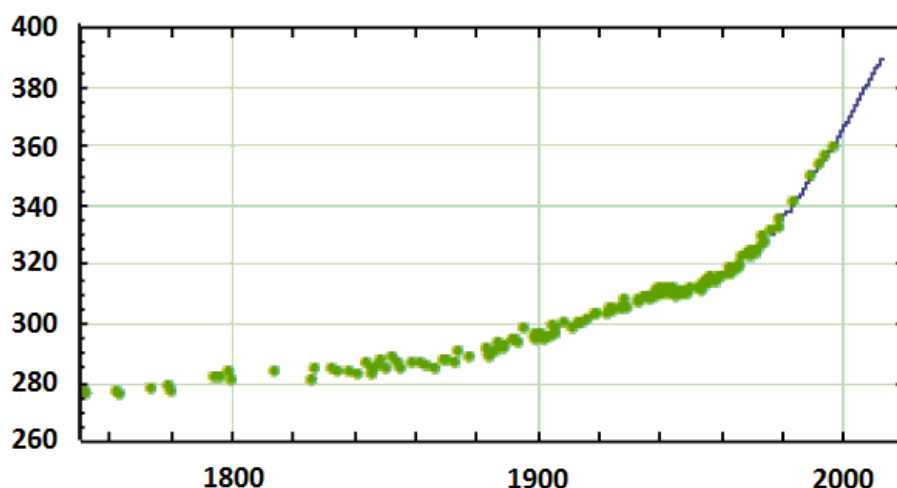


FIGURE 2 : **Évolution de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> (en ppm) de 1750 à 2012** déduites de l'analyse des glaces (points) et de mesures directes dans l'atmosphère (courbe). D'après la figure 6.11 de GIEC (2013).

Les concentrations atmosphériques du CO<sub>2</sub>, du méthane et de l'oxyde nitreux ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. La figure 3 illustre cette augmentation pour le CO<sub>2</sub> dont la concentration a augmenté de plus de 40% depuis le début de la période industrielle (47% entre 1750 et 2018 d'après Friedlingstein et al., 2019).

Les preuves d'un lien de cause à effet entre l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le réchauffement climatique récent sont apportées par la modélisation climatique. Le rôle des activités humaines sur les changements climatiques récents a ainsi pu être évalué. A titre d'illustration, la figure 3 montre que les simulations climatiques ne prenant en compte que les facteurs naturels d'évolution du climat ne permettent pas de reproduire le réchauffement planétaire après 1950. C'est par contre le cas pour les simulations prenant aussi en compte l'augmentation d'origine humaine des concentrations de gaz à effet de serre qui réchauffent le climat, mais aussi de particules sulfatées ou carbonées qui ont pour effet moyen de le refroidir.

En faisant la synthèse de l'ensemble des études existantes, les experts du GIEC concluent en 2013 que « l'influence humaine sur le système climatique est claire ». Ils concluent aussi qu'« il est extrêmement probable que l'influence humaine a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle ». A ce jour, il est aussi possible d'affirmer que le réchauffement climatique a changé la fréquence de certains extrêmes de température comme la canicule de 2003 en Europe de l'Ouest et celle de 2010 en Russie. C'est aussi probablement le cas pour l'intensité des précipitations extrêmes dans certaines régions. En revanche, on ne peut rien affirmer à ce jour pour le nombre ou l'intensité des cyclones ou des tempêtes.

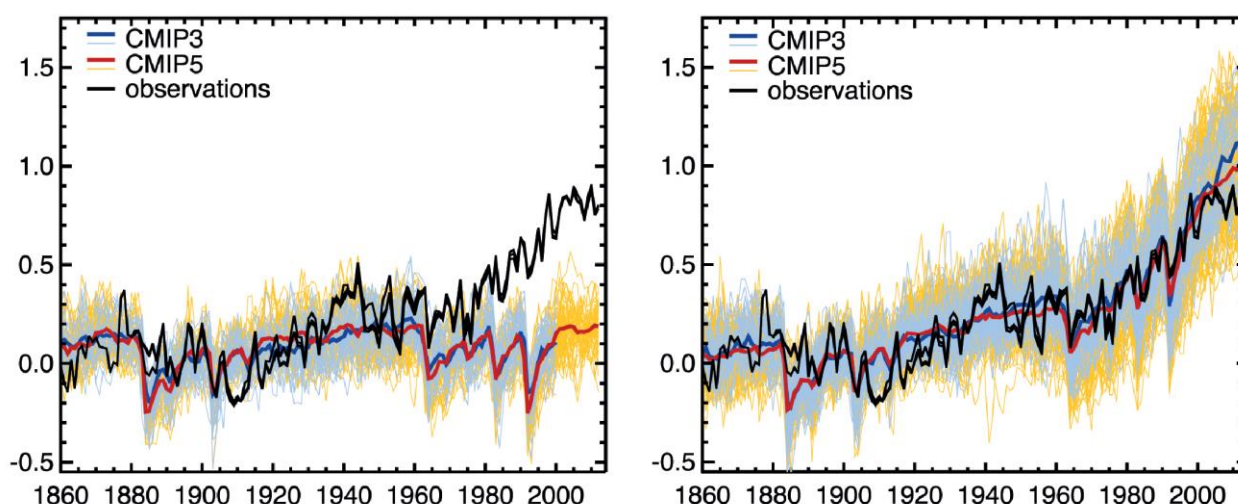


FIGURE 3 : **Évolution de la température moyenne planétaire observée et simulée sur la période 1860-2010 (en °C)**. Les valeurs annuelles reproduites sont des écarts à la moyenne de 1880-1919. Les observations (3 estimations) sont en noir. Les zones grisées correspondent à deux ensembles de simulations (CMIP3 et CMIP5)<sup>4</sup> avec facteurs naturels seulement à gauche, avec facteurs naturels et d'origine humaine à droite. D'après la figure 10.1 de GIEC (2013).

<sup>4</sup> Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), pour projet d'intercomparaison des modèles couplés

## 2.1. En France métropolitaine

Le **réchauffement climatique en France métropolitaine** est illustré sur la figure 4. Par comparaison avec la figure 1, l'évolution montre une plus grande variabilité de la température d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre. Cependant la même évolution est observable au **XX<sup>e</sup> siècle avec une tendance de 1901 à 2018 de +1,6°C à comparer à la tendance de +1°C pour la température moyenne planétaire sur la même période**. Comme à l'échelle planétaire, en France, le nombre de jours chauds a augmenté et le nombre de jours froids a diminué au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

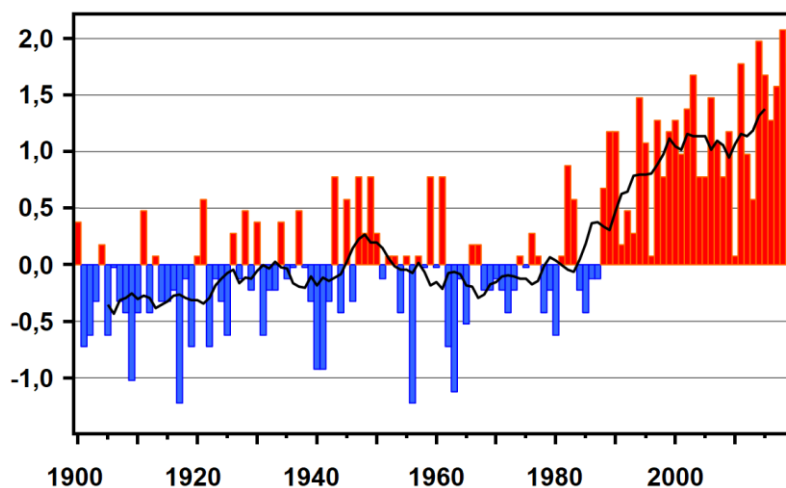


FIGURE 4 : **Évolution de la température moyenne annuelle de la France métropolitaine sur la période 1901-2019 (en °C)**, sous forme d'écart à la moyenne de référence 1961-1990. Le trait continu noir représente l'évolution des moyennes sur des périodes glissantes de 10 ans. Données issues de Météo-France (2020).

Des études ont permis de détecter une **influence humaine dans les tendances observées de température en France** (Ribes et *al.*, 2010). Détecter cette influence est beaucoup plus difficile lorsqu'il s'agit d'événement météorologiques ou climatiques singuliers. Cependant, de nouvelles méthodologies sont en cours d'expérimentation et ont été appliquées dans un court délai aux **canicules de juin et juillet 2019** (Ribes et *al.*, 2019a). Elles ont permis de montrer que le changement climatique d'origine humaine a accentué leur intensité d'environ 2 °C et multiplié leur fréquence d'occurrence par un facteur de l'ordre de 20.

Une analyse des **précipitations sur la période 1959-2009** (Dubuisson B., Météo-France, communication personnelle) **ne montre pas par contre de tendance très marquée** (limitées à quelques pour cents par décennie) même si elle indique généralement une légère augmentation des précipitations annuelles sur la moitié nord du pays, et une légère diminution sur les régions méridionales. Ce contraste entre augmentation au nord et diminution au sud est plus marqué en été et en hiver. Au printemps, l'augmentation des précipitations concerne toutes les régions à l'exception du Sud-Est et, en automne, elle concerne les seules régions du Nord-Est du Pays et de la vallée du Rhône. **Les précipitations les plus intenses ne montrent pas non plus de tendances très marquées** mais une étude récente, spécifique aux **épisodes méditerranéens** conclut que l'intensité de l'événement annuel maximal de la région a **augmenté en moyenne de 22%** sur la période 1961-2015, une tendance difficile à expliquer sans prendre en compte l'effet des activités humaines sur le climat (Ribes et *al.*, 2019b). **Les sécheresses des sols ont par ailleurs sensiblement augmenté en fréquence et en intensité depuis la fin des années 1980**.

Enfin, en France métropolitaine, le nombre ou l'intensité des tempêtes varient d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre mais aucune tendance nette à l'augmentation ou à la diminution ne se dégage depuis les années 1950. On peut donc conclure à **l'absence de tendance marquée sur les vents forts en France métropolitaine sur les cinquante dernières années**.

Les changements climatiques en France vont donc dans le même sens que les tendances moyennes planétaires, même si quelques spécificités sont notables en ce qui concerne les extrêmes climatiques.

## 3. Scénarios du changement climatique futur

### 3.1. A l'échelle planétaire

Quatre profils représentatifs d'évolutions de concentrations de gaz à effet de serre anthropiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle (RCP pour « Representative Concentration Pathways ») ont été choisis par les experts du GIEC (GIEC, 2013). Ils comprennent les émissions et concentrations associées dans l'atmosphère de l'ensemble des gaz émis par les activités humaines ayant un effet significatif sur le climat, donc en particulier de CO<sub>2</sub>, de méthane et d'oxyde nitreux.

Ils sont aussi accompagnés de scénarios de concentrations de particules en suspension dans l'atmosphère associées à la pollution atmosphérique (sulfatée et carbonée). Enfin, ils prennent en compte les changements d'utilisation des terres en particulier associés à l'activité agricole.

Ces scénarios ont été traduits en parallèle par la communauté scientifique en termes d'évolutions climatiques et en termes d'évolution démographique ou socio-économiques regroupées en 5 familles de scénarios (SSP pour « Shared Socioeconomic Pathways »). Nous ne considérons ici que les **évolutions climatiques associées aux scénarios d'émissions RCP**.

Les changements probables (2 chances sur 3) de température à la fin du siècle par rapport à la moyenne de la période 1850-1900, ont été calculés à partir de 30 à 40 modèles climatiques simulant la réponse du climat aux scénarios RCP. Le réchauffement moyen planétaire en 2100 serait ainsi de l'ordre de 4°C avec le scénario RCP8.5 de plus fortes émissions. **Les activités humaines pourraient donc produire en 250ans un réchauffement équivalent à celui produit par la nature en 10000ans** séparant la dernière période glaciaire du début de la période interglaciaire actuelle (voir section 2.1). Par contre **le réchauffement moyen planétaire avec le scénario RCP2.6 de plus faibles émissions serait probablement inférieur à 2°C**.

Ce dernier scénario conduit donc à un réchauffement s'approchant des objectifs de l'accord de Paris (COP21) même s'il ne permet pas d'atteindre un réchauffement de 1,5°C avec une forte probabilité. La figure 5 reproduit les émissions nettes de CO<sub>2</sub> liées aux activités humaines (émissions diminuées de la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique captée en surface) qu'il faudrait respecter pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C au-dessus des températures préindustrielles. Pour les deux ensembles de trajectoires (avec ou sans dépassement du seuil de 1,5°C), la neutralité carbone - c'est à dire des émissions nettes égales à zéro - devrait se produire aux alentours de 2050 au lieu de 2075 pour un réchauffement de 2°C. D'après la synthèse des experts qui ont étudiés ces scénarios (GIEC, 2018), **le strict respect des accords de Paris pour 2030 n'est pas compatible avec l'objectif de réchauffement de 1,5°C** et, sans renforcement des engagements des états, **le réchauffement pourrait être compris entre 3 et 4°C en 2100**. Pourtant ce même rapport du GIEC met en évidence des impacts significativement différents du réchauffement climatique même pour un écart de seulement 0,5°C (sur le niveau des océans, la perte de biodiversité, les événements extrêmes, ...).

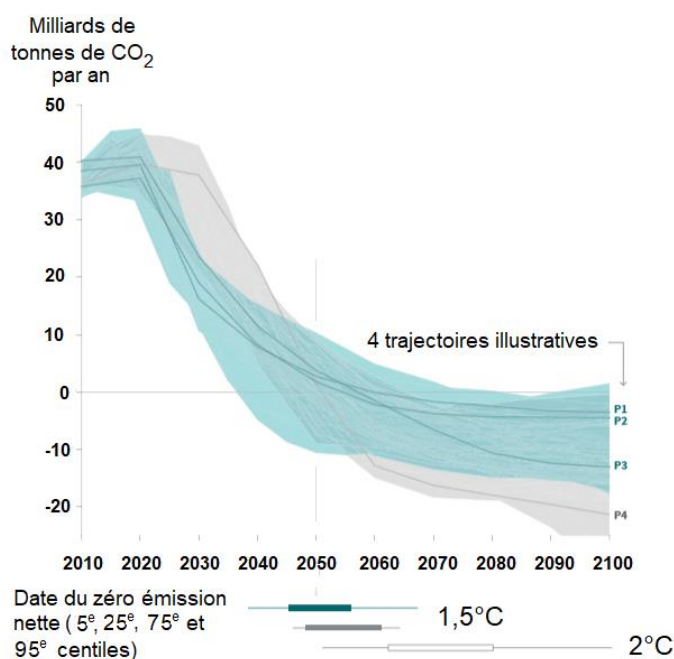


FIGURE 5 : **Émissions annuelles nettes de CO<sub>2</sub> (en milliards de tonnes) limitant le réchauffement à 1,5°C en 2100**. Les plages grisées rassemblent 90% des trajectoires sans (pic vers 2020) ou avec (pic après 2020) dépassement du réchauffement de 1,5°C au cours du siècle. Les barres horizontales en dessous de la figure indiquent les créneaux de dates de passage par la neutralité carbone pour les différents scénarios de réchauffement. D'après la figure SPM3a de GIEC (2018).

### 3.2. Les changements climatiques futurs en France

Les changements climatiques futurs en France sont précisés grâce à l'utilisation de simulations réalisées à partir de modèles climatiques dits « régionaux ». Ces modèles ont la particularité de couvrir un domaine limité (en l'occurrence l'Europe) avec une plus grande précision (typiquement sur une grille dont la maille est d'environ 12 km de côté) que les modèles climatiques globaux utilisés pour les simulations climatiques du dernier rapport du GIEC (typiquement avec une maille de 150 km).

Des simulations des changements climatiques en France métropolitaine ont été réalisées avec une dizaine de modèles climatiques régionaux mis en œuvre par la communauté climatique européenne pour deux des quatre scénarios d'émissions définis par le GIEC (RCP4.5 et RCP8.5). Par ailleurs un modèle climatique régional français mis en œuvre à Météo-France (Aladin-Climat) a été utilisé pour évaluer le changement climatique pour le scénario correspondant à un réchauffement planétaire probablement limité à 2°C (RCP2.6 ; voir section 3.1). Les résultats des simulations sont présentés dans un rapport de l'Observatoire National des effets du réchauffement climatique dans le cadre de la mission « Jouzel » (Ouzeau et *al.*, 2014) et sont mis à disposition sur le portail de service climatique national DRIAS (2012). Nous en présentons ici une brève synthèse.

### - Les moyennes climatiques

La figure 6 reproduit les changements de température moyenne par rapport à la période de référence 1971-2005. Bien que non reproduit sur la figure qui montre des projections lissées dans le temps, le climat futur continuera bien sûr à présenter une variabilité interannuelle et d'une décennie à l'autre comme le climat passé également reproduit sur cette figure. Le premier constat, qui est aussi valable à l'échelle planétaire, est que **le réchauffement climatique est sensiblement le même pour tous les scénarios dans la première moitié du siècle**. Cela s'explique par l'inertie de la réponse climatique en surface à l'augmentation des gaz à effet de serre qui est de l'ordre de 30 à 40 ans.

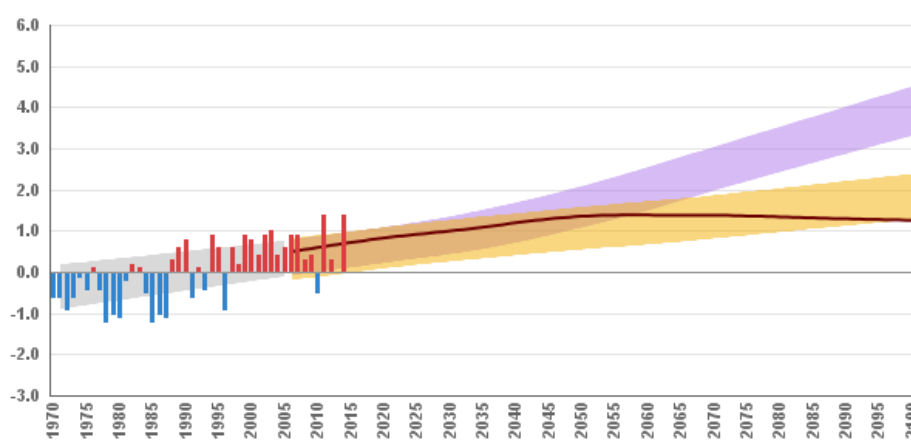


FIGURE 6 : Évolution de la température moyenne en France métropolitaine par rapport à la période de référence 1976-2005 (en °C). Les barres verticales représentent les écarts à la référence des températures moyennes annuelles observées. Les plages grisées représentent des écarts à la références de températures simulées, moyennées et « lissées » dans le temps, pour la période 1971-2005, et pour la période 2006-2100 pour les scénarios RCP8.5 (plus fort réchauffement en 2100) et RCP4.5. Ces plages correspondent à une combinaison de simulations réalisées à partir d'une dizaine de modèles climatiques régionaux (67% des estimations). La courbe correspond à une seule simulation « lissée » de la période 2006-2100 réalisée à partir du modèle Aladin-Climat pour le scénario RCP2.6. Figure extraite du portail DRIAS (graphe de l'espace « Découverte »).

A l'échéance 2021-2050, le réchauffement par rapport à la période de référence 1976-2005, serait du même ordre de grandeur que le réchauffement observé sur la période 1901-2015 (de 0,9°C à 1,4°C comparé à 1,4°C). **Le réchauffement s'accélère donc en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle**. Le réchauffement sera un peu plus important en été qu'en hiver et plus marqué dans le Sud-Est de la France. **A la fin du siècle, selon les scénarios, ce réchauffement se stabilisera ou sera multiplié par un facteur de l'ordre de 4.**

**A l'horizon 2050, les précipitations moyennes devraient varier peu** en restant typiquement dans un intervalle de plus ou moins 10% par rapport à la valeur moyenne du climat de référence. **Le changement le plus notable concerne une diminution des précipitations au-delà de 2050, avec le scénario d'émission le plus sévère et principalement en été**. Cette stabilité des précipitations moyennes ne signifie cependant pas que l'effet du changement climatique sur l'hydrologie est négligeable en France à l'horizon auquel on se place (voir ci-dessous).

### - Les extrêmes météorologiques et climatiques

Quel que soit l'horizon temporel, **les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses** avec le changement climatique. Les études déjà citées (Ribes et *al.*, 2019a) montrent ainsi qu'en 2040, des températures aussi élevées que celles de l'été 2019 seront observées environ 5 fois plus souvent et que des événements aussi rares seront plus chauds d'environ 1,2°C. A l'échéance de la fin du siècle, l'évolution du nombre et de l'intensité des événements est très dépendante de la trajectoire des émissions de gaz à effet de serre suivie au cours de ce siècle. A l'inverse, les changements climatiques s'accompagneront d'une **moindre sévérité des extrêmes froids et le nombre de jours de gel va continuer à décroître**.



Une autre évolution notable attendue est celle des **sécheresses agricoles** (définies par un déficit d'humidité du sol superficiel) qui devraient être **plus longues et plus intenses**. Une sécheresse exceptionnelle similaire par exemple à celle de l'année 1990, pourrait être fréquemment dépassée. Ce constat ne s'explique pas principalement par une augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse météorologique (définies par un déficit de précipitations), mais par une augmentation de l'évapotranspiration en surface liée au réchauffement.

Les évolutions attendues pour les pluies extrêmes sont quant à elles très variables géographiquement. Cependant une tendance générale se dessine avec une **augmentation de la variabilité des pluies se traduisant par une augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes les plus extrêmes**.

A l'exemple de ce qui a été observé au cours des dernières décennies, **les tempêtes ne montrent pas quant à elles de tendance notable, qu'il s'agisse de leur fréquence ou de leur intensité**. De plus, les projections climatiques ne sont pas en l'état assez précises pour qu'on puisse tirer des conclusions définitives concernant les phénomènes météorologiques peu étendus, non nécessairement extrêmes mais à forts impacts locaux (orages de grêle, mini-tornades, etc.).

#### **- Quelques effets directs attendus**

L'une des conséquences directes du réchauffement climatique global est l'**augmentation du niveau de la mer** (environ 20 cm depuis 1900). Les effets de certaines tempêtes pourraient ainsi être accentués dans les régions côtières en raison de l'augmentation du risque de submersion. Il convient toutefois de relativiser l'augmentation de ce risque à l'horizon 2050 puisque l'élévation globale du niveau de la mer attendue à cette échéance est d'une vingtaine de centimètres supplémentaires. Cet ordre de grandeur devrait être sensiblement le même sur nos côtes. Cependant, d'après le rapport spécial du GIEC sur les glaces et les océans (GIEC, 2019a), l'augmentation du niveau de la mer pourrait probablement atteindre 60cm à 1m10 avec le scénario RCP8.5 en 2100, renforçant ce **risque de submersion et le risque d'intrusions salines dans les nappes phréatiques côtières**.

L'augmentation de la variabilité des pluies mentionnée plus haut laisse supposer qu'il pourrait s'ensuivre une augmentation du risque de crues éclair associées aux épisodes de pluies diluviennes des régions méditerranéennes. Ce risque reste toutefois à préciser. A noter que **le risque de crues en général ne semble pas présenter d'évolution notable** à l'échelle du pays même si les régions à tendances négatives l'emportent sur les régions à tendances positives.

Par ailleurs, **le risque d'incendie de forêts va aussi augmenter du fait du changement climatique**. En effet, l'augmentation attendue des zones forestières et des friches et de la diminution de leur entretien, combiné à l'augmentation de fortes chaleurs et du risque de sécheresse entraîne l'augmentation de ce risque. Par ailleurs, une étude réalisée à partir d'un scénario d'émissions comparable au scénario RCP4.5 a montré que les surfaces forestières les plus sensibles au risque de feu, actuellement localisées dans le Sud-Est de la France, pourraient s'étendre de 30% à l'horizon 2040 et couvrir une part importante de la forêt des Landes (Chatry et al., 2010). Dès l'horizon 2060, ce risque devrait s'étendre jusqu'à la forêt de Sologne.

Il ne s'agit ici que d'exemples d'effets directs qui entraînent d'autres conséquences humaines et sociales notamment dans le domaine agricole. Une analyse récente des effets sur les sols et l'alimentation dans le monde vient d'être publiée dans un rapport spécial du GIEC (GIEC, 2019b). Pour le cas particulier des prairies en France, nous renvoyons à l'article de Soussana (2013) paru dans la revue « Fourrages ». Cet article pointe le fait qu'avec le changement climatique et l'augmentation de la concentration du CO<sub>2</sub>, l'augmentation de la productivité végétale au printemps et à l'automne pourrait être compensée par un déficit estival de production du fait des déficits hydriques. Cet article synthétise les résultats d'études sur les évolutions possibles de la qualité nutritive des fourrages et sur l'évolution du bilan environnemental des prairies. Il conclut sur la nécessité de développer les recherches et de renforcer la capacité adaptative des acteurs en particulier pour faire face aux événements extrêmes.

#### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Friedlingstein P. et al. (2019) : "Global Carbon Budget 2019", Earth Syst. Sci. Data, 11, 1783–1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>, 2019.
- Chatry C., Le Quentrec M., Laurens D., Le Gallou J.-Y., Lafitte J.-J., Creuchet B. (2010) Rapport de la mission interministérielle 'Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts', CGAER, CGEDD, IGA, 190.
- DRIAS (2012) : <http://www.drias-climat.fr/>
- GIEC (2013) : "Climate Change 2013: The Physical Science Basis", contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. Eds, Cambridge University Press, : Cambridge and New York, 1535.
- GIEC (2018) : "Global Warming of 1.5°C", An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner H.-O., Roberts D., Skea J., Shukla P.R., Pirani A., Moufouma-Okia W., Péan C., Pidcock R., Connors S., Matthews J.B.R., Chen Y., Zhou X., Gomis M.I., Lonnoy E., Maycock T., Tignor M., Waterfield T. Eds., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 562, <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- GIEC (2019a) : Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. Eds., sous presse, <https://www.ipcc.ch/srocc/>

- GIEC (2019b) : "Climate change and land", Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, Shukla P.R., Skea J., Calvo Buendia E., Masson-Delmotte V., Pörtner H.-O., Roberts D.C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R., Ferrat M., Haughey E., Luz S., Neogi S., Pathak M., Petzold J., Portugal Pereira J., Vyas P., Huntley E. Kissick K., Belkacemi M., Malley J. Eds., sous presse, <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- OMM (2019) : "WMO provisional statement on the state of the global climate in 2019", [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10108](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108)
- Ouzeau, G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R., M. Vrac M. (2014) : "Scénarios régionalisés – édition 2014 pour la métropole et les régions d’outre-mer", Le climat de la France au XXIe siècle, Volume 4, rapport de la mission Jean Jouzel, août 2014, Ministère de l’Ecologie, du Développement Durable et de l’énergie, 63.
- Ribes A., Azaïs J.M., Planton S. (2010) : "A method for regional climate change detection using smooth temporal patterns", *Climate Dynamics*, 35, 41 391-406.
- Ribes A., Corre L., Robin Y., Simon P., Soubeyrou J.-M., Vautard R., Yiou P. (2019a) : "Attribution des canicules de l’été 2019 à l’influence humaine", *Météo et Climat Info*, 75, 2.
- Ribes A., Thao S., Vautard R., Dubuisson B., Somot S., Colin J., Planton S., Soubeyrou J.-M. (2019b) Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean. *Climate Dynamics*, 52, 1095–1114.
- Soussana J.-F. (2013) : "Prairies et changement climatique », *Revue Fourrages*, n°215, 171-180.
- Universite d’East Anglia (2019) : <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>