

Climat et incertitudes

October 14, 2020

Nicolas Pignard–Fernandez

Sous la direction de Gérard Vidal

1 Introduction

Dans ce document, nous présentons une approche des incertitudes rendant les prévisions climatologiques complexes, ainsi que du réchauffement global actuel qui est dû aux activités humaines et qui est mis en évidence une fois ces incertitudes maîtrisées.

Dans la partie 2 nous allons présenter rapidement la climatologie, puis les incertitudes liées au climat, et enfin différentes manières de faire des projections s'appuyant des scénarios futurs utilisées par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat).

Dans la partie 3 nous allons présenter des manières d'aborder et comprendre des données statistiques, qui sont utilisées par les chercheurs et les médias pour parler du climat.

Enfin dans la partie 4 nous allons présenter le site internet Drias-climat, et notamment voir comment télécharger des données de prévisions climatiques depuis le catalogue du site. Nous présenterons aussi un exemple d'exploitation de telles données à l'aide de programmes en langage Python.

2 Climat et incertitudes

2.1 De l'observation météorologique au climat

a) Météorologie

La météorologie est la science qui étudie les phénomènes atmosphériques, comme les précipitations, le vent, ou l'ensoleillement. Pour cela les météorologues mesurent des paramètres tels que la température, la pression, la vitesse du vent, ou encore l'humidité.

La météorologie est une étude du temps à cours terme et dans des zones ponctuelles. Prenons un exemple de prévision simple : en observant des nuages chargés de pluie dans une région A donnée, et du vent dans cette zone vers la région B, les météorologues peuvent prévoir que les précipitations vont se déplacer de la région A vers la région B. En donnant un modèle de l'atmosphère et un ensemble de données relevées aujourd'hui à de puissants ordinateurs, on peut ainsi prévoir le temps qu'il fera quelques jours à l'avance avec une certaine confiance. Cependant au-delà de ces quelques

jours il est difficile de faire une prévision précise, on parle alors de tendance, qui sont des prévisions à caractère probabiliste. Pour envisager quel temps il fera dans un an, il faut s'intéresser non plus à la météorologie, mais à la climatologie.

b) Climatologie

La climatologie est l'étude statistique des phénomènes atmosphériques sur une période ou une surface donnée, c'est à dire l'étude des conditions météorologiques successives sur de longues périodes. L'unité de temps généralement utilisé pour calculer les normales saisonnières est la trentaine d'années, on est loin des quelques jours auxquels s'intéresse la météorologie !

Par exemple, supposons qu'on ait relevé les conditions atmosphériques dans une région pendant une longue période. On peut alors savoir quelle est la température moyenne, maximale, et minimale dans cette région à certaine période de l'année. Ces données sont statistiques : la température qu'il fera est incertaine, mais on peut assigner une probabilité à chaque tranche de températures. Nous verrons comment comprendre ces données statistiques dans la partie II.

c) Climat et changement climatique

Le terme de changement climatique désigne l'augmentation globale des températures moyennes, observée depuis le début du XXe siècle. Ce changement est dû à l'activité humaine, notamment à l'émission de gaz à effet de serre qui piège la chaleur à l'intérieur de l'atmosphère terrestre. Ce changement est actuellement beaucoup trop rapide pour que de nombreuses espèces animales et végétales s'y adaptent et y survivent. Les conséquences seront lourdes au moins durant le XXIe siècle, et l'amélioration de nos comportements est déterminante pour le futur.

L'étude de l'évolution du climat est en conséquence un enjeu crucial. Pour prévoir les effets du changement climatique et y réagir, il faut pouvoir prévoir le climat auquel nous serons confrontés. Cette prévision du climat à venir fait face à différents obstacles. Nous avons notamment vu que l'étude du climat est liée aux statistiques, et est sujette à des incertitudes. Nous allons voir dans la partie 3 quelles sont ces incertitudes et comment les traiter pour obtenir des projections fiables du climat futur..

2.2 Les incertitudes liées au climat

a) Incertitudes liées à la variabilité interne du climat

La disposition des continents et des océans, des reliefs, des courants marins et toutes les autres variables à l'intérieur du système climatique terrestre en font un mécanisme d'une complexité extrême. Cette complexité est à l'origine d'une variabilité naturelle du climat.

Par exemple une éruption volcanique peut projeter dans l'atmosphère des nuages de poussière qui vont bloquer une partie des rayons du soleil, ce qui va faire diminuer la température de la région située en dessous de ces nuages.

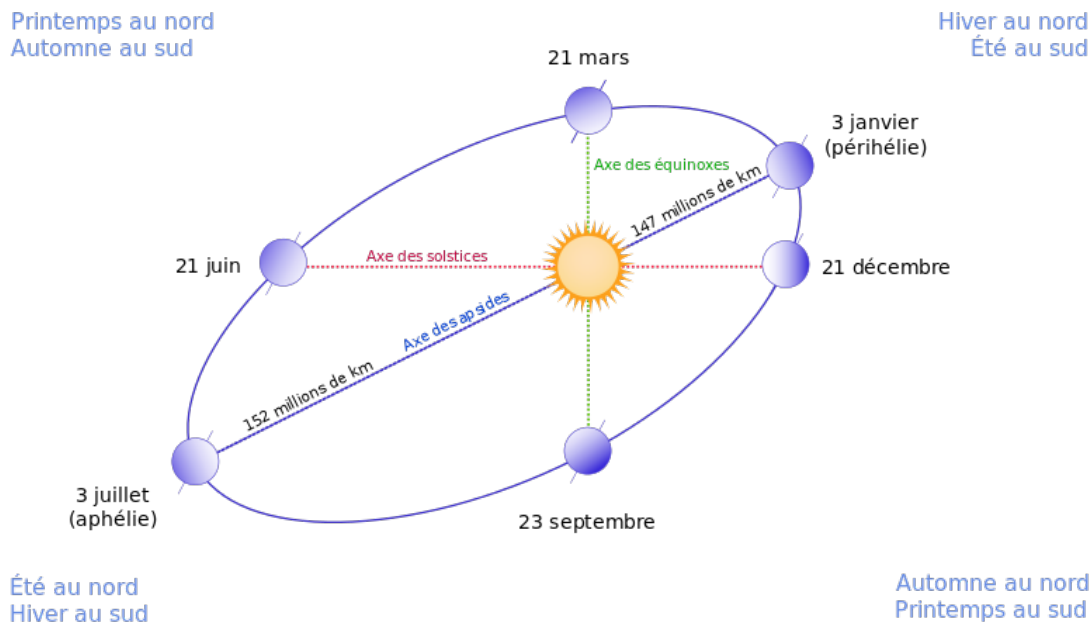
b) Incertitudes liées à la variabilité externe du climat

La terre ne constitue pas un système climatique isolé, elle évolue dans l'univers qui est lui même constamment en évolution. L'influence changeante de ce milieu extérieur est à l'origine d'une variabilité supplémentaire du climat.

Un exemple d'influence ayant un impact particulièrement élevé est celle des paramètres de Milanković, qui engendrent des variations cycliques du climat. La Terre est un corps à peu près sphérique en mouvement à peu près elliptique autour du Soleil, et en rotation sur elle-même. Les trois paramètres de Milanković sont l'excentricité, l'obliquité et la précession qui caractérisent ce mouvement.

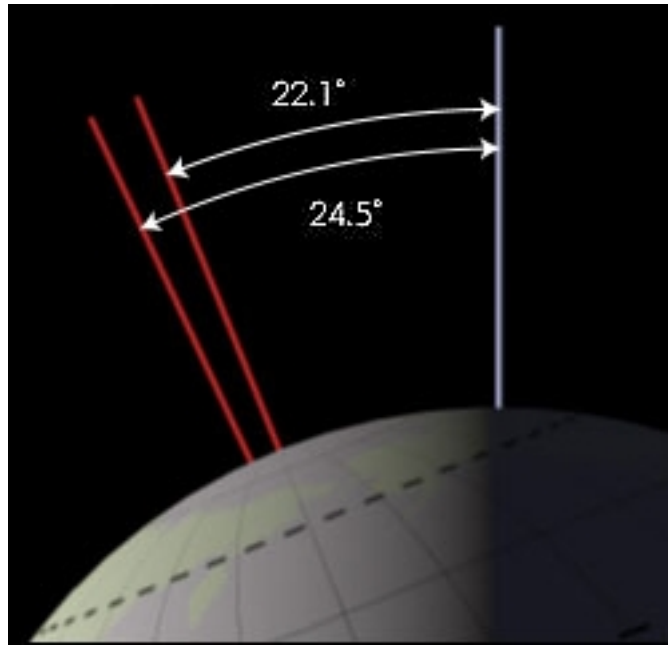
L'excentricité désigne l'aplatissement de l'orbite elliptique par rapport à un cercle. L'attraction gravitationnelle exercée par les autres planètes du système solaire sur la Terre et le Soleil déforment légèrement l'ellipse. C'est aussi le cas pour l'attraction gravitationnelle exercée par les astres massifs hors du système solaire. La principale cause d'excentricité de la Terre est périodique, et a une période d'environ 413 000 ans, et les autres causes ont des périodes entre et 95 000 ans et 125 000 ans.

Ci-dessous une représentation de l'excentricité de la Terre, issue de l'encyclopédie Wikipedia (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seasons_fr.svg) :



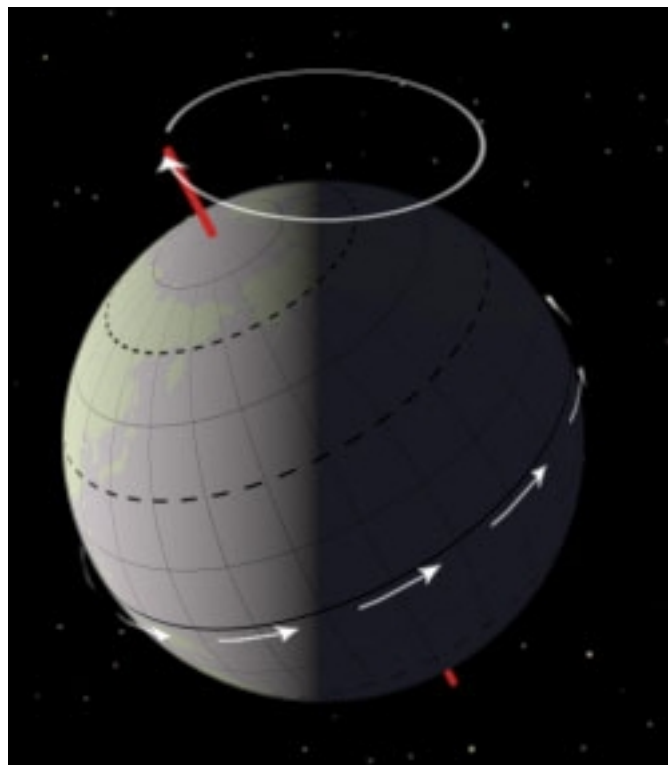
L'obliquité désigne l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur elle-même par rapport au plan sur lequel elle tourne autour du Soleil. L'axe de rotation de la Terre est actuellement dirigé vers l'étoile polaire, c'est pour ça que lorsqu'on observe le ciel étoilé on a l'impression que la voute céleste tourne autour de l'étoile polaire. C'est la Terre tournant sur elle-même qui nous donne cette impression ! L'obliquité de la Terre est périodique, de période 41 000 ans environ.

Ci-dessous une représentation de l'obliquité de la Terre qui peut varier entre 22,1° et 24,5°, issue du site earthobservatory.nasa.gov :



La précession désigne la tendance qu'a l'axe de rotation de la Terre à lui aussi effectuer une légère rotation, comme le l'axe d'une toupie dont les deux extrémités forment des petits cercles lorsque la toupie tourne. La précession est aussi périodique, d'une période d'environ 25 760 ans.

Ci-dessous une représentation de la précession de la Terre, issue du site earthobservatory.nasa.gov :



Tous ces paramètres ayant des périodes différentes influent par exemple sur la quantité de soleil reçue sur une région terrestre, et donc la température de celle-ci. Cela crée donc une variabilité du climat. Les périodes de cette variabilité sont de l'ordre du millier d'année, ce qui est bien différent de l'ordre de grandeur de la dizaine d'années du réchauffement global actuel.

c) Incertitudes liées aux contraintes scientifiques et techniques

La mesure d'une grandeur physique n'est pas parfaite. L'étalonnage des instruments ou la précision de la manipulation peut mener à des variations, l'environnement du lieu où sont effectuées les mesures peut induire des variations, ce qui est encore une source d'incertitude.

De plus, pour simuler le futur du climat, les climatologues travaillent à partir de modèles informatiques, c'est à dire qu'il génèrent une représentation de l'état de l'atmosphère et de son évolution en fonction des données mesurées qui influencent le climat. Les scientifiques essaient de rendre ces modèles les plus proches possibles de la réalité observable, mais la puissance des ordinateurs est limitée et des simplifications sont nécessaires.

d) Changement climatique et incertitudes

Nous avons vu avec les variabilités internes et externes du climat qu'il y aura naturellement des étés plus chauds que d'autres. Qui plus est nos modèles sont nécessairement simplifiés par rapport à la réalité. Comment peut-on alors parler avec autant de certitude de réchauffement global du climat ?

Les sources des incertitudes et leurs conséquences sont complexes, cependant nous connaissons les causes de ces incertitudes, et nous pouvons en observer les conséquences. Ainsi avec les outils mathématiques appropriés nous pouvons améliorer notre maîtrise de ces incertitudes. Nous pouvons faire de multiples calculs dans de multiples laboratoires de recherche, et plus la quantité de données et le nombre de modèles utilisés sont importants plus nous améliorons la maîtrise de ces incertitudes.

Une fois toutes les incertitudes maîtrisées le plus possible il reste un signal, qui témoigne d'un changement climatique. Selon le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, qui évalue les données scientifiques et socio-économiques nécessaires pour comprendre l'évolution du climat) le réchauffement global du système climatique est aujourd'hui sans équivoque, et est mis en évidence par l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, par la fonte généralisée des neiges et des glaces, et par l'élévation du niveau moyen mondial de la mer.

2.3 Les scénarios du GIEC

a) Profils RCP

RCP signifie Representative Concentration Pathway. Les profils RCP sont des trajectoires possibles de la concentration en gaz à effet de serre dans le futur, qui ont été créés par le GIEC lors de son cinquième rapport, en 2014.

Le GIEC a sélectionné quatre profils, dont les possibilités de se produire dépendent de la quantité de gaz à effet de serre émise dans les années futures. Ces quatre profils sont nommés RCP2.6, RCP4.5, RCP6, et RCP8.5, selon le forçage radiatif prévu pour l'année 2100, allant de 2,6 à 8,5 W/m². Le forçage radiatif représente ici la différence entre l'énergie reçue et l'énergie émise

par la Terre, l'émission de gaz à effet de serre retenant la chaleur dans l'atmosphère (et diminuant donc la quantité d'énergie émise par la Terre) augmente la valeur du forçage radiatif.

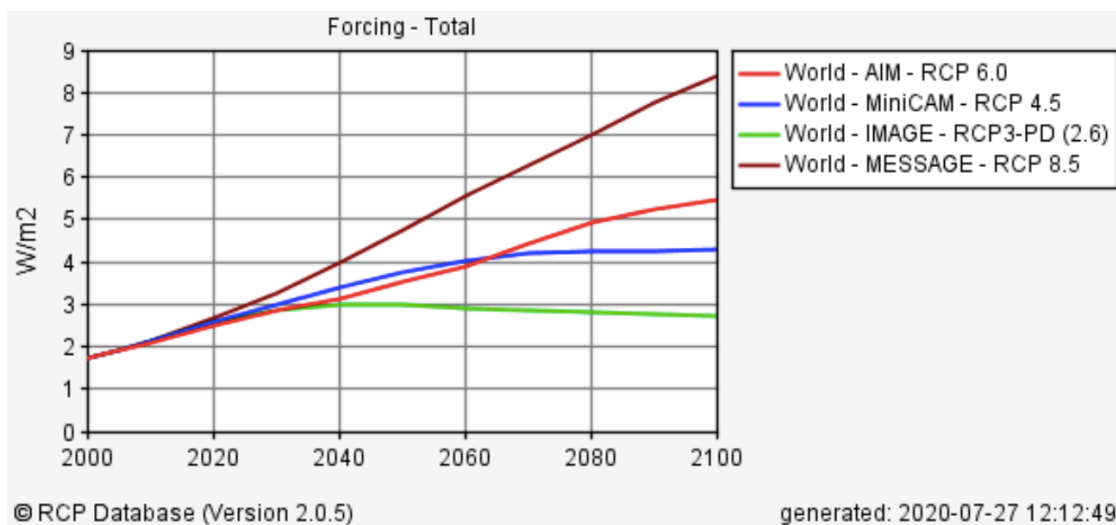
RCP2.6 correspond à un forçage radiatif de 2,6 W/m² en 2100, avec une trajectoire en déclin après un pic à 3 W/m² plus tôt au cours du XXI^e siècle. C'est le profil le plus optimiste présentant un déclin du forçage radiatif dans le futur, ce qui ne serait possible qu'en réduisant nos émissions de gaz à effet de serre.

RCP4.5 correspond à un forçage radiatif de 4,5 W/m² en 2100, avec une trajectoire qui tend à se stabiliser à ce niveau sans dépassement futur.

RCP6 correspond à un forçage radiatif de 6 W/m² en 2100, avec une trajectoire qui va tendre à se stabiliser durant le siècle suivant.

RCP8.5 correspond à un forçage radiatif de 8,5 W/m² en 2100, avec une trajectoire toujours croissante. C'est évidemment le profil le plus pessimiste.

Voici une représentation graphique de l'évolution du forçage radiatif au cours du siècle prévue par chacun des trois scénarios, obtenue grâce à RCP Database (<https://tntcat.iiasa.ac.at/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>) :



Il est intéressant de considérer plusieurs de ces scénarios lorsqu'on essaye de faire des projections des tendances climatiques futures, car chacun mène à des modélisations différentes. Celui qui se réalisera dépend de nos choix de société au cours du siècle.

b) Scénarios SSP

SSP signifie Shared Socioeconomic Pathways. Les scénarios SSP sont des scénarios possibles de changements socioculturels liés au réchauffement climatique, qui seront utilisés par le GIEC pour leur sixième rapport, prévu pour 2021. Ces cinq scénarios prévoient chacun un futur différent selon deux facteurs principaux : les relations entre et à l'intérieur les pays, et leur implication à endiguer le changement climatique.

Dans le SSP1, le monde évolue progressivement mais de façon dominante vers le développement durable et la gestion des biens communs mondiaux s'améliore. La consommation est orientée vers une croissance matérielle faible et une utilisation des ressources et de l'énergie limitée.

Le SSP2 est le scénario moyen, avec une poursuite des tendance actuelles. La croissance et le développement se poursuit de manière inégale, et les institutions mondiales et nationales œuvrent pour la réalisation des objectifs de développement durable, mais progressent lentement. Les systèmes environnementaux continuent encore de se dégrader malgré les améliorations modérées de nos comportements et la diminution légère de l'utilisation des ressources et de l'énergie.

Dans le SSP3 chaque pays cherche avant tout son propre développement économique avant de chercher à résoudre les problèmes environnementaux, et la coopération internationale est faible à cause que la compétition entre pays. Chaque nation se concentre au mieux sur la réalisation d'objectifs environnementaux dans leur propre pays mais les résultats sont très inégaux, ce qui entraîne une forte dégradation de l'environnement dans certaines régions.

Le SSP4 est celui avec une très faible collaborations même si il y a des efforts de certains pour l'environnement. Ce monde est marqué par les inégalités. Les émissions de gaz à effet de serre sont très variés selon la population, et c'est la grande partie de la population exclue du partage des ressources mondiales qui est vulnérable aux conséquences du changement climatique.

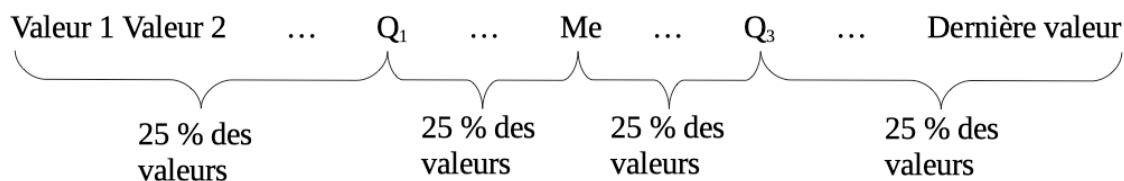
Dans le SSP5 la coopération est forte mais pas dirigée vers le développement durable. Le développement rapide des pays auparavant les plus pauvres permet la mise en place d'énergie alternatives dans ces régions, mais leur développement initial à été fondé sur une consommation forte d'énergies fossiles. La population est dépendante des innovations technologiques communes pour endiguer les problèmes environnementaux.

3 Comprendre les données statistiques et les incertitudes

À partir d'une série de données statistiques, on peut dire bien plus de choses que seulement les valeurs moyenne, maximale, et minimale. Un outil mathématique particulièrement efficace pour décrire la répartition des valeurs d'une série est les quartiles et les centiles.

a) Les quartiles

Les trois quartiles Q_1 , Q_2 (qui est aussi appelé la médiane Me) et Q_3 divisent une série statistique triée par ordre croissant en quatre parts, de sorte que chacune contienne un quart des valeurs, comme ceci :



Un exemple ! On a relevé la température dans une ville à 8h du matin tous les jours pendant un mois et un scientifique dit : « Le troisième quartile de la série statistique des températures est $Q_3 = 4^{\circ}C$. ». Cette phrase veut dire que durant le mois, pour 25 % des jours il faisait plus de $4^{\circ}C$ à 8h du matin.

Formellement le premier quartile Q_1 est la valeur seuil pour laquelle 75 % des valeurs de la série sont plus élevées que Q_1 . Le deuxième quartile Q_2 (ou Me) est la valeur seuil pour laquelle

50 % des valeurs de la série sont plus élevées que Q_2 . Enfin le troisième quartile Q_3 est la valeur seuil pour laquelle 25 % des valeurs de la série sont plus élevées que Q_3 .

Voici un exemple d'obtention des quartiles d'une série statistique de petite taille. Supposons qu'une station météo ait fait les onze relevés de températures suivants avec onze capteurs différents, qui sont un peu variables à cause des incertitudes que nous avons présentées précédemment :

T (°C)	23,6	23,2	23,5	22,9	23,2	23,0	23,3	23,8	23,4	23,3	23,2
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

La première chose à faire est de trier ces relevés par ordre croissant, puis on peut lire les quartiles :

T (°C)	22,9	23,0	23,2	23,2	23,2	23,3	23,4	23,4	23,5	23,6	23,8
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

↑
↑
↑
 Q_1
 Me
 Q_3

b) Les centiles

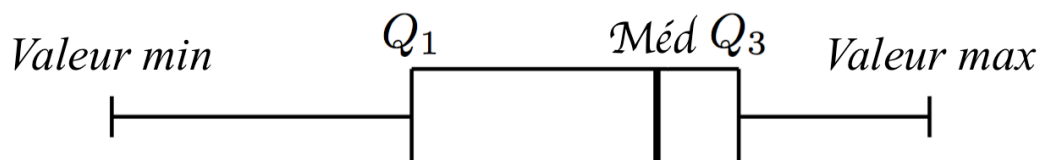
Les centiles fonctionnent de la même manière que les quartiles sauf qu'il y en a 99 et ils découpent une série statistique triée par ordre croissant en 100 parts, de sorte que chaque part contienne 1 % des valeurs. On les note de C_1 à C_{99} .

Un exemple ! Des scientifiques ont relevé la température qu'il faisait dans une ville tous les ans le 1er juin à midi de 1988 à 2018, et ils en obtiennent une série statistique. L'année suivante il fait 35°C le 1er juin à midi et un scientifique s'exclame : « C'est supérieur au 95ème centile ! ». Alors on sait qu'il a fait plus chaud que 35°C dans moins de 5 % des cas de la série.

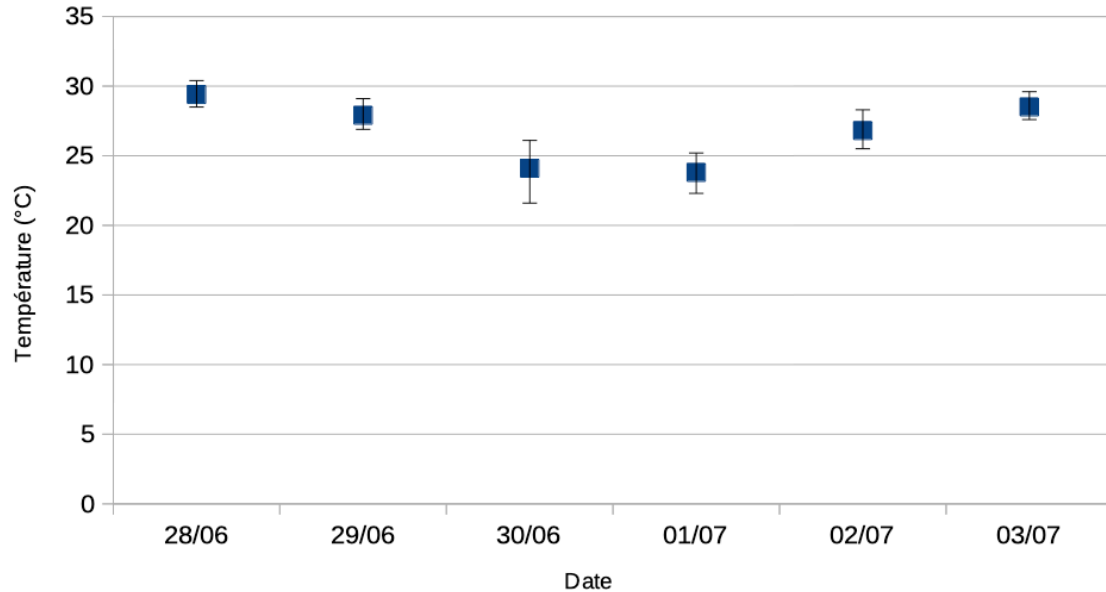
Formellement on dit que le n-ième centile C_n est la valeur seuil pour laquelle (100-n) % des valeurs de la série sont plus élevées. Par exemple le 90ème centile C_{90} est la valeur seuil pour laquelle 10 % des valeurs de la série sont plus élevées.

c) Représenter les incertitudes

Pour représenter graphiquement une série statistique et ainsi voir plus facilement la répartition des valeurs, on utilise souvent des diagrammes en boîte (ou boîtes à moustache). Le diagramme en boîte fait apparaître les valeurs minimales et maximales de la série, ainsi que les trois quartiles. Voici la représentation généralement utilisée :



De façon similaire aux diagrammes en boîte, on peut représenter l'incertitude de chaque point d'un graphique en indiquant les premiers et troisièmes quartiles de la série de valeur utilisée pour déterminer le point en question de la façon suivante :



4 Tracé de données issues de Drias

a) Le site Drias

Le site internet Drias (www.drias-climat.fr) est un site affilié au ministère de la transition écologique et solidaire dont la vocation est de rendre accessible les projections climatiques réalisées par différents laboratoires français (comme par exemple le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement de l'IPSL, le Centre Européen de Recherche et de formation Avancée en Calcul Scientifique CERFACS du CNRS) ou étrangers (comme par exemple le Swedish Meteorological and Hydrological Institute). Drias propose aussi un guide d'accompagnement pour comprendre ces projections, qui est complémentaire avec notre présentation du climat et des incertitudes qui y sont liées dans la partie 2 de notre document.

la suite nous allons présenter comment utiliser le catalogue de données de Drias où nous allons télécharger des données numériques de projections climatiques suivant les profils RCP du GIEC, puis présenter un exemple d'exploitation de ces données à l'aide de programmes en langage Python.

b) Obtention de données sur le site Drias

Pour télécharger des données du catalogue Drias il est d'abord nécessaire de créer un compte sur le site. Ensuite il suffit d'aller sur le site drias-climat.fr, et cliquer sur l'onglet « Données et produits » pour consulter le catalogue.

Dans l'exemple que nous allons présenter dans la suite nous allons utiliser des simulations EURO-CORDEX-2014 (dans le catalogue : « Simulations climatiques atmosphériques », « Scénarios RCP », « Métropole », « DONNEES CORRIGÉES » et enfin « Simulations EURO-CORDEX-2014 »).

De nombreuses données de prévisions sont alors disponibles, suivant les scénarios de différents profils RCP et produites par différents laboratoires. Nous avons choisi les données des prévisions

du Swedish Meteorological and Hydrological Institute suivant les scénarios des profils RCP4.5 et RCP8.5.

Après avoir choisi un modèle de prévision, de multiples options sont disponibles. On peut choisir la période que l'on veut (pour l'exemple que nous allons présenter ci-dessous nous avons choisi les années de 2006 à 2100), choisir si on veut des données pour l'année toute entière ou seulement des mois ou des saisons précises (nous avons pris le mois de juin), puis il faut ensuite choisir une zone géographique avec quelques points de la grille (nous avons pris un carré de neuf points autour de la ville de Lyon), et enfin choisir le type de données météorologiques que nous voulons (nous avons pris les températures moyenne, minimale, et maximale).

Il faut faire attention au format du fichier résultat. Pour les programmes que nous allons présenter en exemple nous avons choisi les options "Fourniture d'un seul fichier contenant l'ensemble des points sélectionnés", format de ligne : "DATE POSITION Paramètres", format de position des points de la grille : "Latitude Longitude", format de date : "AAAA MM JJ (3 champs)", et séparateur de champs : "Espace".

Après la production de la commande, on peut télécharger un fichier résultat au format .txt qui contient les données demandées.

c) Exploitation des données

Nous allons maintenant présenter un exemple d'exploitation de telles données avec des programmes en langage Python.

Tout d'abord nous allons faire une copie des fichiers de données et supprimer l'en-tête dans les fichiers copies pour ne conserver que les données sous un format du type « 2006 06 01 45.70340 4.75142 287.3 292.6 290.2 » où on voit successivement la date, les coordonnées du point de la grille, et les trois données de températures (minimale, maximale, et moyenne) en Kelvin. Pour les programmes suivants nous avons nommé les fichiers copies « T_juin_RCP45.txt » et « T_juin_RCP85.txt ».

Nous allons ensuite tracer les courbes des températures moyenne, maximale, et minimale dans la zone au mois de juin de 2006 à 2100, suivant des prévisions avec les profils RCP4.5 et RCP8.5 :

Nous utiliserons les bibliothèques numpy et matplotlib.pyplot :

```
[1]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Et nous proposons ensuite le script suivant :

```
[3]: # On lit le fichier, d'abord celui pour le profil RCP 4.5 : #
f1 = open("T_juin_RCP45.txt", "r", encoding='utf8')
s=f1.read()
f1.close()

# On stocke les données dans une liste : #
L=s.split("\n")
for i in range (0,len(L)) :
    L[i]=L[i].split(" ")
```

```

# On enlève le dernier élément de la liste qui est un résidu du split #
del(L[len(L)-1])

# Dans la liste on a encore des chaînes de caractères alors qu'on veut
↳ travailler sur les données comme des nombres, on va parcourir la liste et
↳ convertir : #
for i in range (0,len(L)) :
    for j in range (0,len(L[i])) :
        L[i][j]=float(L[i][j])

# On crée les listes vides où on va stocker les températures minimale, moyenne,
↳ et maximale du mois de juin pour chaque année (on rajoutera un élément à ces
↳ trois listes pour chaque année) : #
liste_Tmin45 = []
liste_Tmax45 = []
liste_Tmoy45 = []

for k in range (2006,2101) :
    compteur_Tmin = 1000
    compteur_Tmax = 0
    compteur_Tmoy = 0
    for i in range (0,len(L)) :
        if L[i][0]==k :
            compteur_Tmin = min(compteur_Tmin,L[i][5])
            compteur_Tmax = max(compteur_Tmax,L[i][6])
            compteur_Tmoy = compteur_Tmoy+L[i][7]
        liste_Tmin45.append(compteur_Tmin-273.15) # on enlève 273.15 pour passer
↳ des températures en degrés Kelvin à des températures en degrés Celcius #
        liste_Tmax45.append(compteur_Tmax-273.15)
        liste_Tmoy45.append(compteur_Tmoy/(9*30)-273.15) # moyenne des mesures sur
↳ 30 jours et 9 points de la grille#

# On procède exactement de la même façon pour le profil RCP 8.5 : #

f1 = open("T_juin_RCP85.txt","r",encoding='utf8')
s=f1.read()
f1.close()

L=s.split("\n")
for i in range (0,len(L)) :
    L[i]=L[i].split(" ")

```

```

del(L[len(L)-1])

for i in range (0,len(L)) :
    for j in range (0,len(L[i])) :
        L[i][j]=float(L[i][j])

liste_Tmin85 = []
liste_Tmax85 = []
liste_Tmoy85 = []

for k in range (2006,2101) :
    compteur_Tmin = 1000
    compteur_Tmax = 0
    compteur_Tmoy = 0
    for i in range (0,len(L)) :
        if L[i][0]==k :
            compteur_Tmin = min(compteur_Tmin,L[i][5])
            compteur_Tmax = max(compteur_Tmax,L[i][6])
            compteur_Tmoy = compteur_Tmoy+L[i][7]
    liste_Tmin85.append(compteur_Tmin-273.15)
    liste_Tmax85.append(compteur_Tmax-273.15)
    liste_Tmoy85.append(compteur_Tmoy/(9*30)-273.15)

# On trace les courbes : #

annees = np.linspace(2006,2100,95)

figure,(graph1,graph2) = plt.subplots(1,2)

graph1.set_title('Températures minimales, moyennes, et maximales au mois de
↳juin\ndans un carré de 9 points autour de Lyon selon les profils RCP 4.5 et
↳RCP 8.5')
graph1.set_xlabel('Année')
graph1.set_ylabel('Température (°C)')
graph1.plot(annees,liste_Tmin45,'r',label="Profil RCP 4.5")
graph1.plot(annees,liste_Tmax45,'r')
graph1.plot(annees,liste_Tmoy45,'r')
graph1.set_ylim(min(min(liste_Tmin45),min(liste_Tmin85),0),
↳max(max(liste_Tmax45),max(liste_Tmax85),0))
graph1.legend()

graph2.set_xlabel('Année')
graph2.set_ylabel('Température (°C)')
graph2.plot(annees,liste_Tmin85,'b',label="Profil RCP 8.5")

```

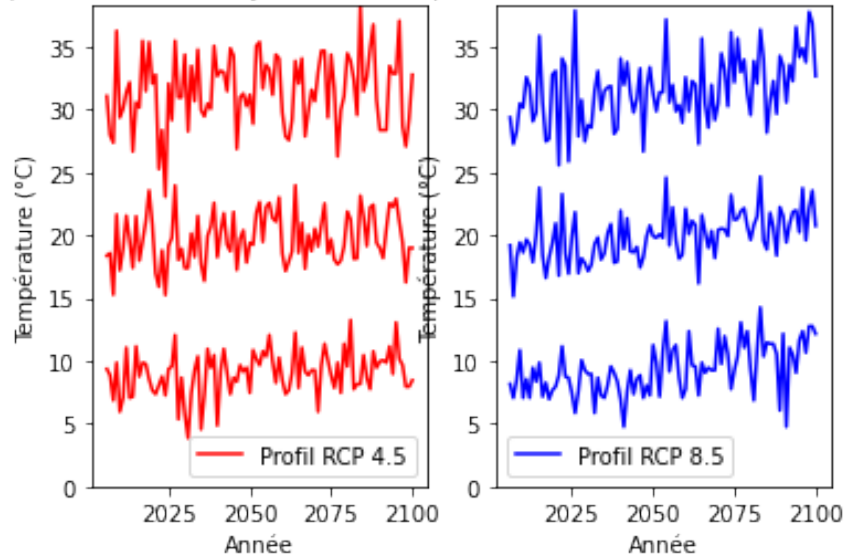
```

graph2.plot(annees,liste_Tmax85,'b')
graph2.plot(annees,liste_Tmoy85,'b')
graph2.set_ylim(min(min(liste_Tmin45),min(liste_Tmin85),0),
↳max(max(liste_Tmax45),max(liste_Tmax85),0))
graph2.legend()

plt.show()

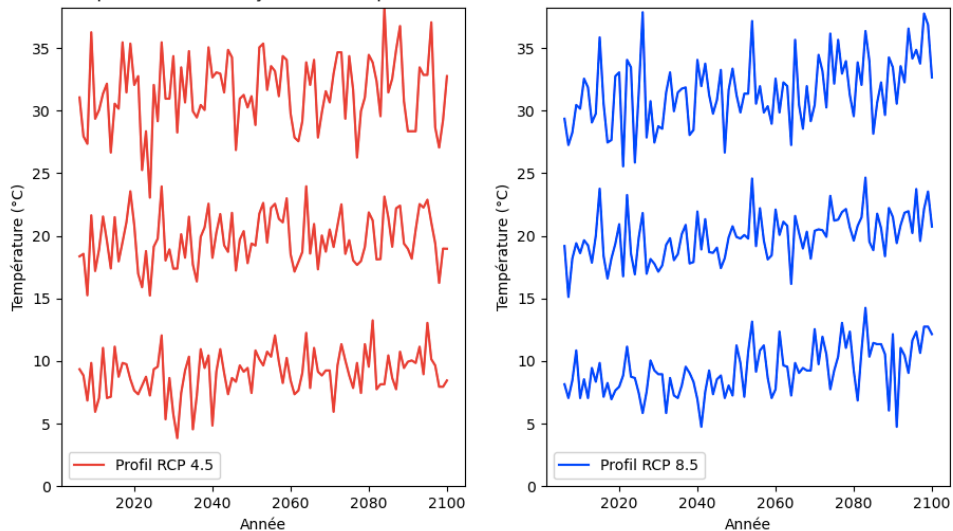
```

Températures minimales, moyennes, et maximales au mois de juin dans un carré de 9 points autour de Lyon selon les profils RCP 4.5 et RCP 8.5



Avec ce script on obtient les courbes suivantes :

Températures minimales, moyennes, et maximales au mois de juin dans un carré de 9 points autour de Lyon selon les profils RCP 4.5 et RCP 8.5



On voit bien la variabilité du climat, ce n'est pas une courbe lisse, et pour ce qui est du profil RCP 8.5 (en particulier pour les courbes de températures moyennes et maximales), on voit bien une tendance à l'augmentation de des températures, de l'ordre de plusieurs degrés. Une telle augmentation de quelques degrés suffit à mettre en danger de disparition de très nombreuses espèces animales et végétales ! C'est moins apparent sur la courbe du profil RCP 4.5 et on voit bien que les tendances climatiques futures seront différentes selon nos choix de société.

5 Conclusion

Comprendre et maîtriser les incertitudes notamment dues à la variabilité interne et externe du climat permettent de mettre en évidence le changement climatique actuel, qui est conséquence des activités humaines, et qui est caractérisé par un réchauffement global du système climatique. Les conséquences qui y sont liées, comme la désertification de régions entières, la fonte généralisée des neiges et des glaces, ou encore l'élévation du niveau moyen mondial de la mer, sont déjà responsables de la destruction de nombreux écosystèmes partout sur la planète et menacent la quasi totalité les espèces animales et végétales du globe. Le GIEC propose plusieurs scénarios futurs possibles, sous la forme de profil RCP ou de scénarios SSP, qui seront proches de la réalité ou pas selon nos choix de sociétés et nos comportements actuels et futurs.

Nous avons vu des outils mathématiques comme les quartiles et les centiles pour aborder et comprendre des données statistiques, et nous avons présenté un exemple de manipulation de telles données statistiques issues du site Drias-climat, à l'aide de programmes en langage Python. Dans cet exemple nous avons utilisé deux modèles RCP. De façon générale il est crucial d'utiliser plusieurs modèles pour élargir le spectre de nos prévisions et envisager plusieurs futurs possibles, selon les choix de sociétés de demain. Dans ce cadre il peut être judicieux d'utiliser des incertitudes intermodèles qui pourraient être abordées dans un prochain travail.

6 Sources

Site du GIEC : www.ipcc.ch, et notamment leurs rapports de 2007 et 2014.

Site de Drias : www.drias-climat.fr.

Site de Météo France : www.meteofrance.fr

Site de l'encyclopédie Wikipedia pour la partie sur les paramètres de Milanković : <https://fr.wikipedia.org> et <https://en.wikipedia.org>.

Site de RCP Database pour la partie sur les scénarios RCP : <https://tntcat.iiasa.ac.at/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>.