



UTILISER LES SIMULATIONS A CLIMAT CONSTANT

METEO-FRANCE / ELIA

| | |
|---|-----------|
| 1 LA MODELISATION A CLIMAT CONSTANT..... | 3 |
| 1.1 LA SIMULATION DU CLIMAT | 3 |
| 1.2 LE MODELE CLIMATIQUE ET LA PRODUCTION..... | 4 |
| 1.3 LA PREPARATION DES DONNEES..... | 5 |
| 1.4 LES DONNEES DISPONIBLES | 6 |
| 2 GUIDE DE L'UTILISATEUR | 8 |
| 2.1 LE CHOIX DES HYPOTHESES A CLIMAT FUTUR 2050..... | 8 |
| 2.2 POINTS DE GRILLE OU VILLES ? | 8 |
| 2.3 LA REFERENCE CLIMATOLOGIQUE HISTORIQUE | 9 |
| 2.4 LA REPRESENTATIVITE..... | 10 |
| 2.5 BASE CLIMATOLOGIQUE : DONNEES HISTORIQUES OU SIMULATIONS CLIMATIQUES ?..... | 10 |
| 2.6 L'INTERPOLATION A CLIMAT 2025 | 12 |
| 2.7 INTERPRETER LES RESULTATS | 12 |
| 2.8 LES ATOUTS ET LES LIMITES..... | 13 |
| 2.9 LES PERSPECTIVES | 13 |
| 3 ANNEXES..... | 15 |
| 3.1 LE GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT | 15 |
| 3.2 LES SCENARIOS RCP DU GIEC..... | 15 |

1 La modélisation à climat constant

Pour étudier le climat, il est très utile d'être capable de le modéliser sur de longues périodes. C'est le rôle des modèles climatiques. Un modèle climatique diffère d'un modèle de prévision par son objectif et par sa capacité à produire de longues simulations sans utiliser de mise à jour par des données observées. L'état de l'atmosphère et son évolution sont simulés de manière réaliste, c'est-à-dire que le modèle fournit des données qui, bien que fictives, sont cohérentes entre elles et restent toujours possibles. Le but d'une simulation à 'climat constant' est donc d'obtenir des séries temporelles de données climatiques équiprobables pour un certain 'climat'.

Les sigles suivants désignent les bases de données et simulations présentées dans ce document.

| Abréviation | Signification |
|-------------|---|
| HIRLAM | Modèle météorologique (Suède) ayant produit - entre autres - une ré-analyse climatologique à 0,2° de résolution, qui sert de référence pour les travaux de recalage des simulations sur l'Europe. |
| CC0 | Simulation climatique à climat 2000 |
| CC1 | Simulation climatique à climat 2050 avec hypothèse d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre RCP ¹ 4.5 |
| CC2 | Simulation climatique à climat 2050 avec hypothèse d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre RCP 8.5 |
| CC2025 | Séries à climat 2000, portée au climat 2025 par interpolation entre les simulations CC0 et CC2 |

1.1 La simulation du climat

Le climat dépend fortement et principalement des concentrations en gaz à effet de serre. Un panel d'hypothèses a été mis défini par les scientifiques de l'IPCC (GIEC)² : L'hypothèse RCP4.5 correspond à une maîtrise des émissions proche de l'idéal de l'accord de Paris. L'hypothèse RCP8.5 correspond à l'absence de maîtrise des émissions de gaz à effet de serre.

¹ RCP Representative Concentration Pathway : il s'agit d'une évaluation du forçage radiatif de la planète. Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe. Voir en annexe 3.2 Les scénarios RCP du GIEC.

² IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

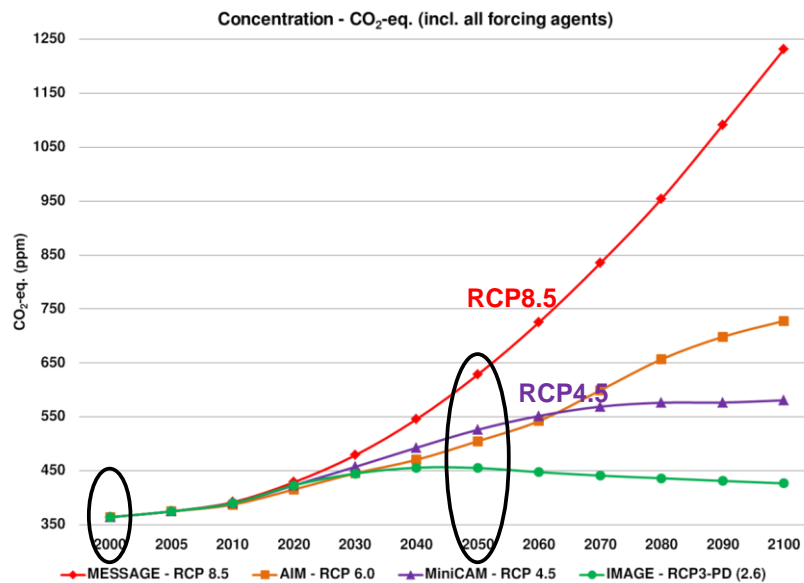


Figure 1 Hypothèses d'évolution des concentrations en CO₂ sur 100 ans (GIEC)

Les simulations à climat constant réalisées par Météo-France ont pour but d'explorer le domaine du possible d'une part au climat 2000, et d'autre part au climat 2050. Un ensemble de 200 années simulées équiprobables au même climat permettent de disposer d'une grande variété de situations météorologiques potentielles :

- Simulation climat 2000 ;
- Simulation climat 2050 hypothèse RCP4.5 ;
- Simulation climat 2050 hypothèse RCP8.5.

Les raisons du choix de ces hypothèses RCP pour ces simulations est présenté dans le Guide de l'utilisateur au paragraphe 2.1 : Le choix des hypothèses à climat futur 2050.

Les données préparées à climat 2025 ne proviennent pas d'une simulation réalisée à climat constant 2025, mais des séries à climat 2000 interpolées à climat 2025. La démarche est présentée dans le Guide de l'utilisateur au paragraphe 2.6 : L'interpolation à climat 2025.

1.2 Le modèle climatique et la production

Le modèle climatique de Météo-France, ARPEGE-Climat a été mis en œuvre pour simuler des séries à climat constant. Les données du modèle sont réparties sur une grille qui doit couvrir toute la planète. Pour étudier précisément l'Europe, la maille du modèle est étirée, avec un grand nombre de points sur l'Europe et peu de points aux antipodes.

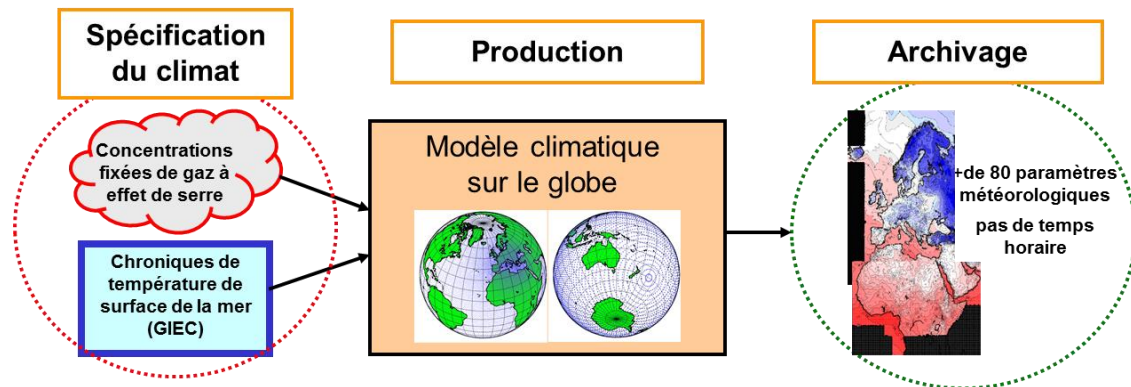


Figure 2 : Schéma de production des simulations

Pour garder le climat constant, les concentrations en gaz à effet de serre sont fixées constantes dans le modèle à des valeurs historiques pour le climat 2000 et estimées pour le climat futur 2050, selon l'hypothèse choisie :

| Gaz | Valeur de concentration : nb de molécules de gaz/nb de molécules d'air sec | | |
|--|---|--------------------|--------------------|
| | Climat actuel | Climat 2050 RCP4.5 | Climat 2050 RCP8.5 |
| CO₂ (dioxyde de carbone) | 368.8650 E-06 | 486.5353 E-06 | 540.5428 E-06 |
| CFC11 (chloro fluoro carbone11) | 263.4500 E-12 | 109.1995 E-12 | 107.3084 E-12 |
| CFC12 (chloro fluoro carbone12) | 833.2770 E-12 | 802.2038 E-12 | 988.0196 E-12 |
| CH₄ (méthane) | 1751.0225 E-09 | 1833.0944 E-09 | 2739.9847 E-09 |
| N₂O (protoxyde d'azote) | 315.8500 E-09 | 350.6075 E-09 | 367.2197 E-09 |
| Chlore | 3429.2885 E-12 | 2046.9126 E-12 | 2052.0037 E-12 |

Tableau 1 : Valeurs des concentrations en gaz à effet de serre pour les trois simulations

Des séries de 200 ans de températures de surface de la mer, adaptées au climat 2000 ou 2050 sont utilisées pour assurer l'interface océan-atmosphère.

Une situation de départ réelle est donnée au modèle qui fait avancer les valeurs météorologiques suivant les équations physiques de l'atmosphère et de ses échanges avec la surface terrestre. Le modèle avance jusqu'à obtenir 200 années fictives mais équiprobables. Les valeurs météorologiques sur l'Europe sont archivées au pas de temps horaire.

1.3 La préparation des données

Tous les modèles présentent quelques défauts qu'il faut corriger. Pour cela, les données de la simulation à climat 2000 sont transformées pour avoir les mêmes caractéristiques statistiques que celles d'une base climatologique de référence, constituée à partir d'observations portant sur 30 ans autour de l'année 2000. Ces transformations ont une certaine forme appelée fonction de transfert qui dépend du lieu, du jour de l'année et de l'heure du jour. Pour corriger les valeurs à climat 2050, selon l'hypothèse que le modèle a le même type de défauts lorsque les concentrations en gaz à effet de serre sont un peu différentes, les mêmes fonctions de transfert sont utilisées, avec les précautions nécessaires concernant les valeurs extrêmes.

La référence climatologique utilisée est HIRLAM/ERA-Interim à la résolution de 0,2° en latitude et longitude, sur la période 1984-2013.

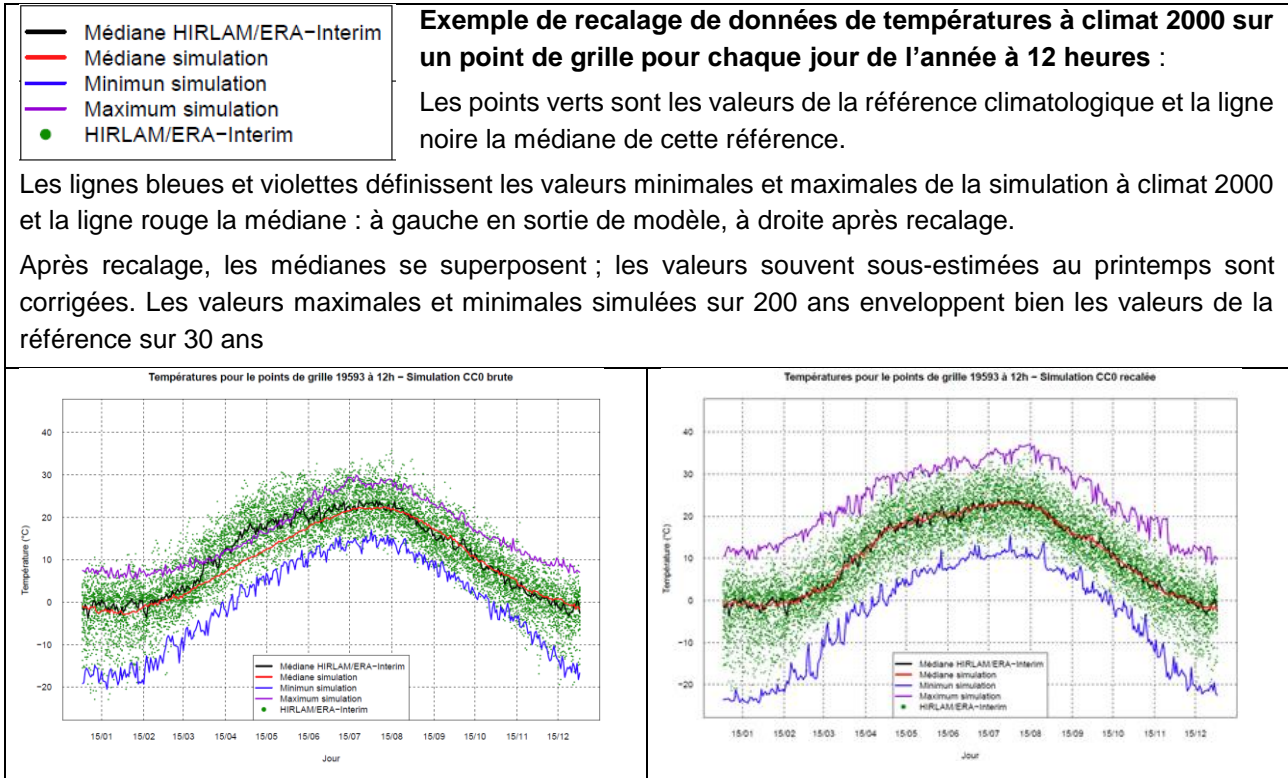


Figure 3 : Exemple de recalage des données

1.4 Les données disponibles

EUROPE

Les données sont préparées sur une grille régulière de 0,2° de résolution en latitude et longitude (environ 20 km), couvrant l'Europe : de 10°W à 32°E, et 71°N à 30°N (37136 points de grille), sur 200 ans au pas de temps 1h :

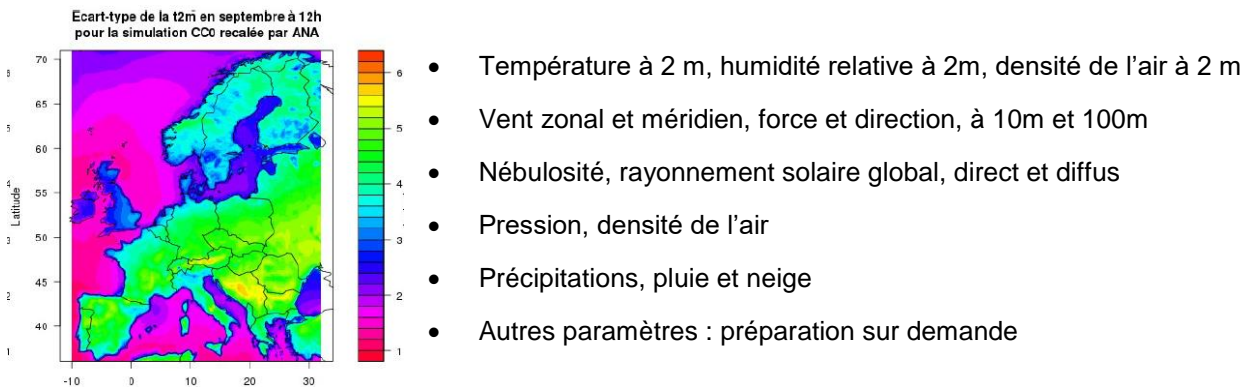


Figure 4 Exemple de carte d'écart-type de température sur l'Europe

De plus, des séries de température sur 2265 villes européennes, adaptées aux observations sur ces villes ont été préparées.

FRANCE

Les données sont préparées sur une grille de résolution 8 km (9892 points de grille), sur 200 ans au pas de temps 1h :

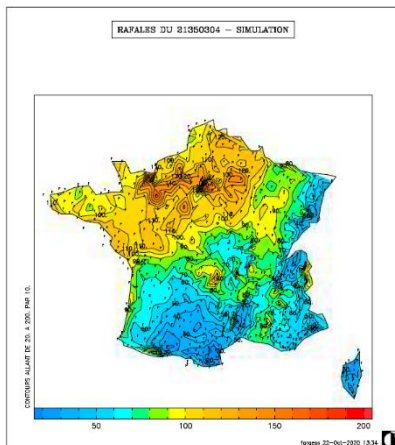


Figure 5 Exemple de carte de rafales de tempête France

- Température à 2 m, humidité relative et humidité spécifique à 2m
- Vent zonal et méridien, force et direction, à 10m
- Rayonnement solaire global, direct et diffus, rayonnement thermique
- Pression, évapotranspiration potentielle
- Précipitations, pluie et neige
- Autres paramètres : préparation sur demande

De plus, des séries de température sur 1296 villes françaises, adaptées aux observations sur ces villes ont été préparées.

2 Guide de l'utilisateur

2.1 Le choix des hypothèses à climat futur 2050

Plusieurs hypothèses d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre ont été définies pour les études de changement climatique menées par le GIEC (IPCC).

L'hypothèse RCP4.5 est la plus proche de celle de l'accord de Paris (COP21) ; ce choix permet d'évaluer le changement climatique en 2050 dans cette perspective.

L'hypothèse RCP8.5 est celle d'une absence d'efforts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ce choix permet d'évaluer ce qui semble le pire en terme de changement climatique, et qui n'est pas à écarter selon les options de politiques de l'environnement mises en œuvre ou pas.

2.2 Points de grille ou villes ?

Le modèle a une résolution sur l'Europe de 20 à 25 km à mesure que l'on s'éloigne du centre du zoom situé en Allemagne. Afin de travailler de manière plus pratique, une interpolation est effectuée pour porter les sorties du modèle sur une grille régulière en latitude et longitude, à 0,2° de résolution spatiale –soit environ 20km-, en accord avec la résolution du modèle. Il faut comprendre qu'une donnée sur un point de grille représente un carré de 0,2° de côté au centre duquel elle se situe.

Les données en points de grille sont très utiles pour les applications qui couvrent une vaste étendue géographique. Mais ces données ne sont pas assez précises pour qui s'intéresse à un ou plusieurs points particuliers comme des villes. Si l'on dispose d'un historique de valeurs mesurées sur ces villes sur quelques années récentes, il est possible de les utiliser pour affiner les séries obtenues sur la grille à 0,2° de résolution. Un ensemble de données sur des villes peut couvrir un territoire d'intérêt, mais la répartition géographique est irrégulière.

TEMPÉRATURES MAXIMALES SUR LES 200 ANS DU SCENARIO CO2
MOIS DE JUILLET

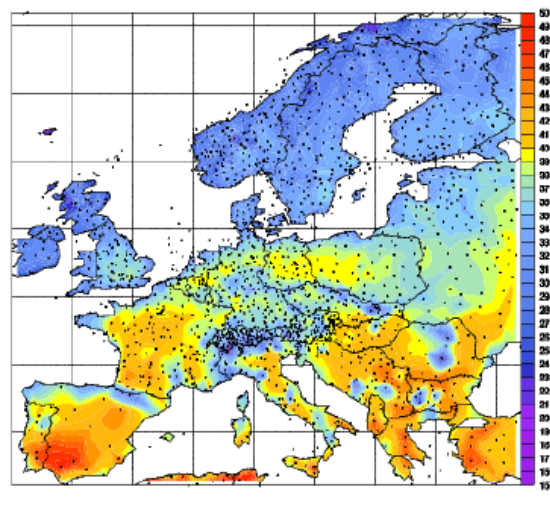


Figure 6 Exemple de carte de température maximale sur l'Europe au mois de juillet à climat 2000, établie à partir de données sur des villes

Si les intérêts de l'utilisateur sont liés aux lieux à forte densité de population, il est pertinent d'utiliser les séries sur les villes. Si les intérêts de l'utilisateur portent sur une couverture régulière d'un territoire, il est pertinent d'utiliser les données en points de grille.

2.3 La référence climatologique historique

La référence climatologique historique est soit une série d'observations contrôlées et validées, soit une ré-analyse effectuée par un modèle. Une ré-analyse est le résultat de l'application d'un modèle météorologique sur le plus grand nombre possible d'observations validées : mesures de surface, radiosondages, mesures de bouées, de bateaux, d'avions, mesures par satellite, etc... Le modèle assimile ces données pour produire une représentation de l'état de l'atmosphère la plus proche possible de la réalité.

La ré-analyse HIRLAM sur l'Europe, à 0,2° de résolution, basée sur la ré-analyse globale ERA-Interim a été choisie comme climatologie de référence pour nos données sur l'Europe en raison de la correspondance avec la résolution du modèle sur cette zone et de la disponibilité des données sur la période 1984-2013. Une description rapide de cette ré-analyse se trouve sous le lien http://www.euro4m.eu/downloads/Factsheets/EURO4M_Factsheet_D2.03_SMHI_HIRLAM_3DVAR_V2.pdf.

Le climat a évolué autour des années 2000, entre le début et la fin de la période utilisée dans la référence climatologique 1984-2013. La période utilisée ne peut pas être élargie à plus de 30 ans sous peine de sortir du climat 2000 qui est visé.

Pour les données à résolution plus fine sur la France, la base de référence climatologique est la ré-analyse SAFRAN sur une grille de 8 km de résolution ; les sorties du modèle sont interpolées sur cette même grille.

Pour les villes, la référence climatologique HIRLAM est complétée par un historique de mesures sur ces villes, sur quelques années comprises entre 2000 et 2013.

2.4 La représentativité

Un climat qui n'évolue pas maintient à long terme la distribution statistique des paramètres météorologiques inchangée. Les contrôles en sortie du modèle permettent d'affirmer que les simulations présentent bien les qualités d'un climat constant : aucune tendance particulière n'a été mise en évidence.

Les équations d'évolution de l'état de l'atmosphère incluses dans le modèle reflètent les lois physiques et thermodynamiques naturelles, mais elles ne peuvent traduire parfaitement la réalité, même si elles s'en approchent le plus possible, en particulier en effectuant des réglages fins de paramètres internes au modèle. Les questions d'échelles spatiale et temporelle entrent en jeu. Aussi, les modèles climatiques utilisés par les scientifiques du monde entier sont proches, mais chacun possède sa "personnalité". Le modèle ARPEGE-Climat de Météo-France donne donc sa propre interprétation du climat, selon ses réglages et équations internes.

La situation initiale n'a que très peu d'importance, elle est rapidement laissée en arrière, au bout de quelques heures ou quelques jours, et n'a aucun poids statistique sur le comportement du modèle sur une période de 200 ans.

La représentativité des simulations fictives à climat 2000 s'appuie sur la référence climatologique de 30 ans centrée sur l'année 2000. Mais les extrêmes sur 200 ans ne peuvent pas être les extrêmes sur 30 ans. Certains événements qui ne se sont pas produits sur 30 ans auraient tout de même pu se produire. C'est pourquoi un travail spécifique d'estimation des extrêmes des simulations fictives doit être effectué lors du recalage. Ces travaux statistiques très rigoureux permettent de s'approcher de la distribution des extrêmes qui correspondrait à un climat 2000 bien défini.

Grâce au débiaisage, les simulations fictives à climat 2000 sont statistiquement cohérentes avec la référence climatologique choisie dont les extrêmes sont atteints ou dépassés.

Il faut noter que les données de la référence climatologique et des simulations fictives en points de grille ne représentent pas un point, mais une aire d'environ 20 km de côté, et donc que les valeurs extrêmes sont souvent moins fortes que celles atteintes sur les villes.

La représentativité des simulations fictives à climat 2050 ne peut être facilement évaluée faute de données observées. Toutefois, plusieurs tests comparatifs ont montré que les résultats débiaisés de ces simulations entrent bien dans la fourchette d'incertitude fournie par les simulations de l'IPCC (GIEC), en particulier les simulations à climat évolutif EuroCordex (<https://www.euro-cordex.net/>).

2.5 Base climatologique : données historiques ou simulations climatiques ?

La recherche d'une référence fiable pour les modèles d'impact débouche souvent sur deux possibilités : utiliser une série historique validée (mesures, ré-analyses) ou une simulation climatique. Le tableau ci-après présente de manière sommaire les différences entre ces bases de données.

| | Mesures, observations | Ré-analyses (historiques) | Simulations à climat évolutif | Simulations à climat constant |
|---------------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| Outil | Capteur | Modèle | Modèle | Modèle |
| Localisation | Ponctuelle (ou zone si mesure par satellite) | Grille | Grille | Grille (ponctuelle pour les données préparées sur des villes) |
| Période | Selon le point de mesure | 30 ans (ou plus) | 50 ans, 100 ans (ou plus) | 200, 400 ans |
| Climat | évolutif | évolutif | évolutif | constant |
| Valeurs manquantes | oui | non | non | non |
| Type de donnée | historique | historique | fictif | fictif |
| Homogénéité | Non (changement de capteur, évolution de l'environnement) | oui | oui | oui |
| Pas de temps | Selon le point de mesure et le paramètre | 3h ou 6h, voire 1 h (pour ERA5) | Généralement 6h, mais peut être horaire | horaire |
| Principe | 1 réalisation par date sur la période | 1 réalisation par date sur la période | 1 réalisation potentielle par date sur la période | 200 réalisations potentielles pour la même date pour une seule année-cible |

Ce tableau permet de remarquer que les simulations à climat constant ont un objectif différent des autres bases de données. Pour toutes les autres bases de données, on a une donnée par date, une seule réalisation, qu'elle soit historique ou fictive. Les simulations à climat constant donnent 200 valeurs possibles pour la même date, dans 200 contextes différents.

Prenons un exemple : pour les observations et les ré-analyses, il n'y a qu'une seule année 2000, celle qui s'est réellement déroulée, de même pour une simulation fictive à climat évolutif, il n'y a qu'une seule année 2000 (fictive), mais pour la simulation à climat constant à climat 2000, il y a 200 années 2000 qui sont un éventail de ce qui aurait pu se passer en 2000. On voit que les simulations donnent 200 réalisations possibles pour le climat 2000, et aucune pour le climat 2020, alors que les autres bases de données donnent une seule réalisation pour le climat 2000, et une réalisation pour le climat 2020.

En réalité, on peut supposer que le climat de 2001 est à peu près celui de 2000. On établit ainsi une période autour de l'année-cible pour laquelle on peut dire que le climat est à peu près celui de l'année-cible, qu'il ne s'en écarte pas trop. Mais le climat évolue, la période autour de l'année cible ne doit pas être trop large. Une fenêtre de 30 ans centrée sur l'année cible est le maximum de ce qui peut être utilisé pour conserver une certaine stabilité, d'une part pour servir de base de référence climatologique à exploiter directement par des modèles d'impact, d'autre part pour servir de référence au débiaisage des simulations climatiques.

Pour des raisons de coûts de calcul, il n'a pas été possible de réaliser 200 ans de simulations à climat constant avec d'autres années-cibles que 2000 et 2050. Une interpolation permet d'avoir des données pour une année-cible intermédiaire (2025 par exemple), mais ce n'est pas équivalent à une simulation directe sur l'année-cible. Il n'y a donc pas de passage de 2000 à 2050 comme on peut l'obtenir avec une simulation à climat évolutif.

Le choix entre une base climatologique historique ou une base climatologique fictive issue de simulations à climat constant dépend donc de l'usage auquel elle est destinée. Si l'important est

d'avoir des évènements dont on est sûr qu'ils se sont produits, il vaut mieux une base de données historiques. Si l'objectif est d'étudier des évènements qui ne se sont jamais produits mais qui pourraient se produire, ou des durées de retour d'évènements rares, il vaut mieux utiliser une simulation à climat constant qui comporte un panel intéressant d'évènements extrêmes mais où les occurrences sont équiprobables.

Les simulations climatiques sont l'outil le plus pertinent pour estimer le climat futur en période de changement climatique. Une extrapolation des données historiques aurait un support statistique très fragile et ne serait donc pas souhaitable.

2.6 L'interpolation à climat 2025

Le souhait de disposer de données de températures à 2 m sur un palier entre 2000 et 2050 a conduit à produire des séries fictives à un climat estimé 2025. Ces données ne sont pas issues d'une modélisation avec des concentrations en gaz à effet de serre estimés pour 2025, mais résultent d'une interpolation entre les données de 2000 et celles de 2050. Toute la série chronologique de 200 ans à climat 2000 est portée au climat 2025 par une interpolation de la distribution statistique des valeurs de 2000 et de celles du climat 2050 RCP 8.5. Le climat 2050 RCP 8.5 a été choisi car la tendance actuelle des concentrations en gaz à effet de serre est proche de la courbe suivant l'hypothèse RCP8.5, qui est celle qui engendrerait l'augmentation de température la plus élevée.

Il faut comprendre ici que les séries fictives de températures au climat 2025 présentent un déroulement de situations météorologiques semblable à celui des séries à climat 2000, avec les vagues de chaleur et de froid aux mêmes endroits de la série chronologique, mais modifiées dans leur amplitude par l'interpolation vers le climat 2050 RCP 8.5.

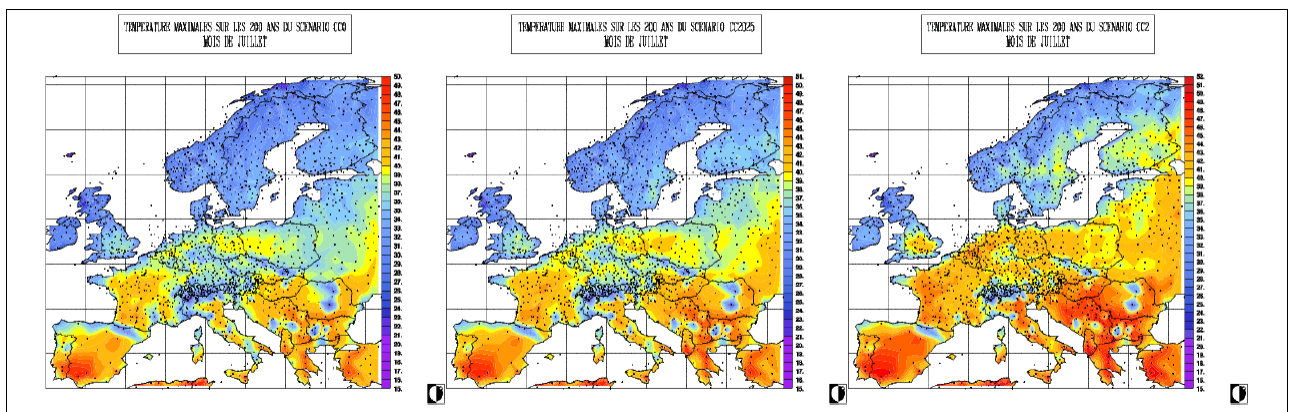


Figure 7 Records de températures maximales simulées au mois de juillet sur des villes en Europe, à gauche à climat 2000, au centre à climat interpolé 2025 et à droite à climat 2050 RCP8.5

Remarque : Les calculs effectués pour l'année-cible 2025 peuvent être effectués de la même façon pour une autre année-cible entre 2000 et 2050 (par exemple, ils ont été faits pour 2018). De plus une interpolation semblable pour d'autres paramètres peut être envisagée.

2.7 Interpréter les résultats

L'interprétation des résultats doit tenir compte des éléments principaux suivants :

- Les valeurs en points de grille représentent un paramètre météorologique sur un carré de 0,2° de côté centré sur le point de grille.

- Les données sont à considérer en priorité par une approche statistique. Un évènement inclus dans les séries fictives est associé à une probabilité de réalisation, et non pas une certitude. De même, malgré la longueur temporelle des simulations, la description des évènements potentiels n'est pas exhaustive.
- Les paramètres météorologiques sont cohérents temporellement entre eux. Ils décrivent des situations météorologiques réalistes quoique fictives, et ne sauraient être en contradiction les uns avec les autres. Les études multi-paramètres sont donc pertinentes.
- La configuration du modèle pour ces simulations inclut une représentation un peu simplifiée de la convection par rapport aux évolutions récentes plus complexes du modèle ARPEGE-Climat. Aussi ces simulations ne représentent qu'imparfaitement les orages locaux, en particulier ceux qui provoquent des crues-éclair sur les versants des reliefs méditerranéens. Une étude spécifique précise de ces phénomènes nécessiterait l'implémentation d'un second modèle régional de maille plus fine, forcé par les simulations d'ARPEGE-Climat.

2.8 Les atouts et les limites

Les atouts des simulations à climat constant sont principalement :

- Une grande stabilité dans la représentation du climat
- La cohérence avec les projections climatiques du GIEC
- Les travaux spécifiques de recalage des paramètres, en particulier le traitement des valeurs extrêmes
- Les possibilités d'études variées, sur l'ensemble des simulations, sur les évènements extrêmes, sur un ou plusieurs paramètres cohérents entre eux
- La variété des situations météorologiques potentielles
- Le pas de temps horaire et la résolution spatiale de 0,2°
- Les caractéristiques statistiques du climat, basées sur de longues simulations.
- La possibilité d'utilisation pour alimenter des études d'impact et de support à la prise de décision

Les limites des simulations à climat constant sont principalement :

- L'utilisation d'un seul modèle climatique (avec ses spécificités propres)
- La représentation simplifiée des phénomènes convectifs locaux
- Les limites des méthodes de recalage, sans cesse à améliorer

2.9 Les perspectives

De nouveaux travaux sur ces simulations sont en cours ou en projet :

- Recalage des 3x400 années de données simulées sur la ré-analyse ERA5
- Production de nouveaux paramètres recalés (rayonnement thermique, rafales, ...)
- Production de séries sur des villes pour d'autres paramètres que la température

- Nouvelles améliorations des méthodes de recalage, en particulier sur le traitement des valeurs extrêmes.
- Projet de mise en œuvre de simulations 2030
- Études complémentaires (application d'un modèle hydrologique, d'un modèle de vagues, ...)

3 Annexes

3.1 Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ; en anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) est un organisme intergouvernemental créé en 1988, ouvert à tous les pays membres de l'Organisation des Nations unies (ONU). Il regroupe actuellement 195 États.

Le GIEC a pour mandat d'évaluer les informations scientifiques, techniques et socio-économiques disponibles, de façon neutre et objective en rapport avec la question du changement du climat. Le GIEC travaille à rendre compte des différents points de vue et des incertitudes, tout en dégagant clairement les éléments qui relèvent d'un consensus de la communauté scientifique. Il a donc pour mission d'établir régulièrement une expertise collective scientifique sur le changement climatique. Les rapports comprennent plusieurs parties traitant de thèmes spécifiques. Le cinquième rapport a été publié en 2014. Le sixième rapport du GIEC devrait être publié en 2022.

Le GIEC n'est donc pas un organisme de recherche, mais un lieu d'expertise visant à synthétiser des travaux menés dans les laboratoires du monde entier, en fonction d'un problème précis, pour lequel les États, membres de l'ONU, l'ont mandaté.

[\(https://www.ipcc.ch/\)](https://www.ipcc.ch/)

3.2 Les scénarios RCP du GIEC

RCP est l'acronyme de Representative Concentration Pathway :

Les scénarios d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre (RCP) ont été établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour son cinquième rapport, AR5 (IPCC Fifth Assessment Report). Ces profils ont été traduits en termes de forçage radiatif, c'est-à-dire de modification du bilan radiatif de la planète. Le bilan radiatif représente la différence entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis par la planète. Il est calculé au sommet de la troposphère (entre 10 et 16 km d'altitude). Sous l'effet de facteurs d'évolution du climat, comme par exemple la concentration en gaz à effet de serre, ce bilan se modifie : on parle de forçage radiatif.

| Nom | Forçage radiatif | Concentration de GES (ppm) | Trajectoire |
|---------|--|---|--------------------------------|
| RCP 8.5 | >8,5Wm ⁻² en 2100 | >1370 eq-CO ₂ en 2100 | croissante |
| RCP 6.0 | ~6Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100 | ~850 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| RCP 4.5 | ~4,5Wm ⁻² au niveau de stabilisation après 2100 | ~660 eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après 2100 | Stabilisation sans dépassement |
| RCP 2.6 | Pic à ~3Wm ⁻² avant 2100 puis déclin | Pic ~490 eq-CO ₂ avant 2100 puis déclin | Pic puis déclin |

Tableau 1 : Caractéristiques principales des RCP (Moss et al, Nature 2010)

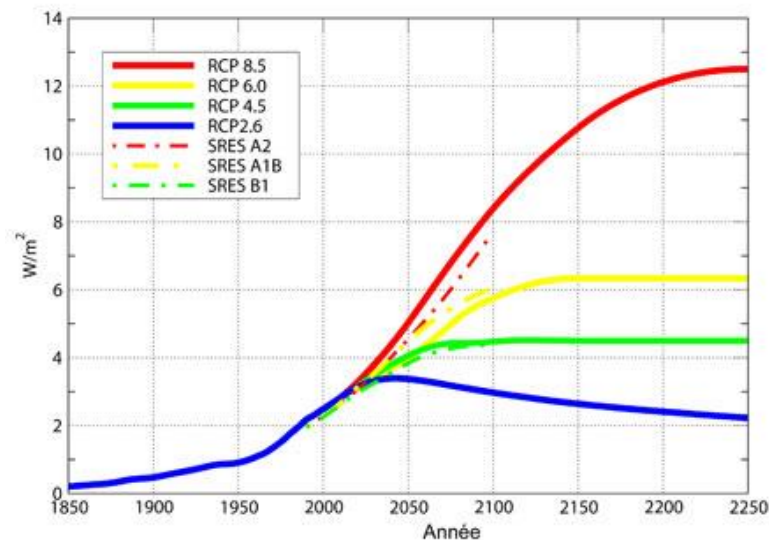


Figure 8 Forçage radiatif défini par les experts du GIEC

Avant les forçages RCP, les forçages SRES ont été utilisés jusqu'en 2011

Les 4 profils RCP correspondent chacun à une évolution différente de ce forçage à l'horizon 2300. Ils sont identifiés par un nombre, exprimé en W/m² (puissance par unité de surface), qui indique la valeur du forçage considéré. Plus cette valeur est élevée, plus le système terre-atmosphère gagne en énergie et se réchauffe.

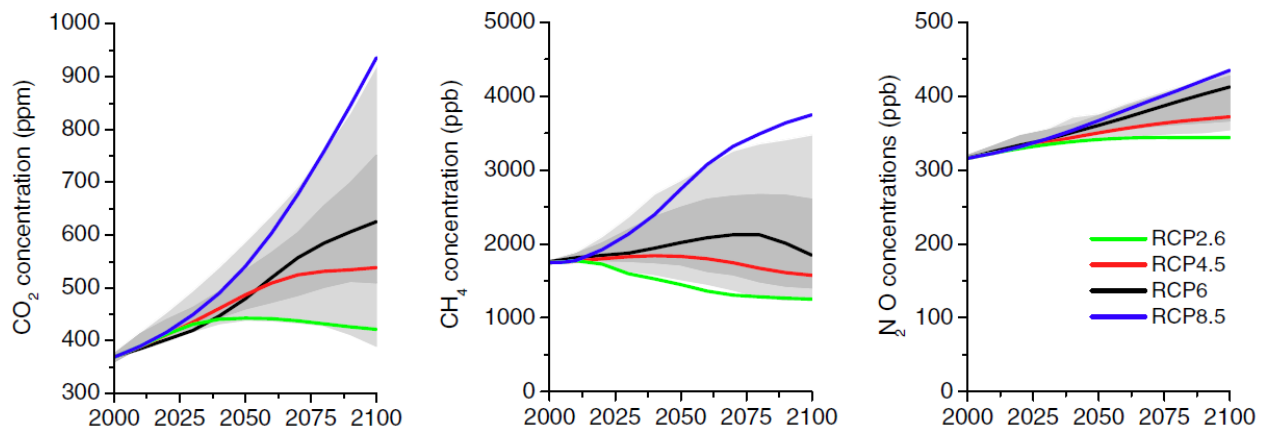


Figure 9 Concentrations en dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O) selon les hypothèses RCP du GIEC (<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>)