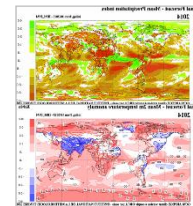
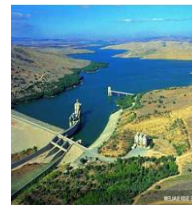
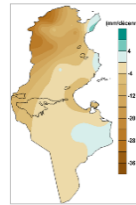
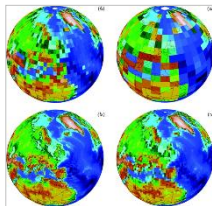




Observer la variabilité climatique et projeter le climat futur

Haythem Belghrissi
Ingénieur en Chef
haythem@meteo.tn

Institut National de la Météorologie
Direction de la recherche et de développement



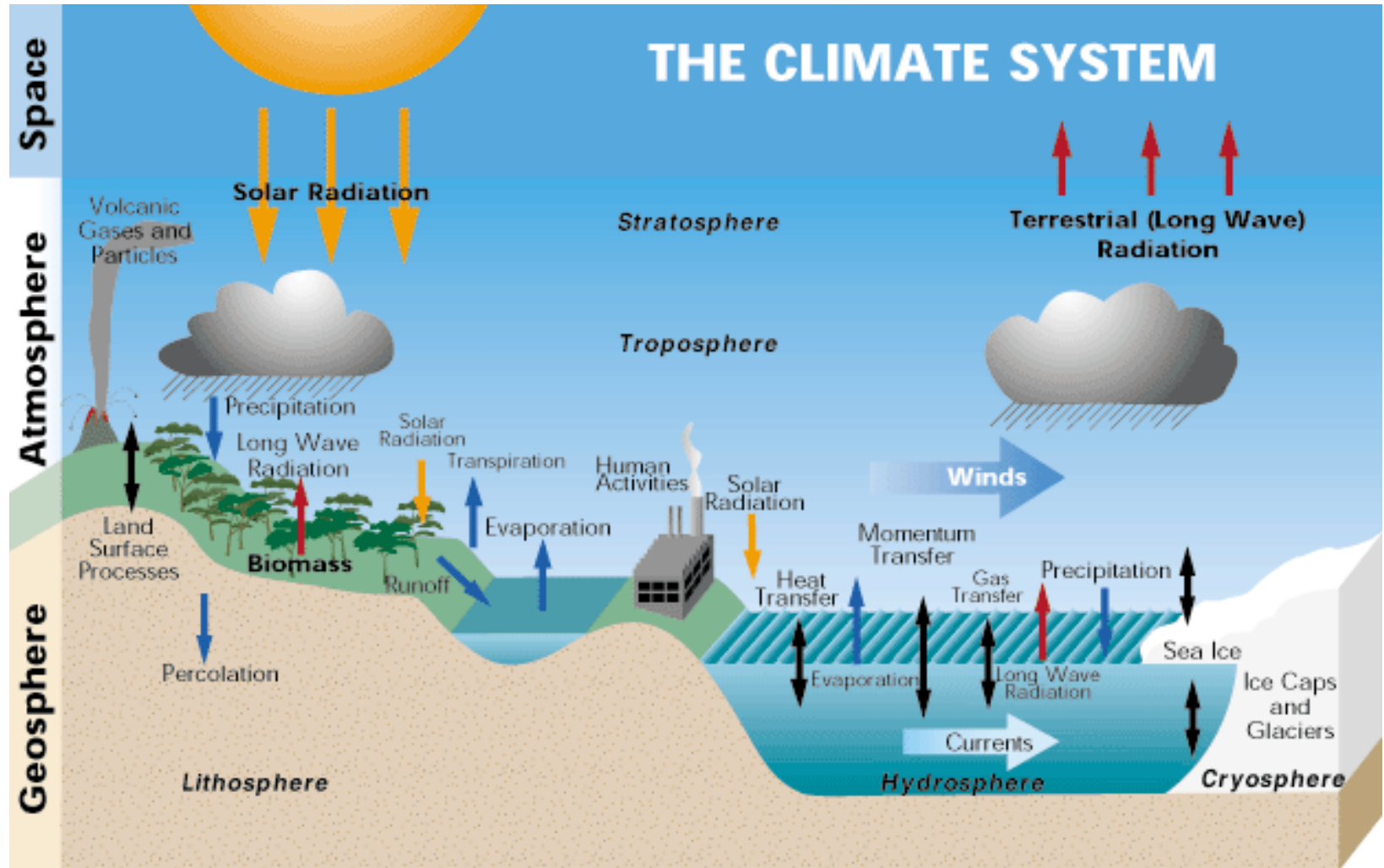
Introduction

- L'étude du Climat et des CC est un domaine de recherche scientifique par excellence, plus que 20 000 chercheurs à travers le monde
- Un Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat 'GIEC' a été créé en 1988, il évalue et synthétise les travaux des chercheurs sous forme de rapports périodiques (5 à 6 ans) selon l'évolution de la compréhension du processus climatique et la disponibilité des données
- Comme tout domaine de recherche, l'étude du climat s'appuie sur l'observations du passé (au sol, en altitude, océanique, satellitaire ...)



Observation : Généralité

Système climatique

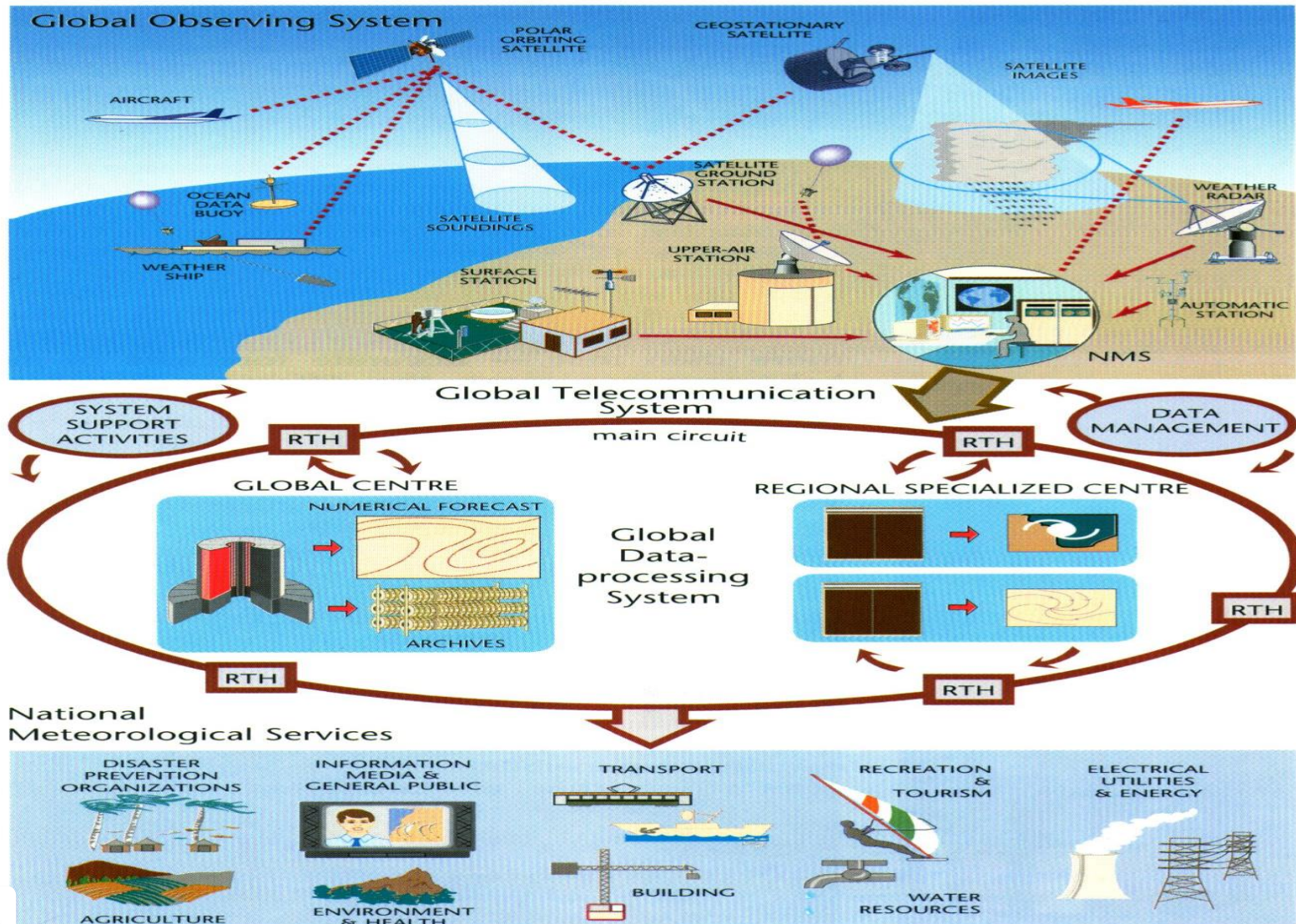


Réseau d'observation météorologique mondial

- Stations de surface: 11 000
- Sondages en altitude: 900
- Bateaux: 300
- Bouées: 750
- Avions: > 3000
- radar
- Satellites



Observation météorologique: Généralités

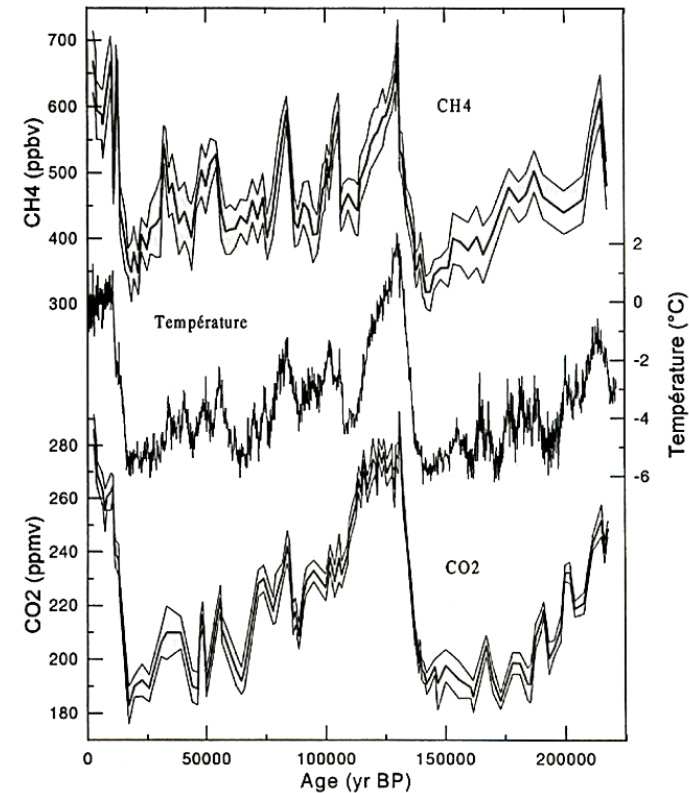


Utilité de l'observation dans l'étude du climat actuel et futur?

L'étude du climat repose sur les observations passées pour comprendre sa variation à travers les archives naturels, tel que les glaces polaires qui, donnent accès à des informations à la fois sur la modification du climat et sur celle de la composition de l'atmosphère.

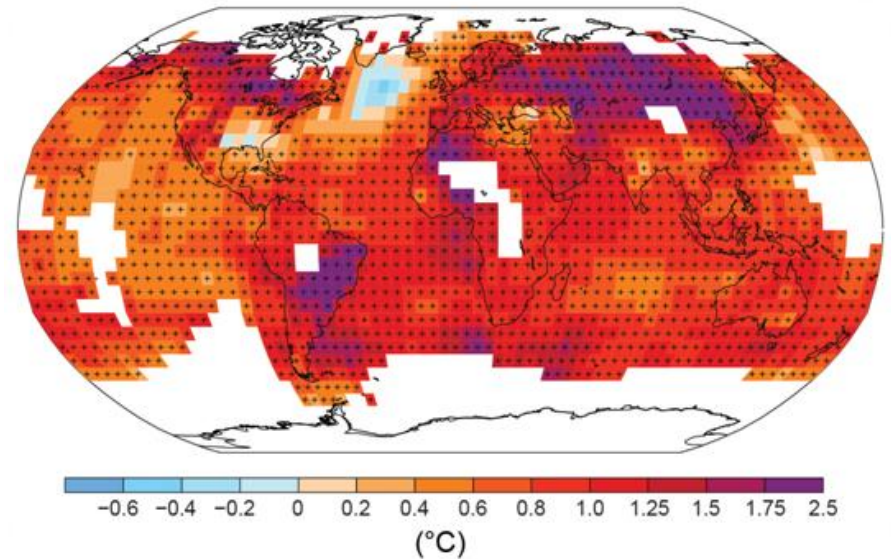
La compréhension croisée des climats du passé et du climat actuel permet d'élaborer des équations pour construire des outils de représentation simplifiés de tout ces processus : modèles climatiques

Ces modèles permettent de donner un sens à ce qu'on observe et représentent notre seul outil pour prédire le climat futur



Changement observé de la température de surface 1901-2012

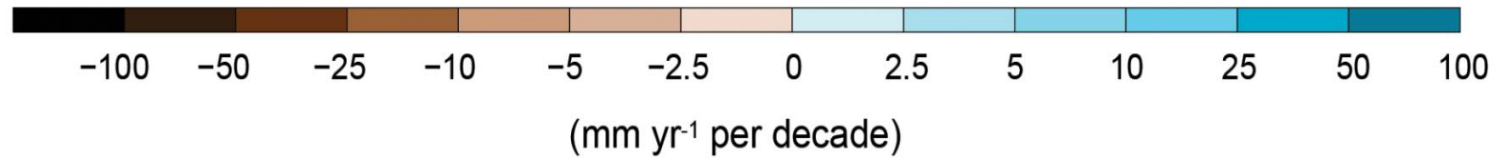
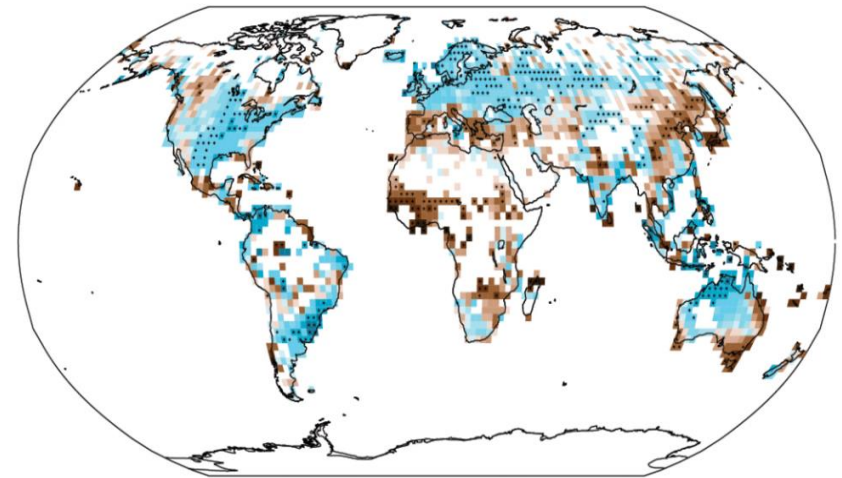
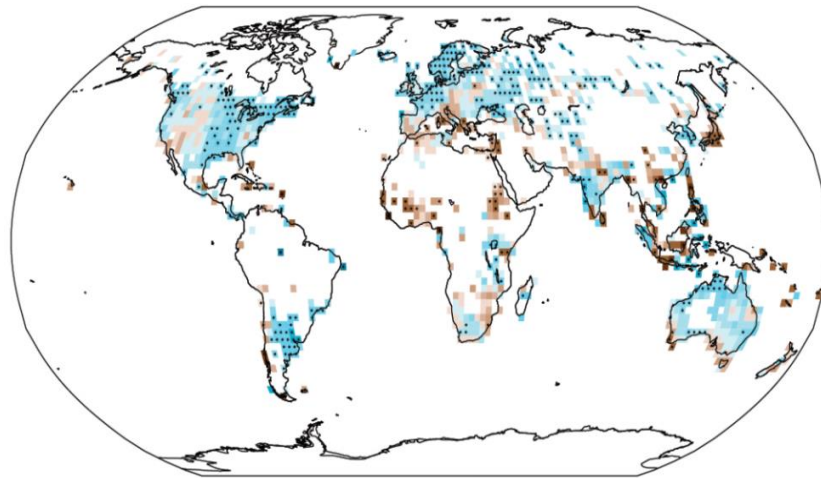
- Le réchauffement est plus intense sur les continents vu les phénomène d'amplification sur les terres, et vu l'inertie thermique des océans.
- Sur l'Arctique le réchauffement est le plus intense, 2 à 3 fois le réchauffement global, ceci est du à la fonte de glace , donc moins d'effet de miroir de la neige dans ces régions; la neige est remplacée par des océans plus sombres donc plus absorbants de la chaleurs



Variation observée des précipitations annuelles

1901–2010

1951–2010



Principales constatations

- Une augmentation de la T° moyenne globale de 0.85 °C
- Une élévation de 3 mm/an sur le 20^{ème} siècle:
- Une plus grande variabilité des précipitations
- Changements sur le cycle de l'eau
- Perte des masses de glacier
- Augmentation de la fréquence des extrêmes climatiques, vagues de chaleur, vagues de froid, sécheresse, inondations, ...

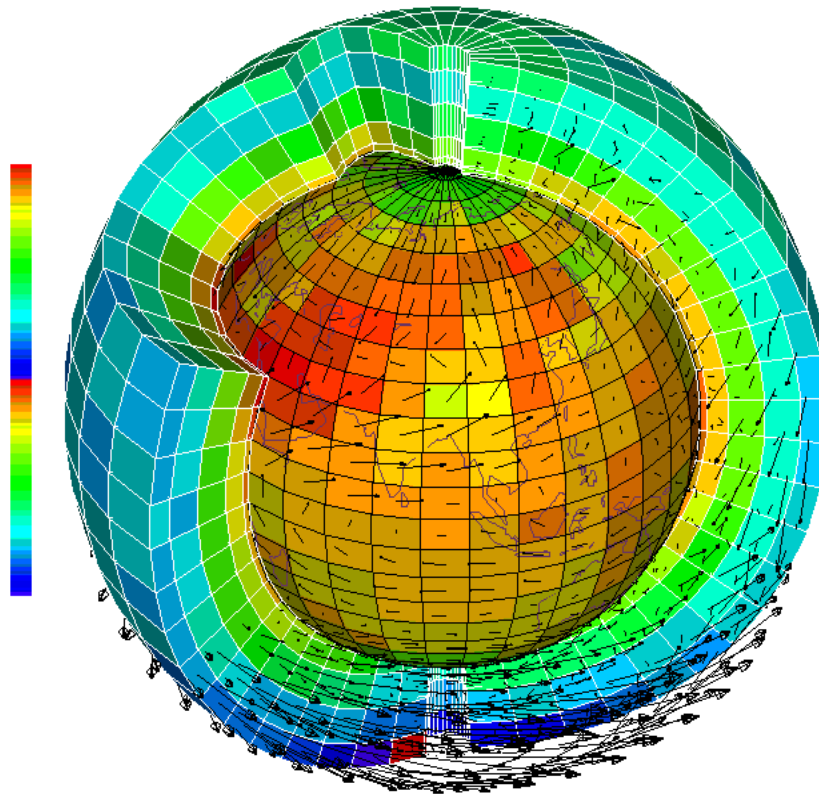




Projections climatiques futurs Climat du XIX siècle

Les projections futures du climat

Les modèles climatiques

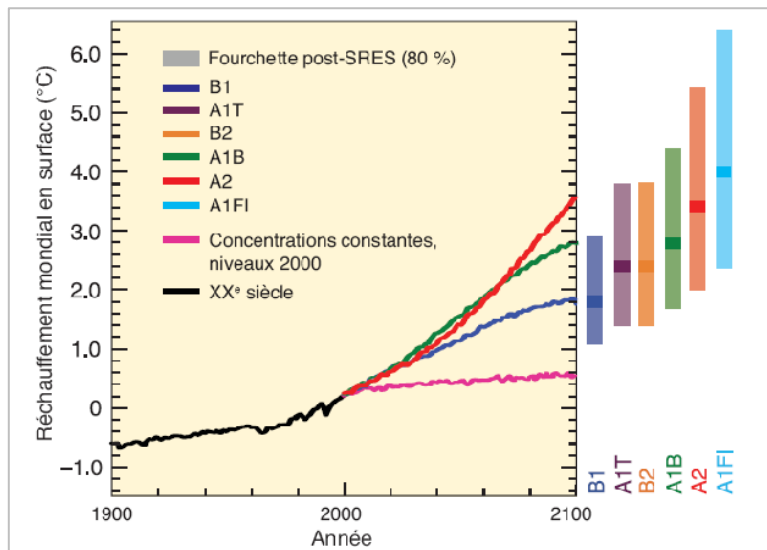


Un modèle climatique est la représentation numérique de la planète et des interactions entre ses différents réservoirs qui modulent le climat : l'atmosphère, l'océan et les surfaces continentales.

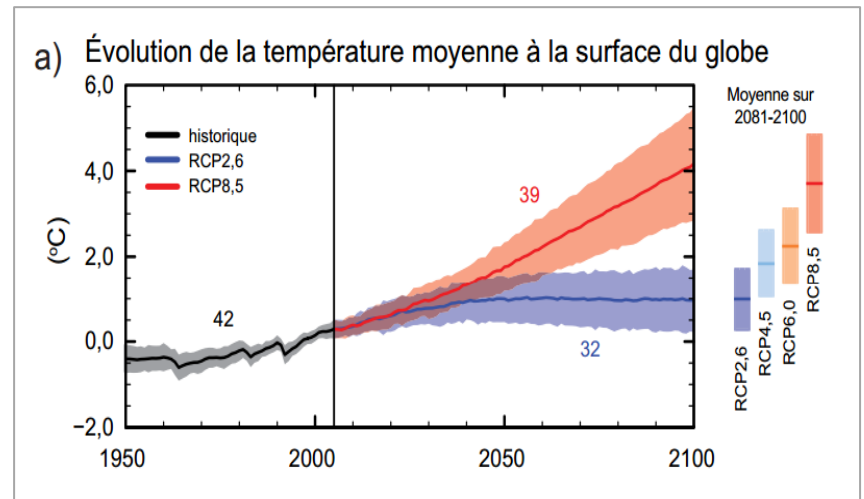
L'amélioration des modèles climatiques est continue grâce à deux facteurs : les recherches scientifiques fournissent une meilleure compréhension de la dynamique des couches terrestres, et la puissance de calcul numérique croît .

Changement climatique: Généralités

Dans le cinquième rapport d'évaluation du GIEC, la communauté scientifique a défini des nouvelles simulations de modèles climatiques remplaçant les simulations du rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES). Ce sont les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) qui prévoient différents scénarios de concentrations atmosphériques du CO₂. Ils sont identifiés par leur forçage radiatif total pour l'an 2100 par rapport à 1750 et sont du plus optimiste au plus pessimiste RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5.



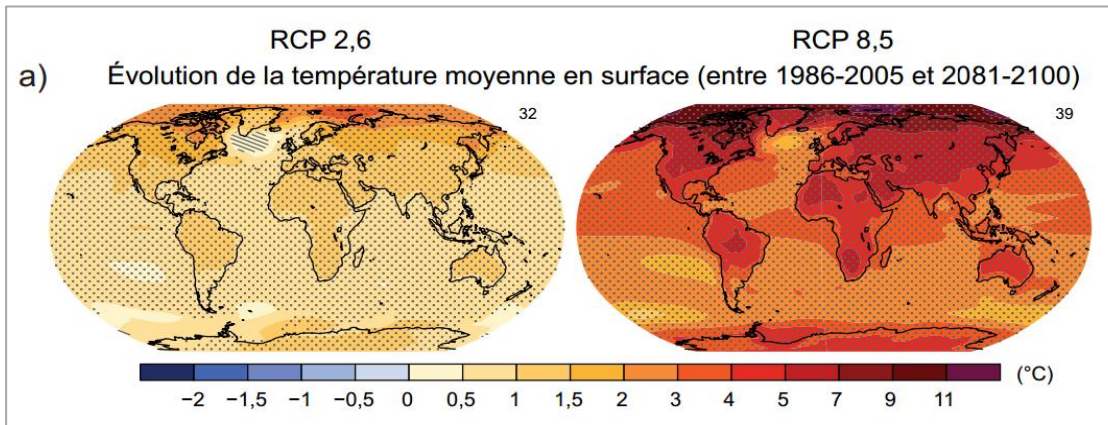
Evolution de la température moyenne à la surface du globe selon les scénarios d'émissions SRES



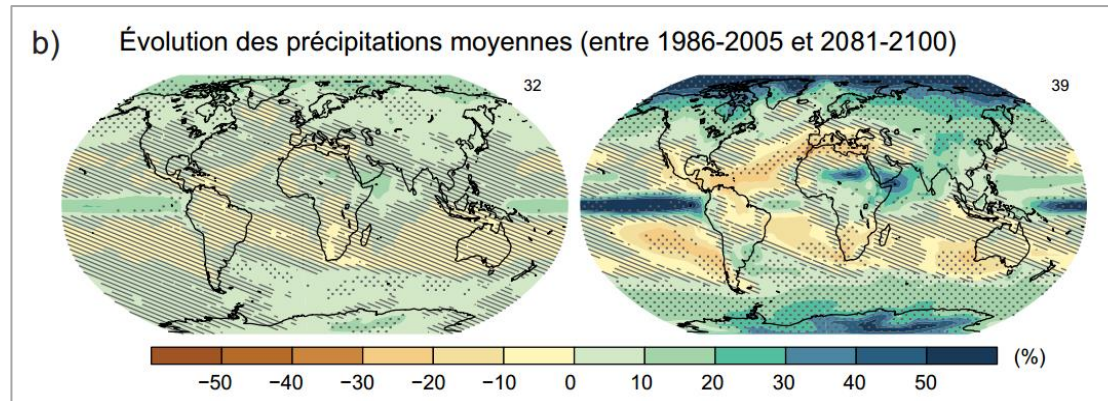
Evolution de la température moyenne à la surface du globe selon les scénarios d'émissions RCP

Changement climatique: Généralités

Dans le cadre de la cinquième phase du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5) du Programme mondial de recherche sur le climat, les scénarios RCP ont été utilisés pour la production des projections climatiques futures.



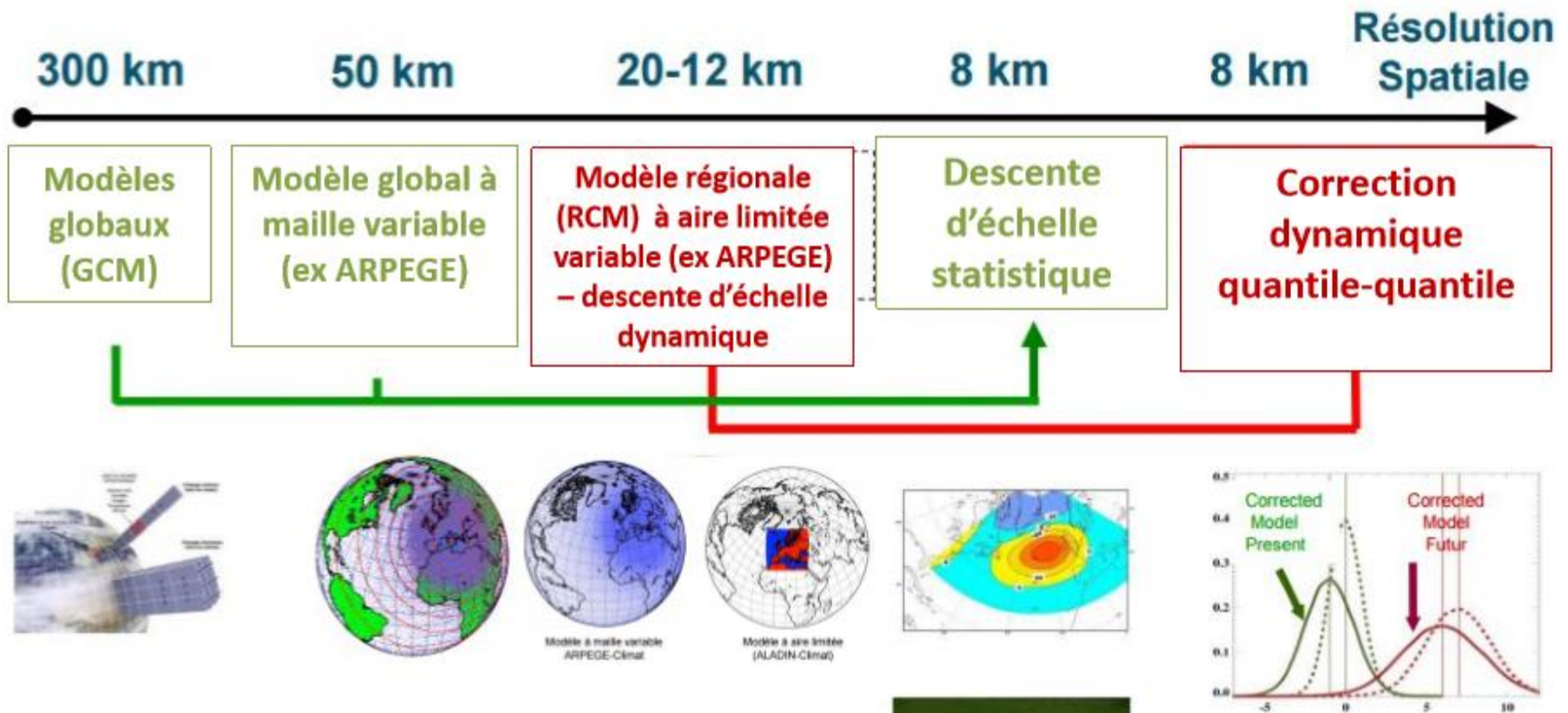
L'augmentation de température dépassera **1,5 °C** pour les RCP4,5 et sera au-delà de **2 °C** selon RCP8,5 (*degré de confiance élevé*)



Le contraste des précipitations entre régions humides et régions sèches et entre saisons humides et saisons sèches augmentera.

Les Projections Climatiques

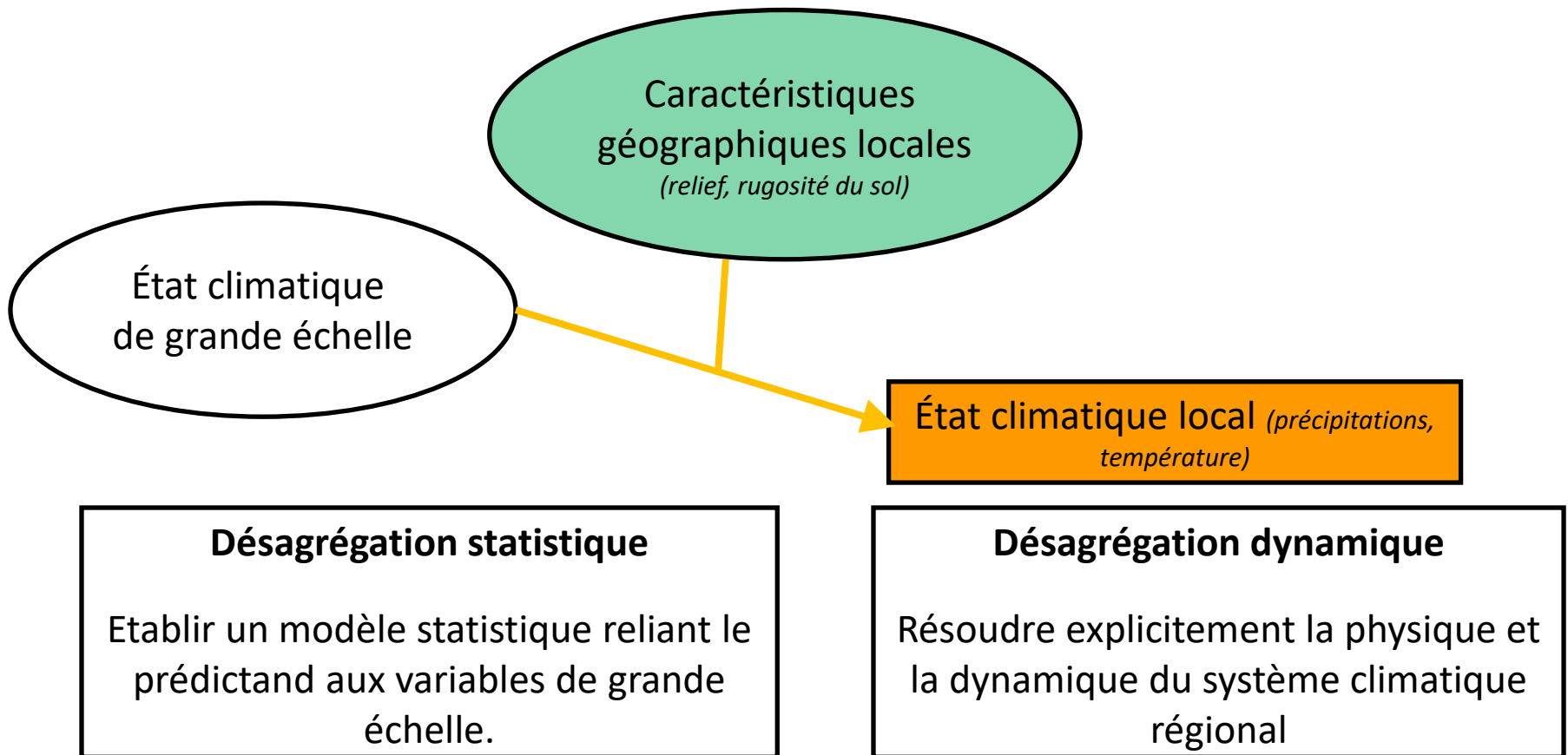
la descente d'échelle ou régionalisation



Réduction d'échelle (downscaling): Motivation et objectifs

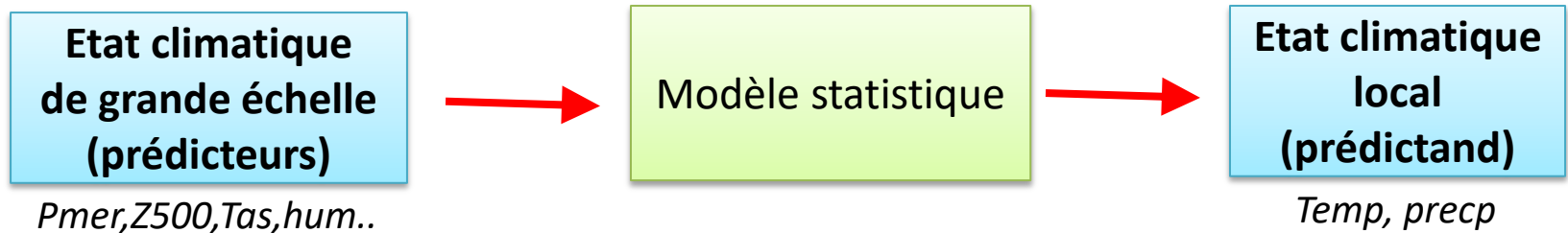


régionalisation / descente d'échelle / désagrégation



Méthodologie de downscaling statistique

- La méthode de downscaling statistique et empirique (ESD) se base sur les téléconnexions entre la variabilité des régimes de circulation globaux et les climats locaux pour construire des relations statistiques permettant de projeter le climat future.



- La procédure comporte plusieurs étapes exécutées moyennant un ensemble de routines développées.

Etapes de l'ESD

Exploration des schémas de corrélation

Sélection des prédicteurs

Extraction des tables de prédicteurs

Sélection selon VIF

Ajustement du modèle

Validation croisée

Projection

Prédicands:

Précipitation ou température

Prédicteurs:

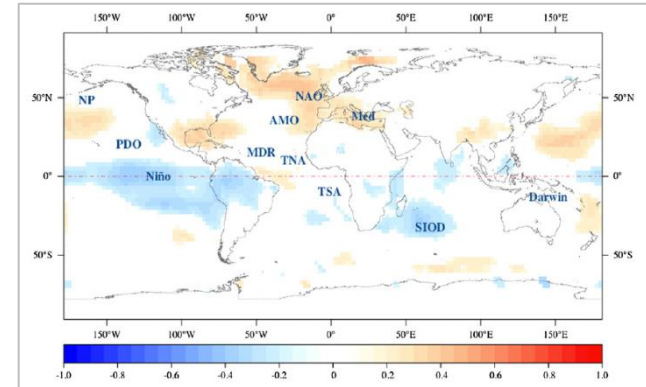
Pression au niveau de la mer

Température de l'air

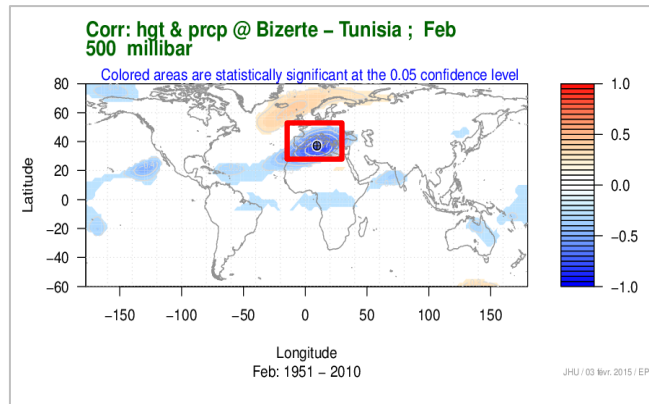
Température à 500 hPa

Géopotential 500hPa

Humidité à la surface



- Analyse des schémas de corrélation en se basant sur les régimes de circulation influençant le plus le climat régional.
- Détermination des domaines de forte corrélation significative.



➤ Extraction des données à partir des réanalyses du NCEP et des sorties du GCM MIROC5.

➔ Prédicteurs des modèles de regression.

Etapas de l'ESD

Sélection objective moyennant le variance inflation factor (VIF). Il s'agit d'une approche qui identifie la colinéarité entre les prédicteurs.

$$VIF = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

	EDF	REF.DF	F	P-VALUE	
S(AIR.SFC.X..20.20.Y.30.60)	9.331e-01	2	3.669	0.00627	**
S(AIR.SFC.X..60.20.Y..10.20)	2.588e-11	2	0.000	0.68716	
S(AIR.SFC.X.O.20.Y.20.40)	7.096e-01	2	1.051	0.08967	.
S(HGT.50000.X..40.10.Y.40.80)	1.750e+00	2	9.735	8.15e-05	***
S(HGT.50000.X.O.40.Y.40.70)	1.251e+00	2	2.465	0.02902	*
S(PRATE.SFC.X..170.170.Y..15.15)	1.758e-11	2	0.000	0.91666	
S(RHUM.SFC.X.O.20.Y.20.40)	1.000e+00	2	5.657	0.00118	**
S(RHUM.SFC.X.15.40.Y.15.35)	9.670e-01	2	4.082	0.00478	**
S(SLP.SFC.X..60..10.Y.20.60)	3.271e-11	2	0.000	0.55477	
S(SLP.SFC.X..60.O.Y..20.30)	8.093e-01	2	2.077	0.02744	*

→ la cohérence des modèles construits et la significativité des prédicteurs.

	COR	MAE	RMSE	MSE	MAD
GLM	0.5272202	0.7086259	0.8344170	0.6962518	0.8922574
SGLM	0.4282113	0.7276532	0.8873948	0.7874696	0.8692756
GAM	0.6508537	0.6155224	0.7467946	0.5577022	0.8911889
SGAM	0.6280085	0.6294873	0.7813326	0.6104806	0.8299938
RF	0.6254875	0.7755634	0.9309034	0.8665812	0.9866675
ANN	0.3240997	0.7355825	0.9312307	0.8671905	0.6274206
AVERAGE	0.6180116	0.6791887	0.8167742	0.6671201	0.7561312
NULL	NA	0.8056033	0.9819805	0.9642857	1.1344952

↪ Le choix du meilleur modèle à adopter repose sur la comparaison des performances des différents modèles selon les résultats des tests de significativité

Exploration des schémas de corrélation

Sélection des prédicteurs

Extraction des tables de prédicteurs

Sélection selon VIF

Ajustement du modèle

Validation croisée

Projection

Etapes de l'ESD

Exploration des schémas de corrélation

Sélection des prédicteurs

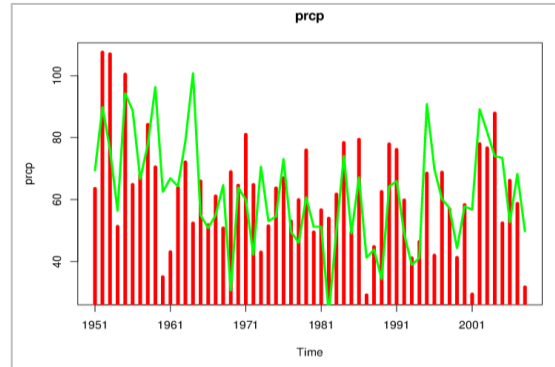
Extraction des tables de prédicteurs

Sélection selon VIF

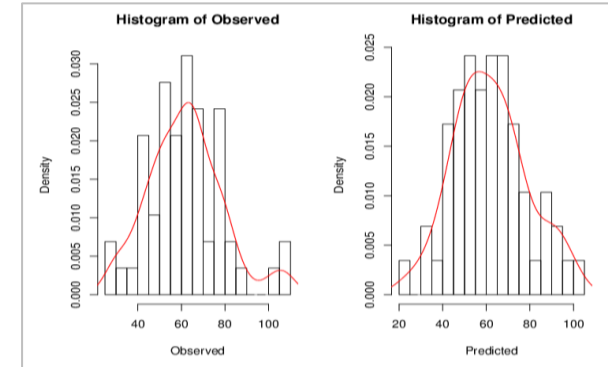
Ajustement du modèle

Validation croisée

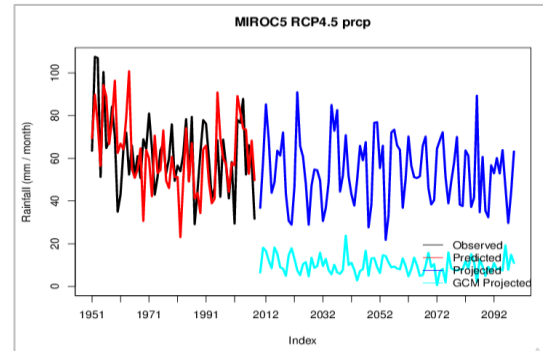
Projection



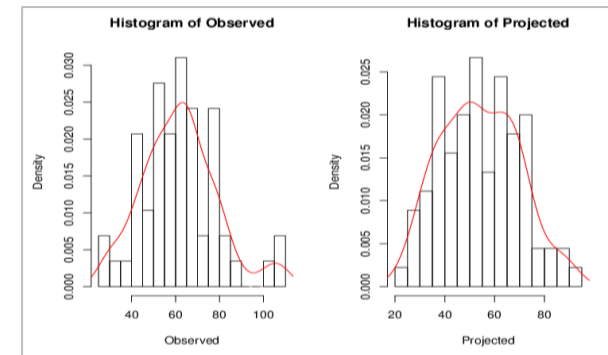
Série des données observées vs simulées sur la période passée



Histogramme de la distribution des données observées vs simulées sur la période passée

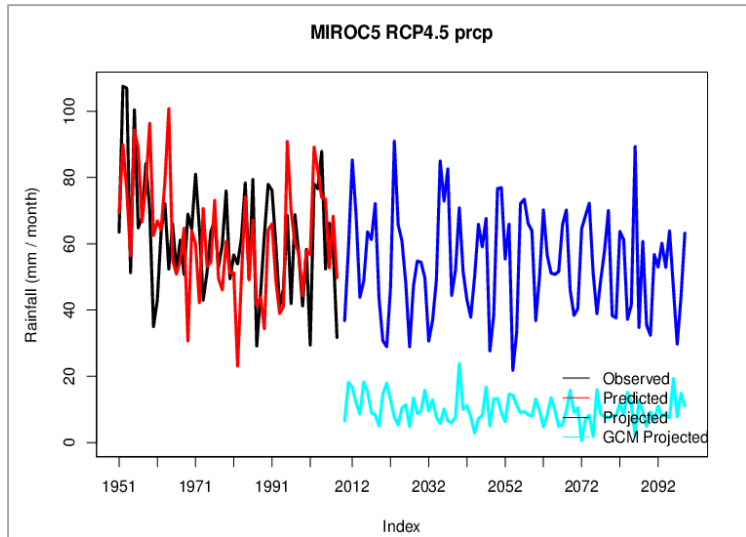


Série des données observées vs simulées sur la période future



Histogramme de la distribution des données observées vs simulées sur la période future

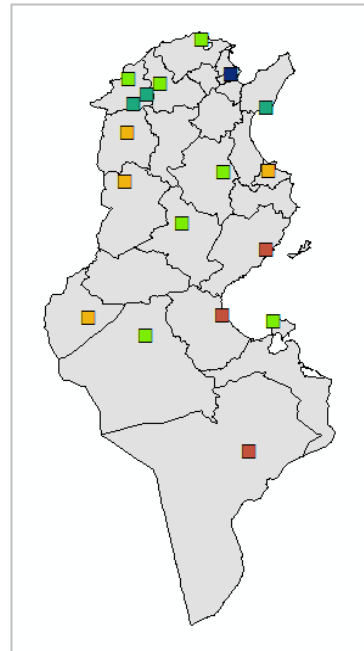
Projections des Précipitations



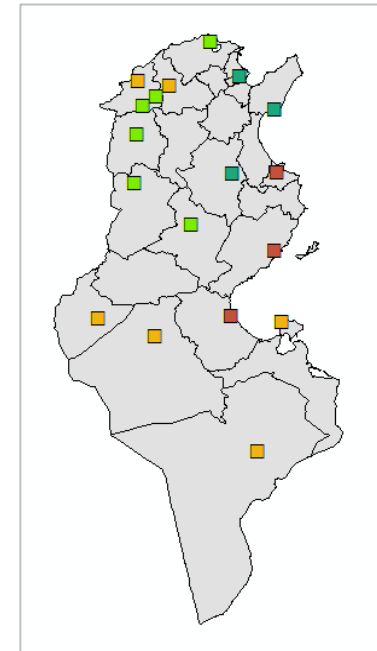
Exemple de projections pour la station de Bizerte

Tendances futures évaluées en termes de pourcentage de variation des projections sur les deux périodes futures 2020-2050 (horizon 2050) et 2070-2100 (horizon 2100) par rapport aux normales calculées sur la période de référence 1981-2010.

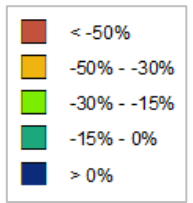
Variations projetées des précipitations mensuelles moyennes (en %) par rapport à la période 1981-2010



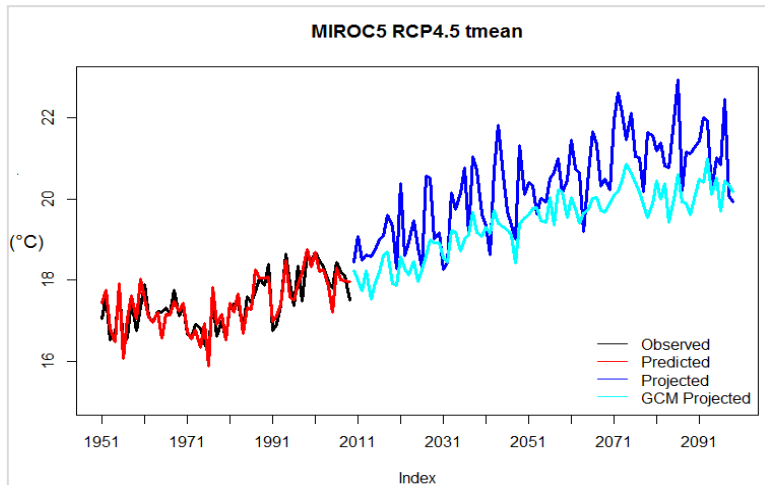
Horizon 2050



Horizon 2100



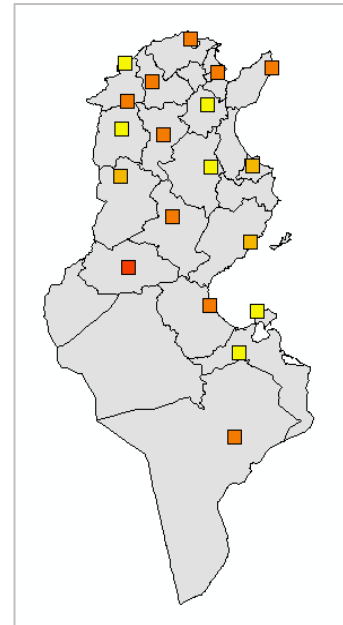
Projections des Températures



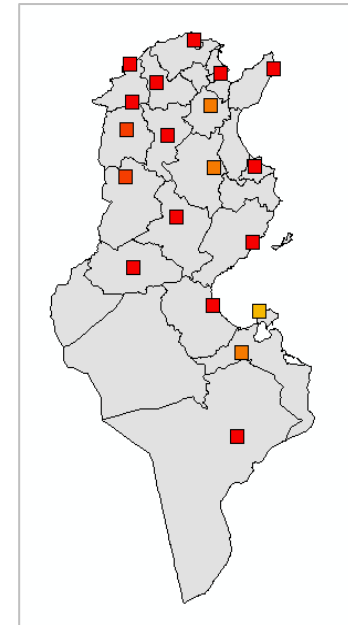
Exemple de projections pour la station de Jendouba

Tendances futures évaluées en termes de pourcentage de variation des projections sur les deux périodes futures 2020-2050 (horizon 2050) et 2070-2100 (horizon 2100) par rapport aux normales calculées sur la période de référence 1981-2010.

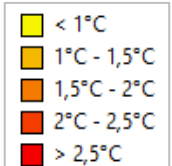
Variations projetées des températures mensuelles moyennes (en °C) par rapport à la période 1981-2010



Horizon 2050



Horizon 2100



Downscaling Dynamique

RCM (Regional Climate Modeling)

Objectif: Produire une information supplémentaire

les GCMs produisent les conditions initiales a basse résolution (Humidité / température du sol, SST, glace de mer)
& Conditions aux limites (Vent, pression, température, humidité)

Le modèle climatique régional comprend:

- topographie haute résolution
- interactions terre / mer
- utilisation des données du sol
- amélioration potentielle de la physique

Modèle climatique régional Fournit une sortie haute résolution pour:

- Les champs de surface
- Les champs atmosphériques

Validation des modèles



Régionalisation climatique



Confronter les moyennes régionales des sorties des modèles avec les observations



Variabilité interannuelle
Modèles vs OBS

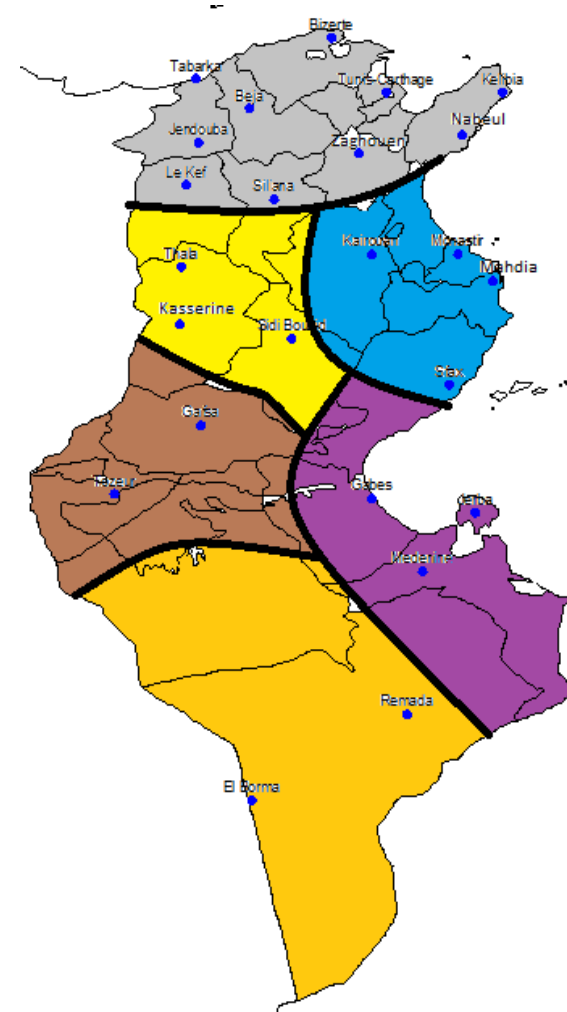


Comparer les variables statistiques des modèles avec l'observation

Validation des modèles

Régionalisation : ACP rotative

- North (REGION A)
- Sahel (REGION B)
- Centre West (REGION C)
- South East (REGION D)
- South West (REGION E)
- Extreme South (REGION F)



Validation des modèles

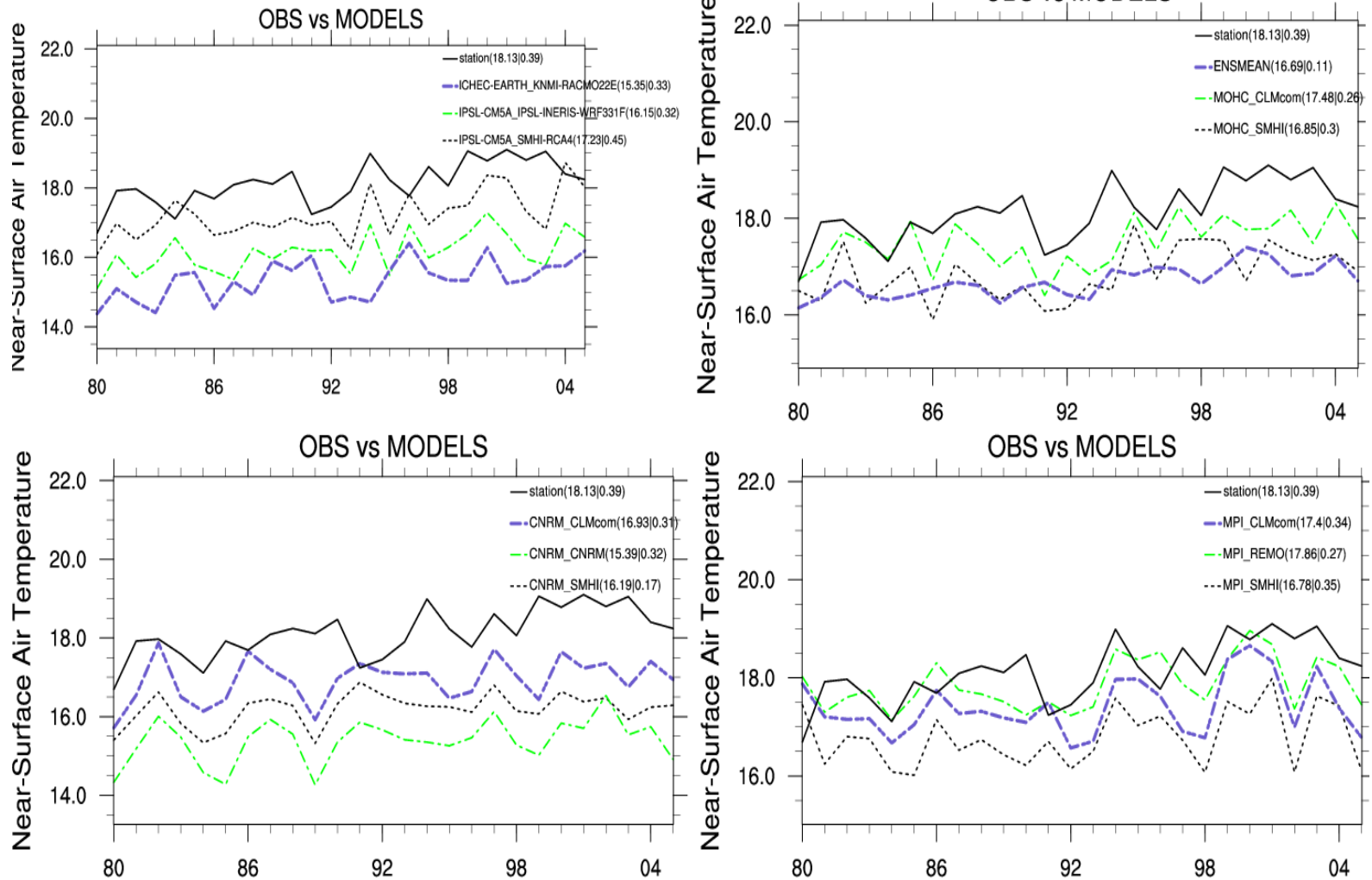


Figure: Mean temperature of CORDEX models versus the observed stations data (ZONE A mean)

Validation des modèles

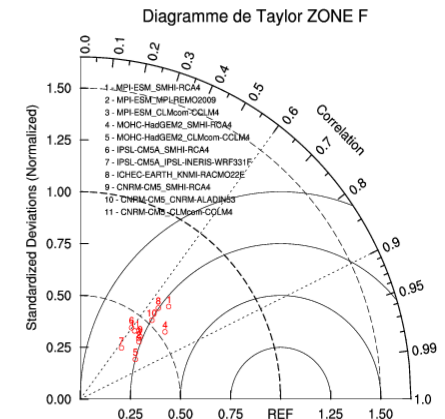
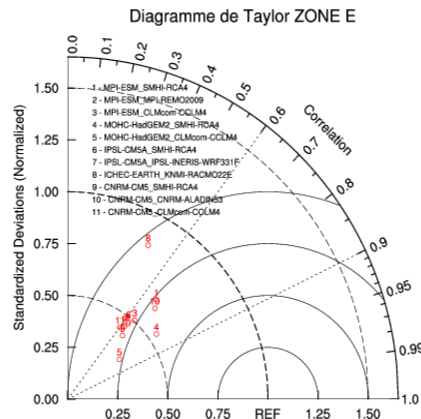
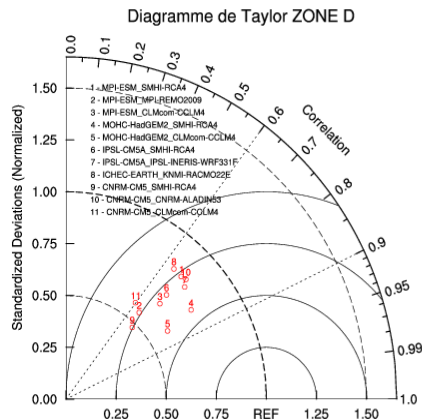
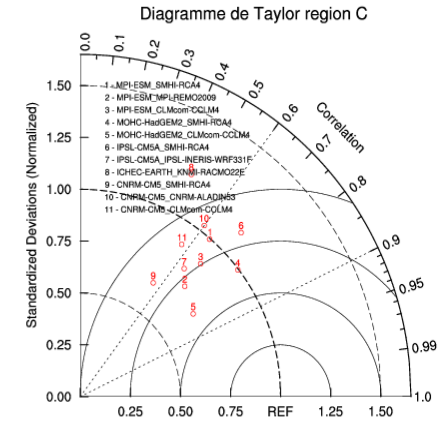
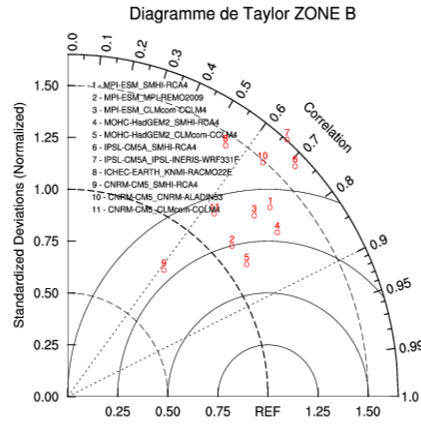
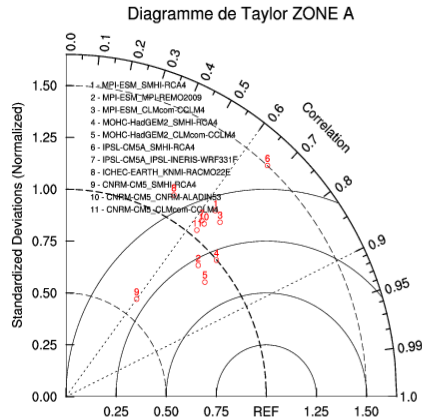


Figure: Digramme de taylor pour les six sous régions climatiques

Projections climatiques RCP 8.5

Horizon 2050

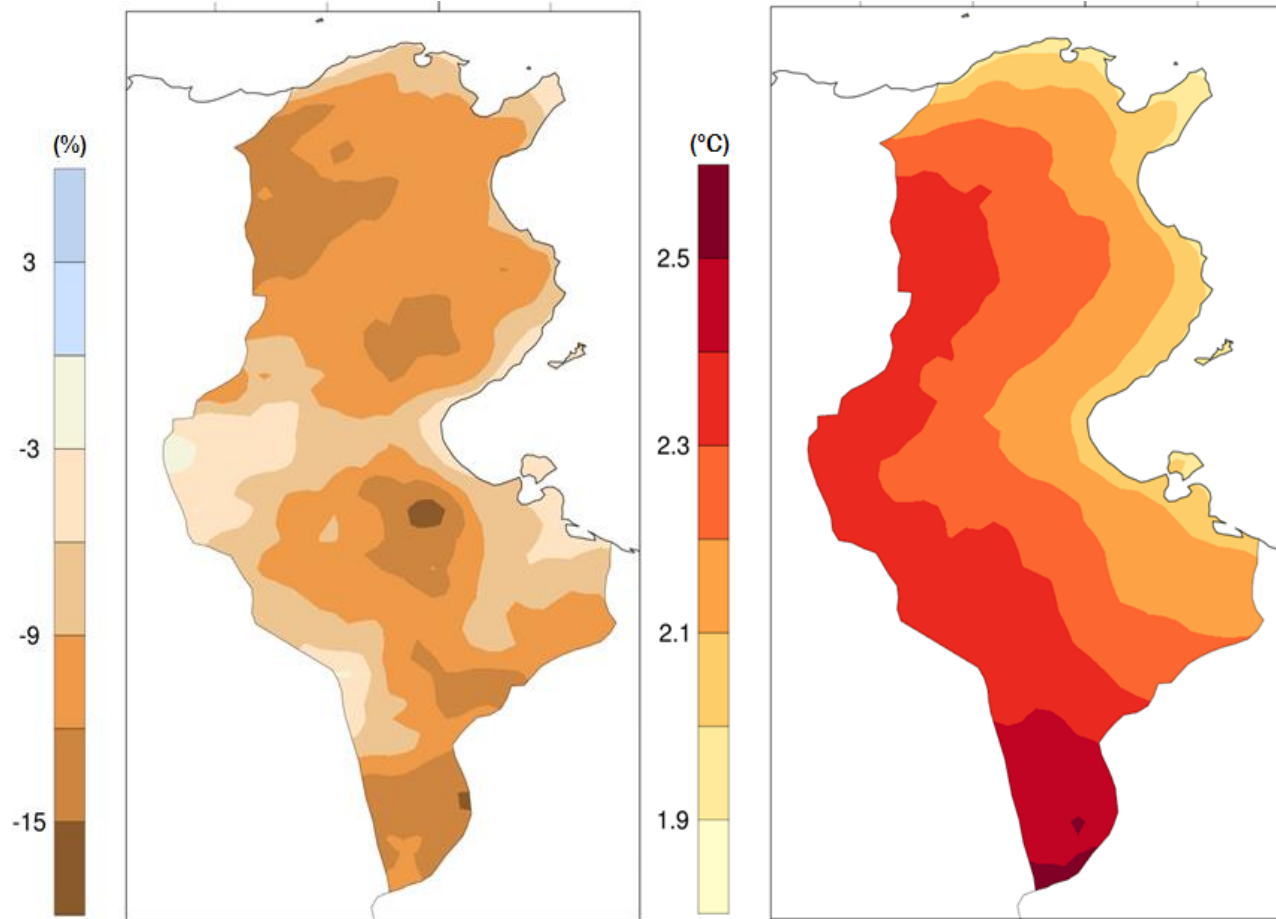


Figure : Projections climatiques de précipitation (a gauche) et de la température (a droite) a l'horizon 2050 (scenario RCP8.5)

Projections climatiques RCP 8.5

Horizon 2100

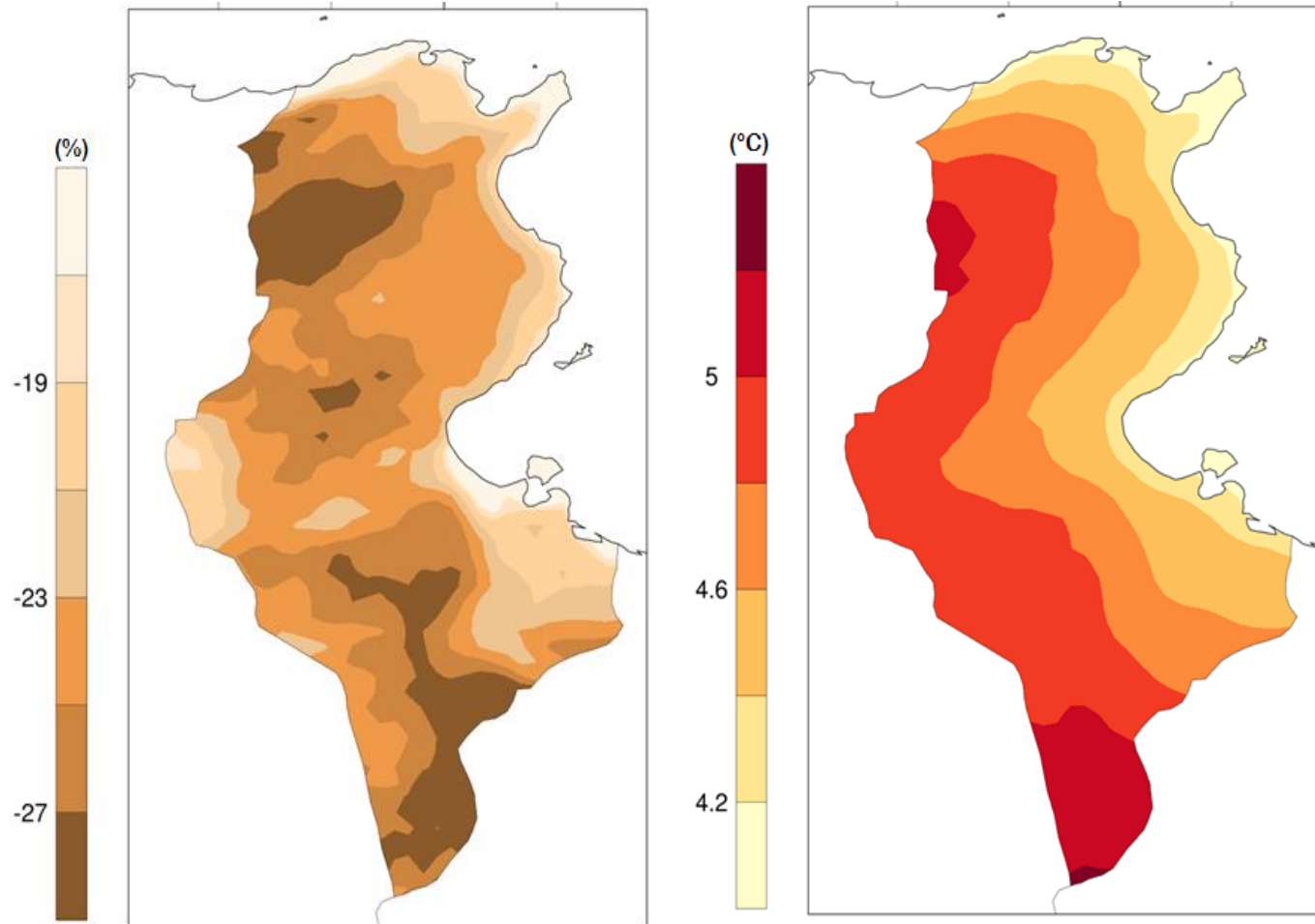


Figure : Projections climatiques de précipitation (a gauche) et de la température (a droite) a l'horizon 2100 (scenario RCP8.5)

Correction du Biais et Indices

- les données brutes issues des modèles climatiques régionaux (MCRs) ne peuvent pas être utilisées directement.
- Les simulations des MCRs doivent être prétraitées afin de les rendre plus représentatives du climat à l'échelle locale.
- Beaucoup des méthodes de correction peuvent être utilisées
 - (1) une approche directe (Delta),
 - (2) une méthode de mise en échelle (Scaling) ,
 - (3) Transformation quantile-quantile ajustée(AQM)

Conclusion

- Le changement climatique est sans équivoque à l'échelle du globe.
- L'activité humaine est responsable avec certitude de 95%
- Un réchauffement qui peut atteindre 4.8°C en 2100 (de 0.3 à 4.8°C)
- Une élévation du niveau de la mer qui peut atteindre 1m (entre 0.26 et 0.98 m)
- Une fréquence plus accrue des extrêmes climatiques avec de fortes intensités

Merci



Pour info:

Haythem@meteo.tn