

Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH08

Christian Pagé
Laurent Terray
Julien Boé

Climate Modelling and Global Change
TR/CMGC/08/64

CERFACS
Centre Européen de Recherche
et de Formation Avancée en Calcul Scientifique
42, avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse Cedex, France

20 juin 2008

Résumé

Des scénarii climatiques ont été désagrégés par le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS), nommés SCRATCH08. Ceux-ci sont disponibles aux usagers internes et externes. Ces scénarios climatiques ont été désagrégés à une résolution de 8 km sur une région couvrant la France et la Suisse.

Ce rapport présente une brève description de la méthodologie utilisée pour la désagrégation d'échelle des simulations climatiques, les données utilisées comme base pour la désagrégation, ainsi qu'une description des scénarii désagrégés disponibles. Les limites scientifiques d'utilisation de ces données de même que leurs sources d'incertitude sont discutées, de même que les modalités de leur mise à disposition.

Mots-clés: scénarios, scénarii, scenario, climat, climate, giec, ipcc, downscaling, désagrégation, échelle, france, SAFRAN, SCRATCH08

Introduction

Ce rapport a pour but de décrire les scénarii climatiques qui ont été désagrégés par le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS), et qui sont disponibles aux usagers internes et externes. Ces scénarii climatiques ont été désagrégés à une résolution de 8 km sur une région couvrant la France ainsi qu'une partie de la Suisse (voir figures 1a et 1b).

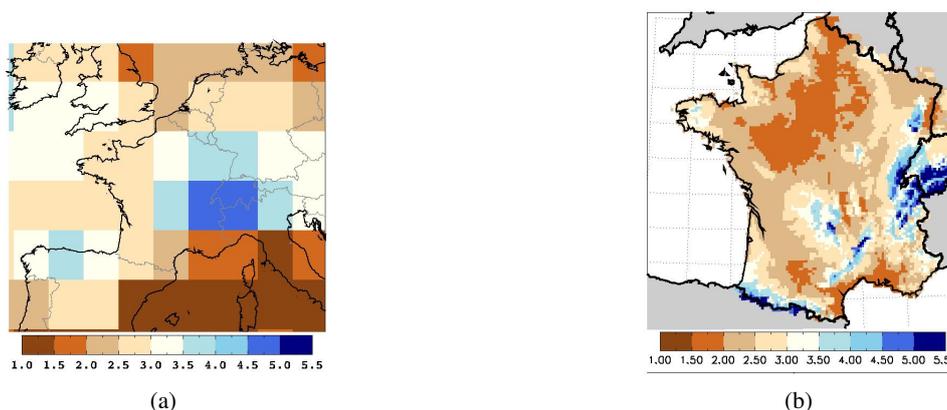


FIG. 1: Exemple de données de précipitations (mm/jour) couvrant la France. La figure (a) montre les données à la résolution typique d'un modèle global du climat, tandis que la figure (b) montre les données désagrégées statistiquement à une résolution de 8 km.

La première section de ce rapport présente une brève description de la méthodologie utilisée pour désagréger les simulations climatiques. La deuxième section présente une description des données utilisées comme base pour la désagrégation, suivi d'une description des différents scénarii désagrégés disponibles. Enfin, la troisième et dernière section présente des informations utiles qui expliquent les limites d'utilisation de ces scénarii, de même que leur mise à disposition au CERFACS ainsi qu'aux clients extérieurs.

1 Désagrégation d'échelle

1.1 Méthodologie

Les échelles de temps et d'espace caractéristiques des processus de fine échelle diffèrent fortement de celles résolues par les modèles climatiques. De nombreuses techniques dynamique et/ou statistique ont été développées pour effectuer ce trans-

fert d'échelle. La méthodologie de désagrégation d'échelle utilisée ici est celle développée par Julien Boé du CERFACS (Boé, 2007; Boé and Terray, 2006, 2008; Boé et al., 2006), référée par Boe08 ci-après. Consulter les références pour une description plus complète de la méthodologie. Dans le présent rapport, nous nous limiterons à une présentation synthétique de la méthodologie.

La méthodologie de Boe08 est une méthode de désagrégation d'échelle statistique multivariée. Les propriétés régionales climatiques sont utilisées afin d'établir des régimes de temps discriminants pour une variable locale donnée, soit la précipitation dans ce cas-ci. Les variations intra-types (régimes de temps) des paramètres appropriés pour un forçage donné sont tenues en compte par des régression multivariées qui utilisent les distances aux prédicteurs des régimes de temps d'un jour donné.

L'hypothèse principale est que, associé à chaque régime de temps particulier représenté par une variable de grande échelle (le/les prédicteur(s)), il existe une relation spécifique avec les variables à petite échelle (prédicteurs). C'est, en quelque sorte, une méthode d'analogie basée sur les types de temps et une approche multivariée.

Par exemple, il est possible de montrer que lorsqu'un type de temps présente une anomalie de pression au niveau moyen de la mer telle que présentée sur la figure 2a, nous observons, statistiquement, un régime de précipitations tel que montré à la figure 2b. Cette même distribution des précipitations n'est pas résolue avec une précision suffisante pour les modèles d'impacts par les modèles régionaux et globaux du climat (figures 2c et 2d). Ceci démontre l'intérêt d'une méthodologie de désagrégation d'échelle produisant des résultats à une échelle de 8 km.

La méthodologie de Boe08 s'appuie sur des séries d'observations homogénéisées. Dans ce cas-ci, la base de données d'observations utilisée est celle de Météo-France dénommée SAFRAN (analyse météorologique à méso-échelle). Celle-ci couvre la France sur une période allant de 1970 à 2005 à une résolution spatiale de 8 km (zones climatiques cohérentes) sur une grille régulière en projection Lambert-II étendue. Elle comporte 7 paramètres, soient : les précipitations solide et liquide, la température à 2 m, le module du vent à 10 m, la radiation infra-rouge et visible incidente en surface, l'humidité spécifique à 2 m. La figure 3 montre la région couverte par SAFRAN, ainsi que sa résolution spatiale en présentant l'altitude de chaque point de l'analyse.

Une fois la période d'apprentissage traitée, le déroulement de l'algorithme de la méthodologie de Boe08 se présente synthétiquement comme suit. Pour un jour j donné où les prédicteurs grande échelle sont disponibles :

- Chercher le régime de temps le plus proche (données journalières) ;
 - Distance euclidienne sur les 10 premières composantes principales ;
 - Tous les jours R_i de ce régime de temps sont sélectionnés ;

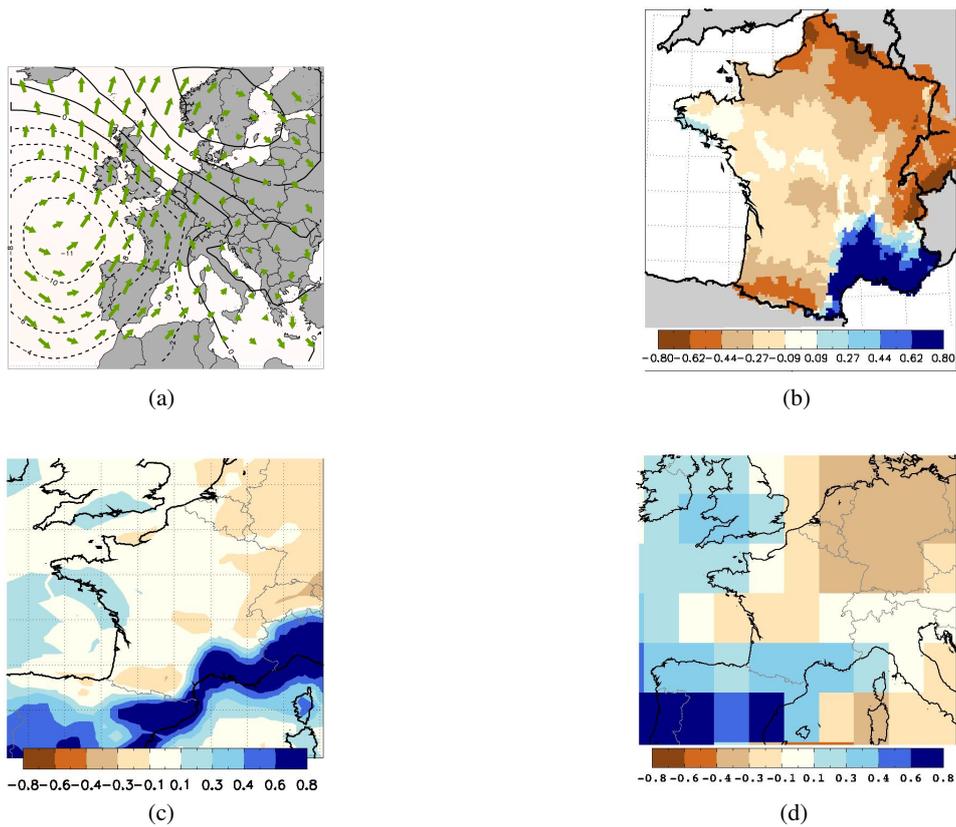


FIG. 2: (a) présente un régime de temps présentant un flux de vent du sud sur la France. Les vents à 850 hPa sont présentés sous forme de vecteurs, l'anomalie de pression au niveau moyen de la mer en lignes noires (tiretées pour les valeurs négatives). Associées à ce régime de temps, anomalie de précipitations (%) observée en (b), telle que simulée par un modèle régional du climat en (c), et telle que simulée par un modèle global du climat en (d).

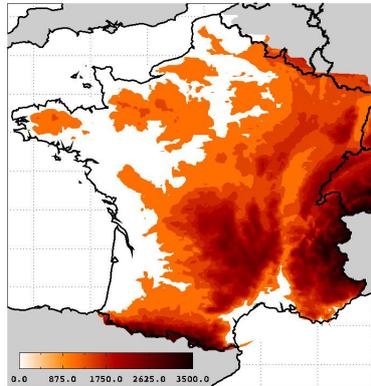


FIG. 3: Analyse météorologique à méso-échelle de Météo-France : SAFRAN. L'altitude de chacun des points de l'analyse est présenté. La résolution spatiale est de 8 km, en grille régulière en projection Lambert-II étendue.

- La pression au niveau moyen de la mer et la température à 2 m sont utilisés comme prédicteurs ;
- Reconstruire la précipitation selon les régressions calculées avec la période d'apprentissage, en utilisant la pression au niveau moyen de la mer comme prédicteur ;
- Rechercher 15 jours analogues parmi les R_i jours ;
 - Les plus proches en terme de précipitations et température (même décile) ;
 - Choix de 1 jour parmi ces 15 jours de façon aléatoire ;
- Récupérer les observations SAFRAN du jour analogue choisi ;
- Appliquer une correction de température si $T_{modele-climat} - T_{analyse-NCEP} > 2\text{C}$;
 - Dans le cas d'une correction de température, la radiation infra-rouge et la partition liquide/solide de la précipitation sont ajustés.

1.2 Description des scénarii désagrégés

Actuellement, 15 simulations IPCC ont été désagrégées, en plus de 4 simulations en continu ARPEGE V3+ CERFACS A1B, une simulation fin de siècle A2 ARPEGE V4 de Météo-France, une simulation de référence ARPEGE V4 ainsi que trois simulations ARPEGE V4 A2, A1B et B2. Le tableau 1.2 résume les caractéristiques des simulations qui ont été désagrégées.

Les variables désagrégées sont celles qui correspondent à celles de la base d'observation SAFRAN. En plus de ces variables de base, des variables supplémentaires sont calculées, de même que des moyennes mensuelles, annuelles, saisonnières,

¹La seule différence entre les 4 simulations sont les conditions initiales au 01/01/1950.

Modèle	Scénario CO2	Période	Centre
IPCC CMIP3			
CCCMA CGCM3.1 T63	A1B	01/01/1961 - 31/12/2000 01/01/2046 - 31/12/2065 01/01/2081 - 31/12/2100	CCCMA
CNRM-CM3			Météo-France
CSIRO-MK3.0			CSIRO
GFDL-CM2.0			GFDL
GFDL-CM2.1			GFDL
GISS-AOM			GISS
GISS-ER			GISS
IAP-FGOALS			FGOALS
INGV ECHAM4			INGV
IPSL CM4			IPSL
MIROC 3.2 MEDRES			MIROC
MIUB ECHO-G			MIUB
MPI-ECHAM5			MPI
MRI CGCM 2.3.2a			MRI
NCAR CCSM3			NCAR
4X ¹ ARPEGE V3+	A1B	01/01/1950 - 31/12/2099	CERFACS
ARPEGE V4	A2	01/01/1950 - 31/12/2000 01/01/2070 - 31/12/2100	Météo-France
ARPEGE V4	REF	01/01/1950 - 31/12/2000	Météo-France
ARPEGE V4	A1B	01/01/2001 - 31/12/2100	Météo-France
ARPEGE V4	A2	01/01/2001 - 31/12/2100	Météo-France
ARPEGE V4	B1	01/01/2001 - 31/12/2100	Météo-France

TAB. 1: Caractéristiques de simulations désagrégées au CERFACS.

et climatologiques. Les variables supplémentaires qui sont calculées sont les suivantes :

- Evapotranspiration potentielle (ETP) telle que calculée par la formule de Météo-France (Penmann modifiée) ;
- Humidité relative ;
- Humidité relative maximale journalière ;
- Humidité relative minimale journalière ;
- Température maximale journalière ;
- Température minimale journalière.

Les données sont désagrégées avec une fréquence journalière. Les moyennes suivantes sont également calculées, pour les variables de base et les variables supplémentaires :

- Mensuelles ;
- Annuelles ;
- Saisonnières ;
 - Décembre-Janvier-Février (DJF) ;
 - Mars-Avril-Mai (MAM) ;
 - Juin-Juillet-Août (JJA) ;
 - Septembre-October-Novembre (SON) ;
- Climatologiques : mois de l'année par anomalie sur une période donnée par rapport à 1961-1990.

Ces données sont disponibles nativement dans le format NetCDF avec la convention CF-1.0 (Pagé, 2008). Actuellement, les données sont disponibles au CER-FACS localement sur le serveur nommé glodata. Se référer à l'annexe 2 pour plus de détails. Pour les usagers externes, les données sont envoyées au cas par cas selon les demandes.

Dans la prochaine sous-section, une présentation synthétique des résultats de la désagrégation d'échelle de ces simulations sera faite.

1.3 Résultats de la désagrégation d'échelle

Il y a de multiples façons de présenter les scénarii climatiques. En effet, cela dépend beaucoup de l'application qui veut être faite. Par conséquent, plusieurs graphiques génériques choisis seront présentés afin de donner une vue d'ensemble sur les scénarii. Un premier graphique très intéressant permettant de présenter la dispersion entre les différents scénarii montre les données avec des axes ΔT ΔP , représentant les anomalies par rapport à une période de référence. Dans ce cas-ci, nous avons choisi de présenter les résultats sur deux saisons (hiver DJF et été JJA) en plus de la moyenne annuelle. La période de référence choisie est 1961-1990. La figure 4 présente les anomalies sur la période 2046-2065 et la figure 5 les présente sur la période 2081-2100. Une brève analyse des figures 4 et 5 montre que, malgré

une dispersion importante au niveau des températures, l'été montre un assèchement marqué au niveau des quantités de précipitations pour la presque totalité des simulations, autant durant la période 2046-2065 que 2081-2100.

Il est également intéressant d'analyser les résultats sous un autre angle, soit en calculant la moyenne sur chaque mois de l'année, tel que montré sur les figures 6 et 7. En effet, cela renseigne sur la variabilité intra-saisonnière de chacune des simulations ainsi que la distribution saisonnière des anomalies de température et précipitations. L'assèchement marqué pendant l'été et l'automne y apparaît encore très clairement.

Il est plus aisé d'évaluer la distribution des simulations en utilisant un diagramme en boîte. Ce type de représentation permet de visualiser les extrêmes, la médiane et la distribution de la majorité des simulations. La figure 8 montre l'augmentation de l'anomalie de température entre les périodes 2046-2065 et 2081-2100 (période de référence 1961-1990). De même, la figure 9 montre la diminution importante des précipitations en été et automne, associée à l'incertitude plus importante au niveau des anomalies de précipitations que celles des températures.

RAJOUTER ET COMPLETER LES ANALYSES. AJOUTER DES GRAPHIQUES MONTRANT LA REPARTITION SPATIALE ?

2 Les incertitudes

Les figures 8 et 9 de la section 1.3 montrent bien l'amplitude des incertitudes associées aux différentes simulations climatiques. Cela impose donc nécessairement l'utilisation d'une approche multi-modèles d'une nature ensembliste plutôt qu'une simple moyenne globale. En effet, il serait illusoire et incorrect de n'utiliser qu'une seule simulation ou une simple moyenne globale multi-modèle afin de tirer des conclusions sur l'impact des changements climatiques.

A COMPLETER...

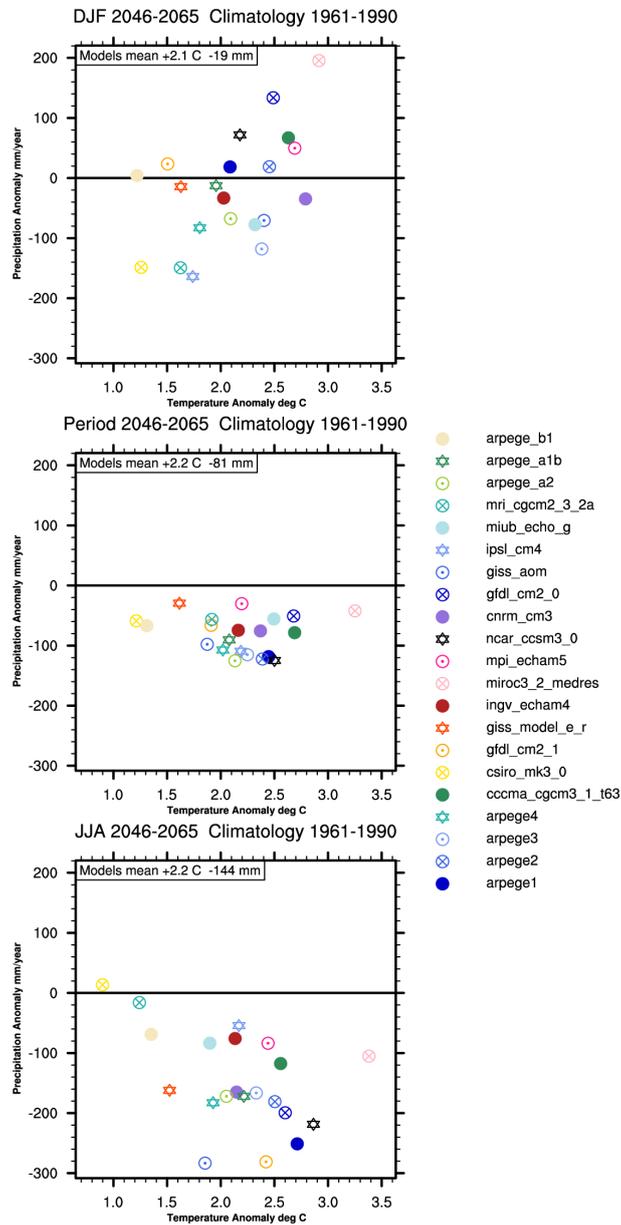


FIG. 4: Graphiques ΔT ΔP présentant les anomalies de température et précipitation pour l'hiver DJF (en haut), l'été JJA (en bas), et la moyenne annuelle (au centre). La période présentée est 2046-2065 avec comme référence 1961-1990.

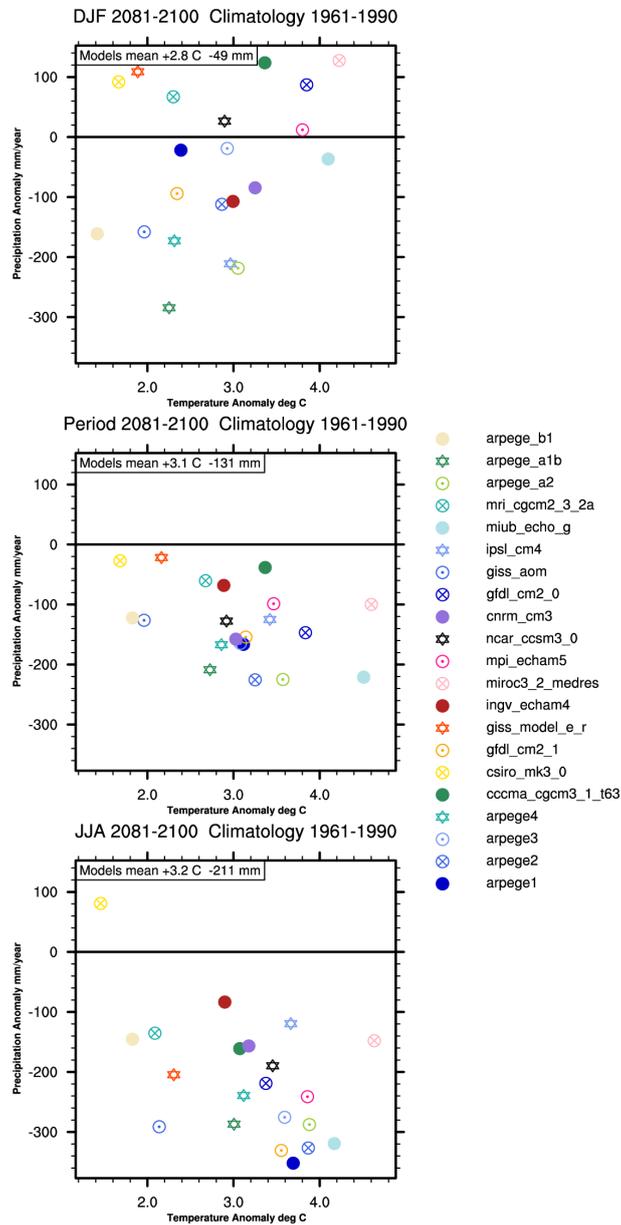


FIG. 5: Graphiques ΔT ΔP présentant les anomalies de température et précipitation pour l'hiver DJF (en haut), l'été JJA (en bas), et la moyenne annuelle (au centre). La période présentée est 2081-2100 avec comme référence 1961-1990.

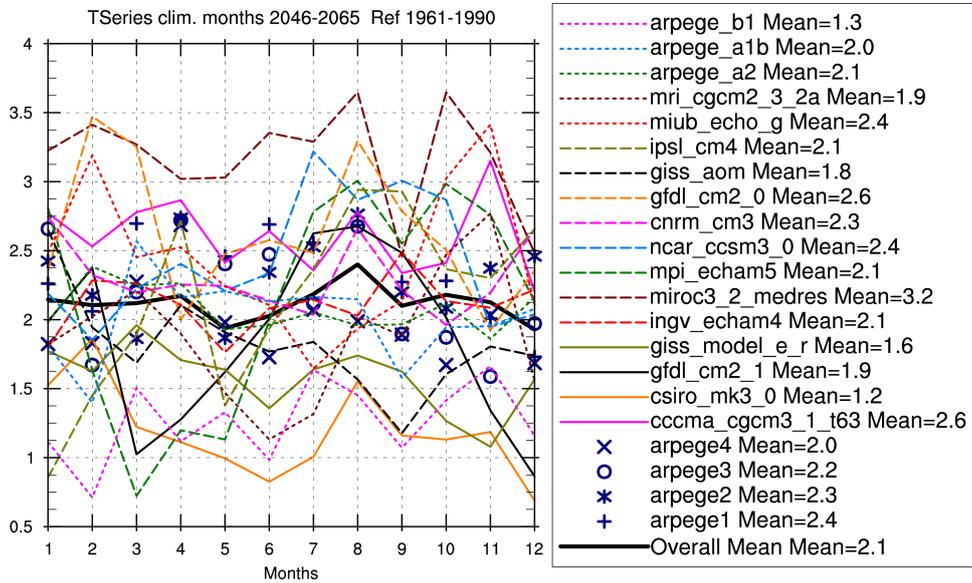


FIG. 6: Anomalies de température moyennées sur chacun des mois (janvier=1 ; décembre=12) de la période 2046-2065 avec comme référence 1961-1990.

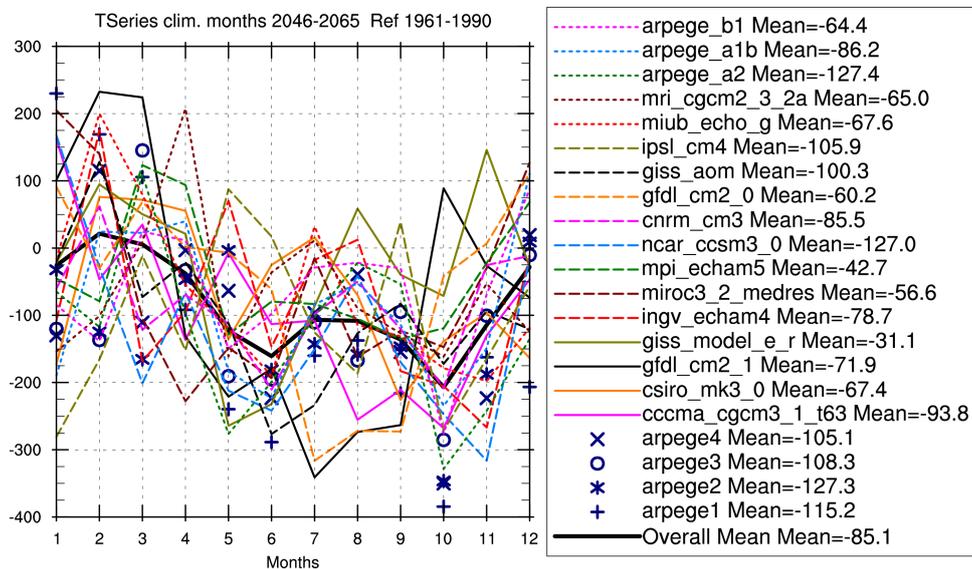


FIG. 7: Anomalies de précipitation moyennées sur chacun des mois (janvier=1 ; décembre=12) de la période 2046-2065 avec comme référence 1961-1990.

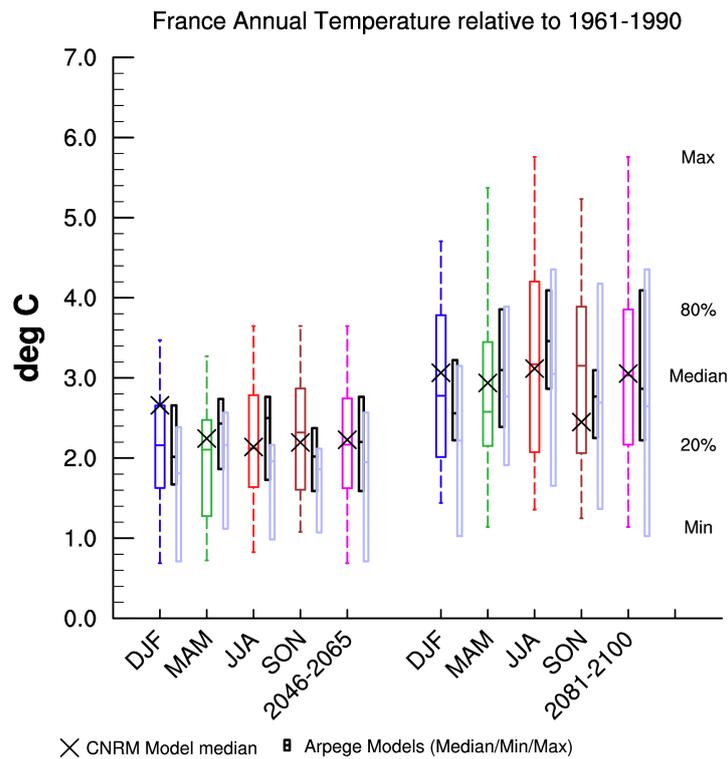


FIG. 8: Diagramme en boîte de l'anomalie de température pour les périodes 2046-2065 et 2081-2100 avec comme période de référence 1961-1990. Les boîtes de couleurs représentent la moyenne des simulation IPCC, les noires représentent les 4 simulations ARPEGE V3+ CERFACS, et les boîtes violettes représentent les 3 simulations ARPEGE V4 RETIC. Le symbole X présente la simulation du modèle CNRM-CM3 de Météo-France. Les boîtes noires et violettes ne présentent que les extrêmes maximum et minimum de même que la médiane (pas de lignes tiretées).

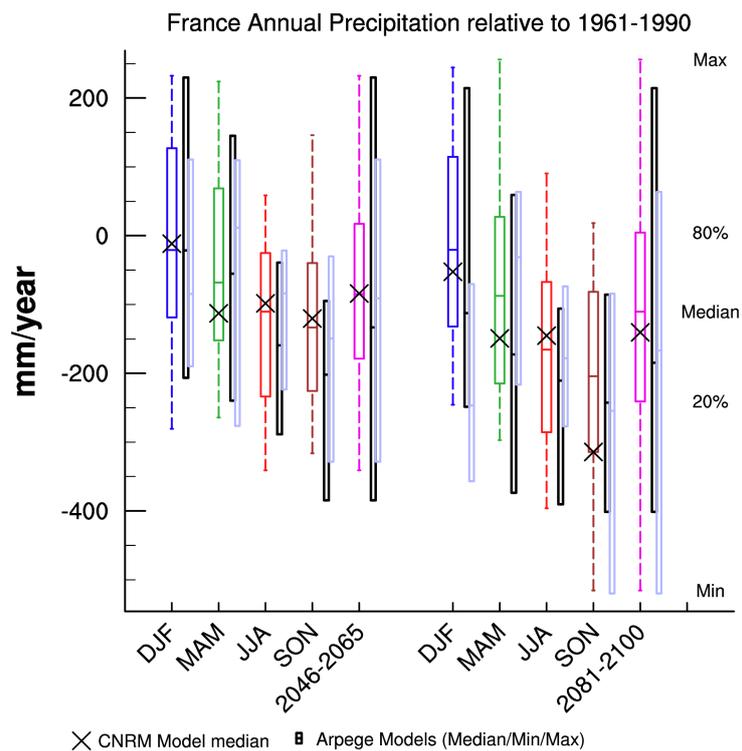


FIG. 9: Diagramme en boîte de l'anomalie de précipitations pour les périodes 2046-2065 et 2081-2100 avec comme période de référence 1961-1990. Les boîtes de couleurs représentent la moyenne des simulation IPCC, les noires représentent les 4 simulations ARPEGE V3+ CERFACS, et les boîtes violettes représentent les 3 simulations ARPEGE V4 RETIC. Le symbole X présente la simulation du modèle CNRM-CM3 de Météo-France. Les boîtes noires et violettes ne présentent que les extrêmes maximum et minimum de même que la médiane (pas de lignes tiretées).

Annexe A : Localisation des données

Cette annexe présente la structure qui est utilisée afin d'entreposer les données de désagrégation au CERFACS. Les données sont entreposées localement au CERFACS sur le serveur nommé glodata. Le tableau 2 décrit la hiérarchie des répertoires contenant les données. Le répertoire principal contenant toutes les données de désagrégation est /data/sim/downscaling/.

Modèle	Répertoire relatif
IPCC CMIP3 A1B	ipcc/
CCCMA CGCM3.1 T63	ipcc/cccma_cgcm3_1_t63/
CNRM-CM3	ipcc/cnrm_cm3/
CSIRO-MK3.0	ipcc/csiro_mk3_0/
GFDL-CM2.0	ipcc/gfdl_cm2_0/
GFDL-CM2.1	ipcc/gfdl_cm2_1/
GISS-AOM	ipcc/giss_aom/
GISS-ER	ipcc/giss_model_e_r/
IAP-FGOALS	ipcc/iap_fgoals1_0_g/
INGV ECHAM4	ipcc/ingv_echam4/
IPSL CM4	ipcc/ipsl_cm4/
MIROC 3.2 MEDRES	ipcc/miroc3_2_medres/
MIUB ECHO-G	ipcc/miub_echo_g/
MPI-ECHAM5	ipcc/mpi_echam5/
MRI CGCM 2.3.2a	ipcc/mri_cgcm2_3_2a/
NCAR CCSM3	ipcc/near_ccsm3_0/
ARPEGE V3+ CERFACS A1B Membre 1	arpege_v3p_cerfacs/arpege1/
ARPEGE V3+ CERFACS A1B Membre 2	arpege_v3p_cerfacs/arpege2/
ARPEGE V3+ CERFACS A1B Membre 3	arpege_v3p_cerfacs/arpege3/
ARPEGE V3+ CERFACS A1B Membre 4	arpege_v3p_cerfacs/arpege4/
ARPEGE V4 A2	arpege_v4/arpege_v4_a2/
ARPEGE V4 RETIC REF	arpege_v4_retic/arpege_ref/
ARPEGE V4 RETIC A1B	arpege_v4_retic/arpege_a1b/
ARPEGE V4 RETIC A2	arpege_v4_retic/arpege_a2/
ARPEGE V4 RETIC B1	arpege_v4_retic/arpege_b1/

TAB. 2: Localisation en interne au CERFACS des simulations désagrégées.

À la base de ces répertoires, ce sont les données journalières, et il y a un fichier par année et par paramètre. Les années s'échelonnent du 1er août au 31 juillet (année hydrologique).

À l'intérieur de ces répertoires de base, il y a des répertoires contenant les données en fréquences mensuelle, annuelle, saisonnière et climatologique. Ceci est

décrit dans le tableau 2. Les données saisonnières comportent des fichiers contenant toutes les années dans un seul fichier pour une saison en particulier, soient Décembre-Janvier-Février (DJF), Mars-Avril-Mai (MAM), Juin-Juillet-Août (JJA), Septembre-Octobre-Novembre (SON). Les données climatologiques, quant à elles, comportent des fichiers recouvrant des périodes données : les fichiers contenant 'delta' dans le nom contiennent des anomalies d'une période par rapport à une autre, tandis que les fichiers contenant 'clim_months' dans le nom contiennent des moyennes climatologiques sur les 12 mois de l'année.

Données	Répertoire relatif
Horaire (le cas échéant)	hourly/
Mensuelles	monthly/
Annuelles	annual/
Saisonnières	seasonal/
Climatologiques	climatology/

TAB. 3: Localisation en interne au CERFACS des données dérivées des simulations désagrégées.

Bibliographie

- J. Boé. *Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France*. PhD thesis, Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2007.
- J. Boé and L. Terray. A weather type approach to analysing france winter precipitation : twentieth century trends and influence of anthropogenic forcing. *J. Climate*, in press, 2006.
- J. Boé and L. Terray. Régimes de temps et désagrégation d'échelle. *La Houille Blanche*, 2 :doi :10.1051/lhb :2008016L05702, 2008.
- J. Boé, L. Terray, F. Habets, and E. Martin. A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *J. Geophys. Res.*, 111 :D21106, 2006.
- C. Pagé. Format des données safran et scénarios climatiques désagrégés au cerfacs. Technical Report TR/CMGC/08/27, Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS), 2008.