

CERFACS

*Marie PIAZZA, Julien BOE, Christian PAGE,
Emilia SANCHEZ, Laurent TERRAY*

Première évaluation des incertitudes

SCAMPEI

**Etat d'avancement
- Juin 2011 -**

Les projections climatiques pour le 21^{ème} siècle sont réalisées à partir de modèles climatiques globaux et régionaux, qui sont les seuls outils actuellement à la disposition des climatologues pour simuler les processus qui déterminent le climat aux échelles globale et régionale. Cependant les incertitudes sont inhérentes aux projections, c'est pourquoi une des questions centrales de ces travaux est celle du niveau de confiance que l'on peut attribuer à leurs résultats. Concernant les projections de fine échelle, il faut ajouter aux incertitudes du modèle global celles issues des forçages externes, des modèles régionaux et/ou des méthodes de désagrégation statistique. Dans ce rapport, nous ferons état des jeux de projections à fine échelle réalisés par les partenaires du projet ANR-SCAMPEI (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes). A partir de cet ensemble d'opportunité, composé à la fois de modèles désagrégés dynamiquement et de modèles désagrégés statistiquement, nous évaluerons les incertitudes sur la température moyenne et la précipitation solide sur les Alpes et les Pyrénées pour le 21^{ème} siècle. Enfin, nous établirons un diagnostic préliminaire des mécanismes à l'origine de ces incertitudes.

Sommaire

Introduction.....	3
Les différents types d'incertitudes	3
Jeux de simulations disponibles	4
Incertitudes sur la température moyenne	6
Incertitudes sur la précipitation solide.....	7
Bilan.....	9
Perspectives.....	10
Références.....	10

Introduction

Dans le cadre du projet SCAMPEI, des méthodes de descente d'échelle sont utilisées pour étudier l'évolution du climat sur les zones de montagnes en France. Ces méthodes (quantile-quantile, Déqué 2003, et DSCLim, Pagé 2009) ont d'ores et déjà été développées, validées et inter-comparées. Le présent rapport se base sur les scénarios désagrégés pour mettre en évidence les incertitudes sur l'évolution de la température et de la précipitation solide pour les saisons et les régions concernées (hiver et printemps principalement, notés respectivement DJF et MAM dans la suite de ce rapport, sur les Alpes et les Pyrénées).

Les différents types d'incertitudes

Les projections climatiques pour le 21^{ème} siècle reposent sur des hypothèses de scénarios d'émission de gaz à effet de serre, et portent nécessairement une part d'incertitude, comme l'incertitude réflexive, liée au choix des scénarios d'émission de gaz à effet de serre, nécessaire à la prise en compte des potentielles évolutions sociétales. L'incertitude stochastique, celle liée à la variabilité naturelle du climat, est elle aussi souhaitable lors de toute réalisation de simulations climatiques. De plus, des études ont montré que le climat sur les zones de montagnes serait fortement impacté par le réchauffement global ; en outre, ces zones connaissent une forte variabilité climatique (voir Figure 1), ce qui rendent les incertitudes particulièrement grandes dans ces régions.

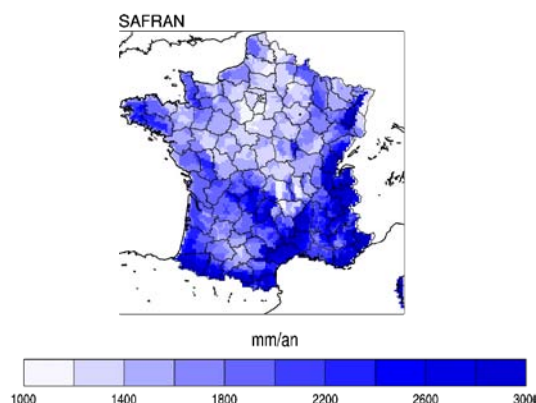


Figure 1. Illustration de la forte variabilité climatique observée sur les régions montagneuses : écart-type de la précipitation totale (réanalyses SAFRAN, Quintana-Segui 2008)

En revanche, certaines incertitudes, comme les incertitudes épistémiques (dus à une connaissance imparfaite des phénomènes climatiques naturels et/ou à une mauvaise représentation de ceux-là dans les modèles) et les incertitudes propres aux techniques de descente d'échelle, nuisent à la qualité des projections.

Jeux de simulations disponibles

L'étude des incertitudes passe donc par la différenciation des sources, et la quantification de la part d'incertitude due à chacune d'entre elles. Pour cela, on utilise des ensembles d'opportunités, c'est-à-dire des jeux de projections qui permettent de cibler indépendamment les différents types d'incertitudes cités précédemment. Par exemple, l'utilisation d'un même modèle avec plusieurs scénarios d'émission permettra d'évaluer exclusivement l'incertitude réflexive. Dans le cadre du projet SCAMPEI, de nombreuses projections ont été réalisées avec différents modèles et différentes méthodes de désagrégation, avec pour points communs de focaliser sur les zones de montagnes en France, auxquelles s'ajoutent les simulations ARPEGE RETIC (voir Tableau 1).

Dynamical Downscaling	ALADIN	LMDZ	MAR	
	1961-1990	1961-1990	1961-1990	
	2021-2050 A1B A2 B1	2021-2050 A1B (IPSL-SST) A1B (CNRM-SST)	2021-2050 A1B (CNRM-SST)	
	2071-2100 A1B A2 B1	2071-2100 A1B (IPSL-SST) A1B (CNRM-SST)	2071-2100 A1B (CNRM-SST)	
Statistical	Quantile-Quantile	DSCLim	ISBA-ES	CROCUS-MEPRA
	7 runs ALADIN	CMIP3 (x14 modèles) 1961-2000 2046-2064 2081-2099 A1B	CMIP3 (x14)	CMIP3 (x14)
	5 runs LMDZ	Cecilia Ref 1950-2000	7 runs ALADIN	7 runs ALADIN

		A1B 2020-2055, 2070-2100 A2 2020-2055, 2070-2100 B1 2020-2055, 2070-2100		
	3 runs MAR	Retic Ref 1950-2000 A1B 2020-2055, 2070-2100 A2 2020-2055, 2070-2100 B1 2020-2055, 2070-2100	5 runs LMDZ	5 runs LMDZ
		ARPEGE CERFACS (x4) A1B 1950-2099	3 runs MAR	3 runs MAR

Tableau 1. Désagrégations statistiques et dynamiques réalisées pour SCAMPEI.

On utilise les désagrégations statistiques (réalisées avec DSCLIM) de 14 modèles CMIP3, de 3 simulations ARPEGE (simulations RETIC) basées sur les scénarios A1B, A2 et B1 de l'IPCC, et d'un ensemble de 4 simulations ARPEGE selon le scénario A1B. En parallèle, on utilise aussi les 3 modèles régionaux ALADIN, LMDZ et MAR ; bien que ces modèles utilisent la méthode de désagrégation dynamique, les sorties ont été désagrégées (corrigées) par la méthode quantile-quantile, qui est une méthode statistique.

Remarque : Les 3 modèles régionaux ont été forcés à l'aide des SST CNRM. LMDZ a également été forcé avec les SST IPSL.

Note : La méthodologie utilisée dans cette étude reprend celle utilisée pour l'étude des incertitudes des scénarios SCRATCH2010.

Incertitudes sur la température moyenne

L'utilisation du diagramme dit en "boîtes à moustaches" est judicieuse pour rendre compte de la distribution et de l'évolution temporelle d'un panel de simulations. On y voit les extrêmes, les quantiles 20% et 80% et la médiane, pour les climatologies saisonnières et annuelles des deux périodes, milieu de siècle et fin de siècle. Ici, les boîtes à moustaches représentent les 14 modèles CMIP3 désagrégés statistiquement et les 4 simulations d'ensemble ARPEGE du CERFACS. Les valeurs ponctuelles des désagrégations dynamiques et du modèle du CNRM utilisé lors le 4ème exercice du GIEC (CNRM-CM3) sont superposées sous forme de croix sur chacune des boîtes. Les boîtes à moustaches grises correspondent aux simulations ARPEGE réalisées selon les scénarios A1B, A2 et B1 (3 valeurs seulement : la médiane et les extremums).

Remarque : La période de référence est définie pour toute les simulations entre 1961 et 1990. En revanche, comme le montre le Tableau 2, les périodes "milieu de siècle" et "fin de siècle" ne se recouvrent pas pour les modèles CMIP3 et les autres modèles (ARPEGE, ALADIN, LMDZ et MAR).

	CMIP3	Autres modèles
Milieu de siècle	2046-2064	2021-2050
Fin de siècle	2081-2100	2071-2100

Tableau 2. Dates des deux périodes étudiées pour le 21ème siècle en fonction des modèles.

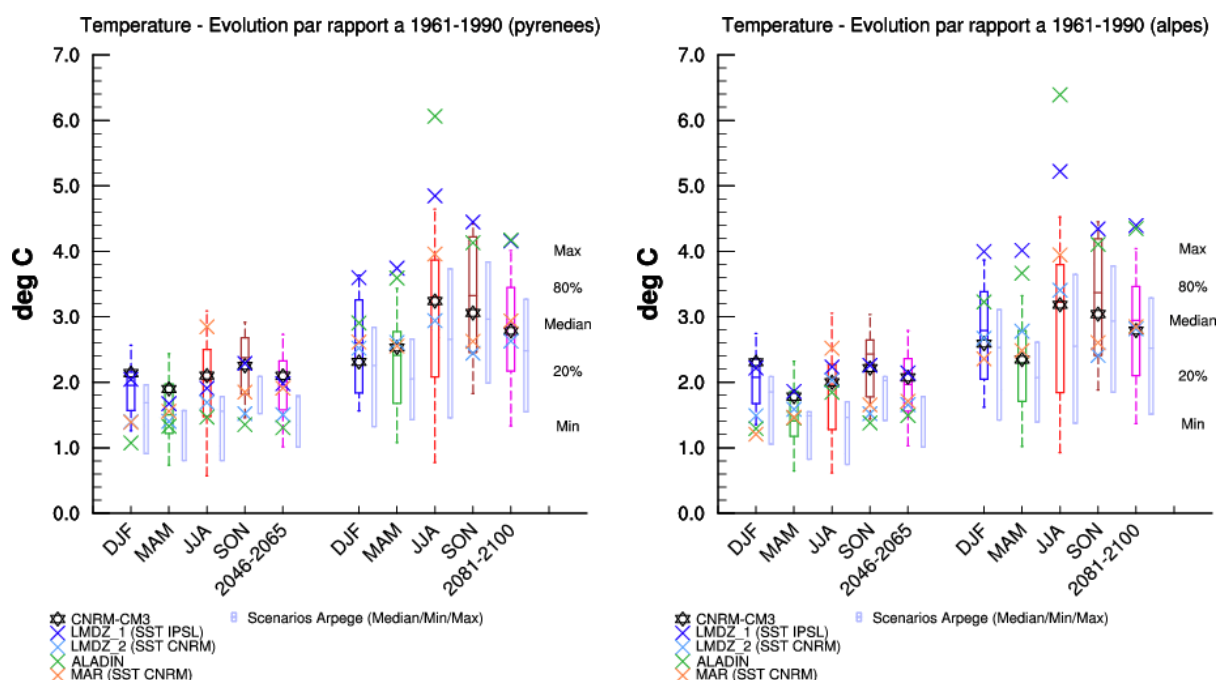


Figure 2. Evolution de la distribution de la température moyenne pour les périodes milieu de siècle et fin de siècle avec comme période de référence 1961-1990. Les boîtes à moustaches de couleur représentent les désagrégations statistiques des simulations du GIEC et des 4 simulations ARPEGE CERFACS, les boîtes grises les désagrégations statistiques des simulations ARPEGE RETIC. L'étoile noire est la valeur moyenne pour la simulation du modèle CNRM-CM3 de Météo-France, les croix de couleur représentent les modèles régionaux. Les moyennes spatiales sont calculées sur les domaines Pyrénées (à gauche) et Alpes (à droite). Pour chaque période, les moyennes sont calculées par saison et par année.

La Figure 2 présente l'évolution de la température moyenne sur les massifs des Pyrénées et des Alpes. Ce diagramme permet d'avoir une première évaluation des incertitudes stochastiques, avec les modèles du GIEC, des incertitudes réflexives, avec les simulations ARPEGE RETIC, et des incertitudes liées à la méthode de désagrégation utilisée.

Remarque : Du fait du mauvais recouvrement temporel des simulations CMIP3 et celles des autres modèles, notamment pour la période milieu de siècle et pour les modèles régionaux, la comparaison entre les croix et les boîtes à moustaches n'est pas pertinente pour la période milieu de siècle. On réalisera la comparaison dans ce cas uniquement sur la fin de siècle, pour laquelle la période de recouvrement des différentes projections est de 20 ans.

Tout d'abord, on remarque une dispersion similaire sur les deux massifs, Alpes et Pyrénées. Toutes les méthodes et les modèles s'accordent sur une augmentation de la température moyenne, mais la distribution est très grande, et s'étale de 0.7°C à plus de 6°C en été, tous modèles confondus. D'une période à l'autre, on note une augmentation des incertitudes, qui traduisent donc ici l'incertitude réflexive.

L'été est la saison pour laquelle les incertitudes sur la température moyenne sont les plus grandes, pour les 3 jeux de projections différents : les modèles CMIP3 désagrégés, les simulations ARPEGE RETIC et les modèles dynamiques corrigés par la méthode quantile-quantile. C'est la saison qui présente les extremums les plus éloignés de la valeur médiane. C'est en hiver que la dispersion est la plus faible.

Le modèle CNRM-CM3, qui fait parti des modèles CMIP3 désagrégés par DSCLim, est mis en évidence par une étoile noire ; il correspond presque au modèle médian de cet ensemble. La dispersion des quatre projections de modèles dynamiques est presque aussi importante (voire plus en été) que la dispersion des 14 modèles CMIP3 désagrégés, avec cependant un décalage systématique du premier vers des valeurs plus élevées. En particulier, les modèles LMDZ1 et ALADIN prévoient une très forte augmentation de la température moyenne, alors que les modèles LMDZ2 et MAR ont des valeurs moyennes comprises entre les quantiles 20 et 80 des modèles CMIP3 ; la SST utilisée pour forcer les modèles atmosphériques dynamiques n'aurait donc pas un rôle prépondérant dans l'évolution de la température simulée. Cependant, le nombre réduit de réalisations ne permet pas de conclure quant à son influence ; seule une étude d'ensemble pour chaque jeu de SST permettrait d'isoler l'incertitude qui leur est liée, en gommant l'incertitude stochastique.

Enfin, les trois scénarios ARPEGE RETIC présentent une dispersion comparable à l'écart-type des modèles CMIP3 ; l'incertitude est donc très forte pour ces projections et rappelle une fois de plus la nécessité de procéder par simulations d'ensembles pour diminuer les incertitudes stochastiques.

Incertitudes sur la précipitation solide

La Figure 3 présente la distribution de l'évolution temporelle de la précipitation solide sur les massifs des Pyrénées et des Alpes.

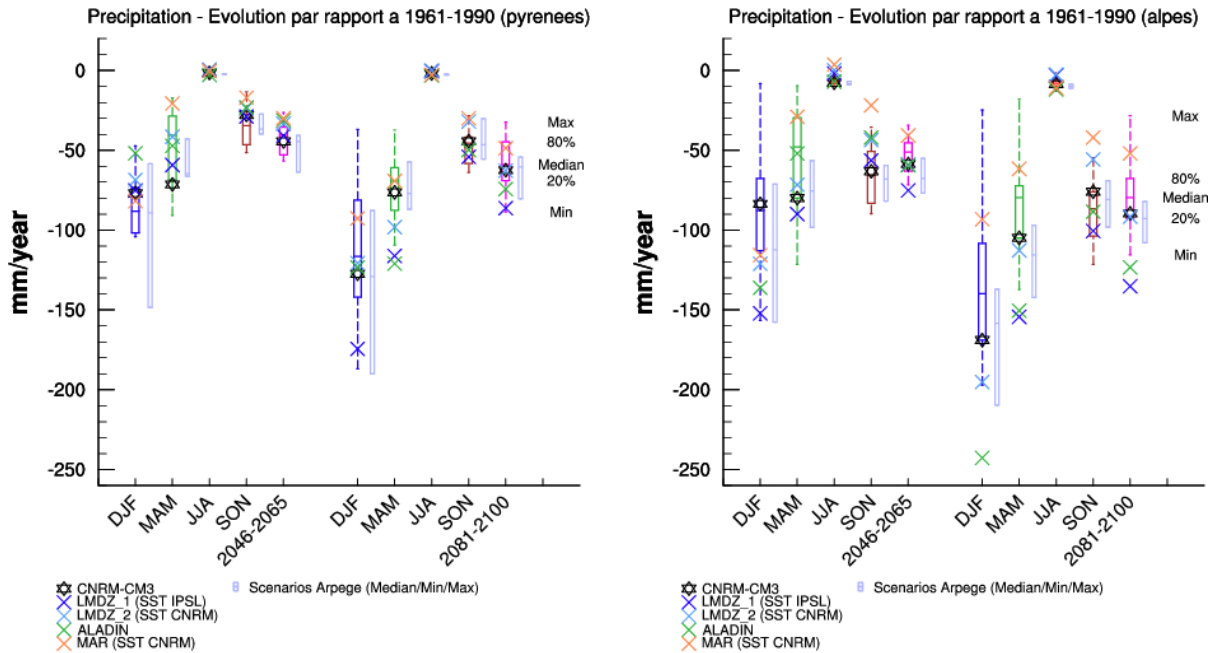


Figure 3. Evolution de la distribution de la précipitation solide pour les périodes milieu de siècle et fin de siècle avec comme période de référence 1961-1990. Les boîtes à moustaches de couleur représentent les désagrégations statistiques des simulations du GIEC et des 4 simulations ARPEGE CERFACS, les boîtes grises les désagrégations statistiques des simulations ARPEGE RETIC. L'étoile noire est la valeur moyenne pour la simulation du modèle CNRM-CM3 de Météo-France, les croix de couleur représentent les modèles régionaux. Les moyennes spatiales sont calculées sur les domaines Pyrénées (à gauche) et Alpes (à droite). Pour chaque période, les moyennes sont calculées par saison et par année.

Malgré une distribution très grande en hiver pour la fin de siècle, tous les modèles et toutes les méthodes de désagrégation utilisés s'accordent sur une diminution des précipitations solides sur les Pyrénées et les Alpes françaises. Tout comme l'évolution de la température moyenne, la distribution de l'évolution de la précipitation solide est similaire sur les Alpes et les Pyrénées, sauf pour les extremums qui sont plus forts sur les Alpes. Cela peut simplement être dû à l'échantillonnage de jours utilisé pendant la période d'apprentissage par DSCLim, lors de la désagrégation statistique, échantillon qui présenterait alors de faibles valeurs d'extrêmes sur les Pyrénées et des plus forts sur les Alpes.

On peut s'étonner de ce que la dispersion n'augmente pas de façon notable et systématique entre le milieu et la fin du siècle, pour chaque jeu de données ; ce pourrait être le résultat de compensations entre les incertitudes stochastiques et réflexives.

L'hiver est la saison pour laquelle les incertitudes sur la précipitation solide sont les plus grandes. C'est la saison qui présente les extremums les plus éloignés de la valeur médiane. Vient ensuite le printemps puis l'automne. L'été présente peu d'intérêt puisque les précipitations solides y sont quasi-inexistantes.

Comme pour l'évolution de la température moyenne, le modèle du CNRM avoisine la valeur médiane de la distribution des modèles CMIP3 pour l'évolution de la précipitation solide sur les Pyrénées ; en revanche sur les Alpes, il présente plus de variabilité saisonnière : il est proche du quantile inférieur en hiver et au printemps et du quantile supérieur en automne.

De même que pour l'évolution de la température moyenne, la distribution importante (de l'ordre de celle des 14 modèles CMIP3) de l'évolution de la précipitation solide pour les modèles dynamiques ne permet pas de conclure quant à l'influence de la SST utilisée en forçage externe ;

pour un faible nombre de réalisations comme ici, ce sont les incertitudes stochastiques et épistémiques qui l'emportent sur l'incertitude réflexive et l'incertitude liées aux forçages externes.

Bilan

On a vu précédemment que les trois scénarios ARPEGE RETIC présentent une dispersion comparable à l'écart-type des modèles CMIP3 ; l'incertitude est donc très forte pour ces projections et rappelle une fois de plus la nécessité de procéder par simulations d'ensembles pour diminuer les incertitudes stochastiques. Ici, on trace les diagrammes $\Delta T \Delta P$ (Figure 4) pour les 14 modèles CMIP3, les 4 simulations d'ensemble ARPEGE et les modèles dynamique régionaux. Les diagrammes $\Delta T \Delta P$ condensent l'information de l'évolution de la température moyenne et de l'évolution de la précipitation solide sur un seul graphique. On y représente les valeurs annuelles et pour les saisons hiver et printemps pour la période fin de siècle. Les modèles dynamiques désagrégés par la méthode quantile-quantile sont représentés par des croix et les modèles désagrégés par DSClim sont représentés par des symboles circulaires.

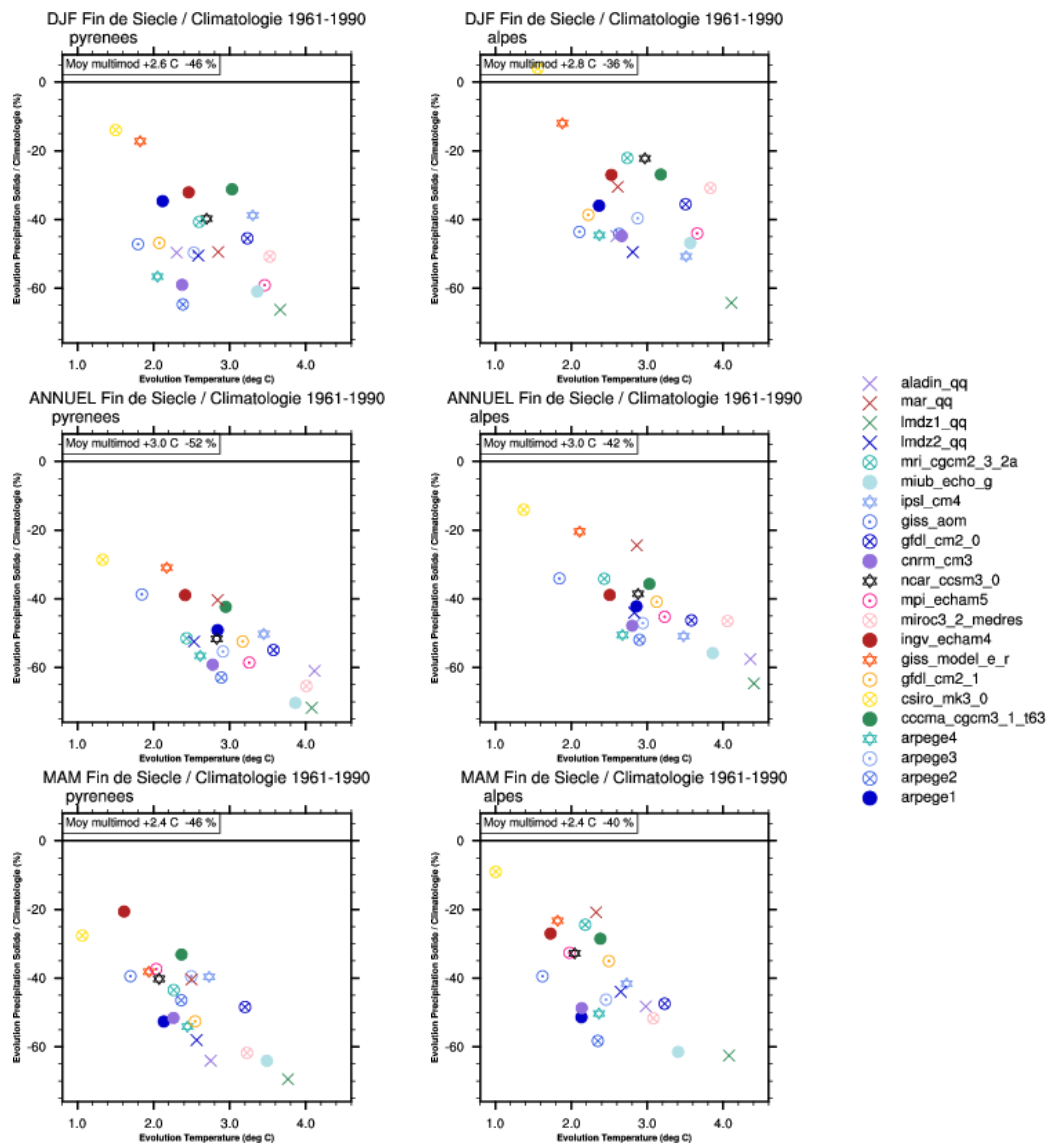


Figure 4. Graphiques $\Delta T \Delta P$ présentant l'évolution de la température moyenne (en ° C) et

de la précipitation solide (en % par rapport à la référence) pour l'hiver (DJF, en haut), le printemps (MAM, en bas) et la moyenne annuelle (au centre), pour la période fin de siècle avec comme période de référence 1961-1990. La moyenne spatiale est calculée sur les Pyrénées (à gauche) et sur les Alpes (à droite).

Alors que les précipitations solides observées y sont déjà plus faibles que sur les Alpes, les Pyrénées voient une diminution de ses précipitations solides jusqu'à 10% plus forte que les Alpes à la fin du 21ème siècle. Les deux massifs voient en moyenne la même augmentation de température.

Il est difficile de dégager un signal d'évolution cohérent et robuste pour les modèles dynamiques. LMDZ forcé par les SST-ISPL est le modèle qui génère les évolutions les plus importantes, aussi bien pour la température moyenne que pour la précipitation solide. D'un point de vue général, l'ensemble des simulations montrent un assèchement notable, allant de -20% jusqu'à plus de -70% de précipitations solides, par rapport à la période de référence. Les simulations s'accordent aussi sur une augmentation de la température, entre 1.6°C et près de 4°C en hiver.

Perspectives

Après avoir défini les différents types d'incertitudes présents dans les jeux de projections à fine échelle disponibles et évaluer globalement l'amplitude de ces incertitudes sur la température moyenne et la précipitation solide sur les Alpes et les Pyrénées, on peut s'intéresser aux mécanismes à l'origine de ces incertitudes, en particulier, dans le cadre du développement de méthode de désagrégation, les incertitudes épistémiques et les incertitudes liées aux forçages externes des modèles régionaux. A terme, l'objectif est de réduire ces deux types d'incertitudes qui nuisent à la qualité des projections climatiques.

Références

Déqué, M., 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.

Giorgi, F. (1990). – Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J. Climate*, 3, 941-943.

Pagé, C., Terray, L., Boé, J. (2009). - dsclim: A software package to downscale climate scenarios at regional scale using a weather-typing based statistical methodology. *Technical Report TR/CMGC/09/21, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875, Toulouse, France.*

Quintana Seguí, P., Le Moigne, P., Durand, Y., Martin, E., Habets, F., Baillon, M., Canellas, C., Franchisteguy, L., Morel, S. (2008). – Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47, 92-107.

Pagé, C., Terray, L. (2011). - Nouvelles projections climatiques à fine échelle sur la France pour le 21ème siècle : les scenarii SCRATCH2010, *Technical Report TR/CMGC/10/58, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875, Toulouse, France.*