

Annexe volet 1 :

Analyse et comparaison des scénarii climatiques désagrégés utilisés dans Rexhyss

Ali Hachour¹, Florence Habets¹, Julien Boé², Michel Déqué³,
Christian Pagé², Laurent Terray²

- 1) UMR-Sisyphé, Mines-Paristech, Paris
- 2) Cerfacs, Toulouse
- 3) CNRM, Toulouse

Introduction	3
A Comparaison des différences liées aux méthodes de désagrégation :	4
A.1 Comparaison sur le temps présent	4
A.2 Comparaison sur la fin de siècle.....	7
B Comparaison des scénarios désagrégés avec la méthode des régimes de temps	10
<i>B.1-Temps présent 1971-2000</i>	10
<i>B.2-Milieu de siècle 2046-2065</i>	10
<i>B.3-Fin de siècle 2080-2100</i>	15
C-Comparaison des scénarios désagrégés avec la méthode Quantile-Quantile	22
D-Comparaison spatiale des variables : Précipitations, ETP et Températures	25
I. Temps présent	25
II. Milieu de siècle	28
III. Fin de siècle.....	30

Analyse des scénarios climatiques désagrégés dans le cadre de REXHYSS

Introduction

L'objet de ce rapport est de présenter les principales caractéristiques des différents scénarios climatiques utilisés dans le cadre du projet REXHYSS.

On dispose au total de 21 scénarios climatiques, générés par 15 modèles de climat, sous 2 scénarios d'émission de gaz à effet de serre (A1B et A2), et désagrégés selon 3 méthodes assez différentes : la classique méthode des anomalies (ANOM), la méthode quantile-quantile (notée QQ, Déqué et al. 2007), et la méthode des régimes de temps (RT, Boé et al, 2007, Boé 2006, Pagé et al., 2008). Les données sont disponibles sur les bassins de la Seine et de la Somme, ce qui représente 1662 mailles SAFRAN de 8km de coté.

Le tableau 1 ci-dessous présente les scénarios ainsi que les périodes sur lesquelles ils sont disponibles. Les périodes varient selon les scénarios : pour le temps présent (PST) 1971-2000, Milieu du Siècle (MS) 2045-2065, et la fin du siècle (FS) 2071-2100 ou 2081-2100 selon la disponibilité des données.

	Nom	SRES	DESAG	PST	MS	FS
	SAFRAN			1970-2005	NA	NA
1	AN_ARPV4_A1B	A1B	ANOM	NA	NA	2071-2100
2	AN_ARPV4_A2	A2	ANOM	NA	NA	2071-2100
3	QQ_ARPV4_A1B	A1B	QQ	1950-2010	NA	2071-2100
4	QQ_ARPV4_A2	A2	QQ	1950-2010	NA	2071-2100
5	RT_ARP_CONT_A1B	A1B	RT	1950-2000	2000-2070	2071-2100
6	RT_ARPV4_A2	A2	RT	1950-2000	NA	2071-2100
7	GFDL_CM2_0	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
8	GFDL_CM2_1	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
9	MPI_ECHAM5	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
10	MRI_CGCM2_3_2A	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
11	GISS_MODEL_E_R	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
12	CCCMA_GCGM3_1	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
13	CNRM_CM_3	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
14	CSIRO_MK3_0	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
15	GISS_AOM	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
16	IAP_FGOALS1_0	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
17	INGV_ECHAM4	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2085-2100
18	IPSL_CMA	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
19	MIROC_2_MESRDES	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2085-2100
20	MIUB_ECHO_G	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100
21	NCAR_CCSM3_0	A1B	RT	1960-2000	2045-2065	2080-2100

Tableau 1 : présentation des scénarios disponibles : SRES indique le scénario d'émission des gaz à effet de serre ; DESAG le nom de la méthode de désagrégation (ANOM=anomalie ; QQ=Quantile-Quantile ; RT=Régime de temps). PST MS et FS indiquent les périodes disponibles pour le temps présent, le milieu de siècle et la fin de siècle respectivement.

Deux types de jeux de données sont disponibles : le jeu de données pour les schémas de surface, constitué des données horaires ou 3-horaires des précipitations solides et liquides,

température et humidité à 2m, rayonnement solaire et infrarouge descendants, et vent à 10m, et le jeu de données pour les modèles hydrologiques : Précipitation et ETP journalière, température min et max journalière, rayonnement solaire journalier. Ici, on analysera uniquement les précipitations, ETP, température et rayonnement moyen journalier.

On se propose tout d'abord d'analyser les résultats en distinguant d'une part les scénarios selon les méthodes de désagrégation, et selon les périodes. Pour le temps présent, les scénarios climatiques sont comparés aux observations représentées par les analyses SAFRAN (Quintana Segui et al., 2007).

A Comparaison des différences liées aux méthodes de désagrégation :

Seul le scénario ARPEGEV4_A2 est disponible avec les 3 méthodes. On analyse les résultats sur la période temps présent et fin de siècle. L'intérêt des méthodes quantile-quantile et Régime de temps étant en particulier de permettre une modification des régimes des précipitations (contrairement à la méthode des anomalies), on s'intéressera à l'analyse de ces modifications.

A.1 Comparaison sur le temps présent

Pour le temps présent, il n'y a que deux méthodes disponibles, puisque la méthode des anomalies utilise les observations (SAFRAN) en temps présent.

A.1.1 Comparaison des valeurs moyennes temps présent

Méthodes	QQ	RT	SAFRAN
variables			
ETP mm/j	2,08	2,2	2,18
PRECIP mm/j	2,2	2,14	2,14
T (K)	283,35	283,46	283,19
RG W/m2	123,16	126,42	121,3

Tableau 2 : Comparaison des moyennes journalières sur le temps présent du scénario ARPEGEV4_A2 désagrégé par la méthode quantile-quantile et Régime de temps comparé aux observations (SAFRAN)

Le tableau 2 présente les moyennes journalières obtenues par SAFRAN et les méthodes QQ et RT. On constate que les deux méthodes de désagrégation sont capables en moyenne d'obtenir des résultats très proches de celles observées par SAFRAN

A.1.2 Comparaison des classes de précipitation

On s'intéresse ici à la répartition des précipitations en classe d'intensité. On compte donc pour chaque journée et pour chaque classe d'intensité, le nombre de mailles concernées. On moyenne ensuite sur la période de 30 ans et sur le domaine pour avoir un nombre moyen de jour par année. Les résultats sont présentés figure 1

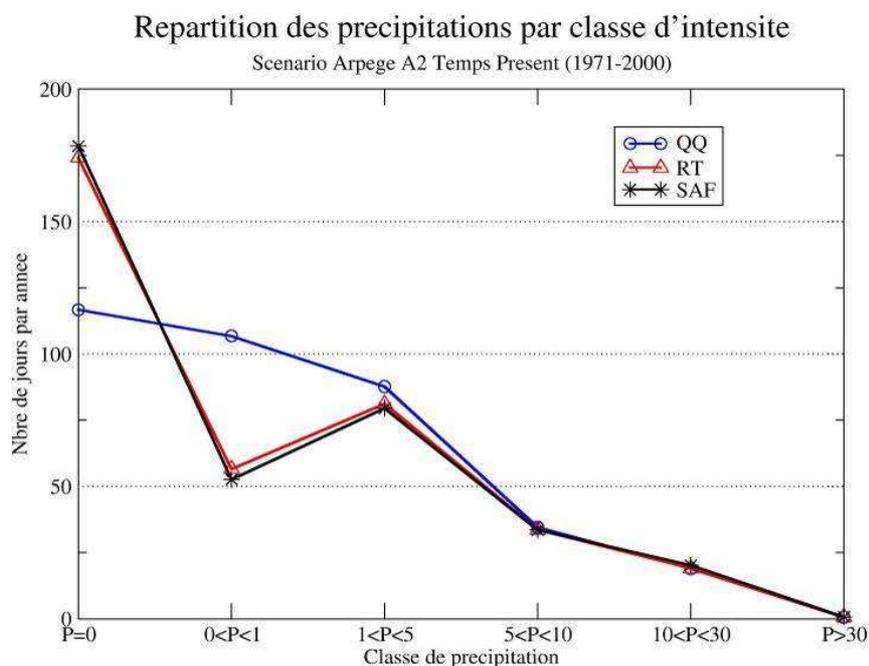


Figure 1 : comparaison des répartition des jours de pluie par classe de précipitation en moyenne sur le temps présent (1971-2000).

La désagrégation du scénario ARPEGE A2 avec la méthode Régime de Temps permet d'obtenir des résultats très similaires à ceux de SAFRAN. Pour la méthode Quantile-Quantile, on constate une sous estimation des jours sans pluie, et une surestimation des jours avec des faibles précipitations. Pour les autres classes de précipitations, les résultats sont similaires. Les différences pour les pluies nulles et faibles pluies risquent néanmoins d'avoir un impact sur les simulations hydrologiques.

A.1.3 Comparaison des persistances

Contrairement à la méthode des anomalies qui reproduisait les occurrences de précipitations observées dans le temps présents, les méthodes quantile-quantile et régime de temps permettent de prendre en compte une modification de ces occurrences de précipitations. Ainsi, la persistance de temps sec ou pluvieux varie selon les méthodes. Pour comparer ces persistances, on trace la comparaison des probabilités de durée d'un événement pluvieux. Ainsi, un événement pluvieux à 100% de chance de durée au moins un jour, et x% de chance de durée au moins n jours. La figure 2 présente les résultats pour le temps présent (période 1970-2000), en comparaison avec ceux de SAFRAN (1971-2000)

Persistance des épisodes pluvieux :

Pour ces figures, une journée est considérée comme pluvieuse si la précipitation totale est supérieure à 0.

Par rapport aux analyses SAFRAN, on constate que la méthode Quantile Quantile a tendance à générer des épisodes de pluies plus longs. Cela est consistant avec le fait que cette méthode surestime le nombre de jours de pluie. La méthode des régimes de temps est assez proche des observations. Ainsi, un tiers des épisodes de précipitation dure au moins 6 jours selon la méthode QQ, alors que selon SAFRAN et la méthode RT, cette durée est réduite à 4 jours.

De plus, la probabilité qu'un épisode dure plus de 20 jours est quasi-nulle pour SAFRAN et RT, alors qu'elle reste à près à 3% pour la méthode QQ.

De ce fait, on peut s'attendre à ce que la méthode QQ sur le temps présent génère plus d'écoulement.

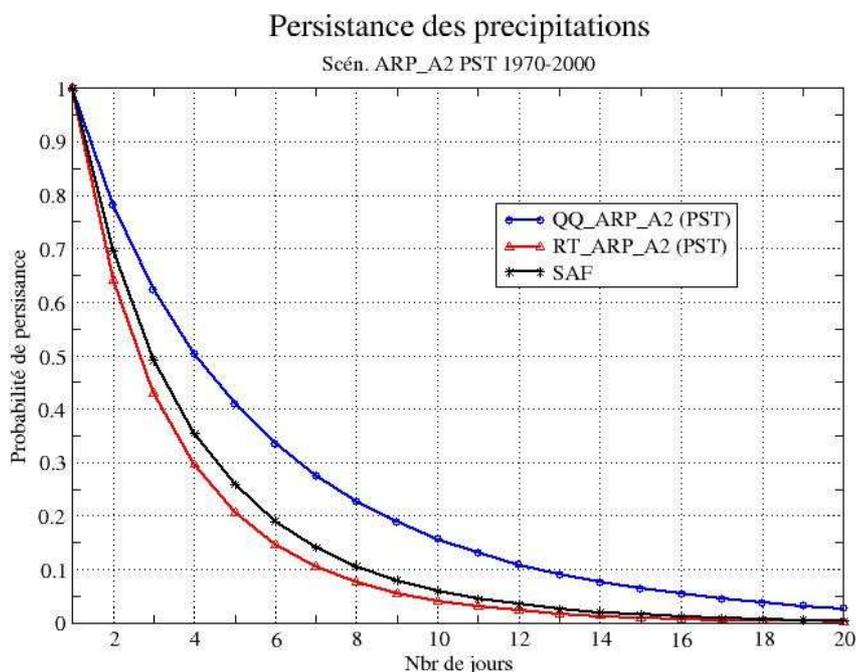


Figure 2 : comparaison des persistances d'un épisode pluvieux sur le temps présent pour le scénario Arpege A2 désagrégé par la méthode quantile quantile (bleu avec cercles), et régime de temps (rouge avec triangles), comparé aux analyses SAFRAN (noir avec étoiles)

Persistances des épisodes secs

Pour la persistance des temps secs, on a une différence plus marquée entre SAFRAN et les 2 méthodes de désagrégation sur le temps présent (figure 3).

Ainsi, la probabilité qu'une période de temps sec dure 6 jours passe de 22% pour SAFRAN à 12% pour RT et à 8% pour QQ.

Pour autant, il n'est pas facile de prévoir si ces variations auront beaucoup d'impact, car le seuil choisi sur les précipitations est assez stricte ($P=0$), et donc, l'épisode de temps sec peut être interrompu par une précipitation faible.

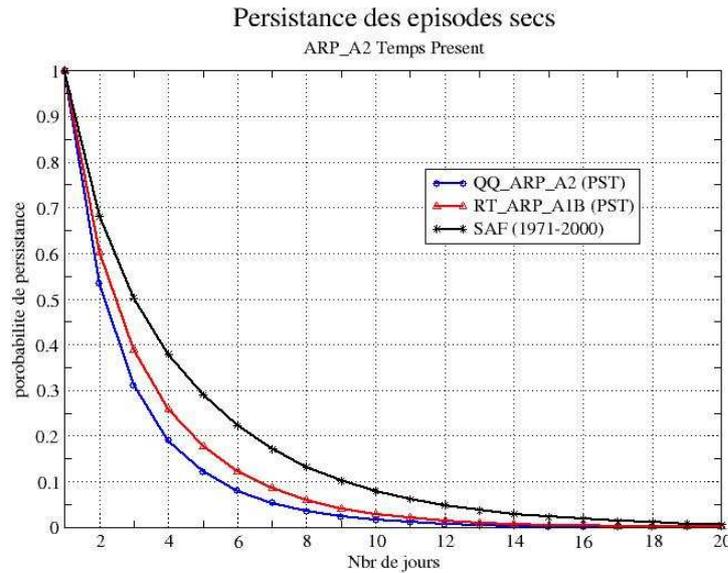


Figure 3 : comparaison des persistances d'un épisode sec ($P=0$) sur le temps présent pour le scénario Arpege A2 désagrégé par la méthode quantile quantile (bleu avec cercles), et régime de temps (rouge avec triangles), comparé aux analyses SAFRAN (noir avec étoiles)

A.2 Comparaison sur la fin de siècle

A.2.1 Comparaison des valeurs moyennes en fin de siècle

Le scénario ARPEGE A2 est disponible pour la fin du siècle (2071-2100) pour les 3 méthodes. Les variables moyennées sur cette période sont représentées dans le tableau 3. Les méthodes sont cohérentes sur les tendances, mais, il peut y avoir des variations importantes sur les intensités (diminution des précipitations de 14.5 à 22.3%). Les précipitations moyennes sont plus importantes avec la méthode ANOM qu'avec les méthodes QQ et RT plus évoluées, ce qui indique certainement une modification des extrêmes (la méthode des anomalies ne corrigeant que la moyenne).

Méthodes	QQ	RT	ANOM
variables			
ETP mm/j	2,71	2,83	2,71
Anomalie %	+30.3%	+28.6%	+23.7%
PRECIP mm/j	1,71	1,73	1,83
Anomalie %	-22.3%	-19.2%	-14.5%
T (K)	287,02	286,88	287,25
Anomalie (K)	+3.67	+3.42	+4.06
RG W/m2	135,47	148,08	
Anomalie %	+10%	+17%	NA

Tableau 3 Moyenne sur la fin de siècles des variables climatiques pour le scénario ARPEGE désagrégés
Comparaison des moyennes des méthodes QQ/QN à la fin du siècle 2071-2100
Comparaison de l'ETP moyenne (mm/J)

A.2.2 Comparaison des classes de précipitation

La diminution des précipitations se traduit pour les méthodes RT et QQ, par une augmentation du nombre de jours sans pluie, au détriment des autres classes de précipitation. La diminution

est plus marquée pour les précipitations faibles ($P < 1\text{mm/j}$) et moyenne ($P < 5\text{mm/j}$). La méthode des anomalies, par construction, reproduit la même distribution que les observations du temps présent.

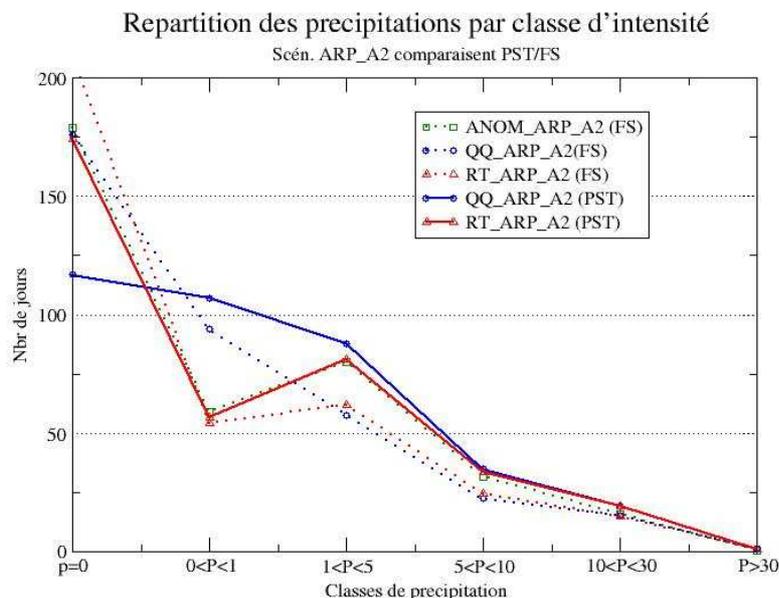


Figure 4 : comparaison des répartitions des jours de pluie Temps présent/Fin du Siècle avec le scénario Arpege A2 désagrégé par la méthode quantile quantile (en trait plein le temps présent et en pointillé la fin du siècle)

A.2.3 Comparaison des persistances

Persistances des périodes de précipitation

Comme on pouvait s'y attendre, on a une diminution de la durée des épisodes pluvieux en fin de siècle (figure 5). La baisse est plus marquée pour la méthode QQ (environ 10% pour un épisode de précipitation de 6 jours), et du fait de la surestimation lors du temps présent, la persistance reste supérieure à ceux qui est observé par SAFRAN. Pour la méthode RT, la diminution est de l'ordre de 3% pour un épisode de précipitation de 6 jours. La méthode des anomalies reproduit les mêmes régimes que ceux observés par SAFRAN en temps présent (on peut considérer qu'elle surestime la durée des épisodes pluvieux).

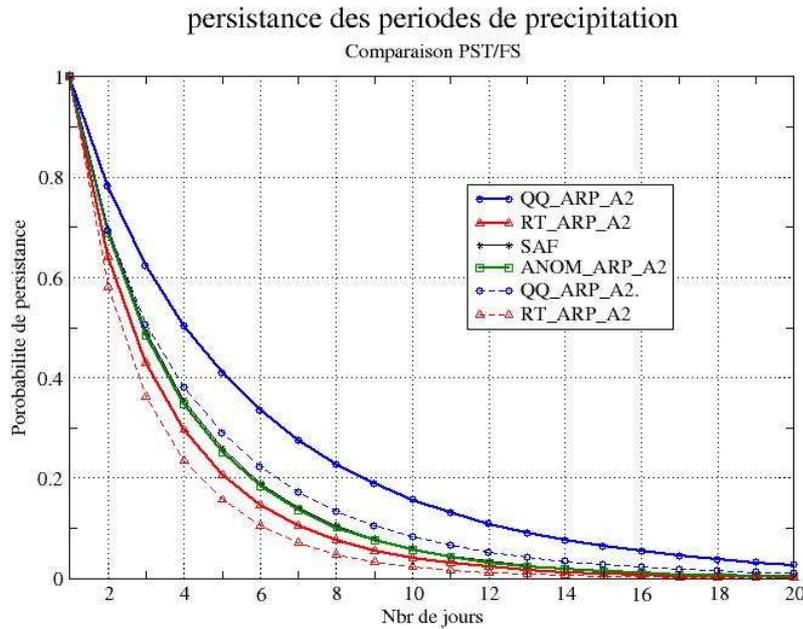


Figure 5 : comparaison des persistances des épisodes pluvieux Temps présent/ fin du siècle avec scénario Arpege A2 avec le scénario Arpege A2 désagrégé par la méthode quantile quantile (en trait plein le temps présent et en pointillé la fin du siècle). Le temps présent SAFRAN en noir se superpose exactement au scénario anomalie.

Persistances des épisodes secs

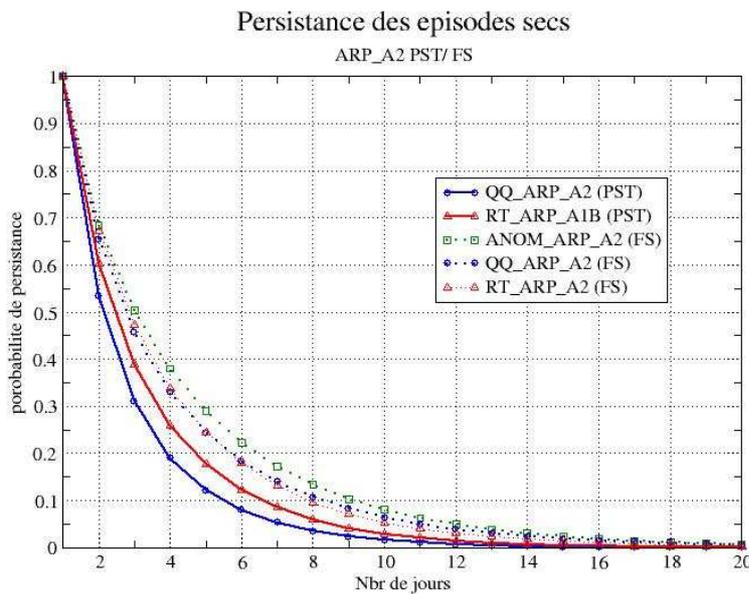


Figure 6: comparaison des persistances d'un épisode sec (P=0) temps présent/fin de siècle avec le scénario Arpege A2 désagrégé par la méthode quantile quantile (en trait plein le temps présent et en pointillé la fin du siècle)

Les épisodes secs sont plus longs en fin de siècle, ce qui est cohérent avec la diminution de l'intensité des précipitations (figure 6). Cependant, la durée des épisodes secs reste inférieure à celle qui est observée en temps présent par SAFRAN, et qui correspond (par construction), à ce qui est simulé par la méthode des anomalies.

B Comparaison des scénarios désagrégés avec la méthode des régimes de temps

B.1-Temps présent 1971-2000

Les scénarios RT sont disponibles de 1960 à 2000. Les données de SAFRAN étant disponibles sur le période 1971-2005, la comparaison ; « temps présent » est faite sur deux périodes : 1970-2000 comparable à SAFRAN et 1960-2000. Les résultats étant comparables sur les 2 périodes, on ne présente ici que les résultats sur la période comparable à SAFRAN.

L'analyse des classes de précipitation et des persistances montre que les résultats sont très cohérents sur le temps présent pour tous les scénarios désagrégés par la méthode des régimes de temps. On retrouve les mêmes caractéristiques que pour le scénario ARPEGE_A2_RT présenté dans la partie A.

B.2-Milieu de siècle 2046-2065

B.2.1 Comparaisons des moyennes des précipitations

Les moyennes journalières des précipitations sont présentées tableau 4. En temps présent, tous les scénarios désagrégés par la méthode RT sont assez homogènes, et en moyenne très proches de la valeur observée par SAFRAN. La dispersion augmente en milieu de siècle, quelques modèles prévoyant une faible augmentation des précipitations (inférieure à 1%) alors que la majorité indique une réduction de l'ordre de -5 à -15%. En moyenne, les précipitations diminuent de 6%

SCENARIOS	MOY PST 1970-2000 mm/j	MOY MS 2046-2065 mm/j	Anomalie (%)
SAFRAN	2.18	NA	NA
INGV_ECHAM4	2,12	1,96	-7.7
IPSL-CM4	2,10	1,78	-15.3
MIROC_2_MEDRES	2,18	2,14	-1.8
MIUB_ECHO_G	2,14	2,15	0.5
MPI_ECHAMP5	2,16	2,17	0.1
MRI_CGCM2_3_2A	2,17	2,10	-3.3
NCAR_CCSM3_0	2,11	1,88	-10.8
ARP-CONT_A1B	2,16	1,86	-13.7
ARPV4_A2	2,15	NA	NA
CCCMA	2,17	2,05	-5.8
CNRM_CM3	2,03	1,84	-9.4
GFDL_CM2_0	2,18	2,07	-4.9
GFDL_CM2_1	2,07	1,97	-5.0
GISS_AOM	2,05	1,90	-7.1
GISS_E_R	2,09	2,07	-0.8
MOYENNE	2,12	1,99	-6,1
ECART TYPE	0,05	0,13	

Tableau 4 : comparaison des précipitations moyennes journalières

La figure 7 présente sur un graphique les comparaisons entre les précipitations temps présent et milieu de siècle pour les scénarios les plus utilisés. On voit que ces scénarios prévoient tous une diminution ou une stabilité dans les précipitations en milieu de siècle.

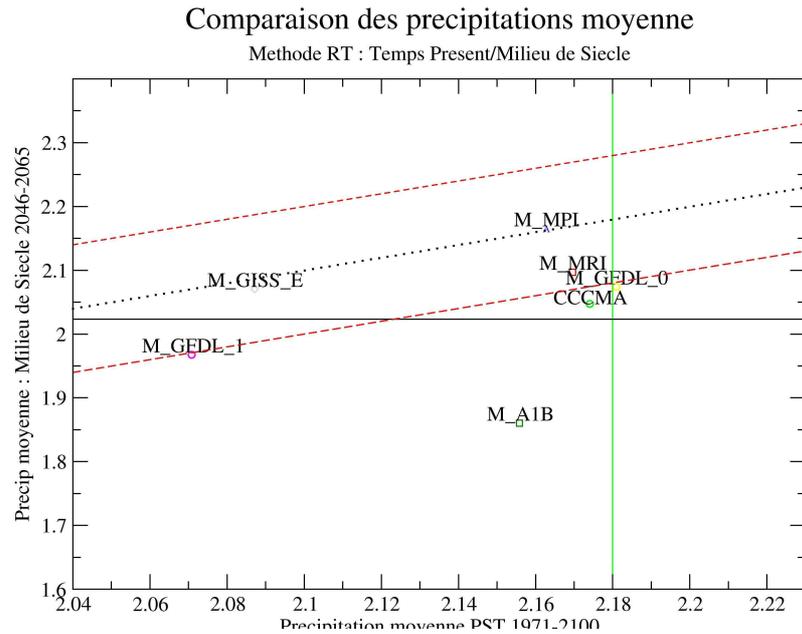


Figure7 : Comparaison des précipitations moyennées sur les périodes temps présent et milieu de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1 :1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2050.

B.2.2 Comparaison des classes de précipitation

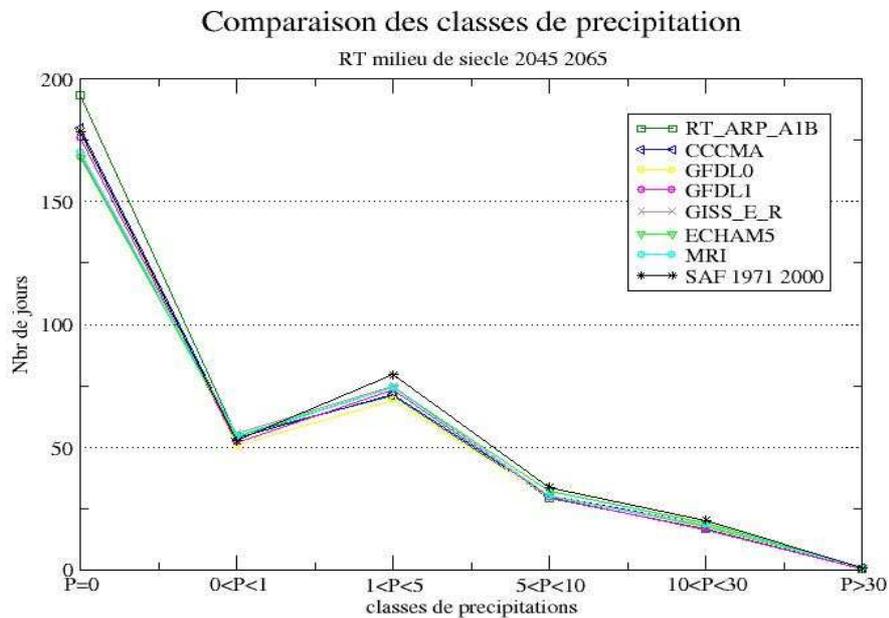


Figure 8 : Comparaison des jours de pluies par classe de précipitation pour le milieu du siècle 2046-206 pour les scénarios désagrégés par la méthode des Régimes de Temps

Les scénarios désagrégés avec la méthode RT qui présentaient en temps présent des classes de précipitations très similaires à SAFRAN deviennent plus dispersés au milieu du siècle. Ainsi le scénario ARPEGE_CONT_A1B (forte résolution) donne le grand nombre de jour sans précipitation, alors que pour les classes de fortes précipitations ($P > 5$) ce scénario est proche des autres. Pour ces classes de précipitation ($P > 5$ mm/j) le nombre de jours de précipitation diminue par rapport au temps présent (Figure 8). Les scénarios ECHAM5 et MRI s'écarte légèrement des autres scénarios notamment pour la classe de précipitation ($P = 0$) pour

laquelle l'occurrence est plus faible dans ces 2 scénarios. Pour les autres classes de précipitation ($P > 1$) tous les scénarios sont cohérents.

B.2.3 Comparaison des persistances

Persistance des épisodes pluvieux

Il y a très peu de changement en milieu du siècle comparé au temps présents (Figure 9). Seule la dispersion augmente un peu. Les scénarios ARPEGE_CONT A1B et ECHAM5 génèrent des périodes de précipitation légèrement plus courtes que les autres mais c'est négligeable (0.5 à 1% de différence de probabilité de persistance).

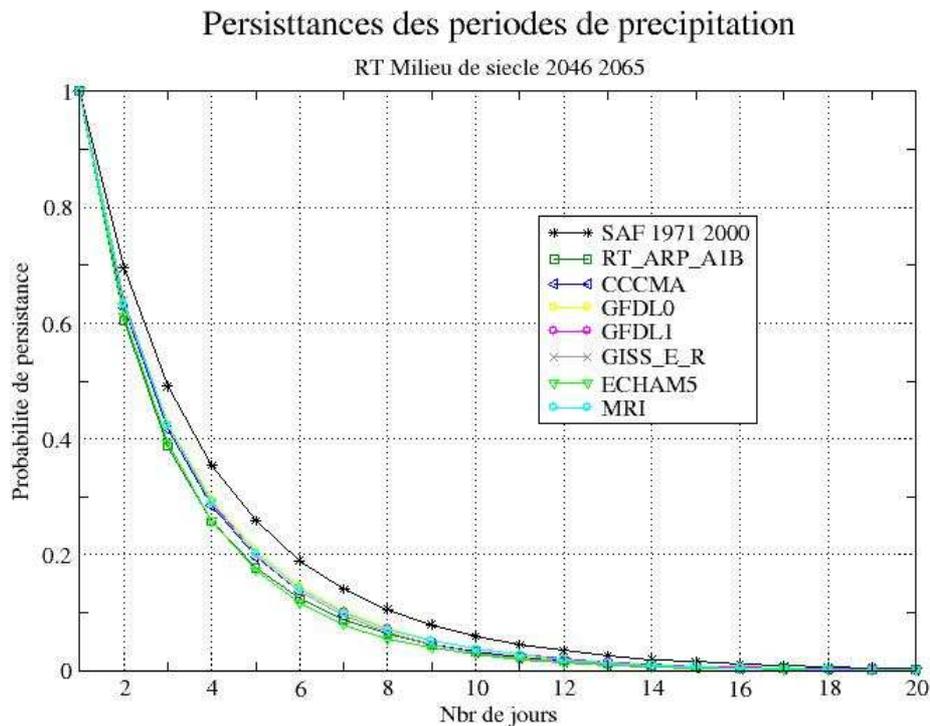


Figure 9: Comparaison des périodes de persistance de précipitation pour le milieu du siècle, pour les scénarios désagrégés par la méthode régime de temps

Persistance des épisodes secs

Pour la persistance des épisodes secs au milieu du siècle, la dispersion entre les scénarios RT est plus marquée. La durée des épisodes sans pluie augmente un peu, mais reste inférieure à ce qui est observé par SAFRAN en temps présent. Le scénario GFDL0 présente des épisodes secs plus longs alors que les scénarios ECHAM5 et ARPEGE_CONT-A1B génèrent les événements secs les plus courts, figure 10. Ainsi la probabilité pour qu'un épisode sec dure 6 jours est de 19% pour GFDL0 et de 12% pour ARPEGE_CONT-A1B et ECHAM5 (16% pour les autres scénarios).

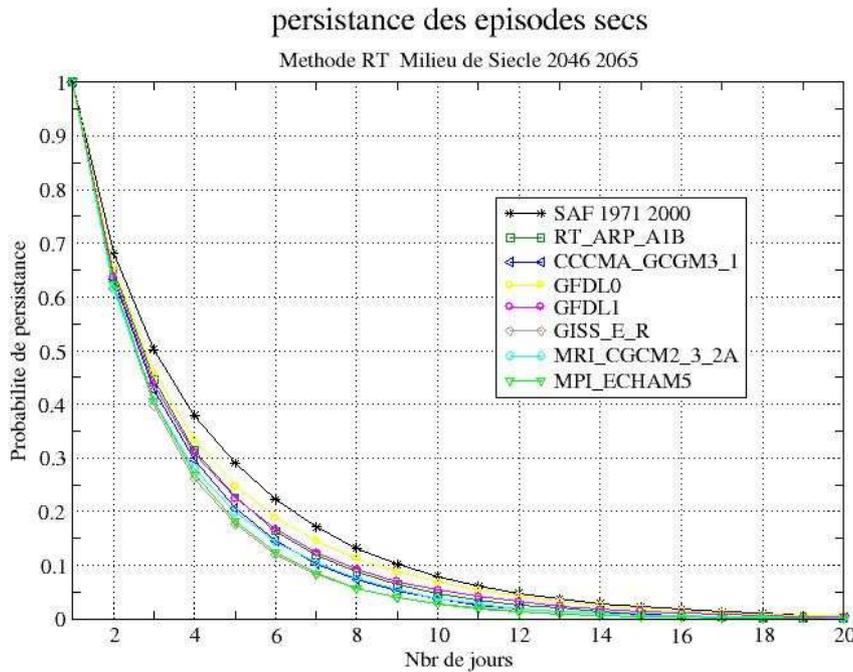


Figure10 Comparaison des persistances des épisodes secs pour le milieu de siècle, entre les scénarios désagrégés par la méthode régime de temps

B.2.4 Comparaison des ETP

ETP SCENARIOS	MOY PST mm/j	MOY MS 2046-2065 mm/j	Anomalie %
SAFRAN	2.14		
INGV_ECHAM4	2,21	2,50	12,9
IPSL-CM4	2,20	2,54	15,8
MIROC_2_MEDRES	2,20	2,68	21,5
MIUB_ECHO_G	2,16	2,49	15,1
MPI_ECHAMP5	2,18	2,46	13,1
MRI_CGCM2_3_2A	2,18	2,42	11,0
NCAR_CCSM3_0	2,21	2,62	18,2
ARPEGE_CONT_A1B	2,20	2,60	18,2
ARPV4_A2	2,20	NA	NA
CCCMA	2,19	2,58	18,0
CNRM_CM3	2,18	2,56	17,5
GFDL_CM2_0	2,19	2,66	21,8
GFDL_CM2_1	2,17	2,51	15,7
GISS_AOM	2,20	2,45	11,4
GISS_E_R	2,20	2,45	11,7
MOYENNE	2,19	2,54	15,9
ECART-TYPE	0,02	0,08	3,5

Tableau 5 valeurs moyennes journalières des ETP pour SAFRAN et chaque scénario désagrégé par la méthode RT en temps présent et en milieu de siècle, et les anomalies correspondantes en %.

En temps présent, les scénarios ont une ETP proche de celle observée avec SAFRAN (tableau 5, figure 11). Au milieu du siècle, tous les scénarios prévoient une augmentation de l'ETP, en moyenne de 16%. L'augmentation est plus marquée pour les scénarios GFDL0 et MIROC, et

plus faibles pour les scénarios GISS. Les scénarios ARPEGE –CONT-A1B, GFDL0 et CCCMA enregistrent les ETP les plus élevées en milieu de siècle (Figure 11).

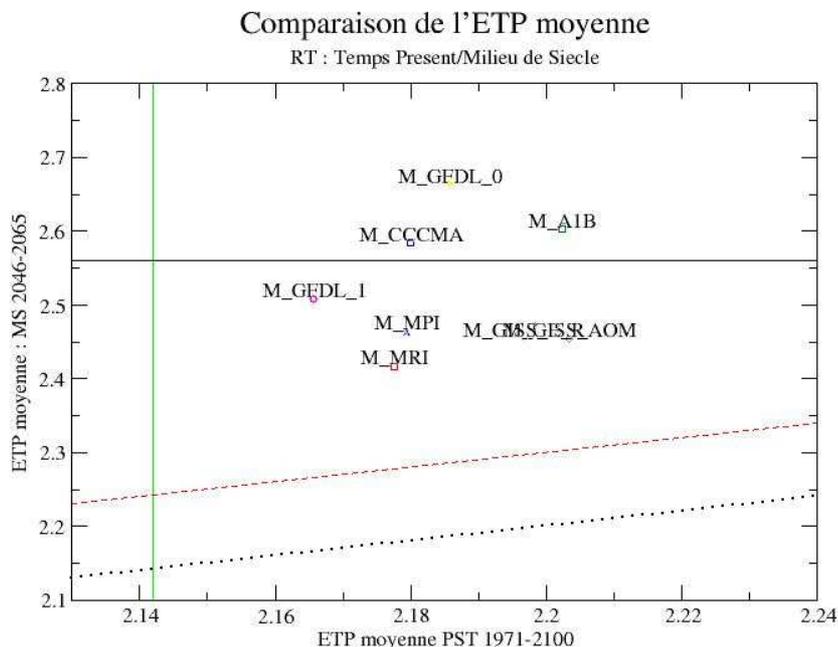


Figure11- : Comparaison des ETP journalière en moyennes sur les périodes temps présent et milieu de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1 :1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2050.

B.2.5 Comparaison des températures moyennes journalières

T SCENARIOS	MOY PST 1970-2000 (K)	MOY MS 2046-2065 (K)	Anomalie (K)
SAFRAN	283,2		
INGV_ECHAM4	283,5	285,5	2,1
IPSL-CM4	283,5	285,7	2,2
MIROC_2_MEDRES	283,5	286,6	3,1
MIUB_ECHO_G	283,4	285,7	2,3
MPI_ECHAMP5	283,4	285,5	2,1
MRI_CGCM2_3_2A	283,5	285,4	1,9
NCAR_CCSM3_0	283,6	286,0	2,4
RT_ARP_A1B	283,5	285,8	2,4
RT_ARP_A2	283,5	NA	NA
CCCMA	283,4	285,9	2,5
CNRM_CM3	283,5	285,8	2,4
GFDL_CM2_0	283,5	286,1	2,7
GFDL_CM2_1	283,3	285,1	1,7
GISS_AOM	283,5	285,2	1,7
GISS_E_R	283,5	285,1	1,7
MOYENNE	283,5	285,7	2,2
ECART-TYPE	0,1	0,4	

Tableau 6 valeurs moyennes journalières des températures pour SAFRAN et chaque scénario désagrégé par la méthode RT en temps présent et en milieu de siècle, et les anomalies correspondantes K.

En temps présent, les températures sont légèrement supérieures à celles observées par SAFRAN (+0.3K en moyenne), et relativement homogènes (écart type de 0.1K). Tous les scénarios prévoient une nette augmentation de la température, en moyenne de 2.2K. Les scénarios ARPEGE –CONT-A1B, GFDL0 et CCCMA enregistrent les températures les plus élevées (figure 12) ce qui est cohérent leurs moyennes des ETP. Les augmentations de températures sont plus élevées pour les scénarios MIROC et GFDL0, et plus faibles pour les scénarios GISS.

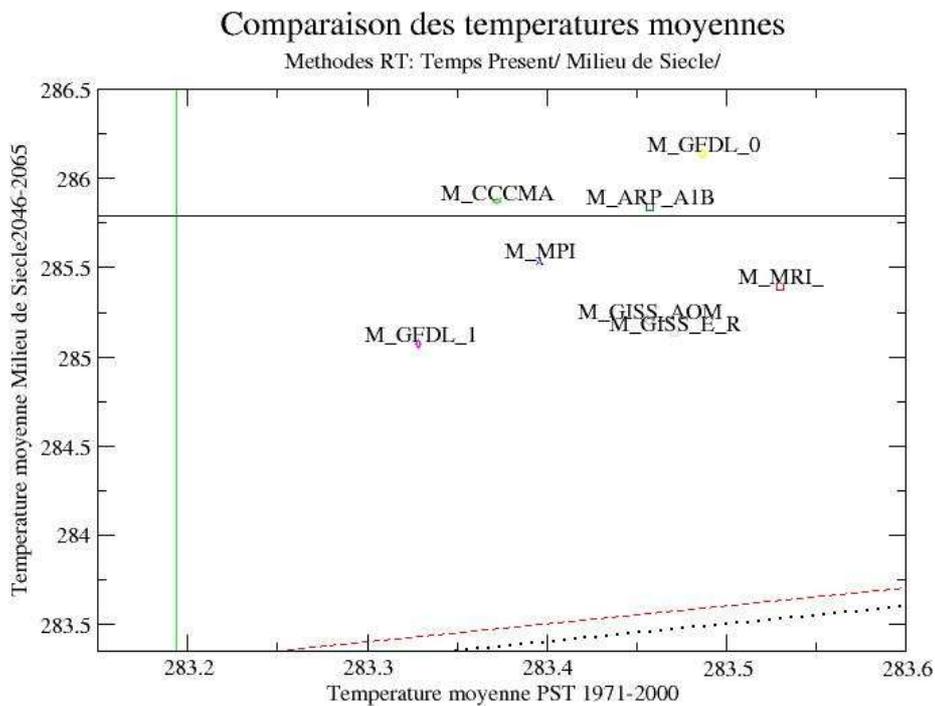


Figure12 : Comparaison des précipitations moyennées sur les périodes temps présent et milieu de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1 :1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2050.

B.3-Fin de siècle 2080-2100

B.3.1 Comparaisons des moyennes des précipitations

Les moyennes journalières calculées sur les périodes temps présent 1970 2000 et fin de siècle 2080 2100 sont représentées dans le tableau 7.

La diminution des moyennes des précipitations est plus marquée en fin de siècle, avec une moyenne d'environ -12%. La diminution est plus sensible pour les scénarios ARPEGE-CONT-A1B et ARPEGE-V4-A2. Cela pourrait être dû à des effets liés à la résolution spatiale qui est meilleure pour ces 2 scénarios. Ils sont donc capables de mieux percevoir les effets des reliefs et de la proximité avec la mer. La figure 13 montre que pour les scénarios utilisés, pratiquement tous sont sous la barre des -10% (pointillés rouges) sauf le scénario GISS_ER qui enregistre une légère augmentation des précipitations par rapport au temps présent. Le scénario CCCMA génère une augmentation négligeable de la moyenne annuelle par rapport au milieu du siècle mais il reste tout de même inférieur à la moyenne du temps présent. Les

scénarios GFDL0, GFDL1 et ARPEGE A2 sont très proches de la moyenne RT et le scénario ARPEGE-CONT A1B enregistre la plus importante diminution des précipitations.

PRECIP SCENARIOS	MOY PST 1970-2000 mm/j	MOY FS 2081-2100 mm/j	Anomalie (%)
SAFRAN	2,14		
INGV_ECHAM4	2,12	1,84	-13,2
IPSL-CM4	2,10	1,76	-16,0
MIROC_2_MEDRES	2,18	1,96	-10,0
MIUB_ECHO_G	2,14	1,73	-19,0
MPI_ECHAMP5	2,16	2,03	-6,2
MRI_CGCM2_3_2A	2,17	2,04	-6,0
NCAR_CCSM3_0	2,11	1,91	-9,5
ARPEGE_CONT_A1B	2,16	1,69	-21,8
ARPV4_A2	2,15	1,65	-23,4
CCCMA	2,17	2,07	-4,9
CNRM_CM3	2,03	1,70	-16,5
GFDL_CM2_0	2,18	1,89	-13,5
GFDL_CM2_1	2,07	1,87	-9,8
GISS_AOM	2,05	1,85	-9,4
GISS_E_R	2,09	2,13	2,0
MOYENNE	2,12	1,87	-11,81
ECART-TYPE	0,05	0,15	6,82

Tableau 7 valeurs moyennes journalières des précipitations pour SAFRAN et chaque scénario désagrégé par la méthode RT en temps présent et la fin du siècle, et les anomalies correspondantes en %

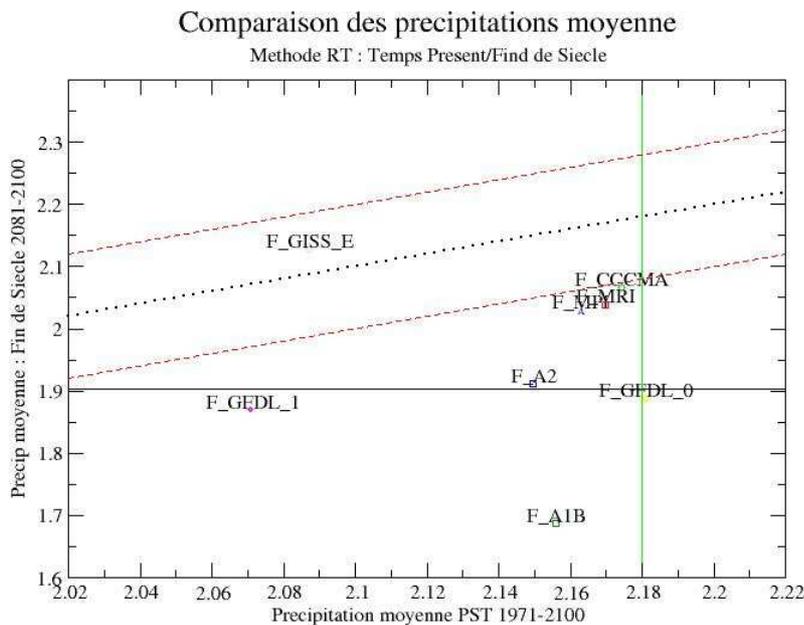
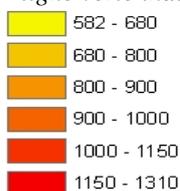


Figure 13 : Comparaison des précipitations journalières moyennées sur les périodes temps présent et fin de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1 :1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2100.



B.3.2 Comparaison des classes de précipitation

Pour la fin du siècle la dispersion entre les différents scénarios (désagrégées avec la méthode régime de temps) est plus importante, notamment pour les classes ($P=0$) et les classes à précipitations moyennes ($1\text{mm/j} < P < 5\text{mm/j}$). Pour les autres classes, les scénarios restent cohérents. Pour le scénario APRPEGE A2 et ARPEGE_CONT_A1B, le nombre de jour sans pluie augmente sensiblement. Cela est cohérent avec la diminution plus marquée des précipitations dans ces scénarios. De plus, on a en général une diminution de l'occurrence des classes de précipitation $1\text{mm/j} < P < 5\text{mm/j}$, et dans une moindre mesure, des autres classes.

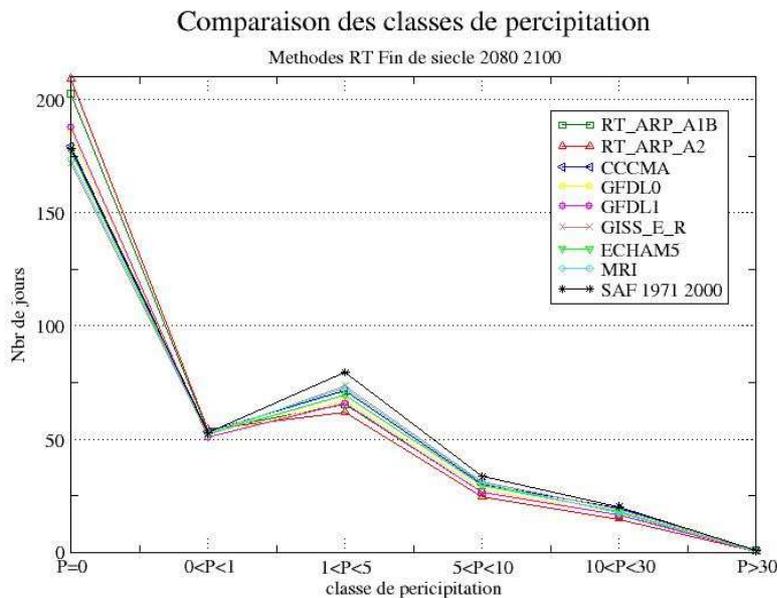


Figure 14 : Comparaison des jours de pluies par classe de précipitation pour la fin du siècle 2080-2100, pour les scénarios désagrégés par la méthode des Régimes de Temps

B.3.3 Comparaison des persistances

Persistance des épisodes pluvieux

Bien que le nombre de jours pluvieux évolue pour tous les modèles, la persistances des épisodes pluvieux change assez peu, sauf pour le scénario ARPEGE A2 et ARPEGE-CONT-A1B (figure 15). En effet, se sont les seuls scénarios pour laquelle la durée des épisodes de pluie diminue sensiblement. Pour les autres scénarios, lorsqu'il pleut, la durée de l'épisode de pluie est comparable au temps présent (même si globalement, il y a moins d'épisode de pluie).

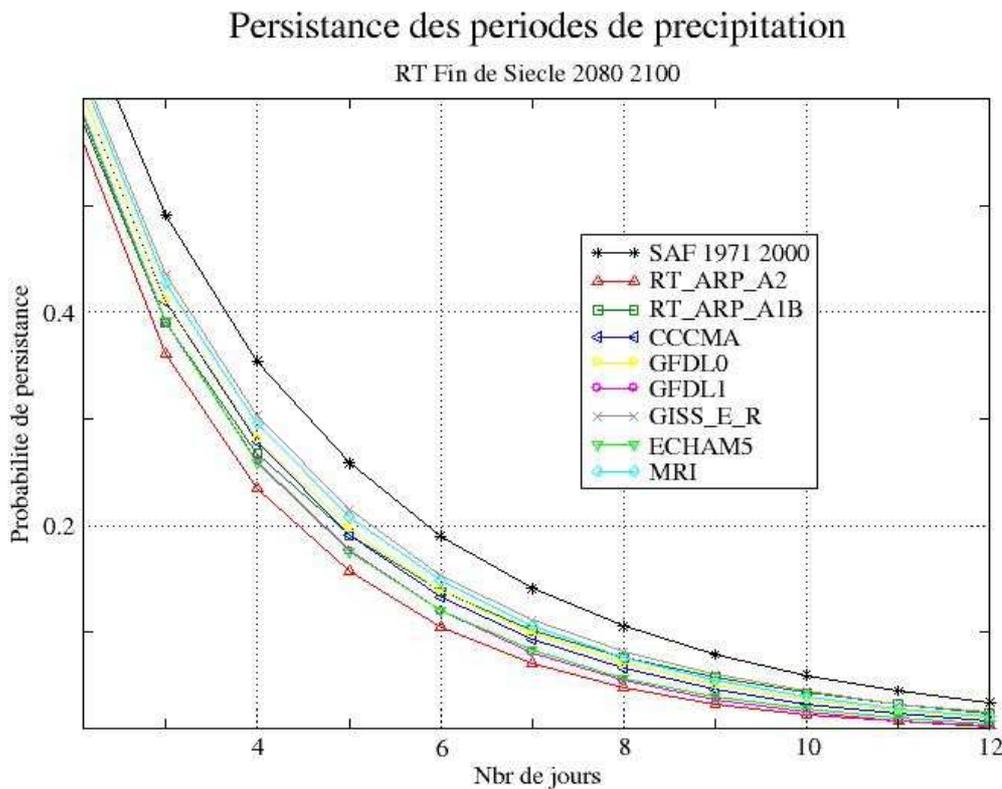
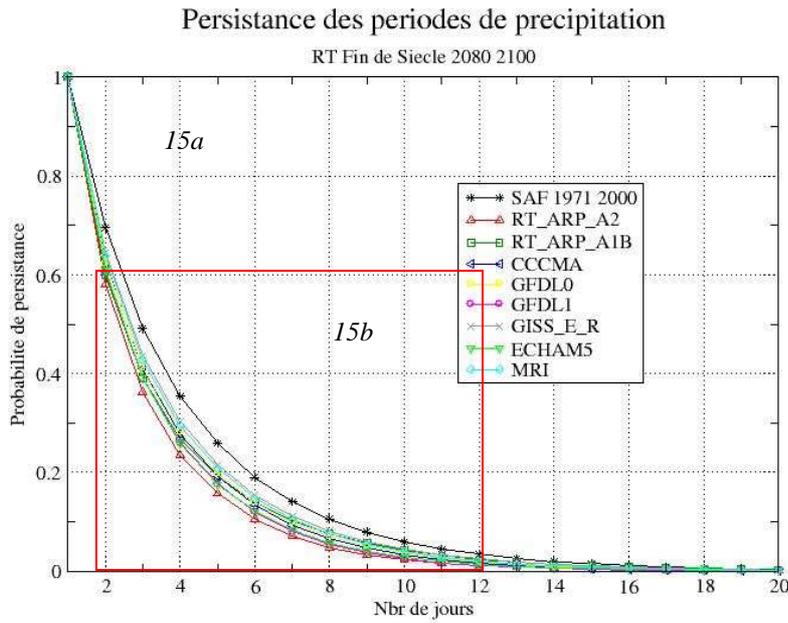


Figure 15a et b : Comparaison de la persistance des épisodes pluvieux pour la fin du siècle pour les scénarios désagrégés par la méthode régime de temps

Persistence des épisodes secs

Contrairement à la persistance des épisodes pluvieux, la persistance des temps secs augmente pour tous les modèles (figure 16), ce qui est cohérent avec l'augmentation des jours sans pluies. L'augmentation est plus marquée pour le scénario GFDL0, et négligeable pour le

scénario ECHAM5. Dans tous les cas, la persistance d'un temps sec reste inférieure à celle obtenue par SAFRAN sur le temps présent

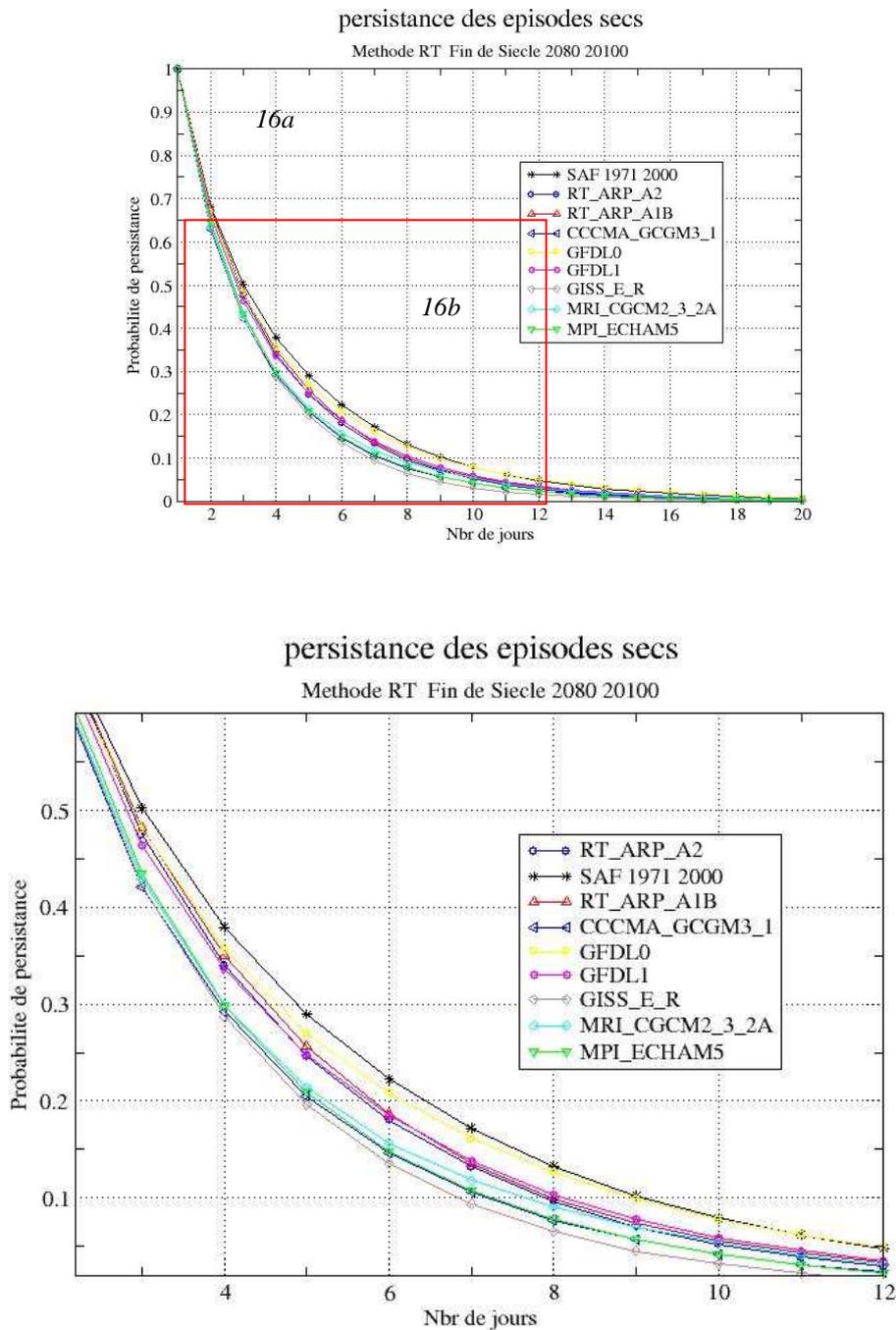


Figure 16a et b Comparaison des périodes de persistance des épisodes secs pour la fin du siècle, entre les scénarios désagrégés par la méthode régime de temps

B.3.4 Comparaison des ETP en fin de siècle

En fin de siècle L'ETP moyenne augmente encore un peu (+23% en moyenne), mais la majorité du signal était déjà acquise à l'horizon 2050 (+16%). Il y a une forte variabilité entre les modèles, de 10% pour ECHAM4 à plus de 30% pour ARPV4_A2, GFDL0 et MIUB.

Sur la figure 17 on distingue deux classes distinctes séparées par la valeur moyenne de RT. D'un coté les scénarios dont l'ETP est inférieure à la moyenne RT qui sont en l'occurrence les scénarios : CCCMA, MRI, GISS_E_R et ARPEGE A1B. De l'autre coté les scénarios GFDL, le MPI_ECHAM5 et Le ARPEGE A2 qui présentent des ETP supérieures à la moyenne RT.

ETP SCENARIOS	MOY PST 1970 200 mm/j	MOY FS 2081-2100 mm/j	Anomalie %
SAFRAN	2,18	NA	
INGV_ECHAM4	2,21	2,43	10,0
IPSL-CM4	2,20	2,76	25,5
MIROC_2_MEDRES	2,20	2,76	25,2
MIUB_ECHO_G	2,16	2,99	38,1
MPI_ECHAM5	2,18	2,74	25,7
MRI_CGCM2_3_2A	2,18	2,58	18,6
NCAR_CCSM3_0	2,21	2,69	21,7
ARP-CONT_A1B	2,20	2,56	16,4
ARPV4_A2	2,20	2,88	30,8
CCCMA	2,19	2,63	20,2
CNRM_CM3	2,18	2,73	25,3
GFDL_CM2_0	2,19	2,90	32,5
GFDL_CM2_1	2,17	2,73	26,2
GISS_AOM	2,20	2,49	13,1
GISS_E_R	2,20	2,56	16,6
MOYENNE	2,19	2,70	23,0
ECART-TYPE	0,02	0,15	

Tableau 8 valeurs moyennes journalières des ETP pour SAFRAN et chaque scénario désagrégé par la méthode RT en temps présent et la fin du siècle, et les anomalies correspondantes en %

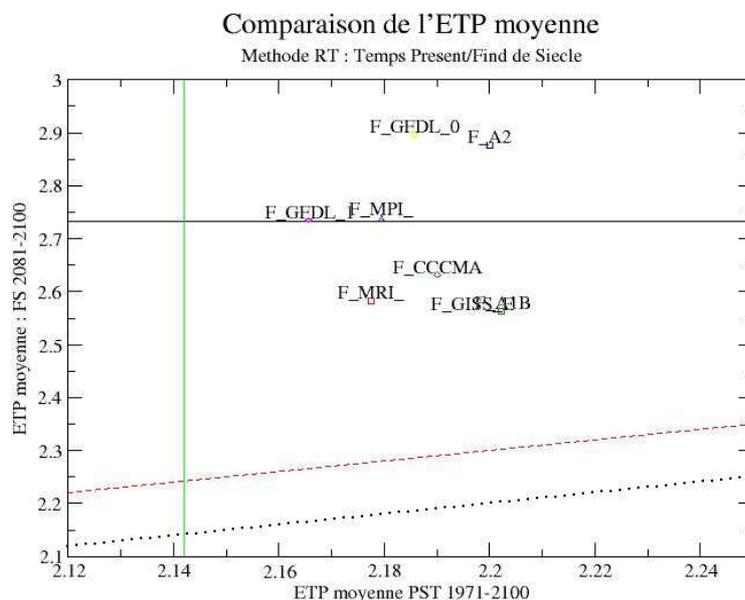


Figure 17-a : Comparaison des ETP moyennées sur les périodes temps présent et fin de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1:1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2100

B.3.5 Comparaison des températures en fin de siècle

En moyenne, les températures augmentent encore d'un degré dans la seconde partie du siècle, conduisant à une température de 3° plus chaude en fin de siècle qu'en temps présent. La dispersion est assez grande entre les modèles, avec des évolutions de température allant d'environ 2K pour les scénarios GISS jusqu'à plus de 3.5K pour ARPV4_A2, GFDL0 et MIUB.

SCENARIOS	MOY PST 1970-2000 (K)	MOY FS 2081-2100 (K)	Anomalie (K)
SAFRAN	283,19		
IPSL-CM4	283,5	286,9	3,4
MIUB_ECHO_G	283,4	287,7	4,3
MPI_ECHAMP5	283,4	286,8	3,4
MRI_CGCM2_3_2A	283,5	286,1	2,6
NCAR_CCSM3_0	283,6	286,5	2,8
ARP-CONT_A1B	283,5	286,5	3,1
ARPV4_A2	283,5	287,1	3,6
CCCMA	283,4	286,6	3,2
CNRM_CM3	283,5	286,5	3,0
GFDL_CM2_0	283,5	287,3	3,8
GFDL_CM2_1	283,3	286,4	3,0
GISS_AOM	283,5	285,3	1,9
GISS_E_R	283,5	285,7	2,2
MOYENNE	283,5	286,6	3,1
ECART-TYPE	0,1	0,6	0,7

Comparaison des températures moyennes

Methode RT: Temps Present/Fin de Siecle

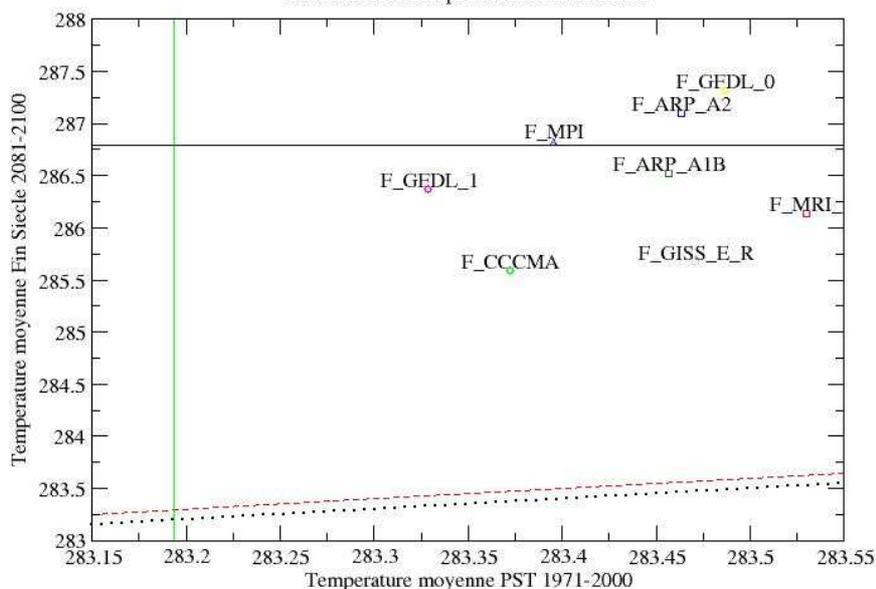


Figure 18 : Comparaison des précipitations moyennées sur les périodes temps présent et fin de siècle. La courbe pointillée noire est la droite 1 :1, et les pointillés rouges indiquent les courbes +et- 10%. La ligne verte indique la moyenne observée par SAFRAN, le trait noir la moyenne des modèles à l'horizon 2100

C-Comparaison des scénarios désagrégés avec la méthode Quantile-Quantile

Introduction

Afin d'essayer d'améliorer la répartition temporelle des précipitations avec la méthode Quantile Quantile, un nouveau jeu de données a été préparé avec quelques modifications dans la méthode. En particulier, les quantiles de précipitations ne sont plus corrigés au pas de temps 6-horaires mais au pas de temps journalier. Ce jeu de donnée a été généré pour les scénarios ARP_A1B et A2. Dans cette partie, on se propose donc à comparer les deux jeux de données.

La disponibilité des données est schématisée dans le tableau ci-dessous.

Scénarios	ARPEGEV4		A1B	A2
Méthodes	PST	FS		FS
QQJ	1950-2010	2071_2100		2071-2100
QQH	1950-2010	2071_2100		2071-2100

Tableau 9 : Liste des scénarios analysé dans cette partie

Comme dans les cas précédent ces données sont comparées deux périodes, Temps Présent 1970 2000 comparable a SAFRAN et Fin de Siècle 20710 2100.

C.1 Comparaison sur le temps présent 1970 2000

Les précipitations moyennes (temps présent), résultant da la désagrégation des deux scénarios (ARP_A1B et ARP_A2) aux pas de temps horaires et journaliers, sont très proches et cohérentes, tableau 10.

Scénarios	A1B	A2
	PST	PST
QQH	2,217	2,217
QQJ	2,144	NA

Tableau 10 comparaison des moyennes annuelles des précipitations journalières et pas de temps 6 heures entre les scénarios Arpege A1B et Arpege A2 désagrégés avec la méthode Quantile Quantile

NB la moyenne des précipitations pour SAFRAN est de 2.14 mm/J

C.1.1 Comparaison des persistances

comparaison des persistances des épisodes pluvieux

Pour le temps présent (1970-2000) les persistances des épisodes pluvieux du scénario ARPEGEV4 journalier et au pas de temps 6heures sont similaires. Tous deux génèrent en générale des périodes de précipitation plus longues que SAFRAN. La probabilité pour qu'un événement pluvieux dure 6 jours est de 19% pour SAFRAN et de 33 % et 34% respectivement pour QQh et QQJ. De plus la probabilité pour qu'une pluie dure 20 jours est nulle pour SAFRAN alors qu'elle vaut au moins 0.2 pour la méthode Quantile Quantile, figure 19.

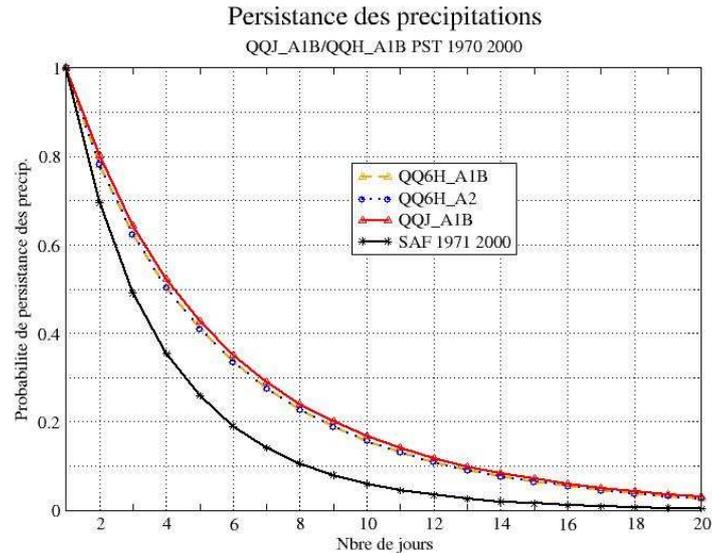


Figure 19: comparaison des persistances d'un épisode pluvieux sur le temps présent pour le scénario Arpege A1B désagrégé par la méthode quantile quantile au pas de temps horaire et journalier

comparaison des persistances des épisodes secs

Contrairement aux persistances des précipitations, les épisodes secs générés par la méthode Quantile Quantile au pas de temps journalier sont très proches de SAFRAN avec un petit écart de moins de 2%. Par contre la même méthode désagrégée au pas de temps 6 heures, présente des épisodes secs plus courts par rapport à SAFRAN et au pas de temps journaliers. La probabilité pour qu'un épisode sec dure 6 jours est de 21% pour SAFRAN 19 % pour la méthode Quantile Quantile au pas journalier et 10% seulement pour la même méthode désagrégée au pas de temps 6 heures. Ainsi, on a une nette amélioration de persistance des temps sec avec la nouvelle méthode.

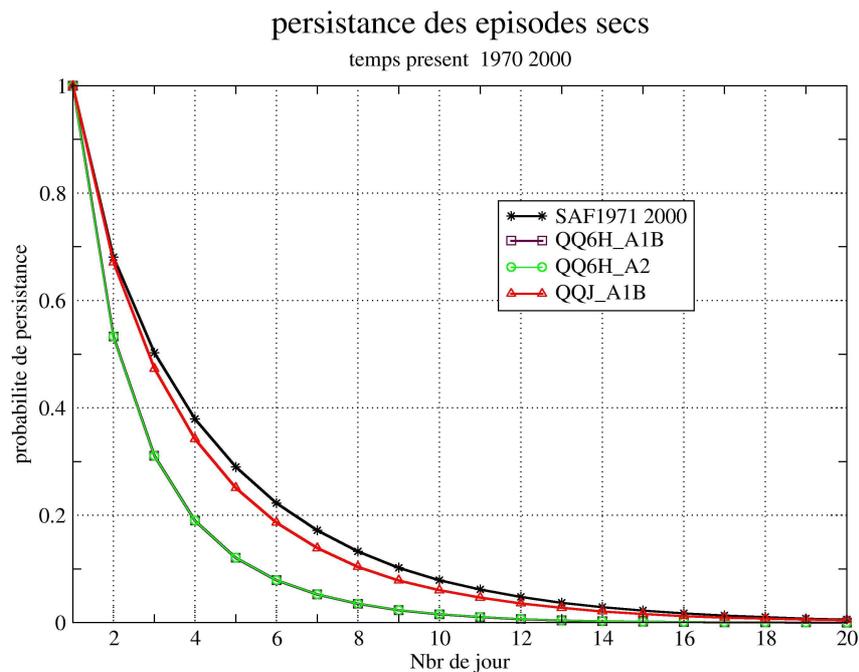


Figure 20: comparaison des persistances d'un épisode de temps sec sur le temps présent pour le scénario Arpege A1B désagrégé par la méthode quantile quantile au pas de temps horaire et journalier

A noter aussi que les deux scénarios ARPEGE A1B et ARPEGE A2 désagrégés au pas de temps 6 heures génèrent des persistances d'épisodes secs et de précipitations identiques.

C.2 Comparaison sur la fin du siècle 2071 2100

En fin de siècle les deux méthodes (pas de temps 6 heures et journalier) permettent également d'obtenir des précipitations moyennes similaires et cohérentes, tableau 11.

Scénarios	A1B	A2
	FS	FS
QQH	1,815	1,815
QQJ	1,86	1,798

Tableau 11 comparaison des moyennes annuelles des précipitations journalières et pas de temps 6 heures entre les scénarios Arpege A1B et Arpege A2 desagregés avec la méthode Quantile Quantile

C.2.1 Comparaison des persistances des épisodes pluvieux

Comme pour le temps présent, les persistances des épisodes pluvieux sont très comparables au pas de temps 6h et journalier en fin de siècle. Dans tous les cas les précipitations diminuent en fin de siècle. La figure ci-dessous permet de constater que la méthode quantile quantile génère des périodes de précipitation plus courtes en fin de siècle, au pas de temps horaire ou journalier. La probabilité pour qu'un épisode pluvieux dure 6 jours passe de 27% au temps présent à 23% pour la fin du siècle.

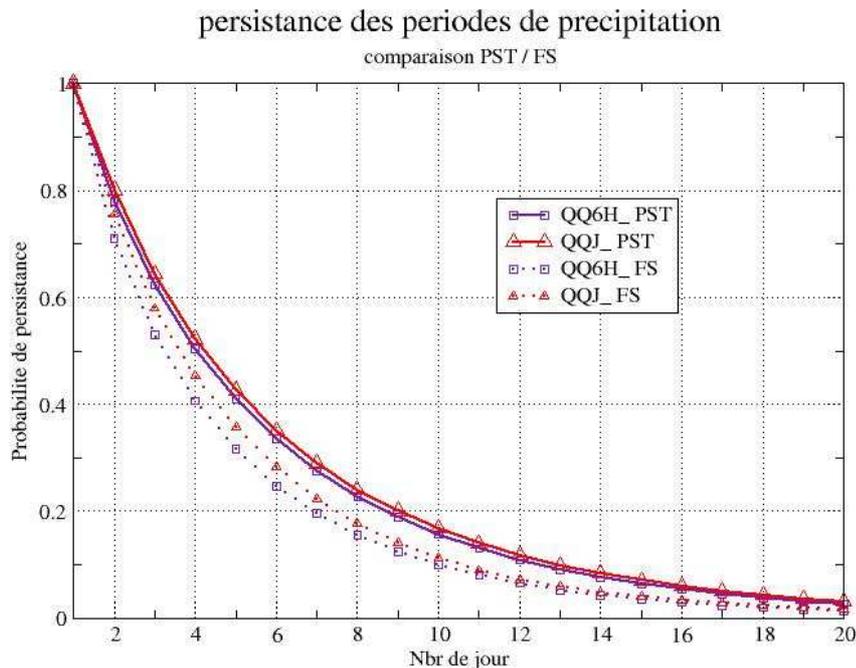


Figure 22 : Comparaison des persistances de précipitations temps présent Vs fin de siècle.

C.2.2 Comparaison des persistances des épisodes secs.

Comme pour le temps présent, on constate des différences marquées entre les scénarios quantile-quantile au pas de temps 6H et Journalier. Les durées des épisodes secs sont plus longues avec la méthode au pas de temps journalier. La probabilité pour qu'un événement sec

dure 6 jours est de l'ordre de 18 à 19% pour le pas de temps 6heures et passe à plus de 24 % pour le pas de temps journalier.

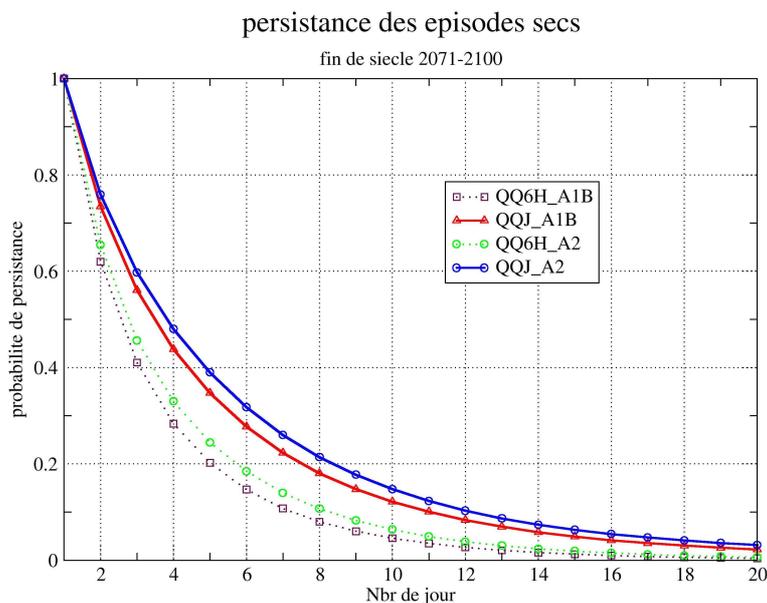
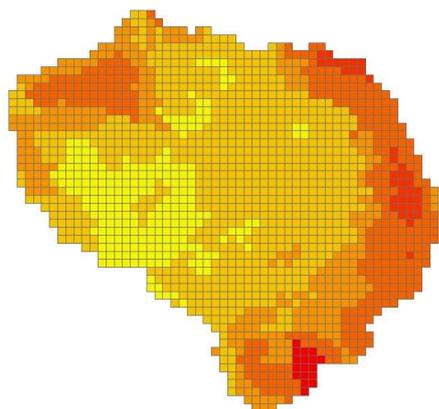


Figure 23 Comparaison de persistance des épisodes sec au pas de temps 6 heures et journalier pour la fin du siècle

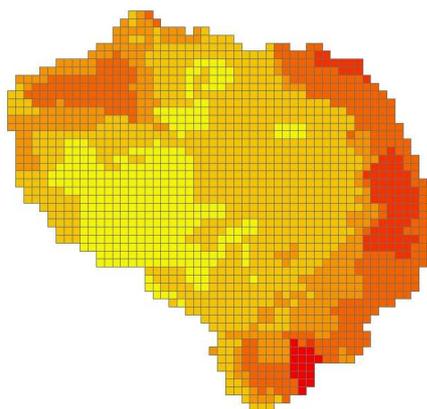
D-Comparaison spatiale des variables : Précipitations, ETP et Températures

I. Temps présent

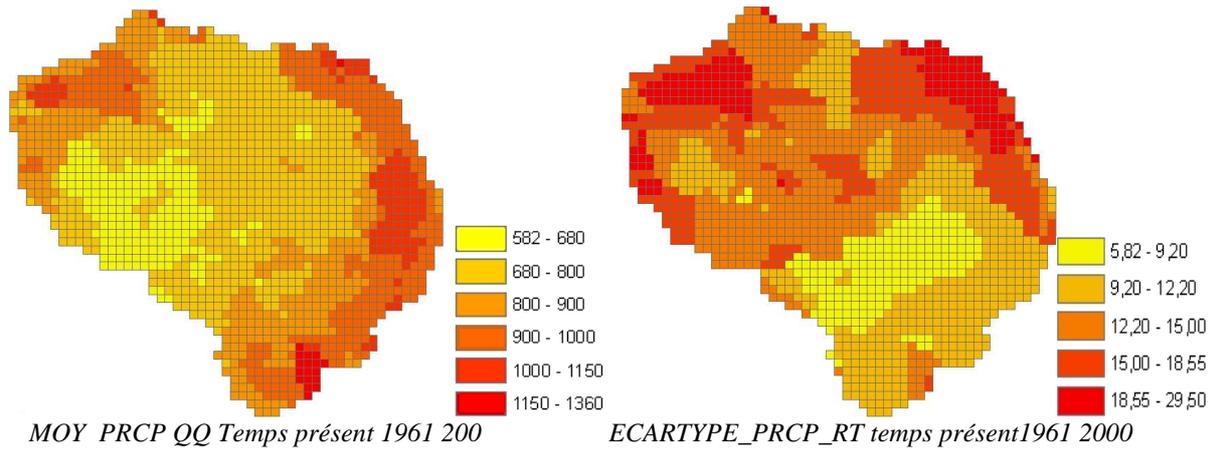
I.1 Précipitations



MOY PRCP SAFRAN 1971 2000



MOY PRCP RT Temps présent 1961 2000

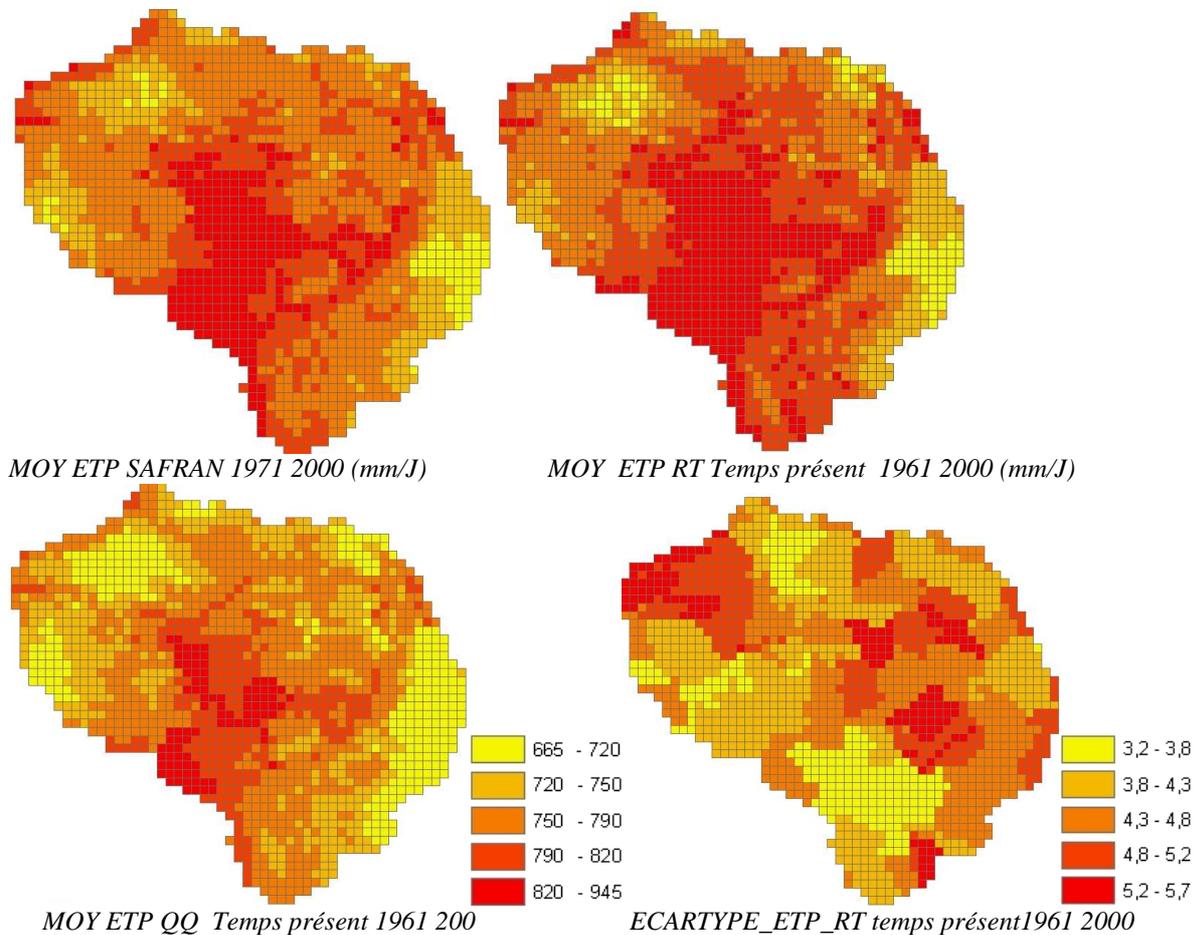


PRCPmm/j	SAF	RT	QQ
MOY	797,7004	791,2984	820,6782
MAX	1344,3590	1309,3090	1360,8860
MIN	618,4380	582,7369	632,9410

ECART mm/j	RT	QQ
MOY	13,36	0,00
MAX	29,49	0,00
MIN	5,83	0,00

Commentaire : les moyennes spatiales sont assez proches entre SAFRAN et les 2 méthodes mais la dispersion est plus importante pour la méthode RT notamment dans la partie nord du bassin. Cela est peut être dû au fait qu’il y a plus de scénarii climatiques dans la méthode RT que dans la méthode QQ.

I.2 ETP

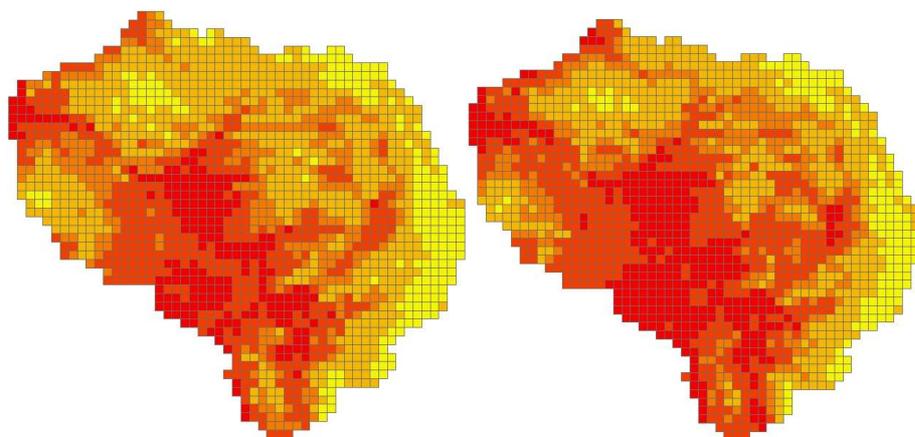


ETP mm/j	SAF	RT	QQ
MOY	782,6406	793,5558	756,6256
MAX	902,648	942,3261	873,8680
MIN	694,684	693,8916	665,1160

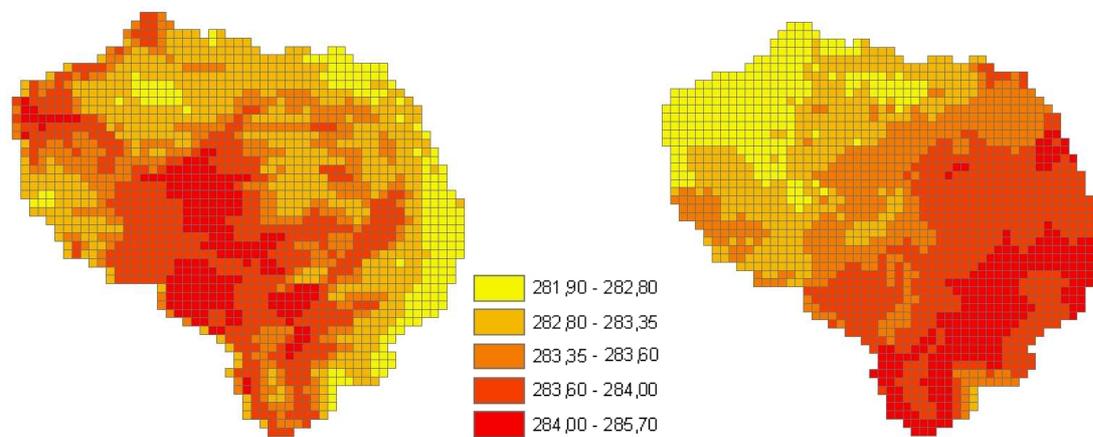
ECART_ETPmm/j	RT	QQ
MOY	4,4466	0
MAX	5,6826	0
MIN	3,2455	0

Commentaire Les cartes de la moyenne annuelle de l' ETP sont également assez proches notamment entre SAFRAN et la méthode RT et la dispersion de RT est relativement faible (comparativement aux précipitations)

I.3 Températures



Température MOY SAFRAN 1971 2000 (K) Température MOY RT Temps présent 1961 2000 (K)



Température MOY QQ Temps présent 1961 200

ECARTYPE_TA_RT temps présent 1961 2000

ETP mm/j	SAF	RT	QQ
MOY	283,4006	283,5469	283,4223
MAX	285,3817	285,6833	285,2861
MIN	281,9596	281,9848	282,0187

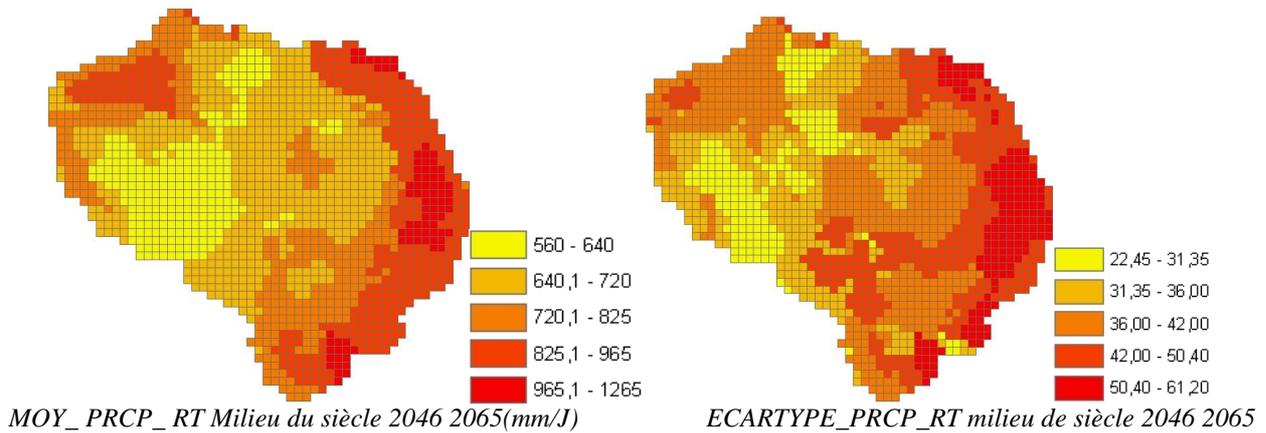
ECARTYPE	RT	QQ
MOY	0,0911	0
MAX	0,1059	0
MIN	0,0688	0

Commentaire Les températures sont presque similaires entre SAFRAN et les deux méthodes d'autant plus que la dispersion est presque nulle (0.0911 en moyenne). Plus élevée dans le sud et l'est du bassin.

II. Milieu de siècle

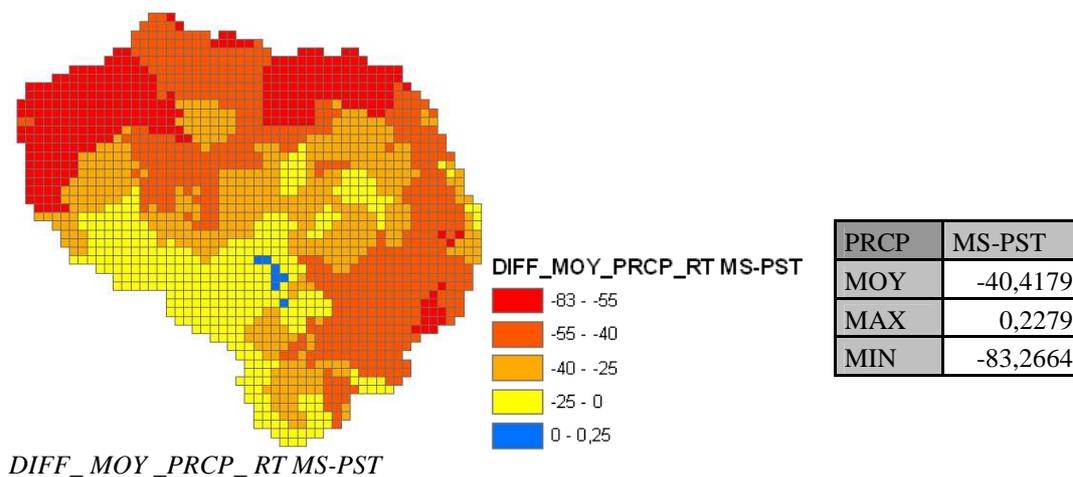
Pour le milieu de siècle, on ne dispose que des scénarii désagrégés par la méthode RT.

II.1 Précipitations



PRCP_RT mm/j	MS
MOY	750,8804
MAX	1264,2561
MIN	561,2368

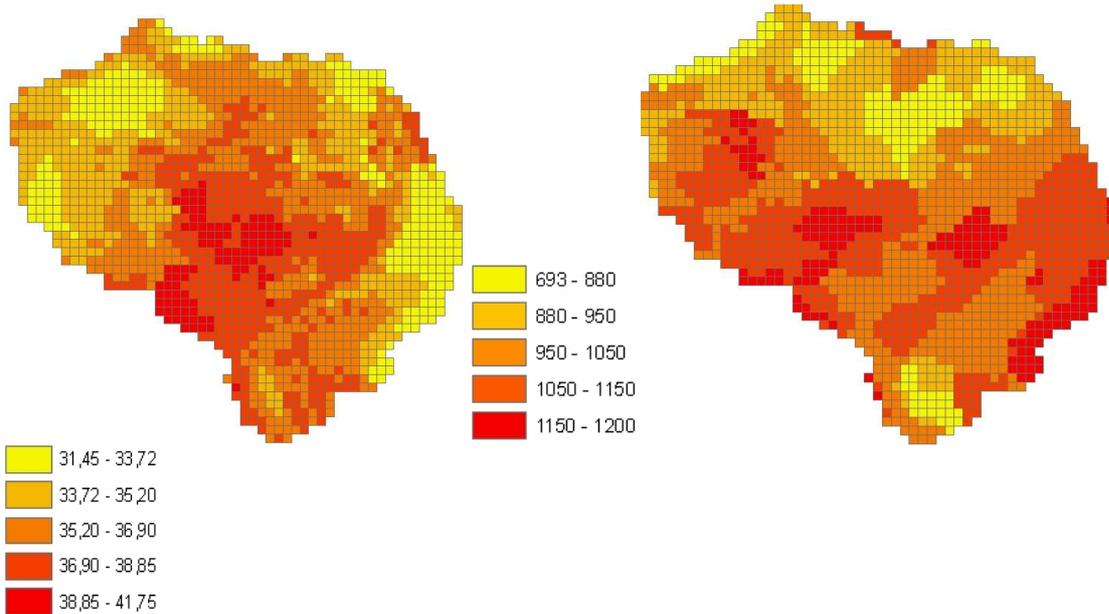
ECAR-PRCP_RT	MS
MOY	39,7666
MAX	61,1634
MIN	22,4882



PRCP	MS-PST
MOY	-40,4179
MAX	0,2279
MIN	-83,2664

Commentaire : les précipitations diminuent dès la moitié du siècle (de 791 en moyenne du PST à 750mm/an en milieu de siècle). Les écarts les plus importants sont situés dans le Nord Ouest (Normandie) avec des écarts entre -55 à -83mm/an (rôle des interactions avec la Mer ?). Par contre au centre du bassin les différences sont très faibles et peu même voir une légère augmentation des précipitations moyenne 0,25mm/j (en Bleu). Les précipitations diminuent d'environ 30mm/an sur les nappes externes du bassin (zones où les débits s'écoulent rapidement). La dispersion en milieu de siècle est 2 fois plus élevée que le temps présent et les différents scénarios s'écartent plus de la moyenne.

II.2 ETP

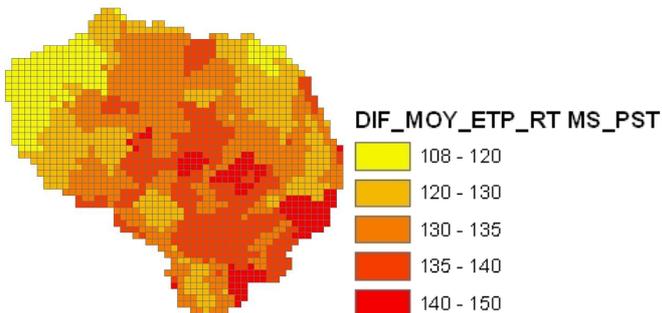


ETP MOY RT Milieu du siècle 2046 2065(mm/J)

ECARTYPE_ETP_RT milieu de siècle 2046 2065

ETP_RT mm/j	MS
MOY	924,4434
MAX	1091,9662
MIN	808,8697

ECART_ETP_RT	MS
MOY	36,2688
MAX	41,7419
MIN	31,4627

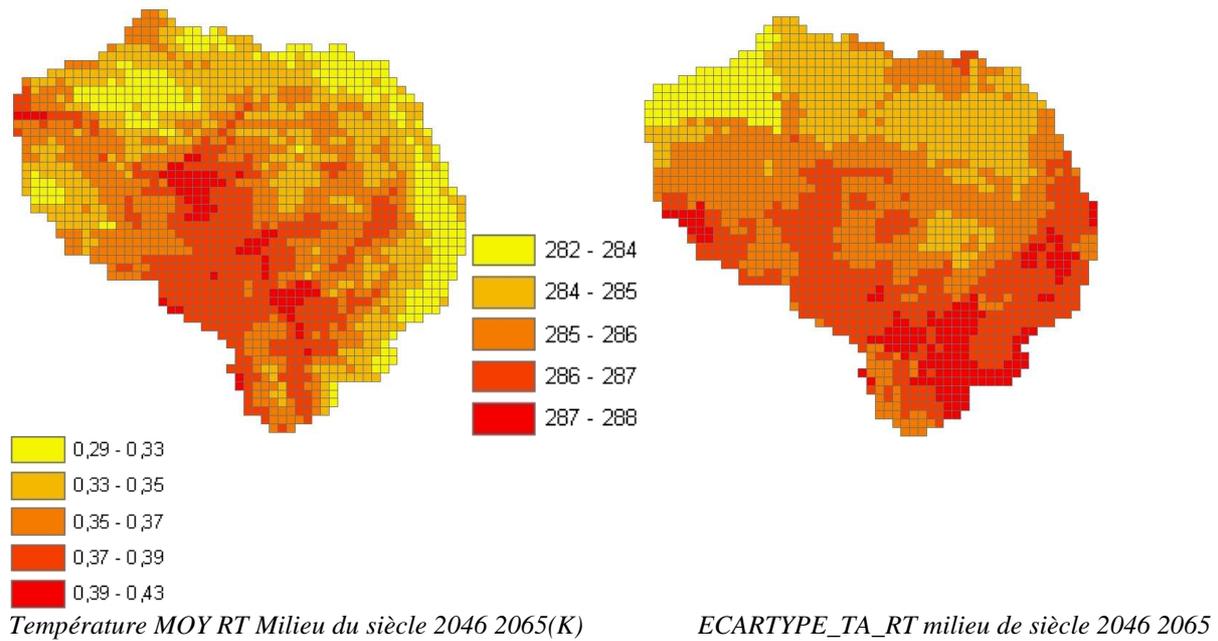


DIFF_MOY_ETP_RT MS-PST

ETP_RT	MS-PST
MOY	205,0914
MAX	234,6021
MIN	175,2349

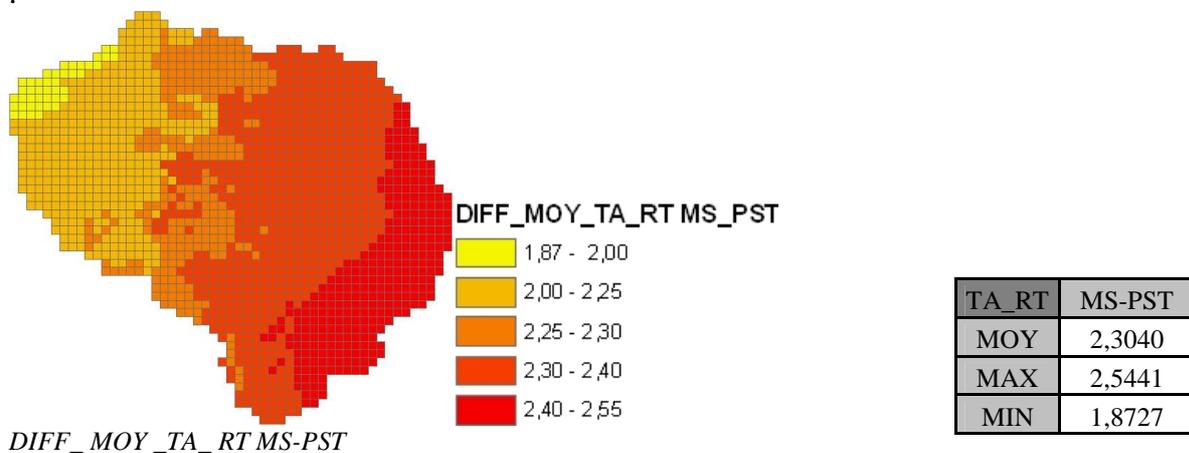
Commentaire l'évapotranspiration potentielle quant à elle, augmente sensiblement et atteint les 924 mm/an en moyenne au milieu du siècle contre 793 mm/an au temps présent. L'écart type est plus important à la moitié du siècle (9fois plus que le temps présent). Les différences des ETP moyennes sont beaucoup plus importantes au centre et au sud du bassin (plus de 140mm/an).

II.3 Températures



MOY_T°_RT K	MS
MOY	285,8509
MAX	287,98859
MIN	284,3344

ECART_TA_RT	MS
MOY	0,3664
MAX	0,4206
MIN	0,2959



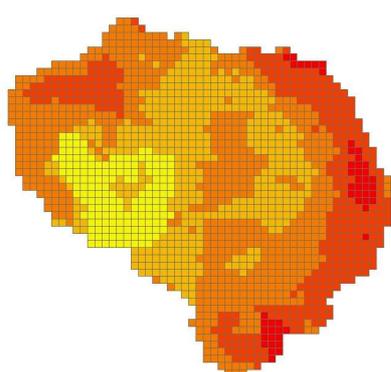
DIFF_MOY_TA_RT MS-PST

Commentaire : les températures augmentent aussi, 285,5 k en milieu du siècle pour 283,5 k temps présent, soit près de 2°C de plus à la moitié du siècle. La dispersion autour de la moyenne reste très faible. Comme au temps présent elle est plus élevée dans la partie sud du bassin. Les différences des températures présentent une zonation presque nord-ouest/sud-est.

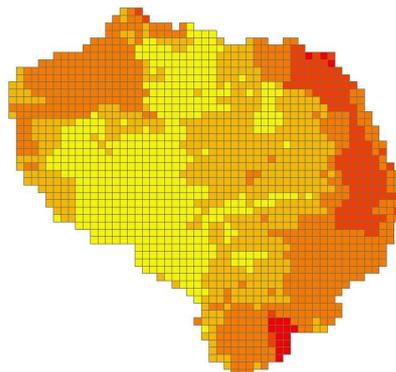
III. Fin de siècle

III.1 Précipitations

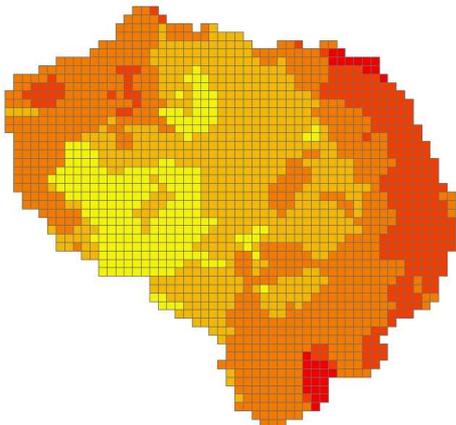
Cartes des précipitations moyennes fin de siècle



PRCP MOY RT Fin du siècle 2080 2100(mm/J)

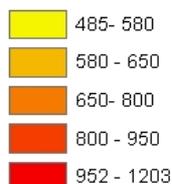


Précipitation moyenne QQ fin de siècle 2071 2100

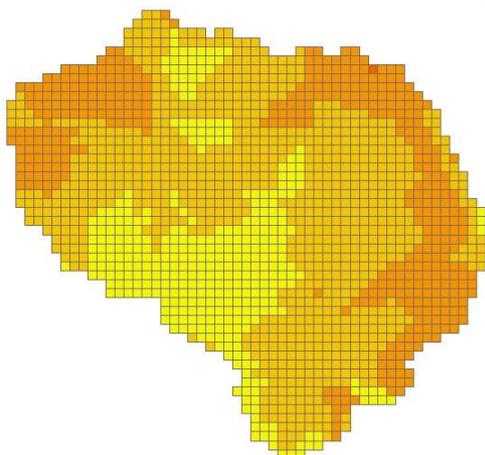


Précipitation moyenne AN fin de siècle 2071 2100

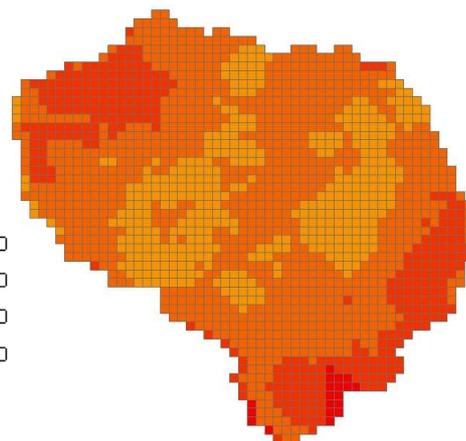
PRCP mm/j	RTFS	QQFS	ANFS
MOY	711,0995	647,3351	683,3954
MAX	1202,5757	1039,3425	1126,2285
MIN	533,1343	484,9910	522,1525



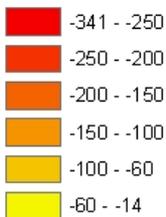
Cartes des différences des précipitations moyennes



DIFF_MOY_PRCP_RT FS-PST

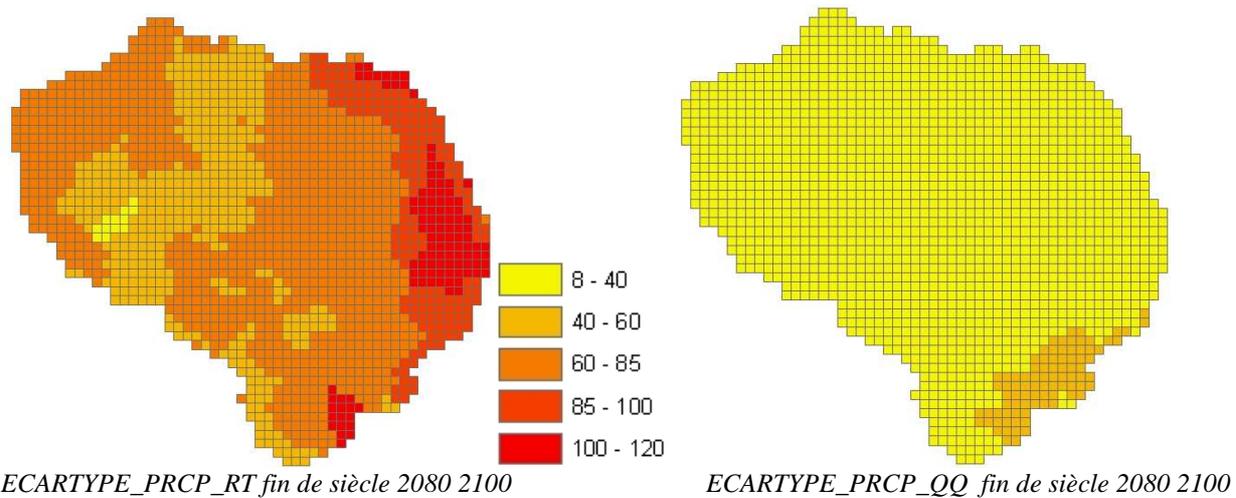


DIFF_MOY_PRCP_QQ FS-PST



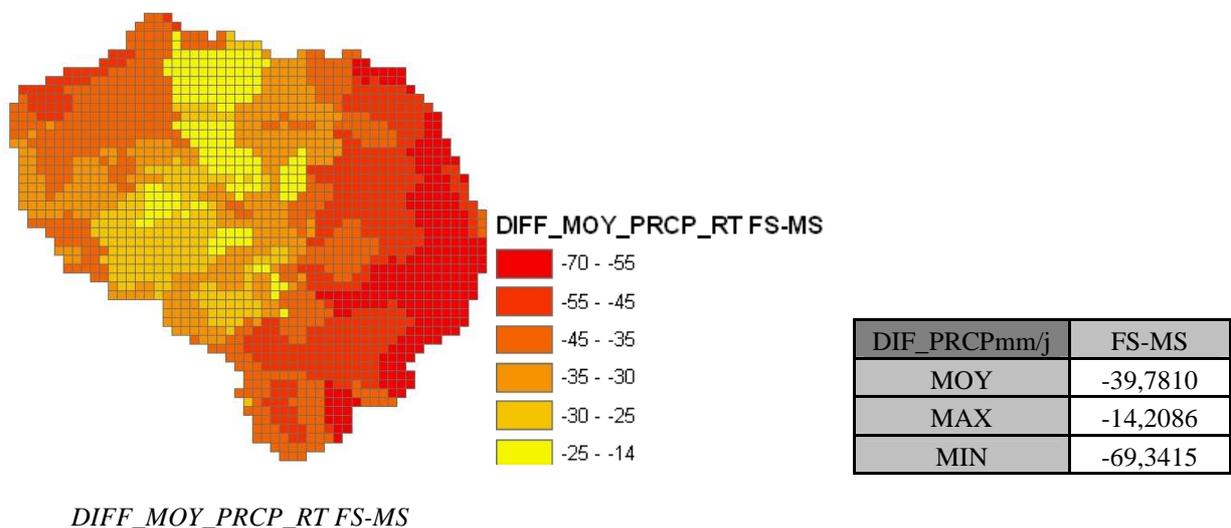
DIFF PRCP	RT	QQ
MOY	-80,1989	-173,343
MAX	-14,0854	-121,243
MIN	-150,3256	-340,666

Cartes des écarts-type des précipitations moyennes fin de siècle



ECAR-PRCP FS	RT	QQ
MOY	70,0194	22,944
MAX	119,7351	58,016
MIN	38,2253	8,6302

Cartes des différences des précipitations moyennes 2100-2050



Commentaires : En fin de siècle, pour les 3 méthodes de désagrégation, on retrouve une distribution spatiale des précips comparables à celle du temps présent (ie : plus de précip sur le pourtour du bassin, faibles précip au centre). Les moyennes varient assez fortement d'une méthode à l'autre, mais, cela est dû en partie au fait que le nombre de scénario climatique varie entre les 3 méthodes. On constate des différences entre les méthodes QQ et Anom qui utilisent les mêmes scénarii.

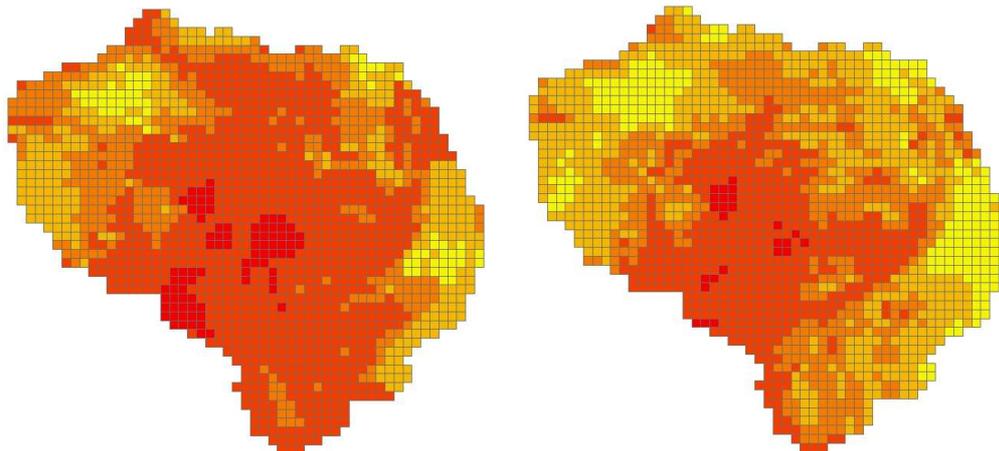
Du fait de l'utilisation de scénario de pluie relativement très contrasté avec la méthode RT (2 scénarios donnent une augmentation des précips en fin de siècle, les cartes des différences sont peu comparables en intensité. Cependant, dans les deux cas, on constate une diminution plus marquée des précipitations en Normandie et dans le Sud-Est.

Pour la méthode RT, l'écart type en fin de siècle est deux fois plus important en moyenne qu'en milieu de siècle.

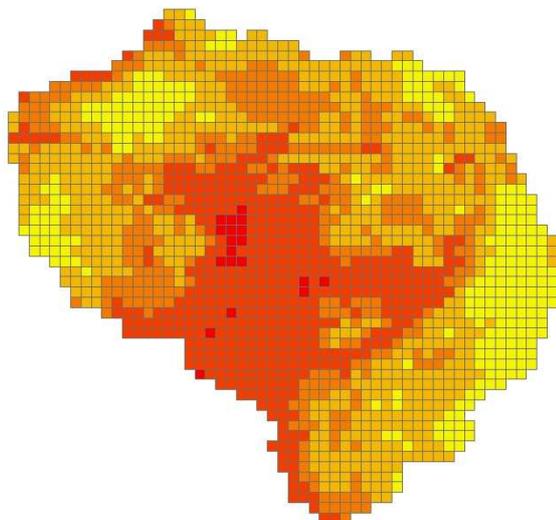
Les différences entre milieu et fin de siècle sont surtout marquées sur le pourtour du bassin, et plus réduit au centre.

III.2 ETP

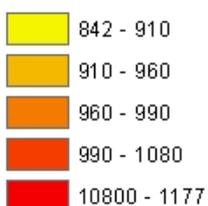
Cartes des ETP moyennes fin de siècle



ETP MOY RT Fin du siècle 2080 2100(mm/J) ETP moyenne QQ fin de siècle 2071 2100

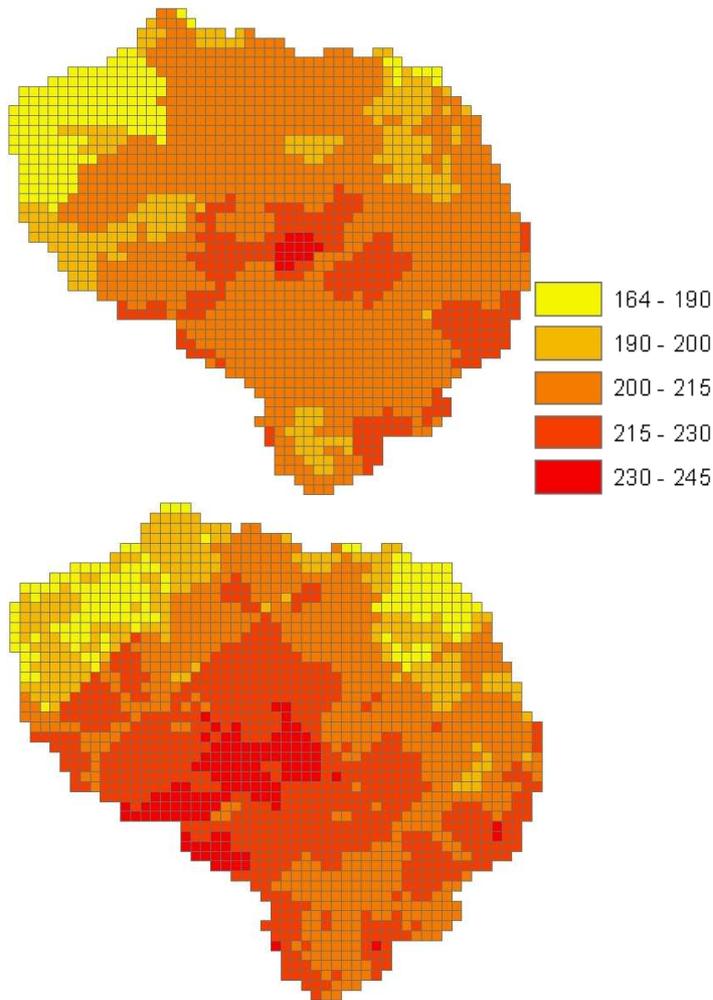


ETP moyenne AN fin de siècle 2071 2100



ETP mm/j	RTFS	QQFS	ANFS
MOY	998,6473	967,5321	961,6266
MAX	1176,9283	1105,5140	1097,2630
MIN	880,1711	859,8115	842,8130

Cartes des différences des ETP moyennes

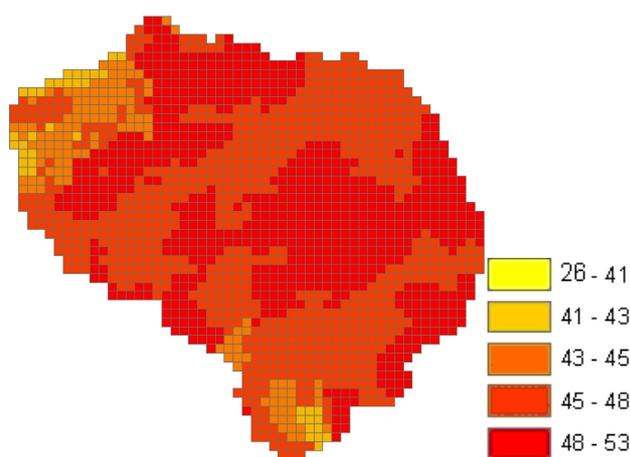


DIFF_MOY_ETP_RT FS-PST

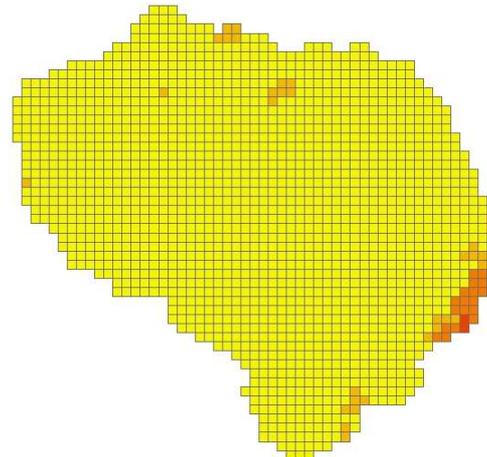
DIFF_MOY_ETP_QQ FS-PST

DIFFETP_RT	RT	QQ
MOY	130,8875	210,9065
MAX	149,6400	244,9485
MIN	108,1873	164,2285

Carte des ECARTYPE des ETP moyennes fin de siècle



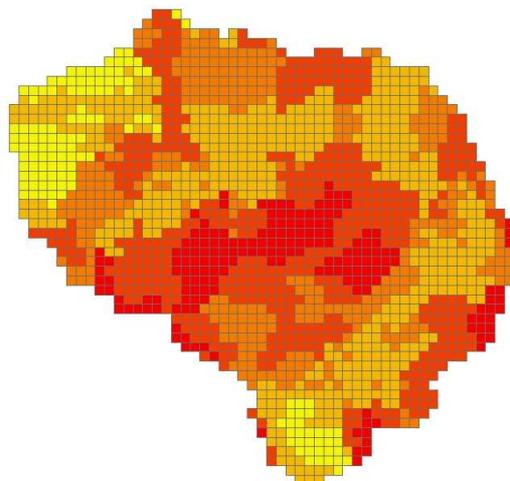
ECARTYPE_ETP_RT fin de siècle 2080 2100



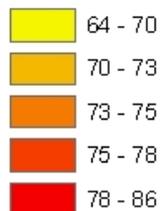
ECARTYPE_ETP_QQ fin de siècle 2080 2100

ECARETPmm/j	RT	QQ
MOY	47,6112	36,1075
MAX	52,9522	46,1203
MIN	41,4774	26,8715

Cartes des différences des ETP moyennes entre 2100 et 2050



DIF_MOY_ETP_RT FS_MS



DIF_MOY_ETP_RT FS-MS

DIFF_ETPmm/j	FS-MS
MOY	74,2039
MAX	85,2698
MIN	63,9602

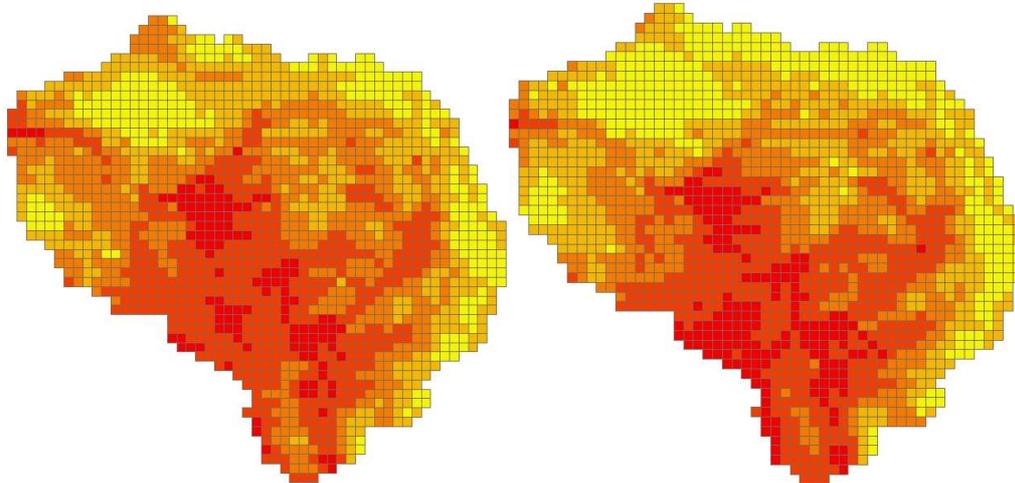
Commentaires : En fin de siècle, les cartes des ETPs annuelles sont relativement comparables entre les 3 méthodes. Seule la pointe sud se distingue avec une ETP plus forte pour la méthode RT. L'augmentation est plus marquée au centre du bassin, sur la zone de recharge des nappes.

Cette augmentation s'est encore renforcée par rapport au milieu de siècle.

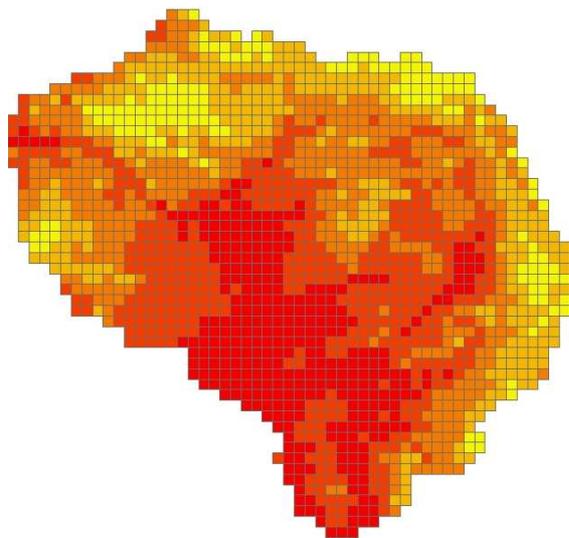
Les écart-types sont relativement homogènes sur le bassin.

III.3 Températures

Cartes des températures moyennes fin de siècle



Température MOY RT Fin du siècle 2080 2100 Température moyenne MOY QQ fin de siècle 2071 2100

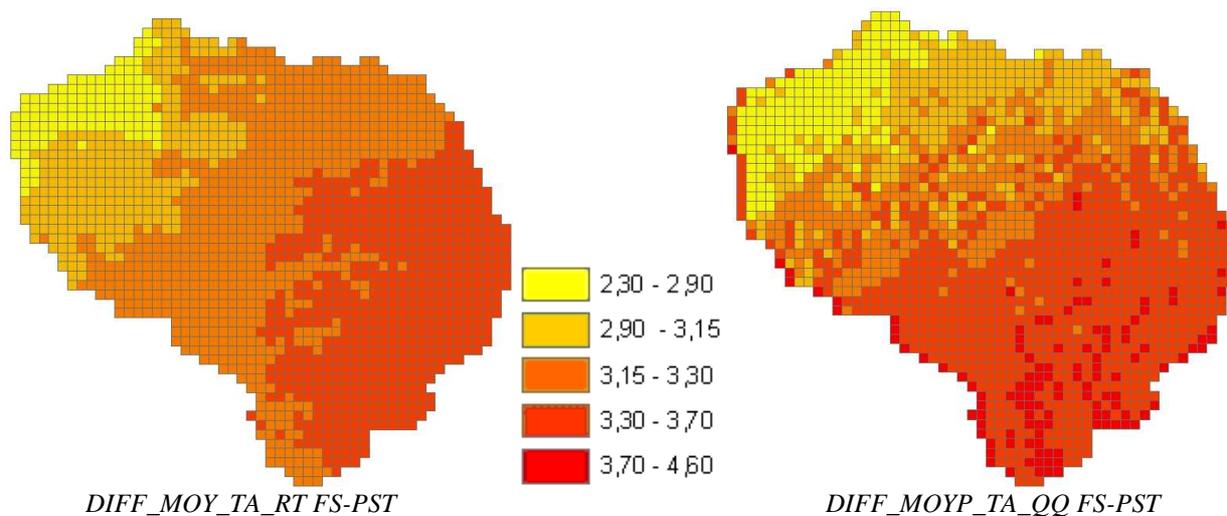


Température moyenne MOY AN fin de siècle 2071 2100



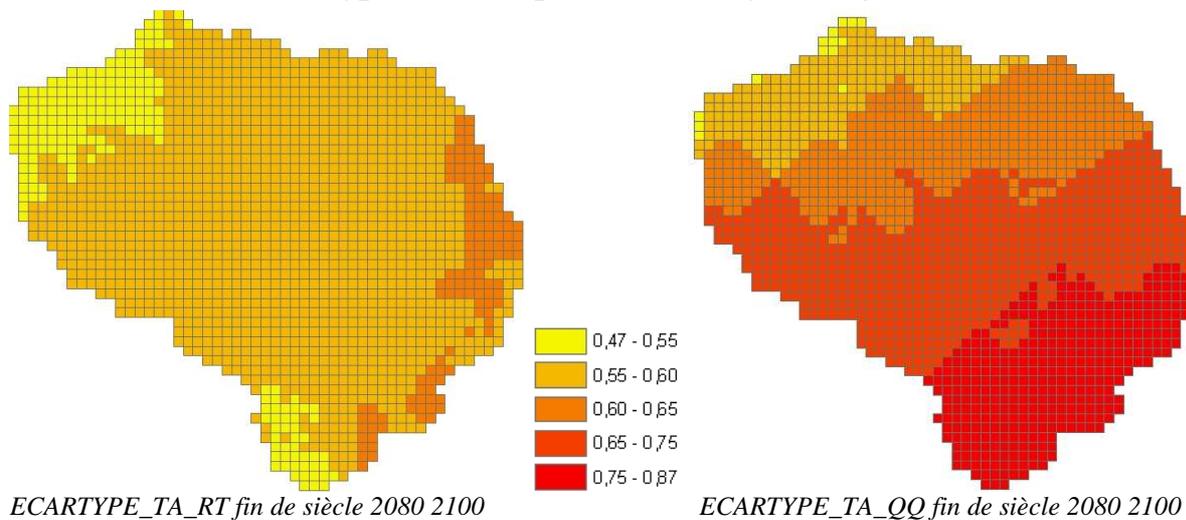
T° (K)	RTFS	QQFS	ANFS
MOY	286,7263	286,7263	286,9782
MAX	288,5491	288,5491	288,8242
MIN	285,0966	285,0966	285,3924

Cartes des différences des températures moyennes



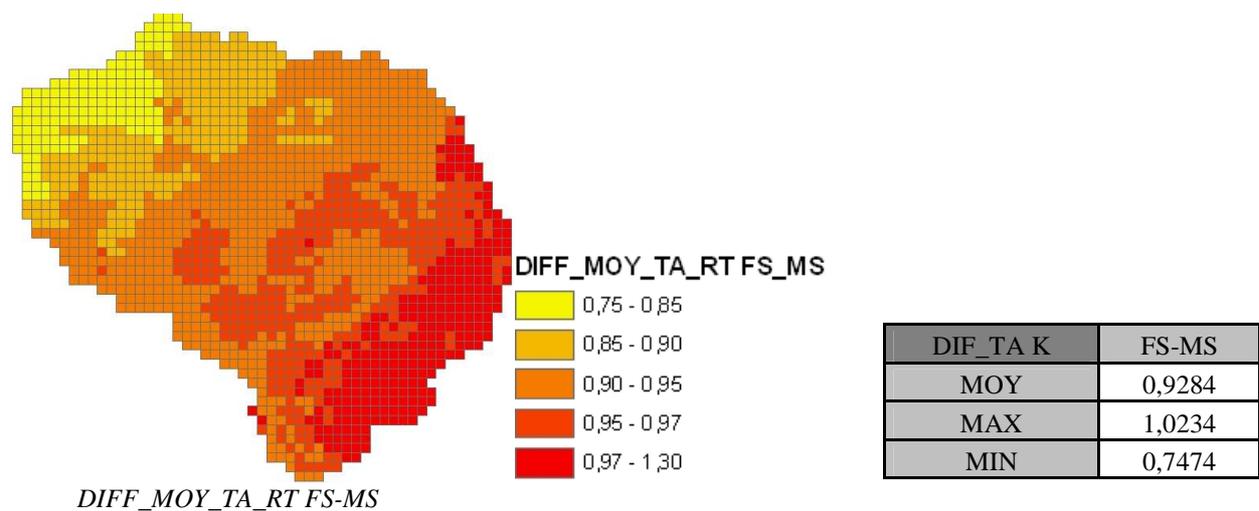
DIFFTA_RT	RT	QQ
MOY	3,2324	3,3041
MAX	3,5674	4,5886
MIN	2,6201	2,3024

Carte des écart-types des températures moyennes fin de siècle



ECARTA (K)	RT	QQ
MOY	0,5676	0,6808
MAX	0,6246	0,8637
MIN	0,4711	0,5206

Cartes des différences des températures moyennes



Commentaires : En fin de siècle, les cartes des températures moyennes annuelles sont très comparables entre les 3 méthodes. Les différences par rapport au temps présent montrent un gradient nord-ouest/sud-est d'environ 2 à 4°. La plupart du signal était acquis en milieu de siècle. Les différences par rapport à 2050 montre en écart variant entre 0.75 et 1.3°. Les écarts-types obtenus avec la méthode RT sont assez homogènes dans l'espace, alors que pour la méthode QQ, on a un gradient nord-sud. Cependant, les valeurs sont assez faibles (écart nord-sud de l'ordre de 0.5°).

Références

- Boé J., 2007. Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France. PhD thesis, Université Paul Sabatier (Toulouse III).
- Boé, J., Terray, L., Habets, F., Martin, E., 2006. A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *Journal of Geophysical Research* 111 (D23).
- Boé J., Terray, L., Habets, F., Martin, E., 2007. Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies. *International Journal of Climatology* 7 (12), 1643–1655. URL <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1602>
- Déqué, Rowell, L'uthi, Giorgi, Christensen, Rockel, Jacob, Kjellström, de Castro, van den Hurk, May 2007. An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change* 81 (0), 53–70. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-9228-x>
- Pagé, C., Terray, L., Boé, J., 2008. Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH08. Technical Report TR/GMGC/08/64, CERFACS, Toulouse, France.