



**HAL**  
open science

## **Explore2 – Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées**

Paola Marson, Lola Corre, Jean-Michel Soubeyroux, Eric Sauquet, Yoann Robin, Mathieu Vrac, Clotilde Dubois

### ► **To cite this version:**

Paola Marson, Lola Corre, Jean-Michel Soubeyroux, Eric Sauquet, Yoann Robin, et al.. Explore2 – Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées. METEO FRANCE; INRAE; Institut Pierre-Simon Laplace. 2024. hal-04443633v1

**HAL Id: hal-04443633**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04443633v1>**

Submitted on 7 Feb 2024 (v1), last revised 23 Jun 2024 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# RAPPORT DE SYNTHÈSE SUR LES PROJECTIONS CLIMATIQUES REGIONALISÉES

**Paola MARSON, Météo-France**

**Lola CORRE, Météo-France**

**Jean-Michel SOUBEYROUX, Météo-France**

**Eric SAUQUET, INRAE**

**Avec les contributions de Yoann ROBIN, Mathieu VRAC et  
Clotilde DUBOIS (IPSL)**

**24/01/2024**

Avec le soutien financier de :



Le projet Explore2, porté par INRAE et l'Office International de l'eau (OiEau), s'inscrit dans la suite de l'étude Explore 2070 (2010-2012) grâce à laquelle les acteurs de la recherche, autour du Ministère de l'écologie, avaient établi des premiers scénarios prospectifs de disponibilités des ressources en eau à l'échelle de la France à horizon 2070. Officiellement lancé en juillet 2021, co-financé par les partenaires du projet, le Ministère de la transition écologique (MTE) et l'Office français de la biodiversité (OFB), le projet Explore2 a pour objectif, d'ici 2024, d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des publications du GIEC (CMIP5), mais aussi d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau.

<b>Nom du projet</b>	<b>Explore2 : Anticiper les évolutions climatiques et hydrologiques en France</b>
Nom du rapport	Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées
Auteur(s)	Paola MARSON, Météo-France Lola CORRE, Météo-France Jean-Michel SOUBEYROUX, Météo-France Eric SAUQUET, INRAE Yoann ROBIN, IPSL Mathieu VRAC, IPSL Clotilde DUBOIS, IPSL
Numéro de version	3
Date contractuelle de remise du livrable	01/07/2023
Date effective de remise du livrable	24/01/2024
Statut du document	<del>version provisoire</del> /version finale
Accès en ligne	libre/ <del>restreint</del> / <del>confidentiel</del>
Mots-clés (5 maximum)	climat, modélisation, température, précipitations, évapotranspiration de référence

## Table des matières

1	Introduction .....	15
2	Présentation et utilisations des projections climatiques Explore2 .....	16
2.1	Sélection des projections climatiques régionales .....	16
2.2	Les corrections statistiques : ADAMONT et CDF- <i>t</i> .....	17
	La méthode ADAMONT .....	18
	La méthode CDF- <i>t</i> .....	18
2.3	Sélection d'un ensemble « compatible » avec les simulations CMIP6 .....	21
2.4	Approche « Narrative » .....	23
3	Diagnostics climatiques .....	25
3.1	Indicateurs climatiques .....	25
3.2	Présentation des résultats.....	27
	Significativité des changements futurs.....	27
	Dispersion des modèles climatiques .....	28
	Différents scénarios climatiques .....	30
	Les matrices mosaïques.....	31
	Les tableaux de synthèse.....	32
4	Diagnostics climatiques à partir de la méthode ADAMONT.....	33
4.1	Températures (tg).....	33
	Indicateur Température moyenne annuelle .....	33
	Indicateur Température moyenne en hiver .....	38
	Indicateur Température moyenne en été .....	42
4.2	Précipitations (rr et rx1day) .....	46
	Indicateur Cumul annuel de précipitations .....	46
	Indicateur Cumul hivernal des précipitations.....	51
	Indicateur Cumul estival de précipitations.....	55
	Indicateur Précipitation journalière maximale.....	59
4.3	Evapotranspiration de référence ( <i>evs</i> au pas de temps annuel) .....	64
4.4	Bilan hydrique ( <i>p-evs</i> au pas de temps annuel) .....	69
4.5	Narratifs.....	74
	Synthèse des évolutions moyennes par horizon .....	74
	Variabilité interannuelle et saisonnière .....	80
5	Diagnostics climatiques à partir de la méthode CDF- <i>t</i> .....	84
5.1	Températures (tg).....	85

Indicateur Température moyenne annuelle .....	85
Indicateur Température moyenne en hiver .....	89
Indicateur Température moyenne en été .....	93
5.2 Précipitations ( <i>rr</i> et <i>rx1day</i> ) .....	97
Indicateur Cumul annuel de précipitations .....	97
Indicateur Cumul hivernal des précipitations.....	101
Indicateur Cumul estival de précipitations.....	105
Indicateur Précipitation journalière maximale.....	109
5.3 Evapotranspiration de référence ( <i>evs</i> au pas de temps annuel) .....	114
5.4 Bilan hydrique ( <i>p-evs</i> au pas de temps annuel) .....	118
6 Conclusion.....	122
7 Références .....	123
Annexe 1 : Poster storylines (AG EURO-CORDEX 2023).....	124
Annexe 2 : Comparaison ADAMONT-CDF- <i>t</i> sous RCP8.5.....	125

## Résumé

Ce deuxième rapport sur le climat vise à préciser les évolutions climatiques projetées par l'ensemble élaboré dans le cadre du projet Explore2, d'en caractériser les incertitudes et de proposer des modes d'exploration de ces données.

Dans un premier temps, les simulations individuelles sélectionnées à partir de l'ensemble EURO-CORDEX et corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-*t* sont évaluées selon des critères de changement en température et précipitation sur la France par rapport à l'ensemble CMIP6 complet au pas de temps saisonnier (hiver et été). La comparaison réalisée sur le scénario RCP8.5 à l'horizon fin de siècle met en évidence la concordance globale de ces simulations à l'exception de deux simulations hors de la dispersion CMIP6 en été (à la fois en température et précipitation). Le projet a décidé de rejeter ces deux simulations de l'ensemble final afin de pouvoir garantir une cohérence avec les changements proposés par CMIP6 sur la France. **Une sélection de 17 couples GCM/RCM compose finalement l'ensemble baptisé « Explore2-2024 » dont les simulations (10 sous RCP2.6, 9 sous RCP4.5 et 17 sous RCP8.5) sont corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-*t*.**

Au-delà d'une caractérisation statistique des propriétés de l'ensemble Explore2-2024, un travail a également été mené pour identifier des simulations particulières proposant des futurs climatiques contrastés sur la France. Cette approche narrative ou « storyline » en anglais a conduit à sélectionner de manière experte quatre simulations pour leurs impacts attendus sur l'hydrologie. Les principales caractéristiques de ces narratifs sont détaillées et accompagnées de cartes. Il est à noter que la sélection de narratifs a aussi été comparée aux résultats d'une approche objective par classification hiérarchique ascendante (fournie en Annexe 1).

Une grande partie de ce livrable est consacrée à l'analyse des évolutions climatiques proposées par l'ensemble Explore2-2024 à partir d'une liste synthétique d'indicateurs climatiques d'intérêt pour l'hydrologie. Les incertitudes sur les changements projetés sont évaluées selon des critères de robustesse pour chaque simulation et d'accord de signe pour l'ensemble. Pour chaque indicateur, des cartes des paramètres de distribution (médiane, min et max) sont fournies en identifiant pour chaque maille les simulations de l'ensemble portant ce signal. Les figures et tableaux de valeur (pour les changements France entière, moitié Nord, moitié Sud) sont aussi complétés par des commentaires donnant les messages clé sur les évolutions attendues.

Un chapitre spécifique est proposé pour l'analyse des quatre narratifs sélectionnés par le projet avec des visualisations synthétiques, mettant en avant la variabilité inter annuelle en complément des moyennes par horizon.

L'ensemble des ressources graphiques est produit sur les simulations corrigées par les deux méthodes ADAMONT et CDF-*t*, avec une analyse des écarts par indicateur réalisée séparément sur les deux jeux de données (fournis en Annexe 2).

## Acronymes

**ADAMONT** : ADAptation en territoire de MONTagne

**CDF** : Cumulative Distribution Function

**CDF-t** : Cumulative Density Function transfert

**CMIP5** : Coupled Model Intercomparison Project phase 5

**CMIP6** : Coupled Model Intercomparison Project phase 6

**CORDEX** : Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

**EURO-CORDEX** : European Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**GCM** : General Circulation Model

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

**QUALYPSO** : Quasi-Ergodic Analysis of Climate Projections Using Data Augmentation

**RCM** : Regional Climate Model

**RCP** : Representative Concentration Pathway

**SAFRAN** : Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige

**SSP** : Shared Socio-economic Pathway

## Liste des figures

Figure 1 : Principe de la méthode « quantile mapping » (source :INRAE).....	18
Figure 2 : Quantile 99 % (Q99) et maximum (MAX) des précipitations sur la période 2081-2100 (échantillonnés de septembre à décembre) pour le couple NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5 sous RCP 8.5. De gauche à droite : modèle brut, correction avec CDF-t sans ajustement des extrêmes de précipitations, et correction avec CDF-t après ajustement des extrêmes de précipitations. ....	20
Figure 3 : Changements relatifs des extrêmes de précipitations entre la période historique 1986-2005 et la période future 2081-2100 (échantillonnés de septembre à décembre) pour le quantile 99 % et le maximum, pour le couple NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5 sous RCP 8.5. De gauche à droite : modèle brut, correction avec CDF-t sans ajustement des extrêmes de précipitations, correction avec CDF-t après ajustement des extrêmes de précipitations. ....	21
Figure 4 : Changements en température et précipitations sur la France des 19 simulations Explore2 corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-t sur les saisons hiver et été, comparés aux quantiles 5 % et 95 % (Q5 et Q95) de l'ensemble CMIP6 (« CMIP6 ») et CMIP6 contraint par les observations pour les températures selon la méthode de Ribes et al. (2022) (« CMIP6 cont. »). ....	22
Figure 5 : Délimitation Nord Sud de la France adoptée dans le projet Explore2. ....	27
Figure 6 : Représentation des incertitudes liées à la variabilité interne dans les simulations individuelles. Les hachures indiquent les mailles où le changement n'est pas significatif au regard de la variabilité interne du climat.....	28
Figure 7 : Exemple de matrice de l'ensemble : cartes des écarts relatifs du cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT). Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs.....	29
Figure 8 : Exemple de produit de distribution : cartes des écarts de température moyenne annuelle selon le scénario RCP8.5 entre l'horizon lointain (H3, 2070-2099) et la référence (1976-2005), minimum (gauche), médian (centre) et maximum (droite) de l'ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT). ....	29
Figure 9 : Exemple de matrice multi-horizon : cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations selon le scénario RCP8.5 entre l'horizon proche 2021-2050 (première ligne, H1), l'horizon moyen 2041-2070 (deuxième ligne, H2) et l'horizon lointain 2070-2099 (troisième ligne, H3), et la référence (1976-2005). La première colonne correspond par point grille à l'écart minimal dans l'ensemble, la deuxième à l'écart médian et la troisième à l'écart maximal, tous calculés sur l'ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT). ....	30
Figure 10 : Exemple de matrice multi-scénario : cartes des écarts de température moyenne annuelle entre l'horizon lointain H3 (2070-2099) et la période de référence (1976-2005) pour les trois scénarios RCP. La première colonne correspond par point grille à l'écart minimal dans l'ensemble, la deuxième à l'écart médian et la troisième à l'écart maximal, tous calculés sur l'ensemble Explore2-2024.....	31
Figure 11 : Exemple de matrice mosaïque : identification du couple GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024 associé aux minimums, médianes et maximums des écarts de température moyenne annuelle sous RCP8.5 de la matrice multi-horizon.....	32
Figure 12 : Évolution de l'écart de température moyenne annuelle en France Métropolitaine au cours du XXle siècle, 2006-2100 (par rapport à la moyenne de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble Explore2-2024. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la moyenne de	

référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la moyenne SAFRAN 1976-2005. .... 33

Figure 13 : Cartes des écarts des température moyenne annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT)..... 34

Figure 14 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT)..... 35

Figure 15 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT)..... 36

Figure 16 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT)..... 38

Figure 17 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT)..... 39

Figure 18 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .... 40

Figure 19 : Cartes des écarts de température moyenne en été à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT)..... 42

Figure 20 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .... 43

Figure 21 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .... 44

Figure 22 : Évolution de l'écart relatif de cumul annuel de précipitations en France Métropolitaine au cours du XXIe siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005..... 46

Figure 23 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT). .... 47

Figure 24 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitation à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT)..... 48

Figure 25 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	49
Figure 26 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT). .....	51
Figure 27 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	52
Figure 28 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	53
Figure 29 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT). .....	55
Figure 30 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	56
Figure 31 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	57
Figure 32 : Évolution de l’écart relatif de précipitation maximale annuelle journalière en France Métropolitaine au cours du XXI <sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L’enveloppe de couleur illustre l’intervalle entre l’écart minimal et l’écart maximal de la distribution de l’ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l’écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l’enveloppe en gris illustre l’intervalle entre l’écart minimal et l’écart maximal de la distribution de l’ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l’écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005. ....	59
Figure 33 : Cartes des écarts relatifs des précipitations maximales annuelles journalières à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT). .....	60
Figure 34 : Cartes des écarts relatifs de précipitations maximales annuelles journalières à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	61
Figure 35 : Cartes des écarts relatifs de précipitations maximales annuelles journalières à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). .....	62
Figure 36 : Évolution de l’écart relatif de cumul annuel d’évapotranspiration de référence en France Métropolitaine au cours du XXI <sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L’enveloppe de couleur illustre l’intervalle entre l’écart minimal et l’écart maximal de la distribution de l’ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l’écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l’enveloppe en gris illustre l’intervalle entre l’écart minimal et l’écart maximal de la	

distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005.....	64
Figure 37 : Cartes des écarts relatifs de l'évapotranspiration de référence annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT). .....	65
Figure 38 : Cartes des écarts d'évapotranspiration de référence annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).....	66
Figure 39 : Cartes des écarts d'évapotranspiration de référence annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). 67	
Figure 40 : Évolution de l'écart du bilan hydrique annuel en France Métropolitaine au cours du XXI <sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005. ....	69
Figure 41 : Cartes des écarts du bilan hydrique annuel (p-evs) à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).....	70
Figure 42 : Cartes des écarts de bilan hydrique annuel (p-evs) à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). ....	71
Figure 43 : Cartes des écarts de bilan hydrique annuel (p-evs) à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT). ....	72
Figure 44 : Changements projetés par les quatre narratifs aux différents horizons.....	75
Figure 45 : Changements en température et en précipitations sur la France selon les 34 simulations Explore2-2024 avec identification des quatre narratifs sur les saisons hiver et été, comparés aux quantiles 5 % et 95 % (Q5 et Q95) de l'ensemble CMIP6 (« CMIP6 ») et CMIP6 contraint par les observations pour les températures selon la méthode de Ribes et al. (2022) (« CMIP6 cont. »). ....	78
Figure 46 : Anomalies annuelles de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en narcisse) et les quatre narratifs (en jaune). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L'année 2022 correspond au point d'anomalie +2,1°C en température et - 25 % en précipitation. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement. ....	80
Figure 47 : Anomalies saisonnières (hiver : décembre-janvier-février) de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en narcisse) et les quatre narratifs (en jaune). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L'année 2022 correspond au point d'anomalie +1,2°C en température et -17 % en précipitations. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement. ....	81

Figure 48 : Anomalies saisonnières (été : juin-juillet-août) de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en narcisse) et les quatre narratifs (en jaune). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L'année 2022 correspond au point d'anomalie +3°C en température et -23 % en précipitations. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement. .... 82

Figure 49 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .... 85

Figure 50 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 86

Figure 51 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 87

Figure 52 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .... 89

Figure 53 : Cartes des écarts de de température moyenne en hiver par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 90

Figure 54 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 91

Figure 55 : Cartes des écarts de température moyenne en été à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .... 93

Figure 56 : Cartes des écarts de de température moyenne en été par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 94

Figure 57 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 95

Figure 58 : Cartes des écarts de cumul annuel de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .... 97

Figure 59 : Cartes des écarts de de cumul annuel de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 98

Figure 60 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 99

Figure 61 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .... 101

Figure 62 : Cartes des écarts de de cumul hivernal de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .... 102

Figure 63 : Cartes des écarts de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	103
Figure 64 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .....	105
Figure 65 : Cartes des écarts de de cumul hivernal de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	106
Figure 66 : Cartes des écarts de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	107
Figure 67 : Cartes des écarts relatifs des précipitations maximales annuelles journalières à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .....	109
Figure 68 : Cartes des écarts relatifs de précipitations maximales annuelles journalières par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	110
Figure 69 : Cartes des écarts des précipitations maximales annuelles journalières à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	111
Figure 70 : Evolution du maximum absolu de précipitation journalière en France de l’ensemble Explore2-2024 sous RCP8.5 sur la période de simulation. ....	113
Figure 71 : Cartes des écarts de cumul annuel de l’évapotranspiration de référence à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .....	114
Figure 72 : Cartes des écarts de cumul annuel de l’évapotranspiration de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	115
Figure 73 : Cartes des écarts de cumul annuel de l’évapotranspiration de référence à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	116
Figure 74 : Cartes des écarts du bilan hydrique à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t). .....	118
Figure 75 : Cartes des écarts du bilan hydrique par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t). .....	119
Figure 76 : Cartes des écarts du bilan hydrique à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).....	120

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des simulations climatiques pour l'ensemble Explore2 (« X » : présence ; « O » : absence).	17
Tableau 2 : Indicateurs sur les températures.	25
Tableau 3 : Indicateurs sur les précipitations.	25
Tableau 4 : Indicateurs sur le bilan hydrique.	26
Tableau 5 : Ecarts de température moyenne annuelle à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	37
Tableau 6 : Ecarts de température moyenne en hiver à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	41
Tableau 7 : Ecarts de température moyenne en été à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	45
Tableau 8 : Ecarts de cumul annuel de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	50
Tableau 9 : Ecarts de cumul hivernal de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	54
Tableau 10 : Ecarts de cumul estival de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	58
Tableau 11 : Ecarts des précipitations journalières maximales annuelles par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	63
Tableau 12 : Ecarts de l'évapotranspiration de référence annuelle par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	68
Tableau 13 : Ecarts du bilan hydrique annuel (p-evs) par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).	73
Tableau 14 : Ecarts de température moyenne annuelle par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	88
Tableau 15 : Ecarts de température moyenne en hiver par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	92
Tableau 16 : Ecarts de température moyenne en été par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	96
Tableau 17 : Ecarts de cumul annuel de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	100
Tableau 18 : Ecarts de cumul hivernal de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	104
Tableau 19 : Ecarts de cumul estival de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	108
Tableau 20 : Ecarts des précipitations journalières maximales annuelles par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).	112

Tableau 21 : Ecart de cumul annuel de l'évapotranspiration de référence par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).....	117
Tableau 22 : Ecart de bilan hydrique annuel (p-avs) par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).....	121

# 1 Introduction

Le projet Explore2 a pour objectif d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau, pour l'ensemble du XXI<sup>e</sup> siècle en France Métropolitaine. Cette actualisation s'appuie sur la production de données hydroclimatiques d'où seront extraits des indicateurs pertinents et qui permettront d'analyser les incertitudes.

La chaîne de modélisation hydroclimatique est composée des maillons suivants :

1. Les trajectoires de forçage radiatif, c'est-à-dire des scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols au cours du XXI<sup>e</sup> siècle,
2. Les modèles de circulation générale (General Circulation Models, GCMs), c'est-à-dire des modèles climatiques simulant le climat de la Terre entière à une résolution de 100 à 200 km,
3. Les modèles climatiques régionaux (Regional Climate Models, RCMs), c'est-à-dire des modèles climatiques pilotés par les GCMs et simulant le climat à haute résolution (10 à 50 km) sur des zones restreintes,
4. Des ajustements statistiques, qui visent à corriger certains défauts des simulations climatiques en affinant la résolution spatiale et en corrigeant leurs biais par rapport à un jeu de données de référence,
5. Les modèles hydrologiques, qui viennent traduire les projections climatiques en projections hydrologiques (débit et niveau piézométrique, principalement),

Le volet « Climat » d'Explore2 traite des quatre premiers maillons, avec l'objectif de produire des données atmosphériques à haute résolution pour forcer les modèles hydrologiques, en qualifiant les différentes sources d'incertitude.

Un premier rapport (Robin *et al.*, 2023) a permis de décrire la sélection effectuée sur les simulations climatiques (projections régionales de l'ensemble EURO-CORDEX incluant et complétant le jeu DRIAS-2020) et d'évaluer les ajustements statistiques mis en œuvre (corrections de biais avec les méthodes ADAMONT et CDF-*t*). Il a aussi permis de qualifier les changements futurs des simulations par rapport à des ensembles plus vastes, tels qu'EURO-CORDEX, CMIP5 ou CMIP6.

En complément du précédent, ce présent rapport vise à répondre aux besoins d'accompagnement des utilisateurs en définissant un ensemble de simulations climatiques cohérent avec les résultats de CMIP6 sur la France et en analysant l'évolution d'un grand nombre d'indicateurs climatiques impactant les changements hydrologiques.

L'objectif de ce livrable est aussi d'analyser les changements attendus pour les variables climatiques d'intérêt en tenant compte des incertitudes et de présenter une méthode pour identifier des narratifs contrastés pour les applications hydrologiques, illustrant la diversité des futurs climatiques.

## 2 Présentation et utilisations des projections climatiques Explore2

### 2.1 Sélection des projections climatiques régionales

L'ensemble EURO-CORDEX contient plus d'une centaine de projections climatiques qui couvrent l'Europe à la résolution de 12 km. Ces projections sont basées sur des modèles régionaux (RCMs) forcés par différents modèles globaux (GCMs) du projet CMIP5, utilisés notamment dans le 5<sup>e</sup> rapport du GIEC (2013). Douze de ces couples GCM/RCM avaient déjà été sélectionnés et corrigés par la méthode ADAMONT (<https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/218>) pour former le jeu DRIAS-2020 (<https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/218>) distribué sur le portail **DRIAS, les futurs du climat** (<http://www.drias-climat.fr/>). L'objectif était alors de proposer un nombre réduit de simulations tout en conservant la gamme des changements simulés par l'ensemble total EURO-CORDEX.

Dans le cadre d'Explore2, l'ensemble des simulations sélectionnées pour DRIAS-2020 a été enrichi pour répondre à de nouveaux critères imposés par l'exploitation de ces projections dans les autres volets du projet. Les critères supplémentaires sont les suivants :

- Inclure les simulations EURO-CORDEX les plus récentes avec les forçages en aérosols évolutifs,
- Permettre l'utilisation de la méthode de décomposition des incertitudes QUALYPSO (Evin *et al.*, 2021), qui nécessite que chaque GCM et RCM soit présent plusieurs fois.

La liste initiale des simulations EURO-CORDEX retenues pour le jeu complet « **Explore2** » est détaillée dans le Tableau 1. L'ensemble ainsi constitué compte 19 simulations historiques (« HISTO », jusque l'année 2005), 11 pour le scénario RCP2.6, 11 pour le scénario RCP4.5 et 19 pour le scénario RCP8.5 (au-delà de l'année 2005).

GCM	RCM	HISTO	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	X	X	X	X
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	KNMI-RACMO22E	X	X	X	X
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	X	O	O	X
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	X	X	X	X
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	X	X	X	X
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	X	X	O	X
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	X	O	O	X
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	X	O	X	X
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	X	X	O	X
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	X	X	O	X
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	X	O	O	X
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	X	O	X	X
IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-WRF381P	X	O	X	X
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	X	X	X	X
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	X	X	O	X
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	X	X	X	X
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	X	O	X	X
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	X	X	X	X
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	X	O	O	X

Tableau 1 : Liste des simulations climatiques pour l'ensemble Explore2 (« X » : présence ; « O » : absence).

## 2.2 Les corrections statistiques : ADAMONT et CDF-t

Les méthodes de correction sont des variantes de la méthode « quantile-mapping ». Dans sa forme la plus simple, cette méthode de correction cherche à reproduire à l'identique la distribution statistique sur la période de référence : une valeur simulée est remplacée par le quantile de la distribution de référence correspondant à la même probabilité d'occurrence (Figure 1).

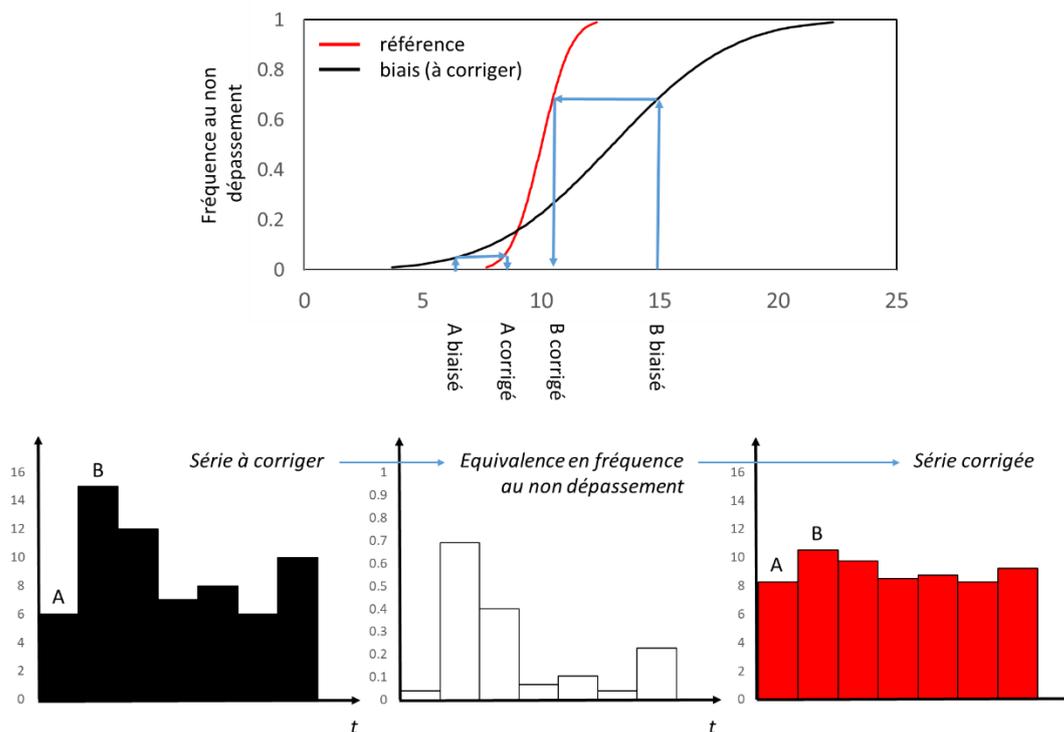


Figure 1 : Principe de la méthode « quantile mapping » (source :INRAE)

Les méthodes ADAMONT et CDF-*t* sont des déclinaisons de la méthode « quantile-mapping » adaptées à la correction de biais de projections climatiques. Les deux méthodes utilisées dans le projet Explore2 - ADAMONT et CDF-*t* - sont référencées au niveau international et ont été utilisées dans un grand nombre d'études précédentes. Les détails sont présentés par Robin *et al.* (2023). Précisons que les méthodes statistiques de correction de biais visent à ajuster la distribution des modèles de climat sur les observations, donc sur le passé. Il n'existe pas de méthode parfaite, ni universelle ; chacune a ses avantages et ses défauts qui s'expriment sur les runs historiques et sur les trajectoires futures.

### La méthode ADAMONT

La méthode ADAMONT (Verfaillie *et al.*, 2017) corrige les biais d'un ensemble de paramètres quotidiens provenant de projections climatiques régionales et désagrège les valeurs corrigées quotidiennes au pas de temps horaire. La variante de la méthode quantile-mapping est appliquée séparément par saison (hiver décembre-janvier-février DJF, printemps mars-avril-mai MAM, été juin-juillet-août JJA, automne septembre-octobre-novembre SON) et est conditionnée aux régimes de temps (Michelangeli *et al.*, 1995). La correction est réalisée de manière indépendante pour chaque variable même si l'approche par type de temps peut redonner une certaine cohérence dans la distribution des variables.

Dans la version ADAMONT utilisée ici, un filtre a été appliqué pour « seuiller » les valeurs extrêmes potentiellement aberrantes issues de RCM :

- Pour les températures quotidiennes, seuil absolu à 58°C,
- Pour les précipitations quotidiennes, seuil relatif fixé à 5 fois la valeur maximale observée sur la période de référence 1976-2005.

Le nombre de valeurs modifiées est variable selon les simulations mais reste toujours très faible (une dizaine d'occurrences au maximum par simulation).

### La méthode CDF-*t*

La méthode CDF-*t* (Michelangeli *et al.*, 2009) est une extension du quantile-mapping au cas non-stationnaire, univariée et qui préserve les changements simulés par le modèle. L'hypothèse de la méthode CDF-*t* est que les distributions de probabilité sur la période de calibration et de projection peuvent être considérées comme stationnaires. Cette hypothèse est en général fautive d'une part à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle pour au moins le scénario RCP 8.5, et d'autre part pour chaque année à cause du cycle saisonnier. Afin de tenir compte de ces deux éléments, la correction est effectuée par mois afin de supprimer le cycle saisonnier. D'autre part, la période de projection de la méthode CDF-*t* est une fenêtre glissante de 20 ans pour l'initialisation de la méthode, et seules les 10 années centrales sont effectivement corrigées.

Comme pour ADAMONT, un filtre a été appliqué pour seuiliser les valeurs extrêmes potentiellement aberrantes issues de RCM. Dans la version CDF-*t* utilisée, une méthode de lissage adaptatif a été ajoutée par l'IPSL (Vrac et Robin, *communication personnelle*) sur les pluies quotidiennes.

Pour chaque point de la grille SAFRAN, la valeur maximale est modifiée d'un ratio qui dépend de l'évolution du quantile 95 % (Q95) de précipitations *prcptot* du couple GCM/RCM (donnée brute) entre la période de projection (Q95(*prcptot*, GCM/RCM, *proj*)) et la période de calibration (Q95(*prcptot*, GCM/RCM, *calib*)), et qui est *au plus* une augmentation de 50 % ( $\times 1.5$ ) par rapport aux observations.

La queue des corrections CDF-*t* est modifiée au point de grille si la valeur maximale *MAX* du GCM/RCM corrigé en période de projection dépasse le seuil *S*, *i.e.* si  $MAX > S$  avec *S* donné par :

$$S = \max\{prcptot, SAFRAN, 1976-2005\} \\ \times \min\{1.5 ; Q95\{prcptot, GCM/RCM, proj\} / Q95\{prcptot, GCM/RCM, calib\}\}$$

Dans ce cas, les valeurs dans l'intervalle [Q95{*prcptot*, GCM/RCM, *proj*, CDF-*t*), *MAX*] sont projetés par une mise à l'échelle dans l'intervalle [Q95{*prcptot*, GCM/RCM, *proj*, CDF-*t*), *S*].

Cette approche permet partiellement de contraindre l'évolution des extrêmes issus de CDF-*t* à être similaire à l'évolution des Q95 bruts générés par le couple GCM/RCM. Ce lissage adaptatif modifie les extrêmes aberrants sans toucher aux valeurs les plus courantes de CDF-*t* qui semblent cohérentes. Cette méthode a donc été appliquée à l'ensemble Explore2 corrigés avec CDF-*t*. Nous pouvons voir le résultat sur le quantile de pluie 99 % (Q99) et le maximum (*MAX*) pour la simulation NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5 sous RCP 8.5 sur la Figure 2 et la Figure 3. Ces figures sont représentatives de celles obtenues pour l'ensemble des simulations Explore2 corrigées avec CDF-*t* (source : Robin et Vrac).

La Figure 2 montre le résultat brut d'un RCM avec un fort contraste entre le quantile Q99 et le maximum : le Q99 ne dépasse pas la valeur de 75 mm/jour sur les Alpes, avec des valeurs inférieures à 10 mm/jour sur le pourtour méditerranéen, tandis que le maximum montre des valeurs au-delà de 200 mm/jour sur ces zones. La correction (avant lissage, cf. cartes centrales) reflète ces phénomènes, avec globalement une révision à la baisse des valeurs, qui restent trop élevées sur le pourtour méditerranéen (maximum de 1700 mm/jour). Après ajustement, l'ensemble des maximums sont nettement diminués, avec un événement maximum à 356 mm/jour. Cette figure est représentative des simulations corrigées avec CDF-*t* dans le cadre d'Explore2 (source : Robin et Vrac).

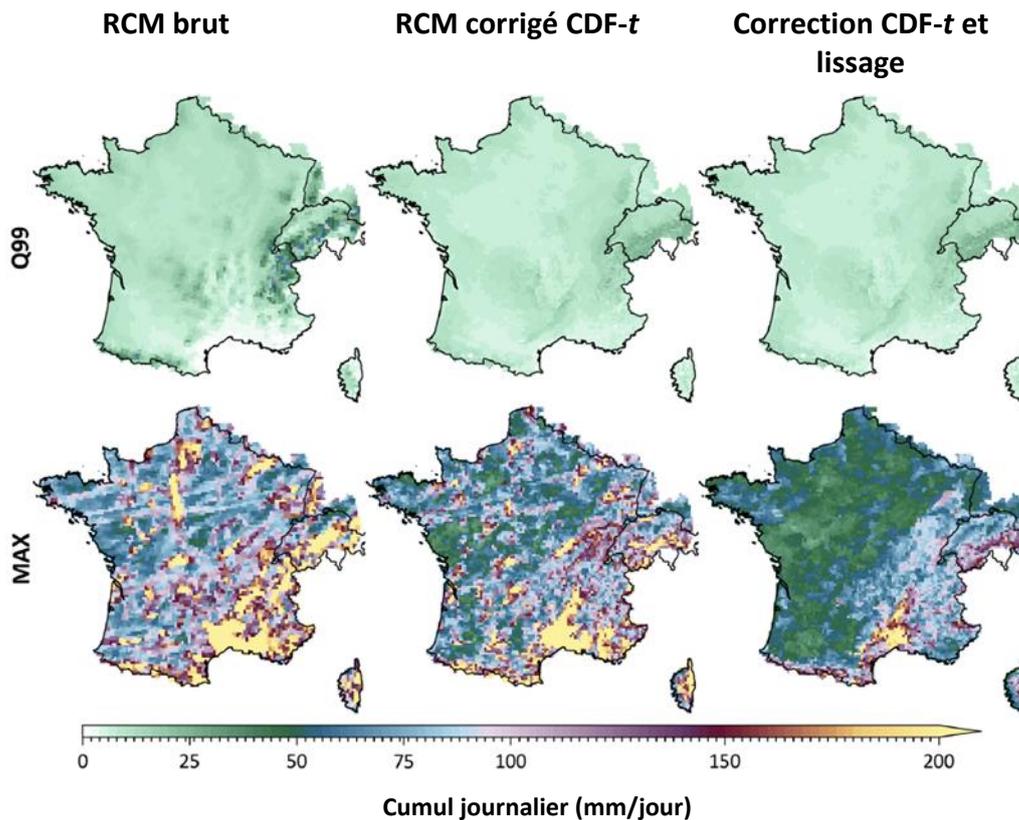


Figure 2 : Quantile 99 % (Q99) et maximum (MAX) des précipitations sur la période 2081-2100 (échantillonnés de septembre à décembre) pour le couple NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5 sous RCP 8.5. De gauche à droite : modèle brut, correction avec CDF-t sans ajustement des extrêmes de précipitations, et correction avec CDF-t après ajustement des extrêmes de précipitations.

La Figure 3 montre l'effet des corrections en termes de changements relatifs de précipitations entre la période historique (1986-2005) et le futur (2081-2100), pour le quantile de pluie Q99 et le maximum. Nous pouvons noter que, pour le quantile 99 %, les changements du modèle sont quasiment reproduits à l'identique par CDF-t, que ce soit avant ou après ajustement des extrêmes. Ceci montre que la modification de l'intervalle entre le quantile de pluie Q95 et le maximum ne modifie en réalité uniquement que les quelques valeurs les plus fortes. Ceci est confirmé par les trois changements sur le maximum qui sont extrêmement élevés comparés aux quantiles de pluie Q99 : les changements sont majoritairement inférieurs à 20 % pour le quantile de pluie Q99, tandis qu'ils sont majoritairement supérieurs à 100 %, voire 150 % pour le maximum. Il est intéressant de constater que la correction avant ajustement respecte globalement les changements du modèle (malgré des inversions de signe) et renforce le signal des sorties brutes GCM/RCM, tandis que l'ajustement revoit nettement des changements de maximum plus modérés que les sorties brutes du GCM/RCM, même si les valeurs produites sont plus réalistes.

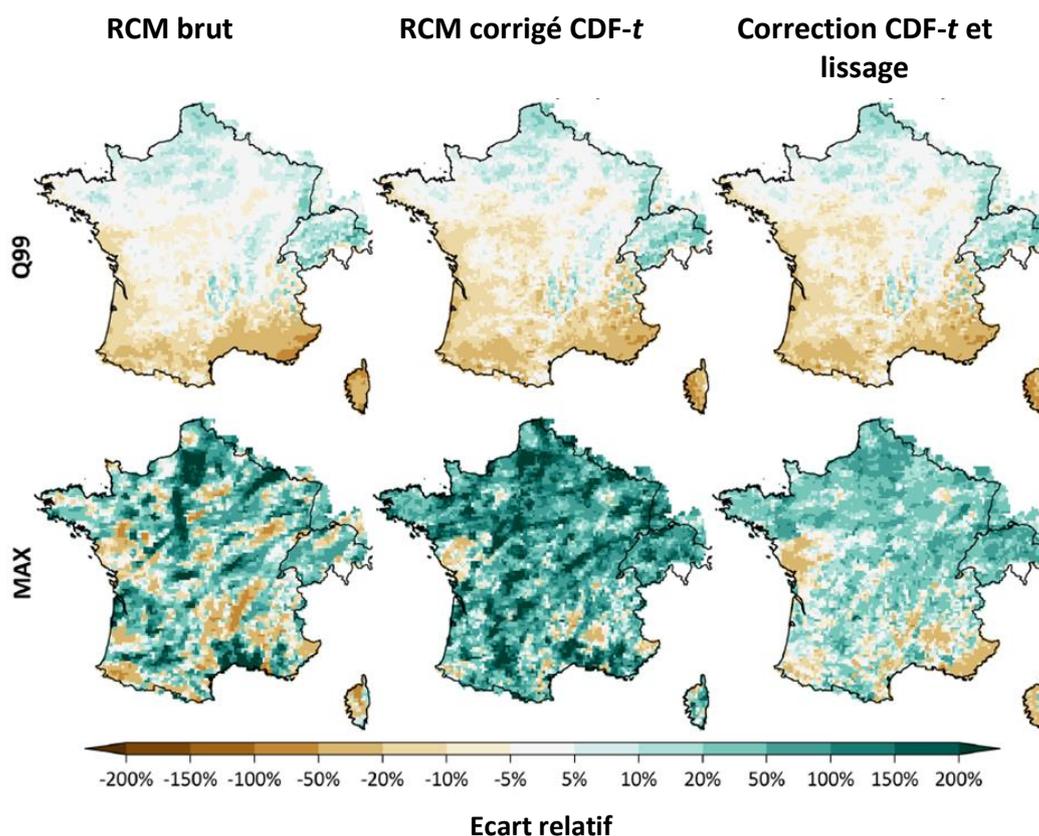


Figure 3 : Changements relatifs des extrêmes de précipitations entre la période historique 1986-2005 et la période future 2081-2100 (échantillonnés de septembre à décembre) pour le quantile 99 % et le maximum, pour le couple NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5 sous RCP 8.5. De gauche à droite : modèle brut, correction avec CDF-t sans ajustement des extrêmes de précipitations, correction avec CDF-t après ajustement des extrêmes de précipitations.

### 2.3 Sélection d'un ensemble « compatible » avec les simulations CMIP6

Les simulations climatiques corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-t ont été analysées en termes de changements de la température et des précipitations moyens sur la France pour différents scénarios climatiques, horizons temporels et saisons, et comparées avec l'ensemble de simulations CMIP6.

Dans le premier rapport (Robin *et al.*, 2023), une première comparaison (Figure 11, page 42) avait porté sur les paramètres de distribution de l'ensemble Explore2 complet par rapport à d'autres ensembles tels qu'EURO-CORDEX, CMIP5 ou CMIP6 sur l'année et les quatre saisons. Il avait été mis en évidence sur les températures moyennes annuelles en fin de siècle un écart de -0,7 à -1°C dans un scénario RCP8.5 entre l'ensemble initial Explore2 de 19 couples GCM/RCM corrigé par la méthode ADAMONT, respectivement CDF-t par rapport à CMIP6. Cet écart atteint en été respectivement jusqu'à -1,6°C à -2,1°C. En matière de cumul annuel de précipitations, l'écart était de +6 % à +7 % ; cet écart est du même niveau en été mais varie de +10 à +12 % en hiver.

Ce travail a été repris pour établir des comparaisons par simulation par rapport à l'ensemble CMIP6. Les changements de la température et des précipitations pour les données CMIP6 sur la France métropolitaine sont issus de Ribes *et al.* (2022). Pour les températures, on illustre aussi les changements déduits des projections CMIP6 contraintes par les observations de température globale et France (Ribes *et al.*, 2022). Notons que la prise en compte des observations réduit la plage d'incertitude associée aux changements futurs, à la fois en abaissant la borne haute de l'ensemble, et en rehaussant la borne basse.

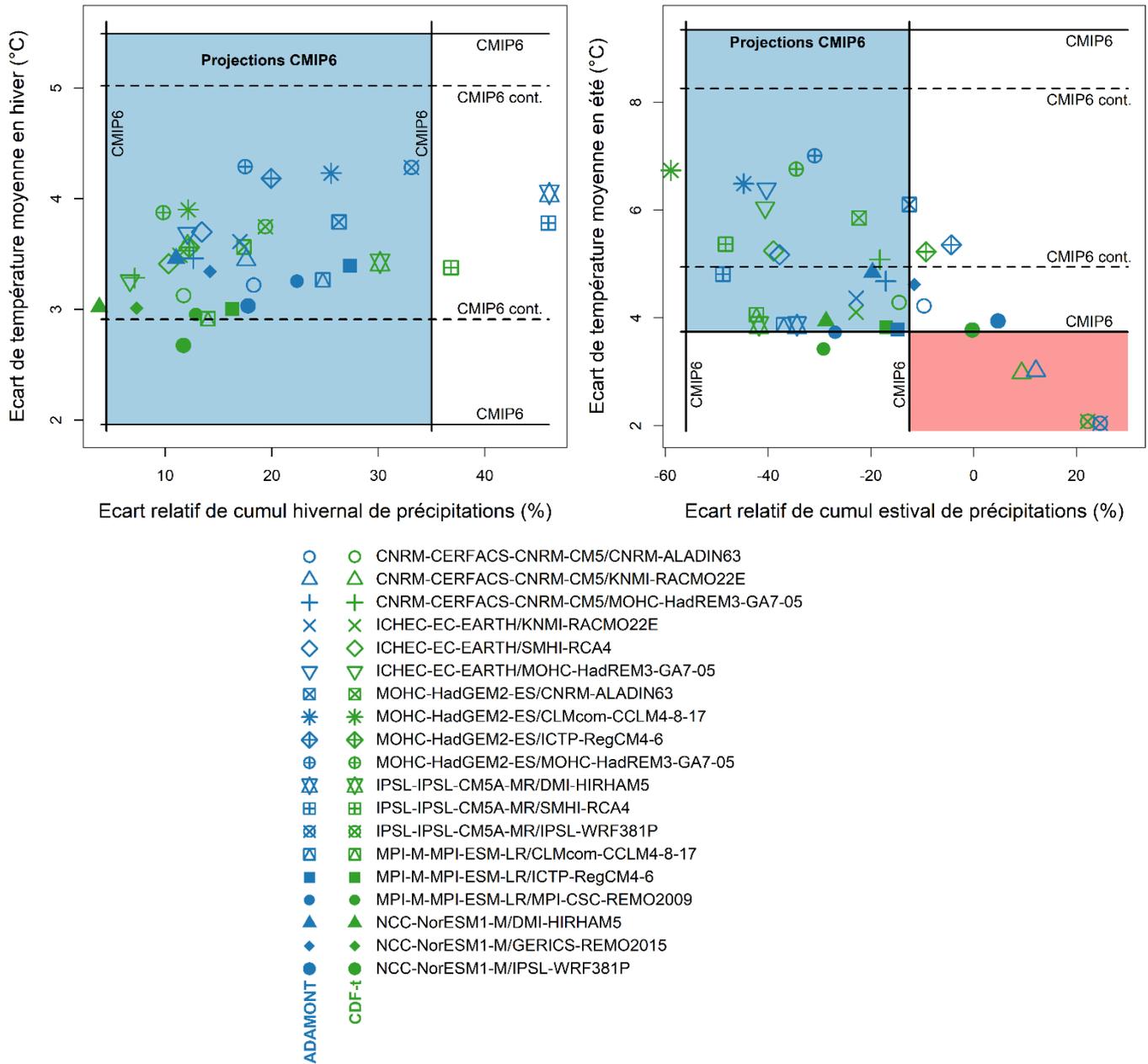


Figure 4 : Changements en température et précipitations sur la France des 19 simulations Explore2 corrigées par les méthodes ADAMONT et CDF-t sur les saisons hiver et été, comparés aux quantiles 5% et 95% (Q5 et Q95) de l'ensemble CMIP6 (« CMIP6 ») et CMIP6 contraint par les observations pour les températures selon la méthode de Ribes et al. (2022) (« CMIP6 cont. »).

Sur la Figure 4 en saison hiver, pour les précipitations, des changements se situent en dehors de l'intervalle de confiance de CMIP6 pour les précipitations pour IPSL-IPSL-CM5A-MR/RCA4 avec les deux méthodes de correction, NCC-NorESM1-M/DMI-HIRHAM5/CDF-t avec la méthode CDF-t, et IPSL-IPSL-CM5A-MR-HIRHAM/ADAMONT avec la méthode ADAMONT ; pour les températures, aucune simulation n'est en dessous de l'intervalle de confiance CMIP6 pour les températures (1 seule est en dessous de l'intervalle de confiance CMIP6 contraint par les observations, il s'agit de NorESM1-M/IPSL-WRF381P/CDF-t).

Les écarts sont plus importants en été avec deux simulations IPSL-IPSL-CM5A-MR/IPSL-WRF381P et CNRM-CERFACS-CNRM-CM5/KNMI-RACMO22E qui sont hors des intervalles de confiance CMIP6 tant en température qu'en précipitations et pour les deux méthodes de corrections ADAMONT et CDF-t. Deux autres couples HadGEM2-ES/RegCM4-6 et NorESM1-M/IPSL-WRF381P présentent des changements en dehors de l'intervalle de confiance CMIP6 pour les seules précipitations avec les deux méthodes de correction.

Au final, en accord avec les recommandations à venir pour les études prospectives d'appuyer le choix des simulations en cohérence avec l'intervalle de confiance des projections CMIP6 à la fois pour les changements de température et précipitation, il a été décidé de ne pas tenir compte des simulations IPSL-IPSL-CM5A-MR/IPSL-WRF381P et CNRM-CERFACS-CNRM-CM5/KNMI-RACMO22E pour les traitements statistiques de l'ensemble Explore2, dénommé « **Explore2-2024** » par la suite du document.

## 2.4 Approche « Narrative »

---

Le projet Explore2 vise à délivrer des informations exploitables pour décrire les futurs possibles du climat et de l'eau. Face à la quantité croissante de données disponibles, un aspect essentiel est la représentation des incertitudes. L'approche conventionnelle se base sur des ensembles de projections de modèles climatiques pour décrire l'évolution future des paramètres météorologiques de manière probabiliste, à l'aide de statistiques déduites des distributions empiriques (moyenne, médiane, quantiles, etc.). Cette approche décrit un ensemble des futurs possibles qui dépend de l'état de l'art des simulations climatiques à un instant donné, et présente plusieurs limites connues. Par exemple, les modèles climatiques comportent des erreurs structurelles, pouvant être communes à plusieurs d'entre eux, ce qui biaise les statistiques multi-modèles (Knutti *et al.*, 2013). Pour certains phénomènes climatiques régionaux, les changements futurs diffèrent d'un modèle à l'autre. La moyenne multi-modèle peut alors conduire à une réponse faible qui ne correspond à la simulation d'aucun modèle. C'est le cas notamment pour les changements de précipitations moyennes en France métropolitaine, avec des projections qui ne s'accordent pas sur le signe de l'évolution future.

Pour décrire les changements futurs de tels phénomènes climatiques régionaux, une alternative, dite approche par « storyline » est aujourd'hui souvent proposée. Une storyline est définie comme un déroulement physiquement cohérent d'événements passés ou futurs plausibles. Cette approche ne cherche pas à quantifier les probabilités, mais plutôt à développer des « récits » descriptifs de climats futurs plausibles (Shepherd *et al.*, 2018). Plusieurs storylines doivent être envisagées afin d'explorer plusieurs futurs possibles. Les storylines peuvent être perçues comme anecdotiques et donc non scientifiques. C'est pourquoi il est important de décrire comment elles ont été sélectionnées et comment elles se situent au sein la distribution de l'ensemble des modèles.

Dans l'approche classique par storyline, l'accent est mis sur la compréhension physique et qualitative des facteurs moteurs impliqués. A titre d'exemple, Zappa et Shepherd (2017) se sont intéressés aux changements futurs de précipitations moyennes en hiver en Europe à partir de trois forçages de grande échelle. Les auteurs ont ensuite examiné les changements de précipitations induits par telle ou telle combinaison des forçages, et identifié les combinaisons les plus déterminantes pour servir de storylines.

Monerie *et al.* (2017) ont cherché à décrire la réponse de la mousson d'Afrique de l'Ouest au changement climatique. Celle-ci varie largement d'un modèle à l'autre, menant à de larges incertitudes sur l'évolution climatique future dans cette région. L'objectif de l'étude est de résumer l'incertitude à travers la sélection d'un sous-ensemble composé d'un petit nombre de modèles capable de couvrir la dispersion de l'ensemble des projections disponibles. Les modèles sont regroupés selon une méthode de classification hiérarchique des changements de précipitations. Plusieurs méthodes de sélection sont ensuite proposées. Celle qui consiste à sélectionner un modèle dans chaque groupe est la plus appropriée pour saisir l'étendue des changements futurs.

Nous proposons ici d'adopter le même principe de classification des changements futurs pour définir des « storylines » répondant aux besoins des utilisateurs des projections Explore2-2024. Nous les baptiserons **narratifs** dans la suite. Le choix est fait de sélectionner quatre narratifs contrastés pour illustrer des futurs possibles du climat et de l'eau en France métropolitaine. Une sélection semi-objective basée sur une classification hiérarchique des changements moyens de la température et des précipitations sur la France a été présentée dans le cadre de la conférence International Conference on Regional Climate-CORDEX 2023

(Annexe 1). Dans le cadre du projet Explore2, l'approche choisie repose sur une sélection d'experts (subjective) basée sur un travail de co-construction avec des utilisateurs impliqués dans des études d'impact hydrologique.

Le premier critère de sélection porte sur les changements futurs de la température et des précipitations : les quatre narratifs doivent correspondre à des évolutions contrastées, pour rendre compte de la dispersion de l'ensemble Explore2 tout en restant cohérent avec l'intervalle de confiance des projections CMIP6 (Figure 4, page 22)

Quatre narratifs contrastés ont ainsi été définis, et identifiés dans la suite par un code couleur :

1. **Narratif dahlia (ICHEC-EC-EARTH/MOHC-HadREM3-GA7-05)** ☀ « **Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)** »,
2. **Narratif narcisse (CNRM-CERFACS-CNRM-CM5/CNRM-ALADIN63)** ☁ « **Changements futurs relativement peu marqués** »,
3. **Narratif aster (MOHC-HadGEM2-ES/CLMcom-CCLM4-8-17)** 🌀 « **Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations** »,
4. **Narratif euphorbe (MOHC-HadGEM2-ES/CNRM-ALADIN63)** 🌿 « **Réchauffement marqué et augmentation des précipitations** ».

D'autres critères ont été proposés :

- Favoriser les simulations avec aérosols évolutifs,
- Eviter les simulations avec une forte incohérence GCM/RCM (Taranu *et al.*, 2023).

Les aérosols évolutifs dans les RCMs ont un impact significatif sur les changements de rayonnement et de température. Leur prise en compte améliore notamment la cohérence entre les projections de GCM et des RCM pour ces deux variables (Nabat *et al.*, 2021). En revanche, aucun impact significatif n'a été démontré pour les précipitations, l'évapotranspiration et la couverture nuageuse. Dans la mesure où ne sélectionner que des simulations avec aérosols évolutifs réduit le nombre de RCM à trois, ce critère est très restrictif et ne sera pas imposé ici.

De même, imposer que le RCM suive son GCM forceur en termes de changements futurs est un critère fort, et qui fait débat dans la communauté de modélisation régionale. La cohérence GCM/RCM n'a donc été considérée ici qu'à titre indicatif.

Enfin, pour que l'ensemble des modèles hydrologiques puissent utiliser les narratifs comme forçages atmosphériques, les données doivent être disponibles au pas de temps horaire. La sélection de narratifs ne s'est donc effectuée que sur les données corrigées par la méthode ADAMONT (la seule à produire des données au pas de temps horaire).

## 3 Diagnostics climatiques

### 3.1 Indicateurs climatiques

Des indicateurs climatiques sont calculés à partir des données quotidiennes de précipitation et température. A partir de ces deux variables, les indicateurs visent à donner une information sur les caractéristiques d'un climat et rendre compte de ses évolutions.

En tant que caractéristique du climat, un indicateur est défini pour être représentatif soit de son comportement moyen (température moyenne, cumul annuel de précipitations...) soit de ses valeurs extrêmes (précipitations extrêmes, nombre maximal de jours de sécheresse...).

La liste des indicateurs calculés ainsi que leurs définitions et descriptions se trouvent dans les tableaux qui suivent (Tableau 2, Tableau 3, Tableau 4). Ces tableaux précisent également les unités et les pas de temps dans lesquelles les indicateurs sont calculés à partir de bibliothèques ICCLIM<sup>1</sup>.

Acronyme (selon ICCLIM)	Définition	Unité	Pas de temps
<i>tg</i>	Température moyenne	°C	Annuel, saisonnier, mensuel

Tableau 2 : Indicateurs sur les températures.

Acronyme	Définition	Unité	Pas de temps
<i>rr</i>	Cumul sur la période des précipitations totales	mm	Annuel, saisonnier, mensuel
<i>rx1day</i>	Précipitation journalière maximale : cet indicateur permet de caractériser les pluies extrêmes journalières en fournissant la valeur maximale du cumul quotidien de précipitation sur le pas de temps considéré. Exemple : si appliqué sur le pas de temps « annuel » il fournira la valeur en mm de la précipitation du jour le plus pluvieux de l'année	mm	Annuel
<i>rx5day</i>	Cumul maximal sur cinq jours consécutifs (glissant)	mm	Annuel
<i>rr1</i>	Nombre de jours pluvieux défini comme le nombre de jours où les précipitations dépassent 1 mm	Nombre de jours	Annuel, saisonnier, mensuel
<i>rr20</i>	Nombre de jours de forte pluie défini comme le nombre de jours où les précipitations dépassent 20 mm	Nombre de jours	Annuel, saisonnier, mensuel
<i>cdd</i>	Nombre maximal de jours consécutifs sans pluie dans le pas de temps considéré. Exemple : pour le pas de temps saisonnier, il s'agit du nombre de jours consécutifs non pluvieux dans la saison. Les jours non pluvieux des mois adjacents peuvent être inclus dans le calcul s'ils complètent la série. Cet indicateur permet de caractériser les épisodes de sécheresse	Nombre de jours	Annuel, saisonnier, mensuel

Tableau 3 : Indicateurs sur les précipitations.

<sup>1</sup> <https://icclim.readthedocs.io/en/stable/>

Acronyme	Définition	Unité	Pas de temps
<i>evs</i>	Évapotranspiration potentielle, dénommée dans la suite « évapotranspiration de référence » (cumul). Cumul du transfert d'eau vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et de la transpiration de la végétation calculée selon la formule Penman Monteith avec des coefficients définis par la FAO et l'extrapolation Hargreaves ( $H= 0,175$ ) pour le rayonnement <sup>2</sup>	mm	Annuel, saisonnier, mensuel
<i>p-evs</i>	Différence entre le cumul de précipitations <i>rr</i> et de l'évapotranspiration de référence <i>evs</i>	mm	Annuel, saisonnier, mensuel

Tableau 4 : Indicateurs sur le bilan hydrique.

Pour chaque simulation individuelle (couple GCM/RCM sous scénario RCP) de l'ensemble, les indicateurs sont calculés par point de grille sur l'intégralité de la période de simulation disponible. Les indicateurs sont enfin agrégés sur des périodes de 30 années représentatives, pour chaque scénario, des différents climats :

- Période/climat de référence : 1976-2005,

et trois périodes futures :

- H1 : horizon proche, 2021-2050,
- H2 : horizon moyen, 2041-2070,
- H3 : horizon lointain, 2070-2099.

Chaque année est une année civile. Lorsque l'on s'intéresse au changement climatique, on utilise des indicateurs qui représentent des écarts par rapport à une référence connue, qui est, ici, le climat de référence 1976-2005 :

- Écart (« Delta » dans les représentations graphiques) par rapport à la référence, utilisé pour les indicateurs *tg* et *p-evs*,
- Écart relatif (pourcentage par rapport à la période de référence, « Delta rel. » dans les représentations graphiques) par rapport à la référence, utilisé pour les indicateurs : *rr*, *rx1day*, ainsi que les variables de bilan *evs*.

Des agrégations spatiales sont aussi réalisées pour obtenir des données de synthèse sur trois domaines spatiaux : la France entière, la moitié nord et la moitié sud de part et d'autre de la latitude 46.5N (Figure 5).

Le type d'**agrégation spatiale** appliqué dépend de la nature de l'indicateur :

- Indicateur d'état (température...) : moyenne spatiale,
- Indicateur discret (nombre de jours de pluie...) : médiane spatiale,
- Indicateur de flux (précipitations moyennes et précipitations extrêmes...) : moyenne spatiale.

Pour les agrégations spatiales des écarts à la référence, les calculs sont effectués dans l'ordre suivant, pour chaque simulation individuelle :

1. Moyenne temporelle par maille sur chacun de deux horizons temporels (référence et horizon futur considéré),
2. Agrégation spatiale sur chacun des deux horizons temporels,
3. Différence (ou différence relative) entre le climat futur et le climat de référence.

<sup>2</sup> <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/310>

Dans la suite du rapport, seuls les indicateurs suivants sont présentés : *tg*, *rr* (pas de temps annuel et pour les saisons hiver et été), *rx1day*, *evs*, et *p-evs*.

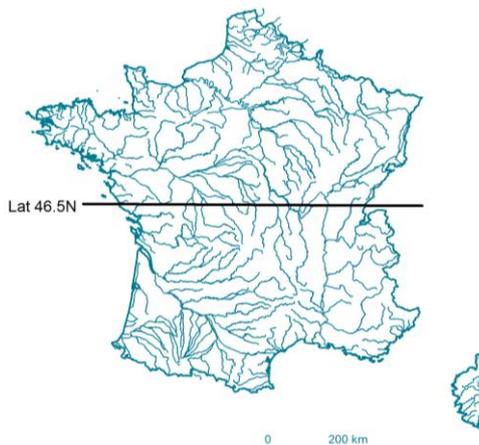


Figure 5 : Délimitation Nord Sud de la France adoptée dans le projet Explore2.

### 3.2 Présentation des résultats

**Un premier rapport spécifique aux incertitudes (source, représentation...) a été produit par le consortium (Reverdy *et al.*, 2023). Le lecteur intéressé pourra s’y référer pour plus de détails.**

Les indicateurs sont calculés pour chacune des simulations (couples GCM/RCM) de l’ensemble Explore2-2024, un ensemble respectivement de 10, 9 et 17 simulations pour les scénarios d’émissions RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5, et 17 simulations sur la période historique.

#### *Significativité des changements futurs*

Même en moyenne sur des périodes de 30 ans, les changements en climat futur peuvent être influencés par des fluctuations de basse fréquence de la variabilité interne du climat.

Sur les cartes des simulations individuelles (Figure 6), des hachures indiquent les points de grille où les changements ne sont pas significatifs au regard de la variabilité interne du climat, selon la méthode appliquée dans le 6<sup>ème</sup> rapport du GIEC<sup>3</sup>.

Un changement est défini comme « significatif » si son amplitude est supérieure au seuil  $S_0$ , défini par :

$$S_0 = \sqrt{\frac{2}{N}} \cdot 1.645 \cdot \sigma_{1yr}$$

où  $N$  est le nombre d’années constituant les périodes d’intérêt (30) et  $\sigma_{1yr}$  est l’écart type interannuel de la série de l’indicateur sur les 30 ans considérés (*cf.* page 21 de la référence en bas de cette page), dont la tendance a été préalablement retirée. La valeur 1.645 correspond à un niveau de confiance à 90 % dans une loi normale centrée réduite.

<sup>3</sup> [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Atlas.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Atlas.pdf)

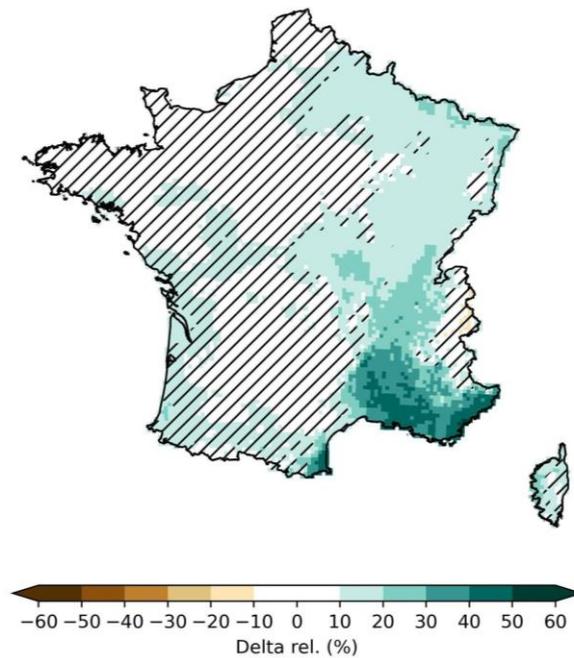


Figure 6 : Représentation des incertitudes liées à la variabilité interne dans les simulations individuelles. Les hachures indiquent les mailles où le changement n'est pas significatif au regard de la variabilité interne du climat.

### Dispersion des modèles climatiques

Plusieurs modèles (on parle ici de couples GCM/RCM) numériques peuvent fournir pour un même scénario d'émissions de gaz à effet de serre des estimations différentes de l'évolution du climat. En effet, la formulation et la paramétrisation des processus physiques et thermodynamiques peuvent être très différentes selon les modèles ainsi que la résolution spatiale (horizontale ou verticale). Le niveau d'incertitude liée aux modèles climatiques est beaucoup plus important pour les précipitations que pour les températures.

Cette forme d'incertitude est illustrée par les différences entre les projections issues des modèles individuels à l'intérieur de l'ensemble.

Notons que les différences entre les modèles sont aussi influencées par la variabilité interne. Distinguer la part d'incertitude liée à la variabilité interne de celle liée aux modèles sur les ensembles Explore2 et Explore2-2024 n'a pas été engagé ici. Ce type d'analyse sera réalisé par application de la méthode QUALYPSO et fera l'objet d'un rapport du projet Explore2 spécial à venir. Les incertitudes seront illustrées à travers les produits suivants :

- **Matrices de l'ensemble** : Pour un scénario donné, un horizon futur fixé et pour chaque indicateur, cette représentation permet de visualiser par des cartes, l'écart entre le climat futur et la référence 1976-2005 simultanément pour toutes les couples GCM/RCM sélectionnés. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs. Pour chaque simulation individuelle, les points de grille où le changement n'est pas significatif au regard de la variabilité interne sont hachurés. La Figure 7 constitue un exemple pour le cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5.
- **Produit de distribution (synthèse de l'ensemble multi-modèles)** : Pour un scénario donné, un horizon futur fixé et pour chaque indicateur, cette représentation cartographique permet de visualiser en chaque point de grille : les valeurs minimales, médianes et maximales des changements calculés sur la totalité des simulations de l'ensemble Explore2-2024.

La Figure 8 constitue un exemple pour la température annuelle pour un horizon fixé (ici, H3). Ces types de représentation permettent de comparer différents horizons temporels pour un même

scénario (**matrices multi-horizon**, exemple pour le cumul estival de précipitations en Figure 9). Sur la carte médiane (colonne centrale), et séparément pour chaque point de grille, on représente la **concordance de signe** entre les 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Sur les matrices **multi-horizon**, le changement est considéré significatif si plus de 80 % des simulations s'accordent sur le signe du changement. Les points de grille où le seuil 80 % d'accord de signe n'est pas atteint sont indiqués par des hachures, comme par exemple sur la carte médiane pour les horizons proche (H1) et moyen (H2) de la Figure 9.

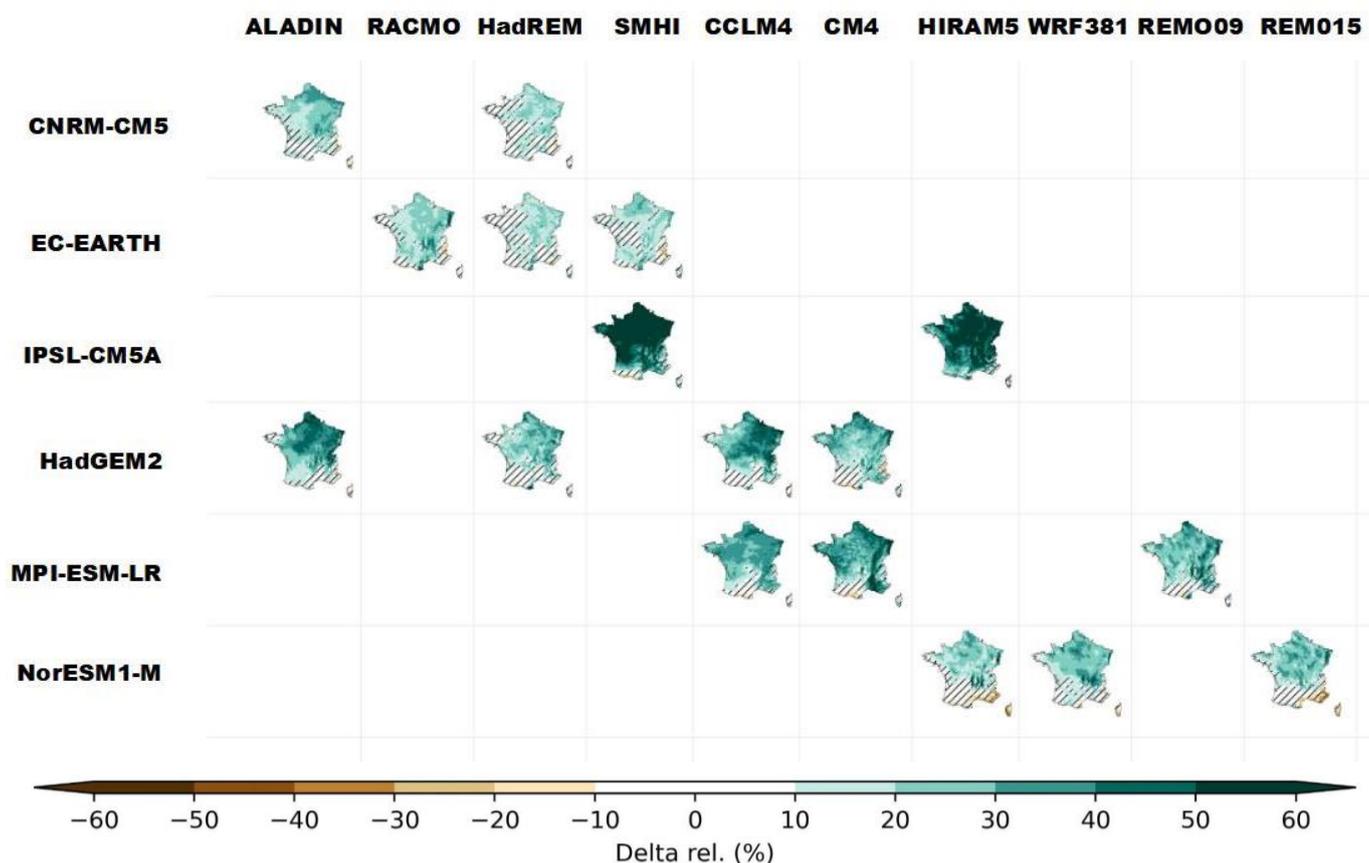


Figure 7 : Exemple de matrice de l'ensemble : cartes des écarts relatifs du cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT). Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs.

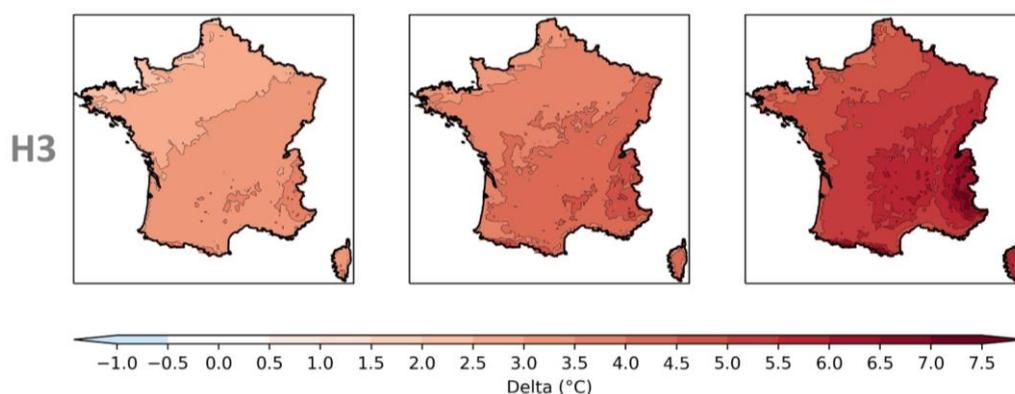


Figure 8 : Exemple de produit de distribution : cartes des écarts de température moyenne annuelle selon le scénario RCP8.5 entre l'horizon lointain (H3, 2070-2099) et la référence (1976-2005), minimum (gauche), médian (centre) et maximum (droite) de l'ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT).

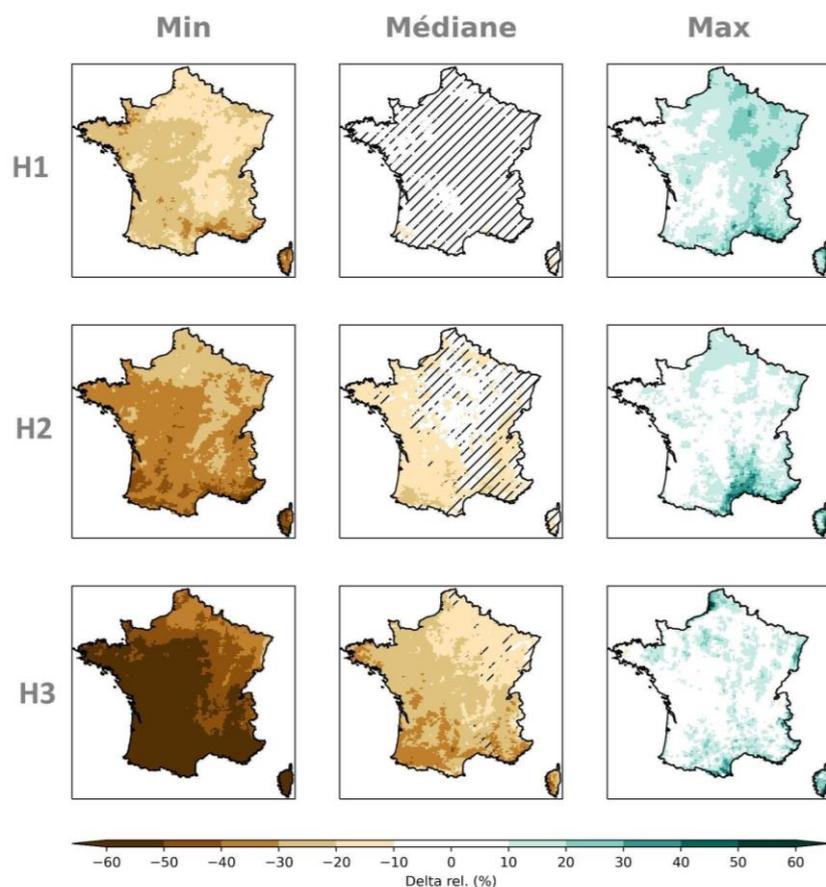


Figure 9 : Exemple de matrice multi-horizon : cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations selon le scénario RCP8.5 entre l’horizon proche 2021-2050 (première ligne, H1), l’horizon moyen 2041-2070 (deuxième ligne, H2) et l’horizon lointain 2070-2099 (troisième ligne, H3), et la référence 1976-2005. La première colonne correspond par point grille à l’écart minimal dans l’ensemble, la deuxième à l’écart médian et la troisième à l’écart maximal, tous calculés sur l’ensemble Explore2-2024 (méthode ADAMONT).

### Différents scénarios climatiques

Une partie importante de l’incertitude repose sur les scénarios climatiques qui représentent des trajectoires d’évolution des émissions de GES selon différentes hypothèses socio-économiques : les RCP, nommés selon des plages de valeurs possibles du forçage radiatif en 2100, prescrits en données d’entrée aux modèles de climat. Le niveau d’incertitude lié au scénario socio-économique augmente généralement avec les échéances temporelles.

Les incertitudes socio-économiques sont abordées en comparant les produits de distribution obtenus pour les trois scénarios d’émission (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5) par des **matrices multi-scénario**. Ce type de représentation est réservé dans le cadre du projet à l’horizon lointain H3 (2070-2099) (exemple pour la température moyenne annuelle en Figure 10). Les cartes sont celles des écarts entre l’horizon lointain H3 (2070-2099) et la période de référence (1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 (première ligne), RCP4.5 (deuxième ligne) et RCP8.5 (troisième ligne). La première colonne correspond par point grille à l’écart minimal dans l’ensemble, la deuxième à l’écart médian et la troisième à l’écart maximal, tous calculés sur l’ensemble Explore2-2024, c’est-à-dire sur 10 couples en RCP2.6, 9 couples en RCP4.5, et 17 couples en RCP8.5.

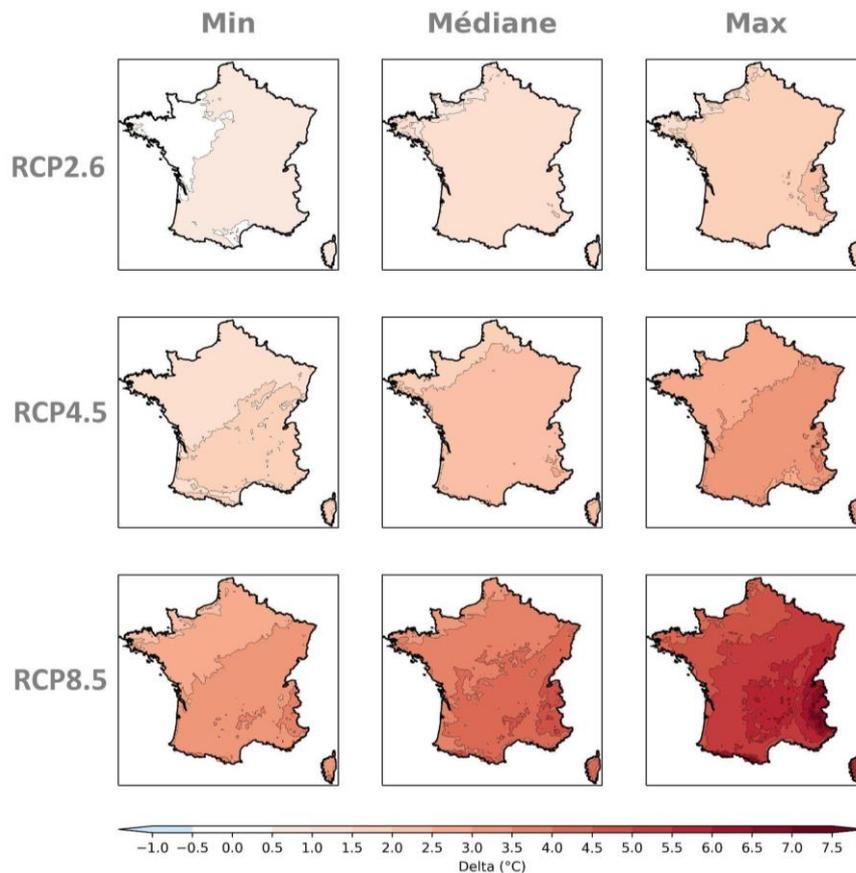


Figure 10 : Exemple de matrice multi-scénario : cartes des écarts de température moyenne annuelle entre l’horizon lointain H3 (2070-2099) et la période de référence (1976-2005) pour les trois scénarios RCP. La première colonne correspond par point grille à l’écart minimal dans l’ensemble, la deuxième à l’écart médiane et la troisième à l’écart maximal, tous calculés sur l’ensemble Explore2-2024.

A remarquer que, par construction, pour une variable donnée, les dernières lignes des matrices multi-horizon et multi-scénario sont identiques (elles décrivent la distribution statistique de la variable sous RCP8.5 pour l’horizon H3).

### Les matrices mosaïques

Les matrices mosaïques visent à compléter l’information des matrices multi-horizon et multi-scénario. La couleur indique pour chaque pixel le couple GCM/RCM correspondant respectivement aux valeurs minimale (gauche), médiane (centre) et maximale (droite) de l’ensemble Explore2-2024. Par exemple, la Figure 11 est associée à la Figure 9 : elle illustre pixel par pixel quel modèle a été utilisé pour produire la matrice multi-scénario pour la température moyenne annuelle.

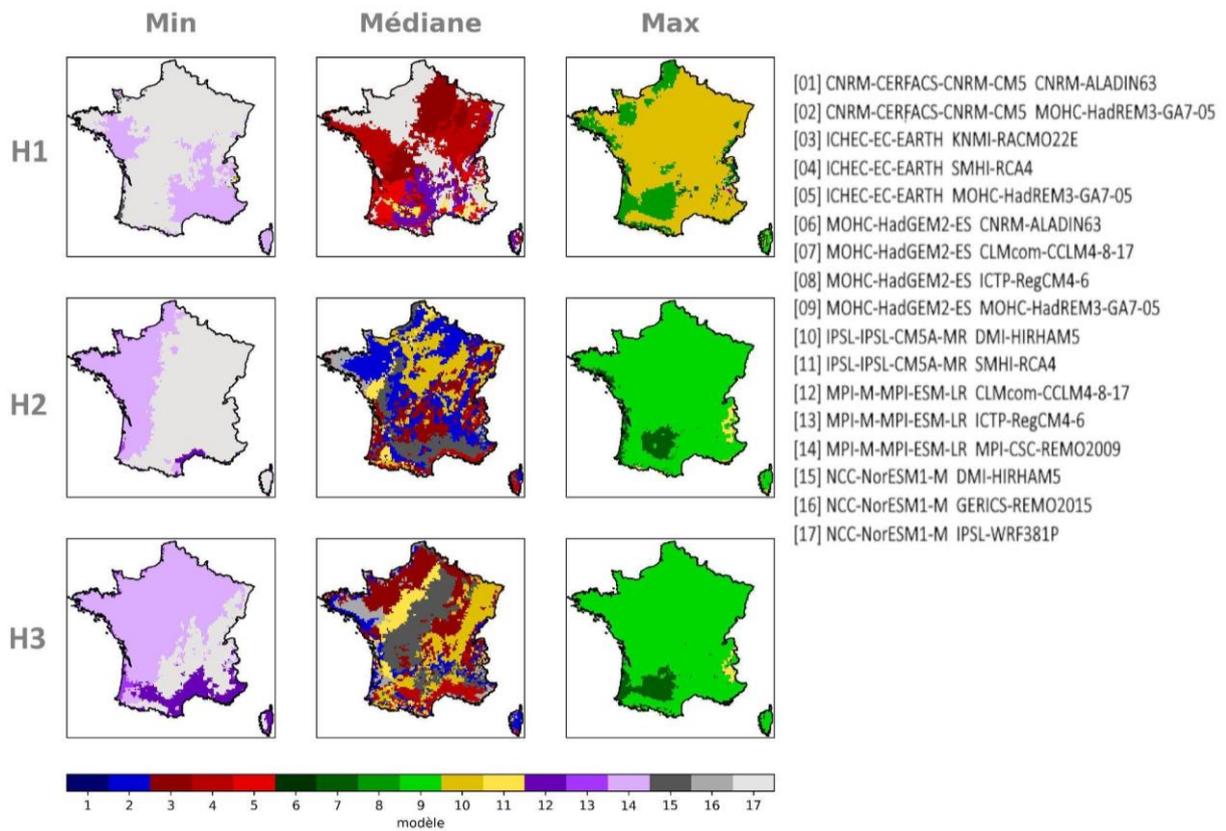


Figure 11 : Exemple de matrice mosaïque : identification du couple GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024 associé aux minimums, médianes et maximums des écarts de température moyenne annuelle sous RCP8.5 de la matrice multi-horizon.

### Les tableaux de synthèse

Ces tableaux comportent des statistiques élaborées à l'échelle nationale ainsi que sur les parties nord et sud de la France métropolitaine (médiane et intervalle [minimum ; maximum] calculés sur les agrégations spatiales des 10, 9 et 17 simulations pour les scénarios d'émissions RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5).

## 4 Diagnostics climatiques à partir de la méthode ADAMONT

Dans cette section, les indicateurs représentés sont issus des simulations climatiques Explore2-2024 corrigées à partir de la méthode ADAMONT.

### 4.1 Températures (tg)

#### Indicateur Température moyenne annuelle

Les séries temporelles de température moyenne annuelle montrent une hausse de température pour les RCP4.5 et RCP8.5 et une flexion vers la fin du siècle pour le RCP2.6 (Figure 12). La variabilité interannuelle reste très prononcée, avec les enveloppes d'ensemble des trois scénarios qui se superposent jusque 2050.

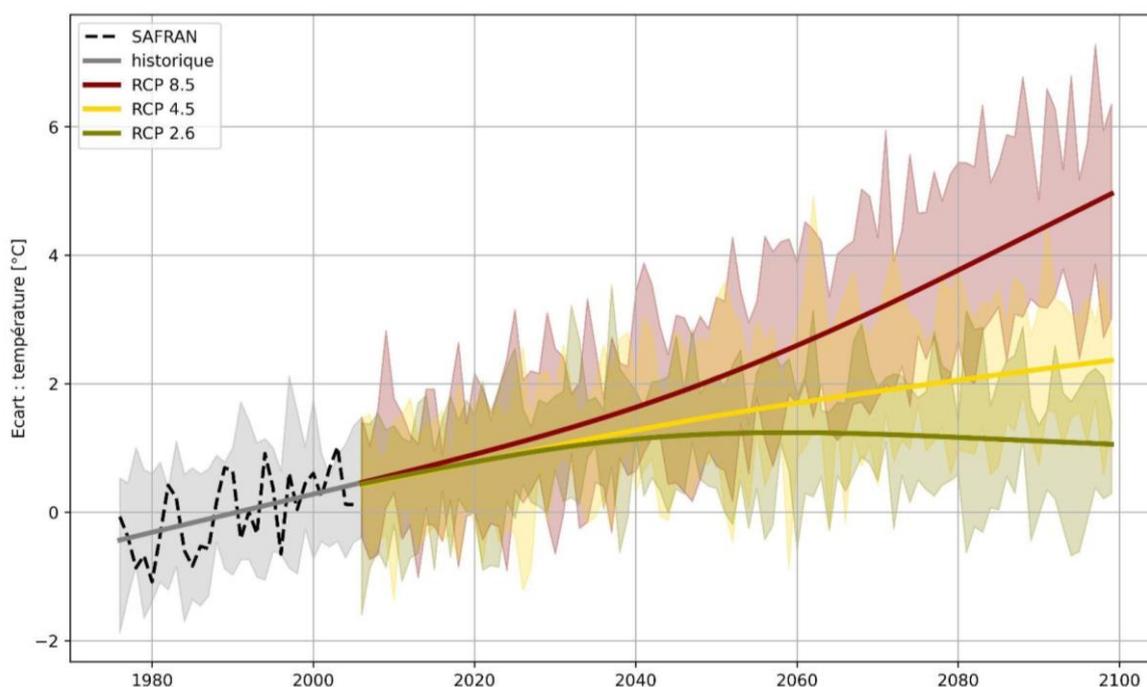


Figure 12 : Évolution de l'écart de température moyenne annuelle en France Métropolitaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la moyenne de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble Explore2-2024. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la moyenne de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la moyenne SAFRAN 1976-2005.

Matrices de l'ensemble :

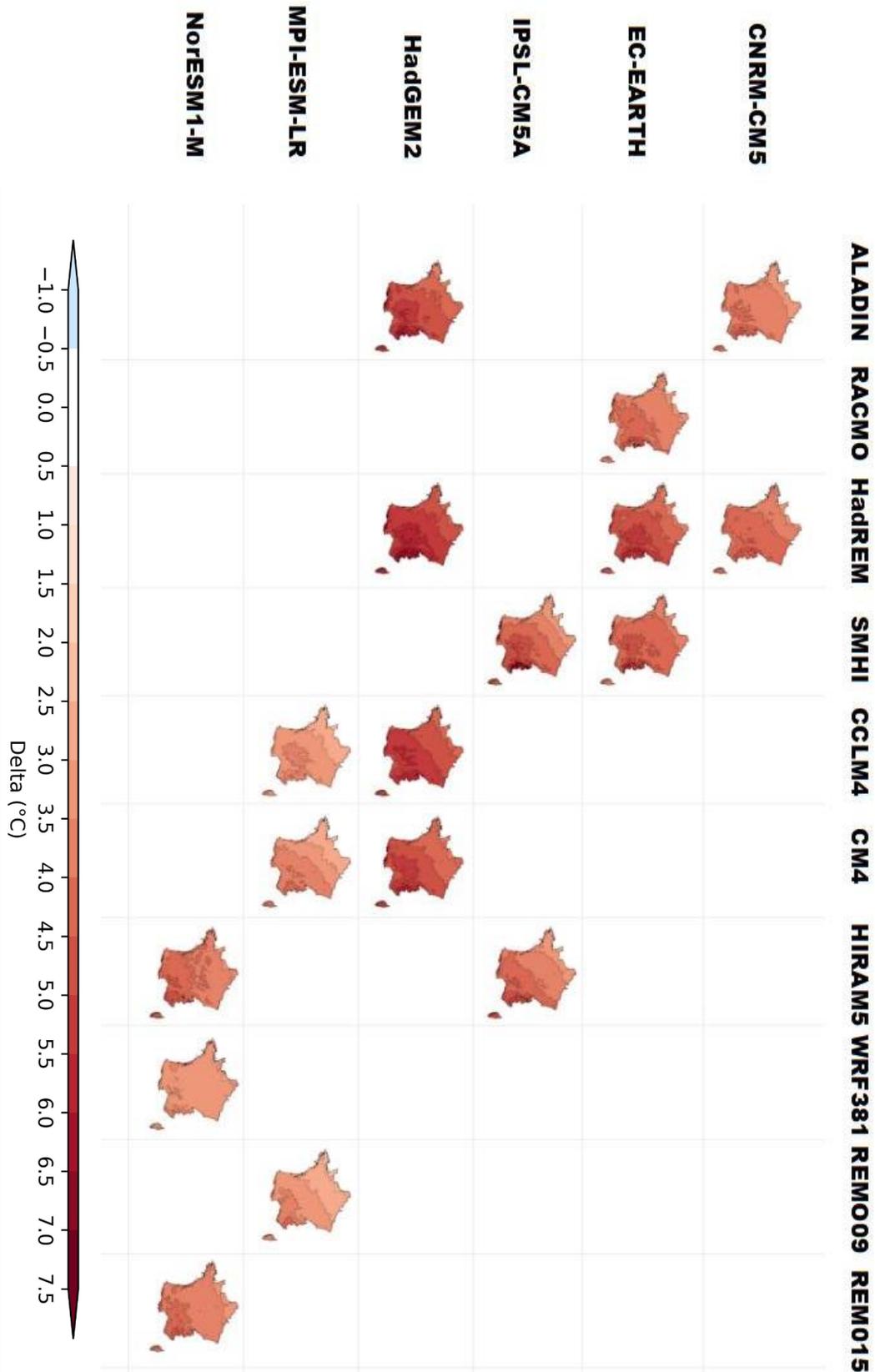


Figure 13 : Cartes des écarts des température moyenne annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT)

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

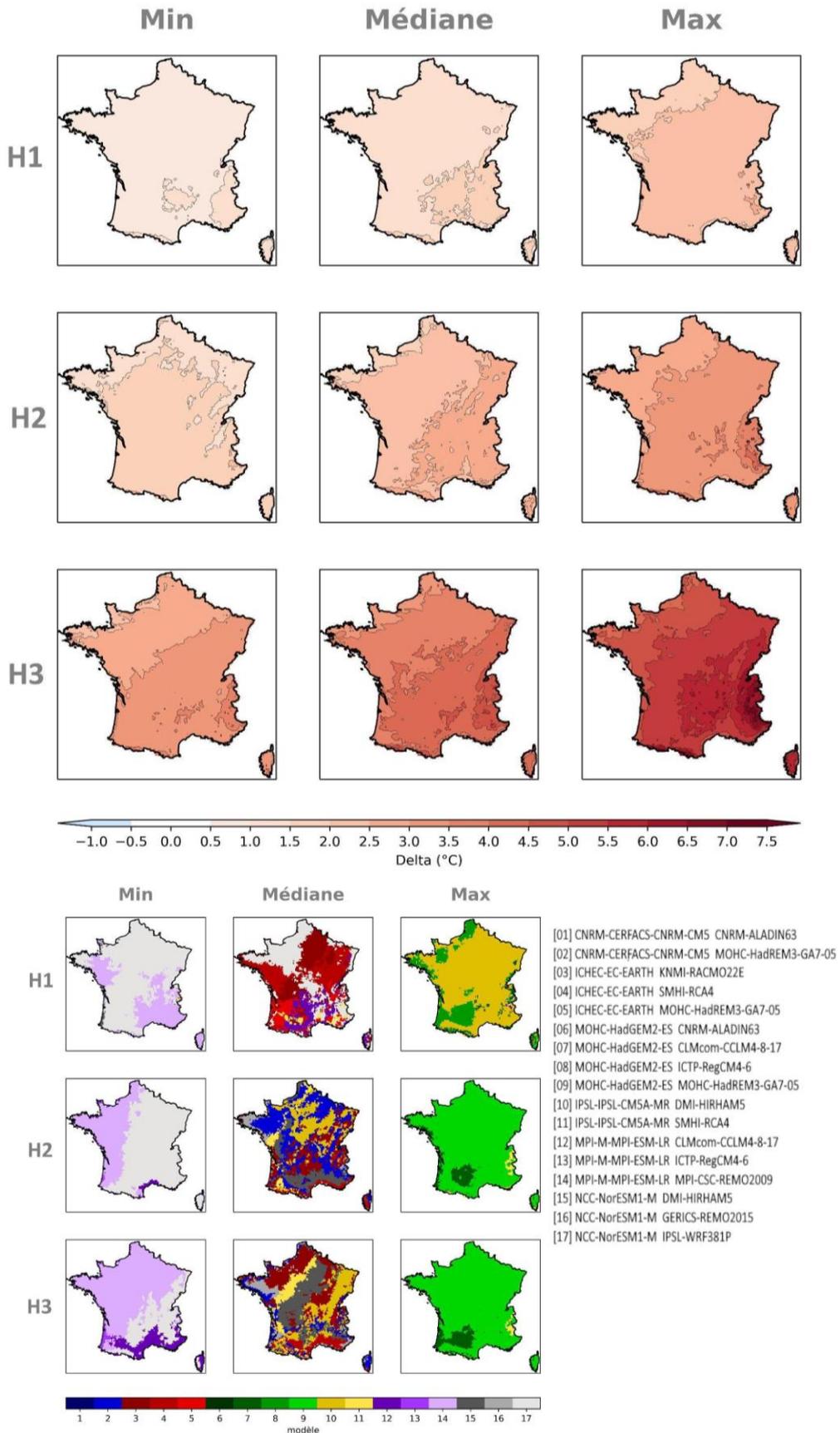


Figure 14 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

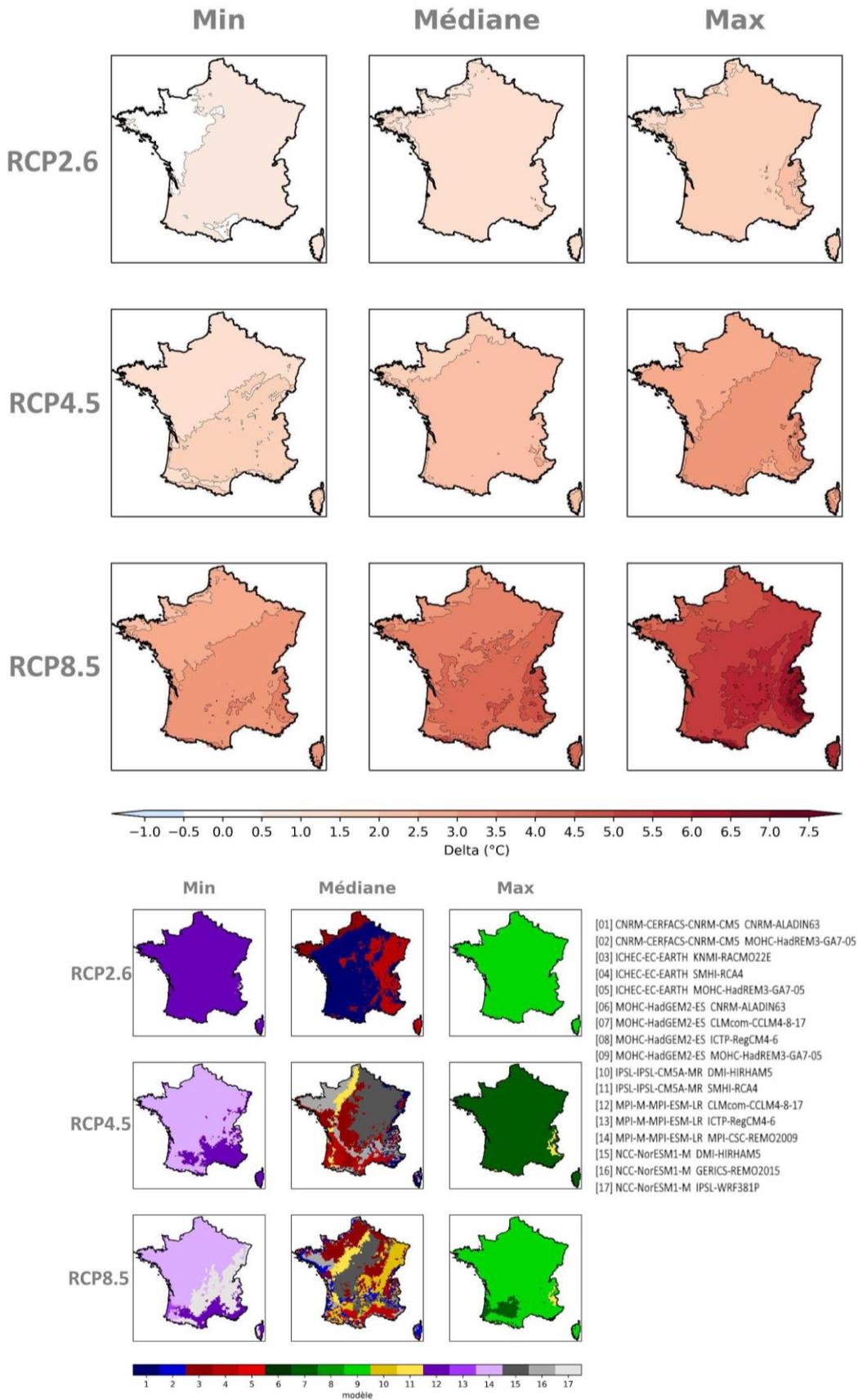


Figure 15 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de température annuelle				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.1°C [+0.7 ; +1.7]	+1°C [+0.7 ; +1.6]	+1.1°C [+0.8 ; +1.8]
	H2	+1.2°C [+0.8 ; +1.7]	+1.3°C [+0.7 ; +1.7]	+1.3 °C [+0.8 ; +1.8]
	H3	+1.1 °C [+0.6;+1.8]	+1.1°C [+0.6 ; +1.7]	+1.2 °C [+0.6 ; +1.8]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.3°C [+0.7 ; +1.8]	+1.2°C [+0.6 ; +1.8]	+1.3°C [+0.7 ; +1.9]
	H2	+1.8°C [+0.9 ; +2.6]	+1.6°C [+0.8 ; +2.5]	+1.9°C [+1.0 ; +2.7]
	H3	+2.2°C [+1.5 ; +3]	+2.1°C [+1.4 ; +3]	+2.2°C [+1.6 ; +3.2]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.4°C [+0.9 ; +2.1]	+1.3°C [+0.7 ; +2.0]	+1.5°C [+1 ; +2.1]
	H2	+2.4°C [+1.7 ; +3.1]	+2.3°C [+1.6 ; +3.0]	+2.5°C [+1.7 ; +3.2]
	H3	+4°C [+3.1 ; +5.2]	+3.8°C [+2.8 ; +5]	+4.3°C [+3.4 ; +5.5]

Tableau 5 : Ecart de température moyenne annuelle à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- La température moyenne annuelle est en hausse pour les trois scénarios.
- Le réchauffement est continu jusqu'en fin de siècle pour le RCP4.5 et RCP8.5.
- Avec le scénario RCP8.5 un gradient nord-ouest/sud-est émerge à partir de l'horizon moyen (H2, 2041-2070) et devient marqué en fin de siècle, avec une différence d'environ 1°C.
- La synthèse spatiale montre une fourchette des changements plutôt limitée entre les différents membres de l'ensemble, comme il est observable à partir de la matrice multi-modèle. Cette fourchette augmente en fin de siècle et pour le scénario RCP8.5.

Indicateur Température moyenne en hiver

Matrices de l'ensemble :

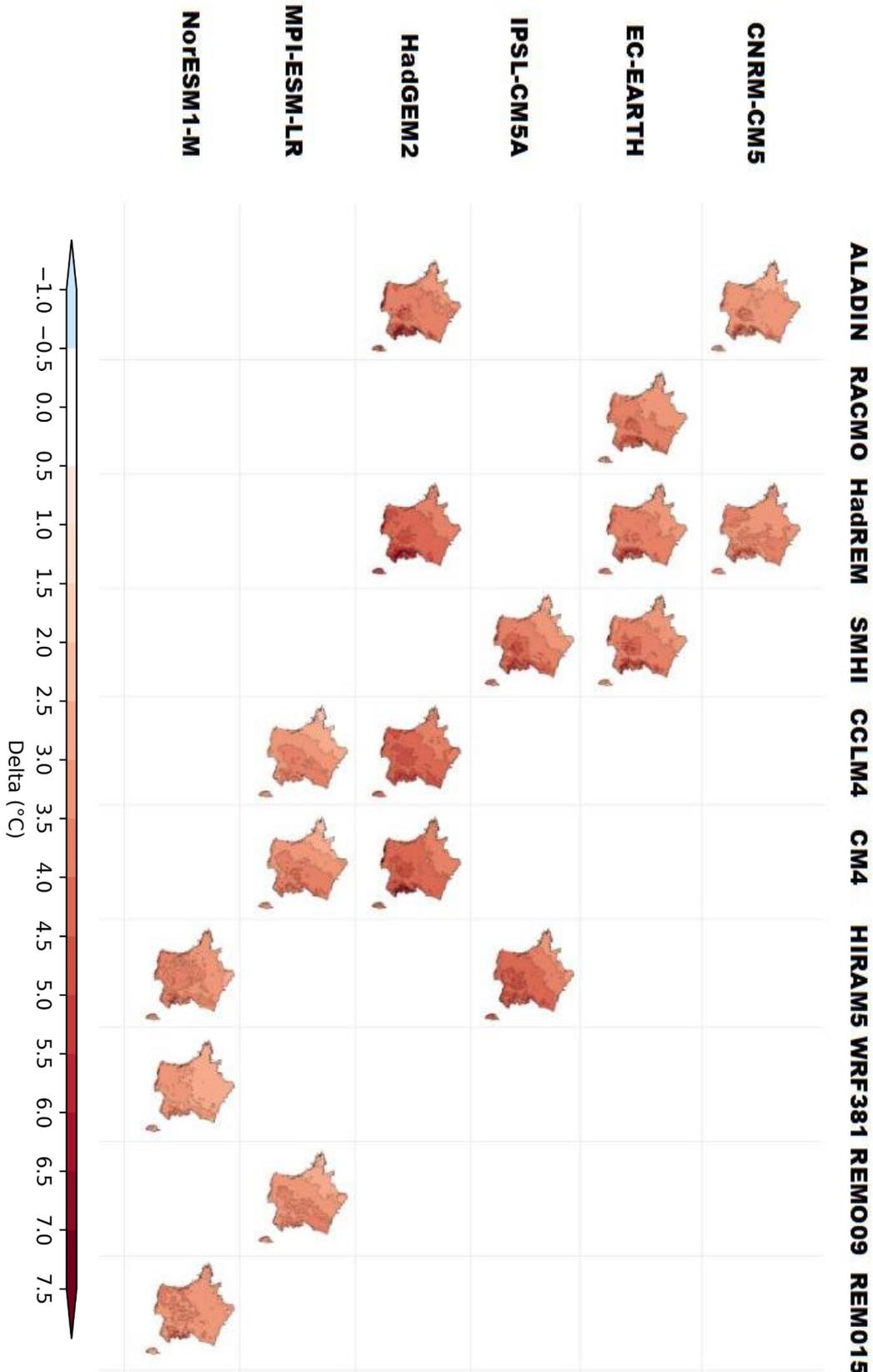


Figure 16 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

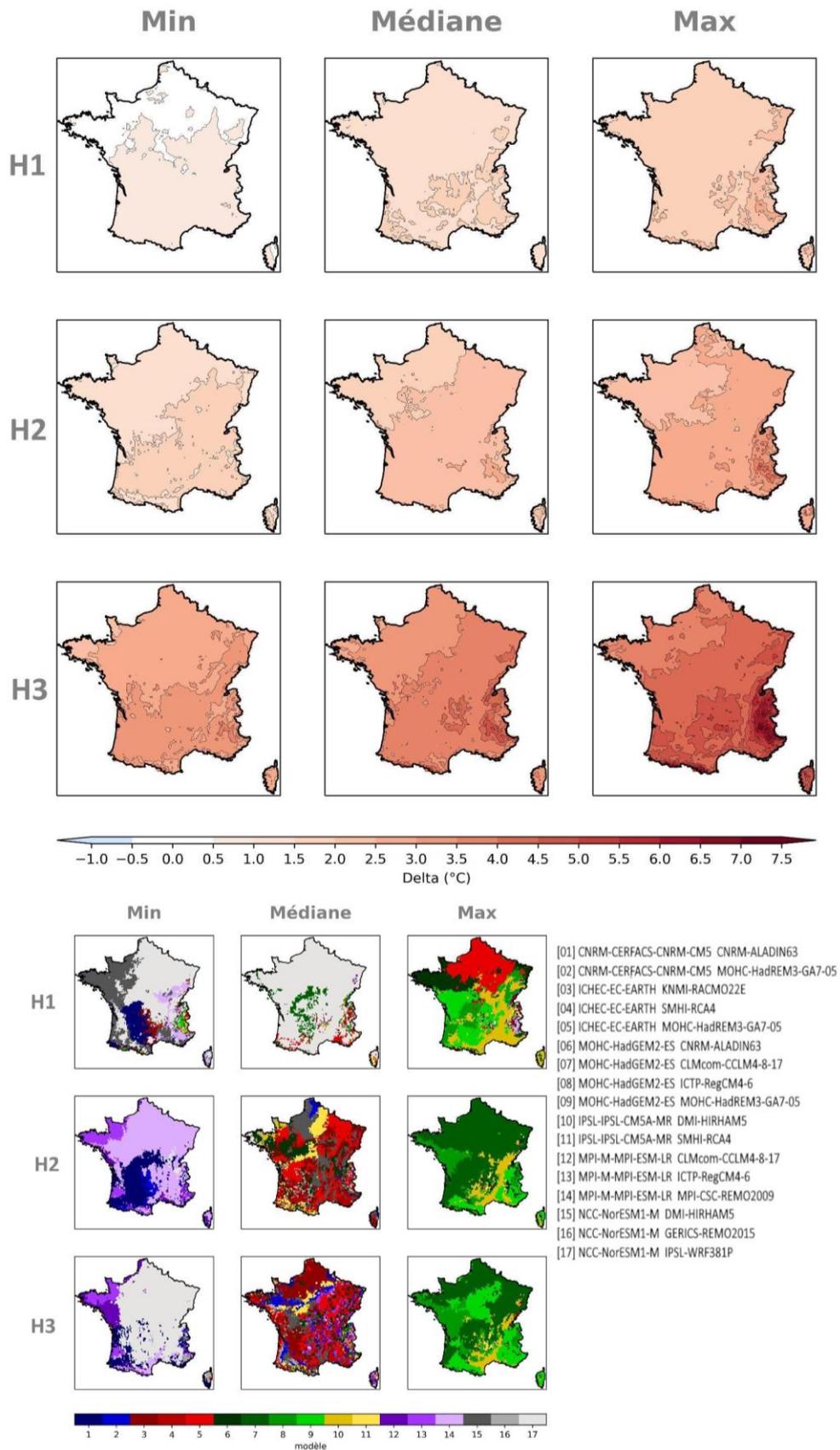


Figure 17 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) :

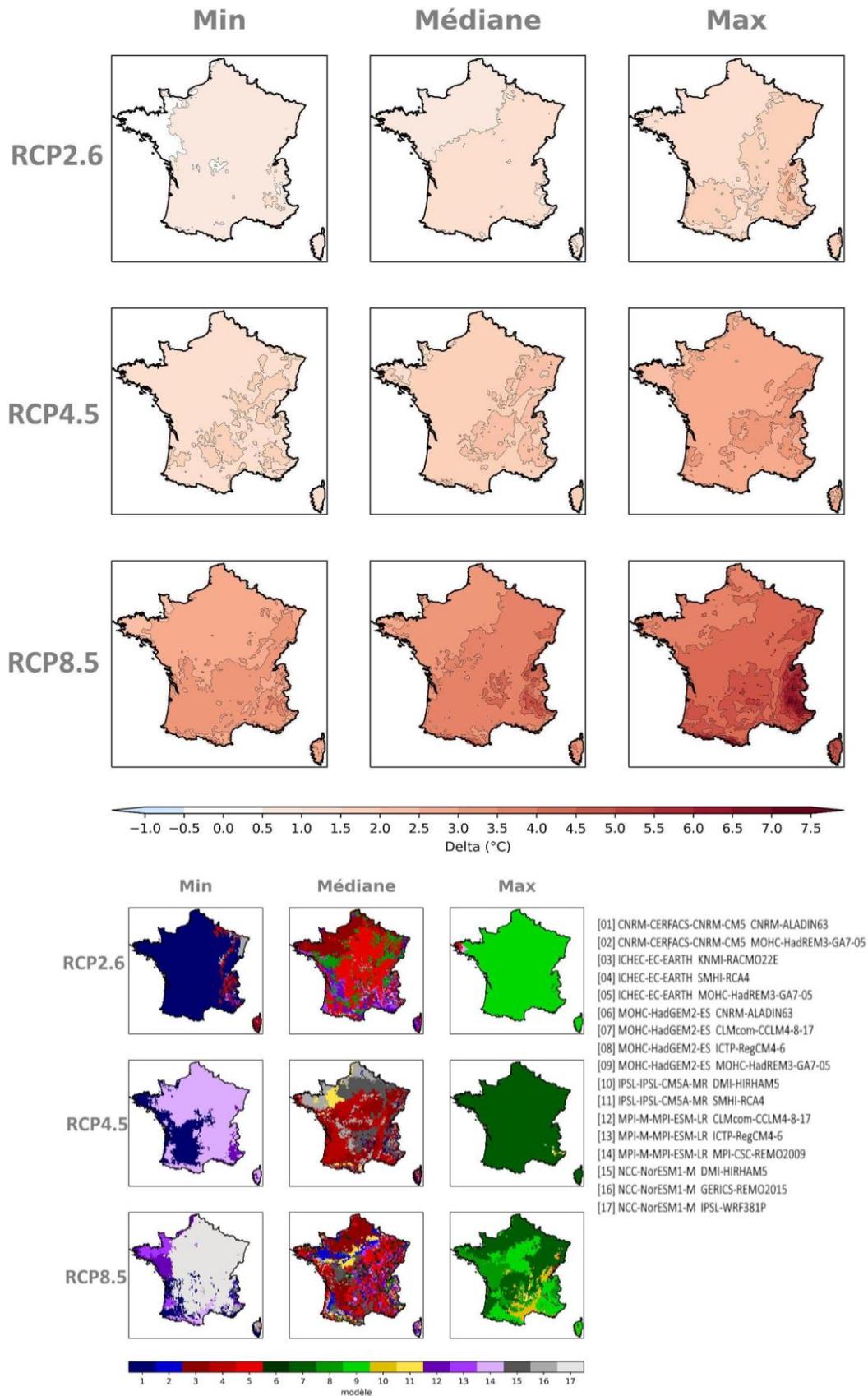


Figure 18 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de température moyenne en hiver				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1 °C [+0.7 ; +1.2]	+1°C [+0.6 ; +1.2]	+1°C [+0.8 ; +1.3]
	H2	+1°C [+0.9 ; +1.2]	+1°C [+0.9 ; +1.2]	+1°C [+0.9 ; +1.3]
	H3	+1.1°C [+0.7 ; +1.5]	+1°C [+0.6 ; +1.4]	+1.1°C [+0.7 ; +1.6]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1°C [+0.6 ; +1.8]	+0.9°C [+0.5 ; +1.8]	+1°C [+0.7 ; +1.8]
	H2	+1.4°C [+0.9 ; +2.5]	+1.3°C [+0.8 ; +2.5]	+1.5°C [+1 ; +2.5]
	H3	+1.9°C [+1.4 ; +2.8]	+1.9°C [+1.4 ; +2.7]	+1.9°C [+1.5 ; +2.9]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.4°C [+0.6 ; +1.8]	+1.3°C [+0.5 ; +1.8]	+1.5°C [+0.8 ; +1.9]
	H2	+2.2°C [+1.5 ; +2.6]	+2.0°C [+1.4 ; +2.5]	+2.3°C [+1.6 ; +2.7]
	H3	+3.6°C [+3 ; +4.3]	+3.5°C [+2.7 ; +4.1]	+3.8°C [+3.2 ; +4.6]

Tableau 6 : Ecart de température moyenne en hiver à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- Le réchauffement est légèrement moins marqué en hiver qu'en moyenne sur l'année (Tableau 5, page 37). Ceci s'observe soit en regardant l'évolution selon le scénario RCP8.5 jusqu'en fin de siècle, soit en fin de siècle en comparant les trois scénarios. En particulier, une diminution des différences entre le RCP2.6 et le RCP4.5 est perceptible.

Indicateur Température moyenne en été

Matrices de l'ensemble :

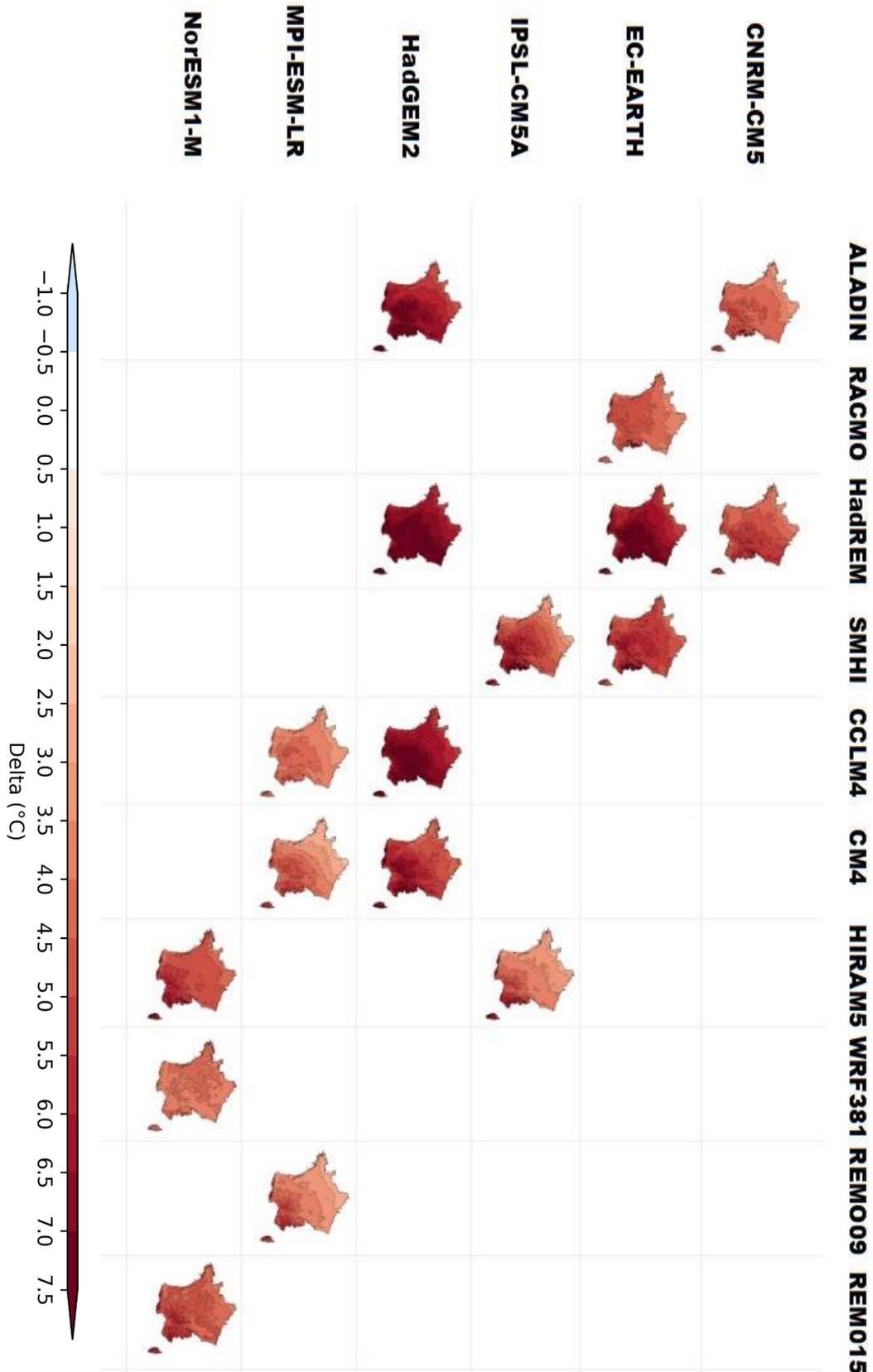


Figure 19 : Cartes des écarts de température moyenne en été à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

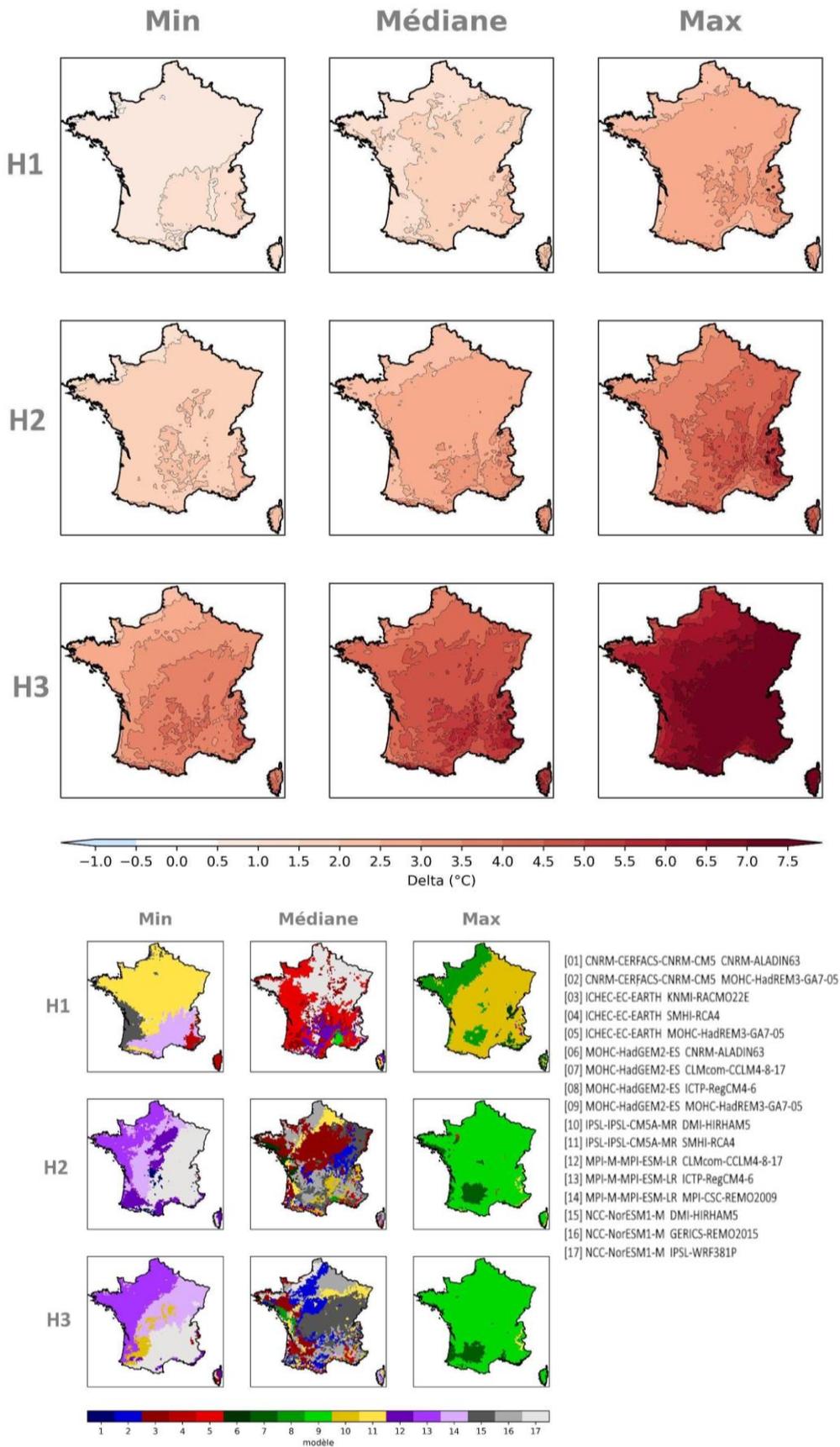


Figure 20 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

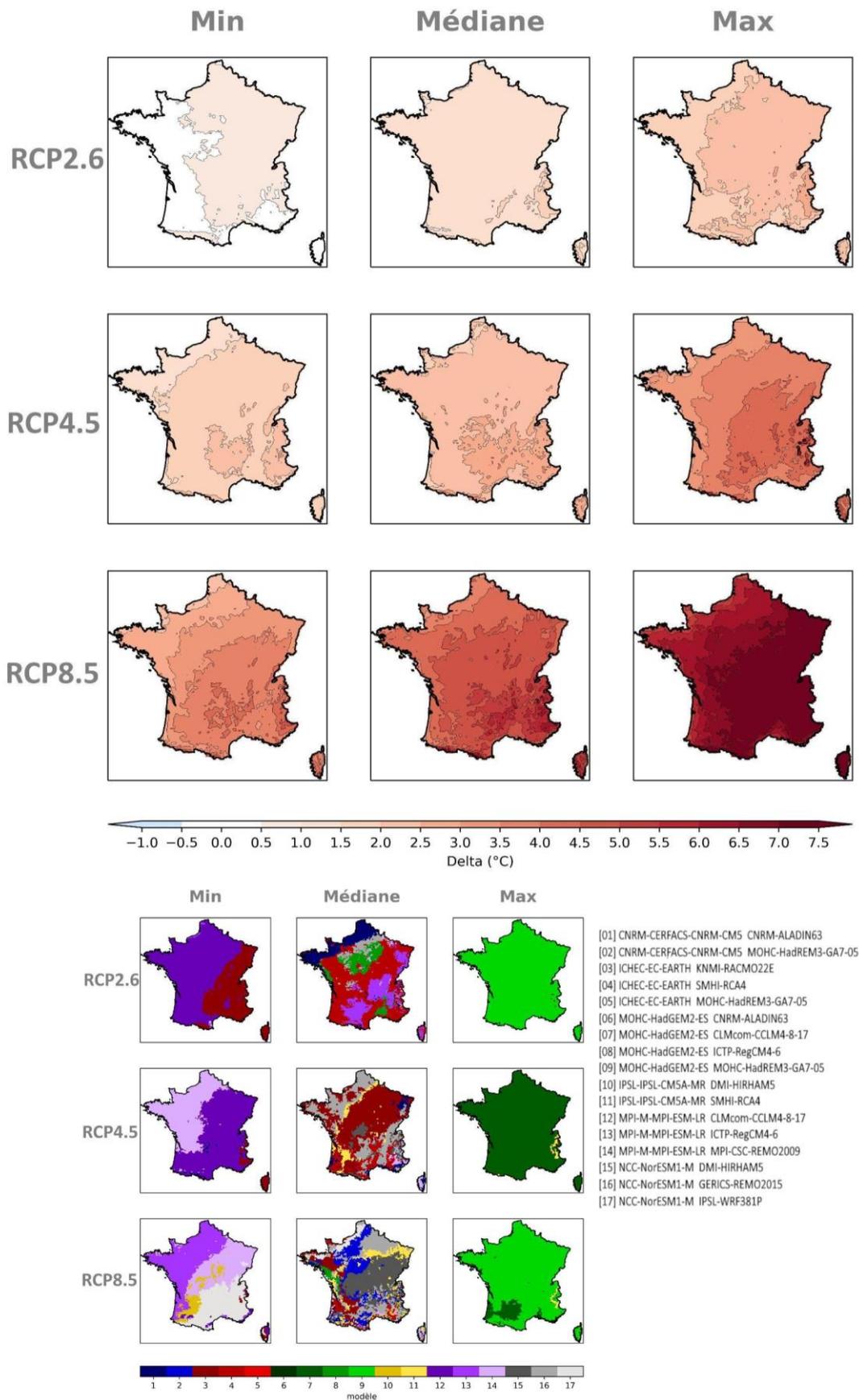


Figure 21 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de température moyenne en été				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.3°C [+0.4 ; +2.2]	+1.3°C [+0.3 ; +2.6]	+1.4°C [+0.5 ; +2.3]
	H2	+1.2°C [+0.5 ; +2]	+1.3°C [+0.5 ; +1.9]	+1.2°C [+0.5 ; +2.1]
	H3	+1.2 [+0.6 ; +2.1]	+1.2 [+0.6 ; +2]	+1.3 [+0.6 ; +2.1]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.4°C [+0.8 ; +2.3]	+1.3°C [+0.7 ; +2.1]	+1.6°C [+0.9 ; +2.5]
	H2	+2.1°C [+1 ; +3.5]	+2°C [+0.8 ; +3.4]	+2.3°C [+1.1 ; +3.6]
	H3	+2.4°C [+1.8 ; +3.8]	+2.2°C [+1.7 ; +3.6]	+2.6°C [+1.9 ; +4]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.6°C [+1 ; +2.7]	+1.5°C [+0.7 ; +2.6]	+1.7°C [+1.1 ; +2.8]
	H2	+2.7°C [+2.0 ; +4.1]	+2.6°C [+1.9 ; +3.9]	+2.9°C [+2.0 ; +4.3]
	H3	+4.7°C [+3.7 ; +7]	+4.4°C [+3.3 ; +6.7]	+4.9°C [+3.9 ; +7.4]

Tableau 7 : Ecart de température moyenne en été à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- L'été est la saison où le réchauffement est le plus intense. Avec le couple GCM/RCM le plus chaud, il atteint en moyenne sur la France jusqu'à +7°C selon le RCP8.5 en fin de siècle, et un réchauffement médian de l'ensemble d'environ +5°C.
- L'examen de la matrice de l'ensemble en fin de siècle et selon le RCP8.5 montre que l'été est aussi la saison où la fourchette du réchauffement est la plus ample, avec notamment les simulations basées sur les GCMs MPI-M-MPI-ESM-LR et NCC-NorESM1-M qui restent sensiblement plus froids.
- Le réchauffement reste proche entre le RCP4.5 et RCP8.5 jusqu'à l'horizon moyen, mais s'intensifie pour le scénario RCP8.5 en fin de siècle.
- Considérant la matrice multi-scénario en fin de siècle, l'été est aussi la saison où les différences en termes de réchauffement sont les plus marquées selon le scénario, avec en moyenne +1°C de réchauffement supplémentaire entre le RCP2.6 et le RCP4.5 et +2°C entre le RCP4.5 et le RCP8.5.

## 4.2 Précipitations (rr et rx1day)

### Indicateur Cumul annuel de précipitations

Les séries temporelles de cumul annuel de précipitations montrent une légère hausse en précipitation pour le RCP2.6 et une flexion vers la fin du siècle pour les deux autres scénarios, le RCP4.5 et RCP8.5 (Figure 22). La variabilité interannuelle reste très prononcée, avec les enveloppes d'ensemble des trois scénarios qui se superposent.

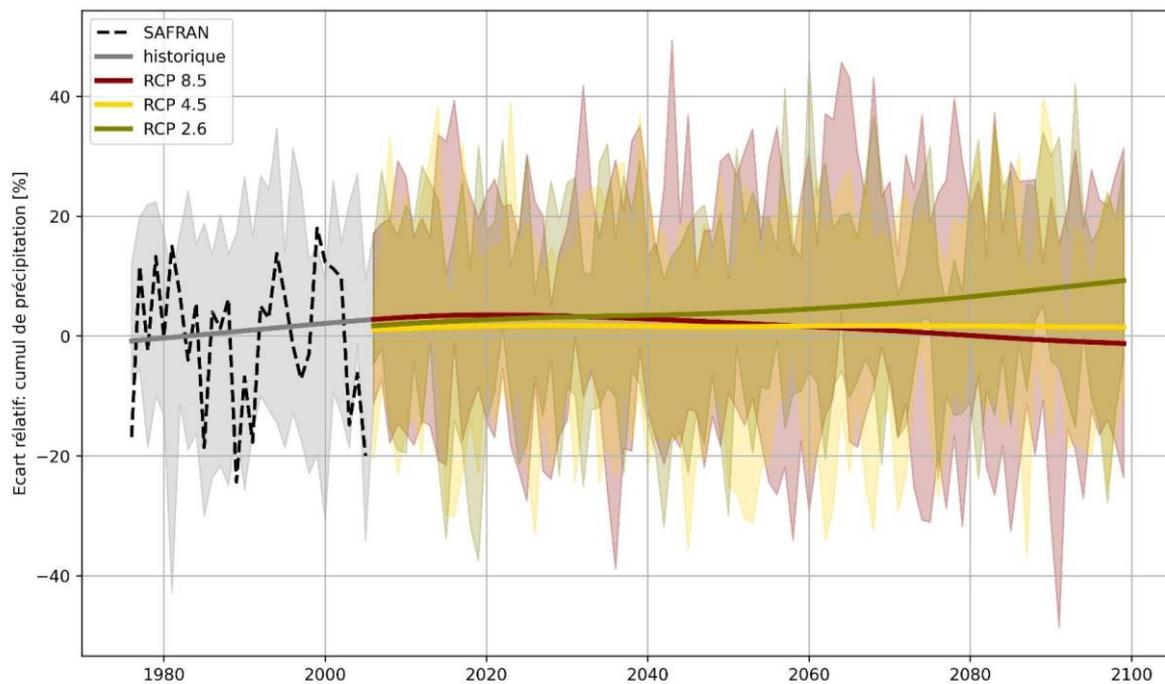


Figure 22 : Évolution de l'écart relatif de cumul annuel de précipitations en France Métropolitaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques ; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005.

Matrices de l'ensemble :

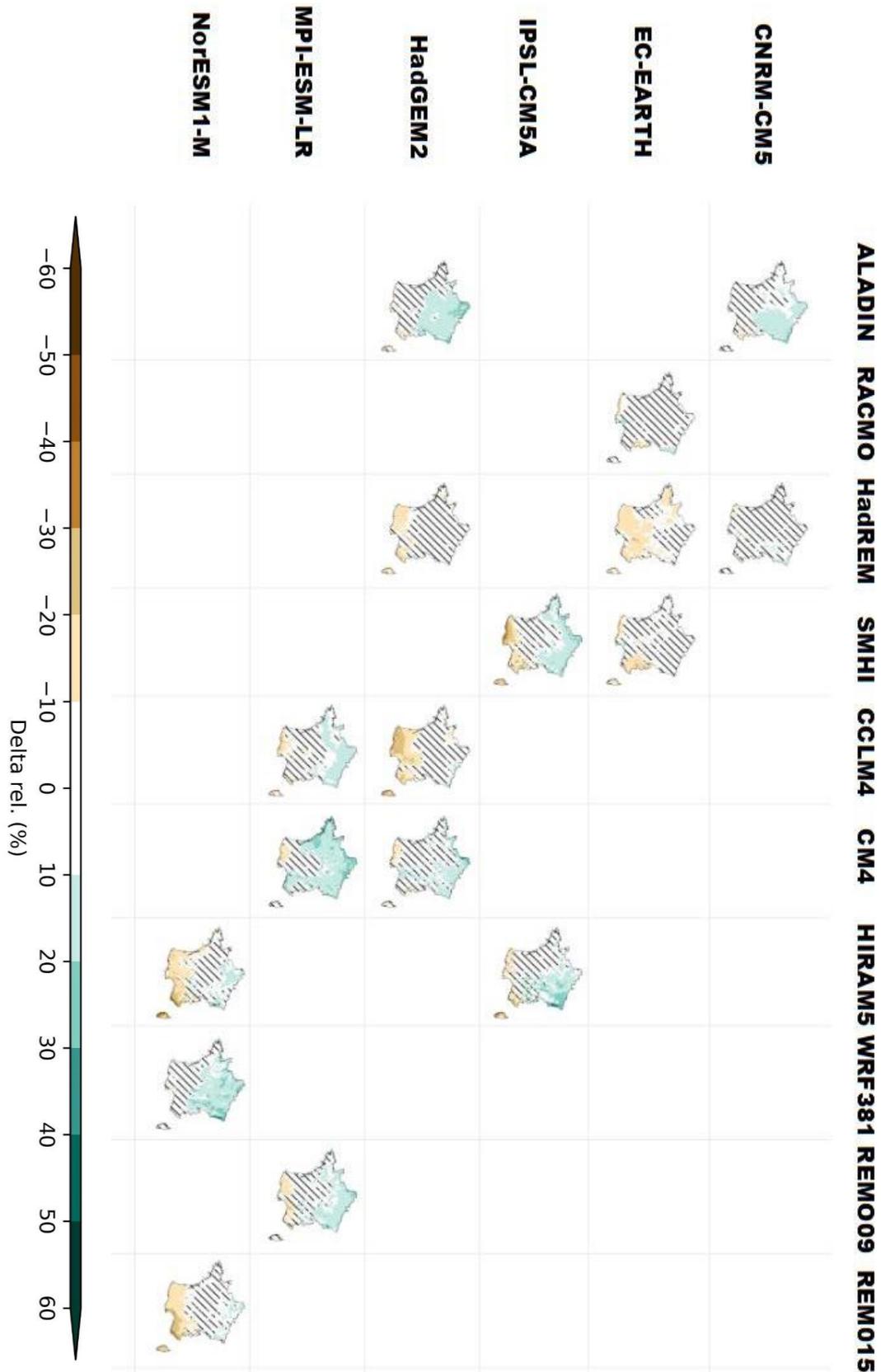


Figure 23 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

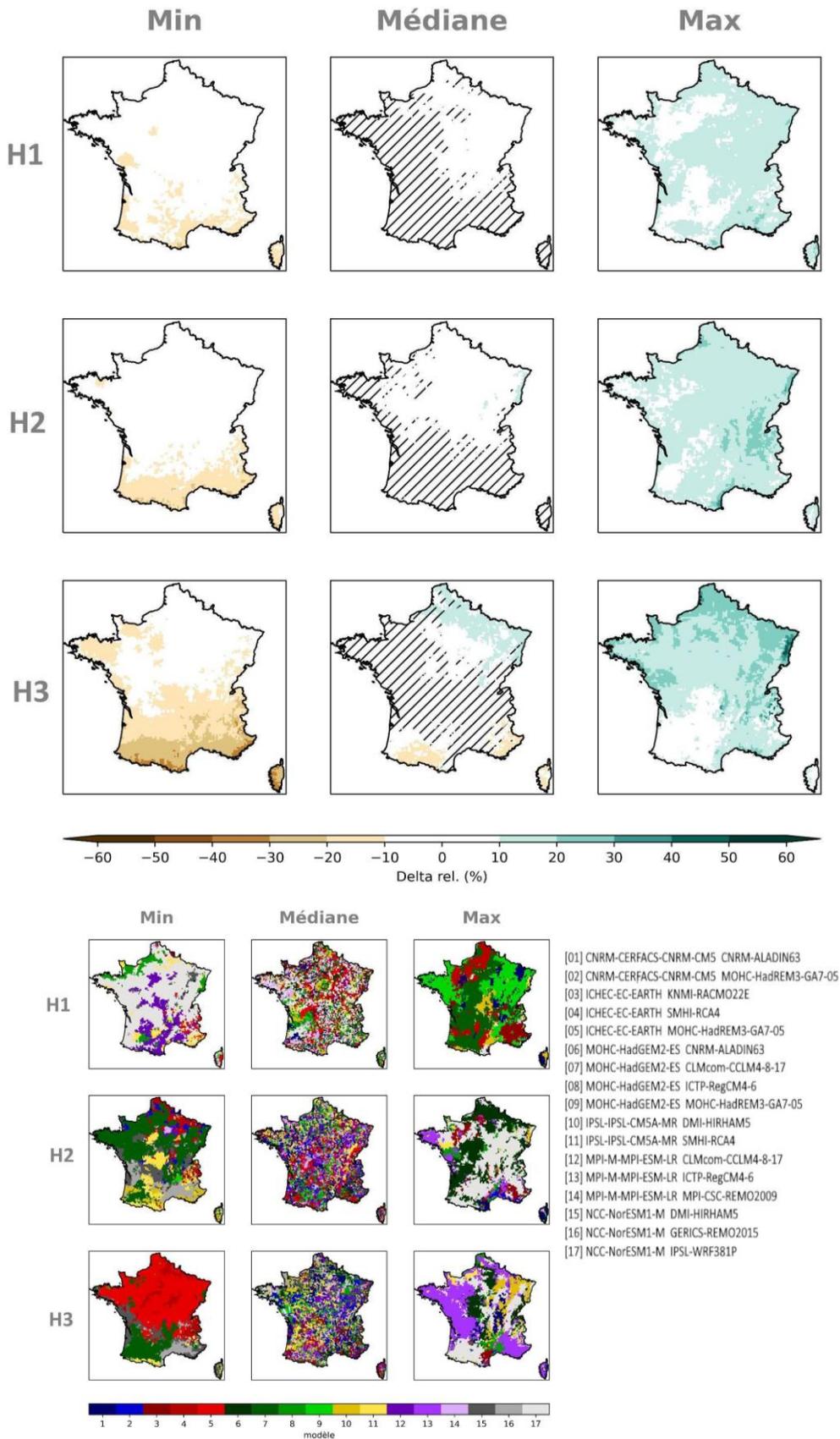


Figure 24 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitation à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

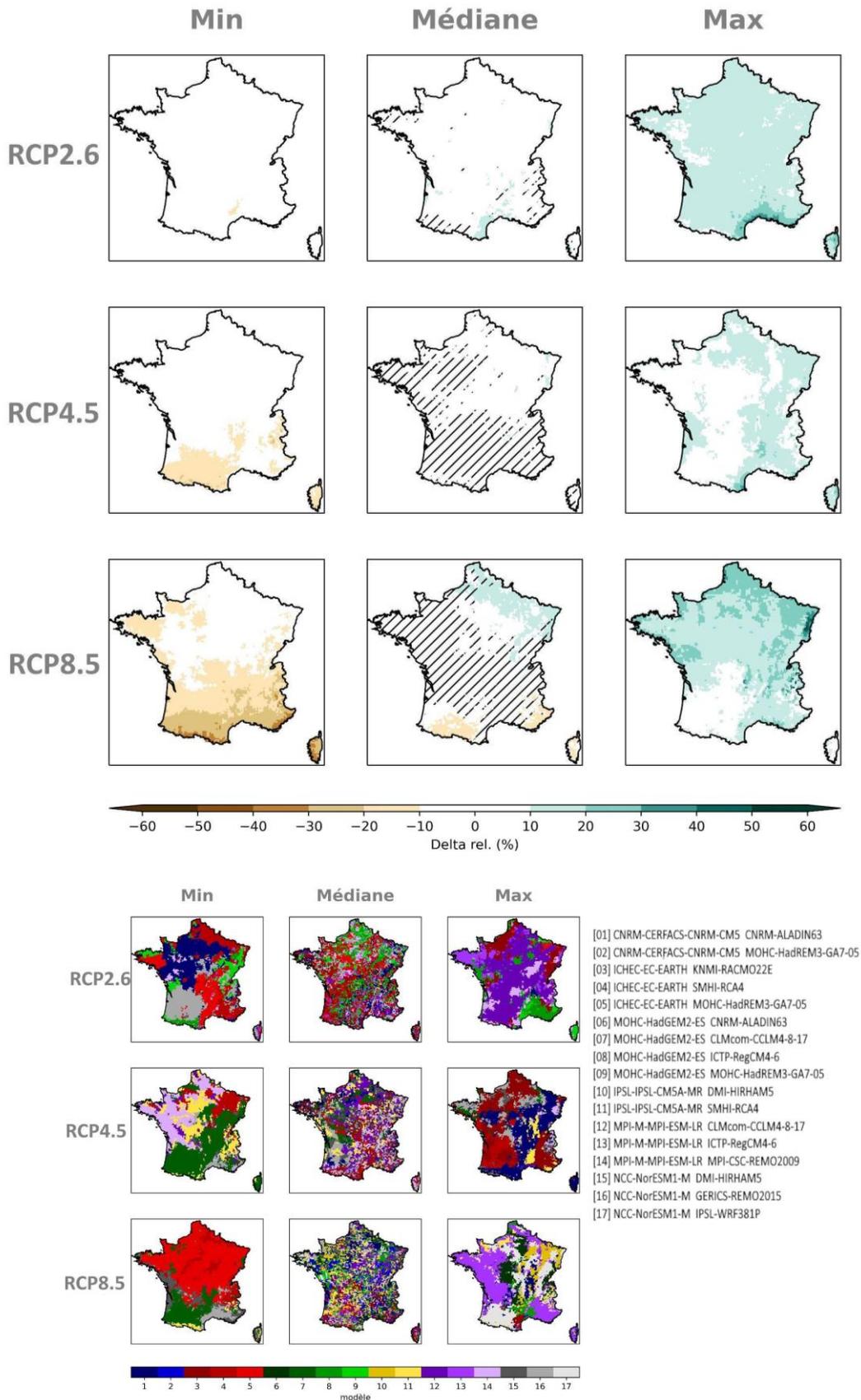


Figure 25 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul annuel de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+3.5 % [-2.2 ; +7.8]	+3.6 % [-1.5 ; +9.9]	+2.3 % [-4 ; +6]
	H2	+4.9 % [+0.3 ; +7.8]	+5.8 % [-2.2 ; +7.2]	+4.6 % [+1 ; +8.3]
	H3	+6.9 % [+3.5 ; +10.7]	+6.4 % [+2.7 ; +10.4]	+7.4 % [+1.9 ; +11]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+0.8 % [-1.6 ; +6.8]	+2.4 % [-0.2 ; +7.1]	+0.5 % [-5.1 ; +6.6]
	H2	+0.8 % [-5 ; +7.9]	+1.8 % [-2.6 ; +8.6]	-0.4 % [-7.1 ; +7.3]
	H3	+2.6 % [-1.9 ; +6.6]	+3.5 % [+2.1 ; +7.2]	+0.4 % [-6.4 ; +6.5]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+2.4 % [-2.6 ; +8.2]	+3.5 % [-1.8 ; +10.2]	+0.7 % [-4.5 ; +8.1]
	H2	+2.9 % [-3.1 ; +11.7]	+5.1 % [-1.3 ; +12.1]	+1.4 % [-5.5 ; +11.3]
	H3	+0.9 % [-9.4 ; +9.5]	+9.6 % [-7.6 ; +15.7]	-2.8 % [-13.7 ; +4.2]

Tableau 8 : Ecart de cumul annuel de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- On note en premier lieu l'absence d'accord (à de rares exceptions près) entre les simulations sur le signe du changement pour le cumul annuel de précipitations selon le scénario climatique ou l'horizon considéré. La médiane de l'ensemble, visualisable par carte ou par synthèse spatiale, est proche de la valeur zéro quels que soient l'horizon et le scénario. Comme le montre le Tableau 8, la fourchette des changements simulés inclut toujours le zéro, avec un intervalle [min ; max] non symétrique (plus étendue vers l'augmentation). Cet intervalle reste néanmoins limité (en dessous de +20 %), comme on le voit sur les matrices multi-horizon ou multi-scénario.
- En RCP 8.5 à partir de l'horizon moyen, on enregistre une augmentation de la dispersion mesurée par l'écart entre le minimum et le maximum.
- Cela est aussi bien visible dans les cartes médianes qui présentent une hachure sur une large partie du territoire, ce qu'indique un signe non concordant parmi les simulations. En fin de siècle sous scénario RCP8.5, un signal concordant de hausse apparaît sur une partie nord-est du pays et de baisse sur une partie sud. Au niveau de la matrice de l'ensemble, les modèles individuels à la fin siècle sous RCP8.5 ont cependant un signal souvent non robuste sur une grande partie du territoire.

**Indicateur Cumul hivernal des précipitations**

Matrices de l'ensemble :

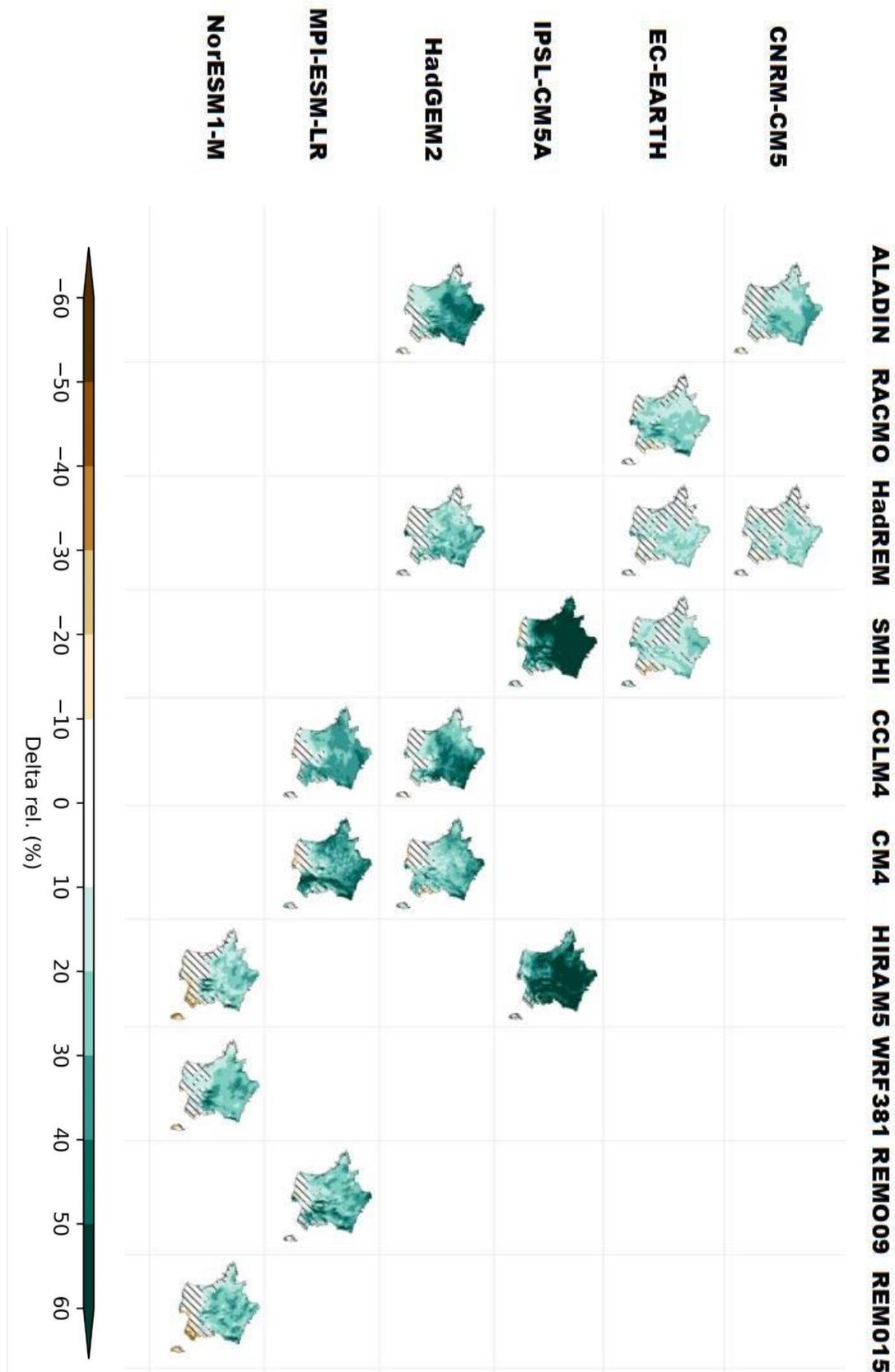


Figure 26 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

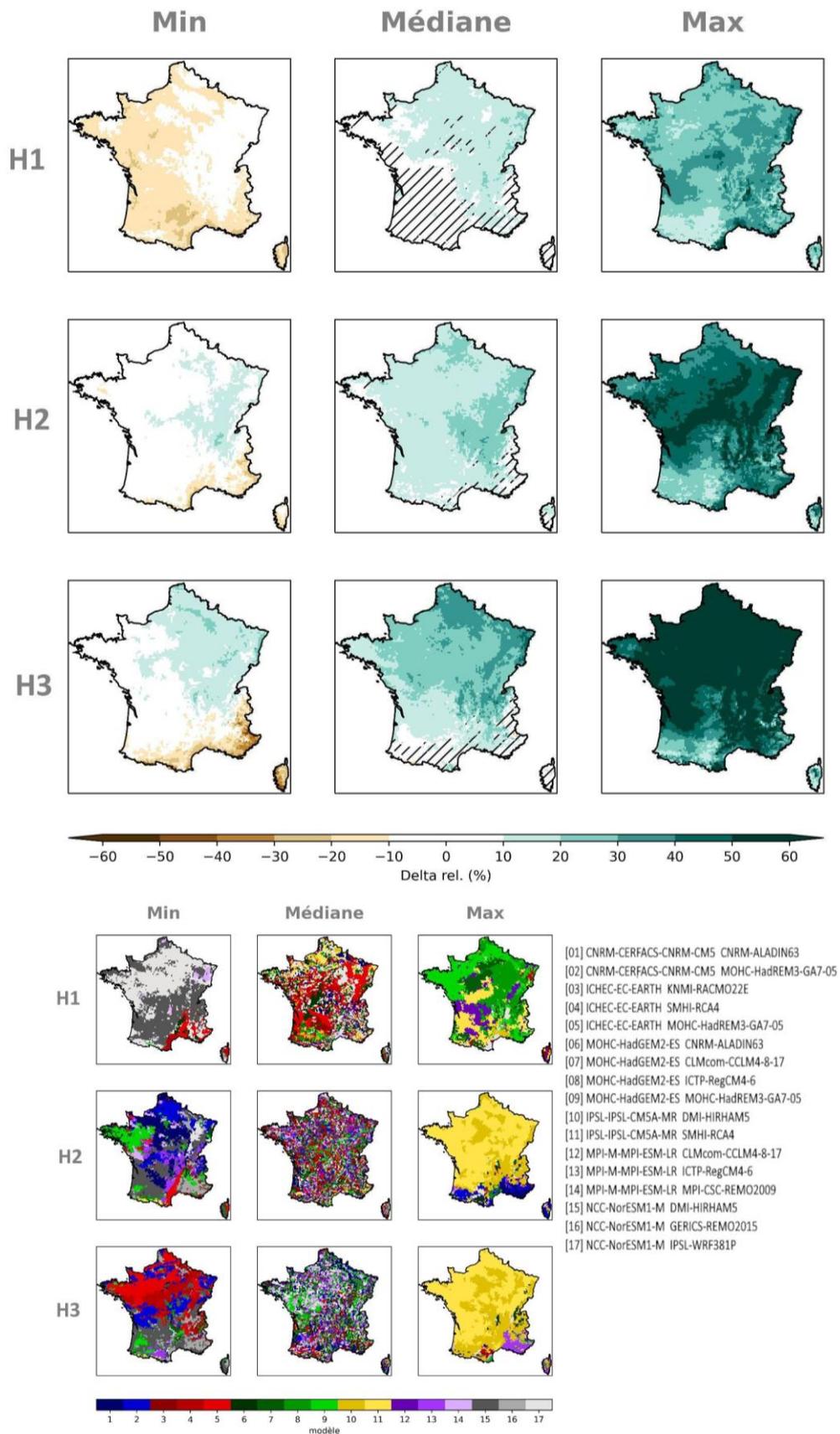


Figure 27 :Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

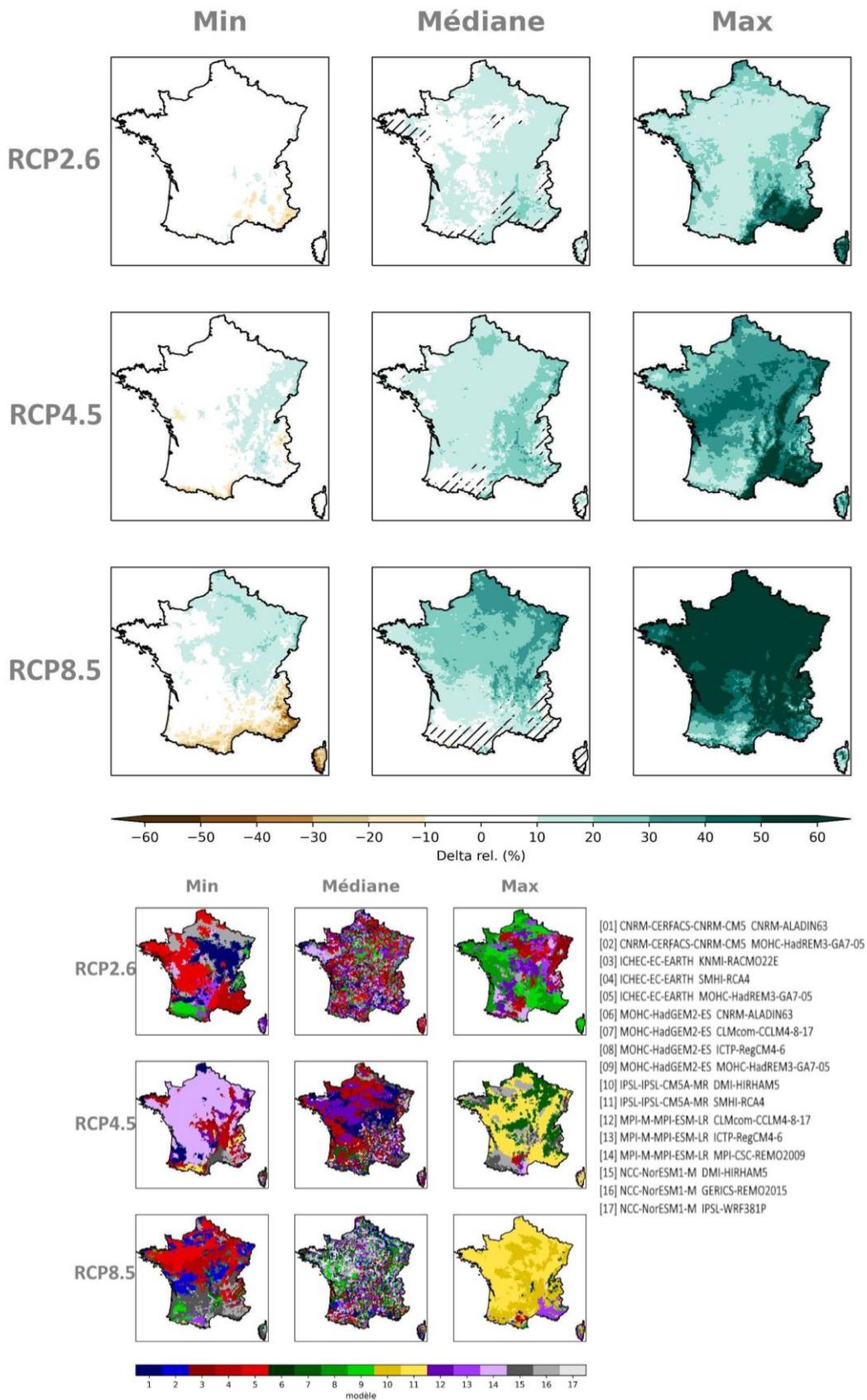


Figure 28 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul hivernal de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+8.9 % [+2.4;+11.1]	+8.3 % [+1.8;+14]	+6.7 % [+1.9;+12.5]
	H2	+9.9 % [+5.7 ; +14.5]	+8.6 % [+1.7 ; +12.1]	+10.3 % [+6.4 ; +16.8]
	H3	+10.6 % [+7.3 ; +16.1]	+10.5 % [+4.8 ; +13.9]	+11.4 % [+8.1 ; +18.3]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+9.7 % [+6.9 ; +23.3]	+9.8 % [+3.5 ; +28.4]	+10.6 % [+9.2 ; +20.5]
	H2	+10.7 % [+4.3 ; +22.7]	+10.1 % [+2.1 ; +24.7]	+11.2 % [+6.4 ; +20.7]
	H3	+13.1 % [+6.4 ; +28.5]	+12.5 % [+4.8 ; +32]	+14 % [+7.9 ; +25.1]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+8 % [-7.5 ; +19.9]	+13.3 % [-8.3 ; +24.1]	+7.2 % [-7.6 ; +19.4]
	H2	+14.8 % [+9.2 ; +34.9]	+16.7 % [+10.4 ; +45.1]	+13.9 % [+5.1 ; +29.4]
	H3	+18.3 % [+11 ; +46]	+24.4 % [+14.4 ; +60]	+12.8 % [+2.1 ; +39.8]

Tableau 9 : Ecart de cumul hivernal de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- On constate une humidification en hiver plus prononcée que sur l'année, avec un accord de signe pour le seul scénario RCP8.5 et en dehors des régions du sud. Cette augmentation est aussi robuste sous RCP8.5 en fin de siècle dans le Nord-Est du pays (présente dans la plupart des simulations).
- En considérant le tableau de la synthèse spatiale, on constate que le changement en matière de précipitation hivernale a un intervalle [minimum ; maximum] non symétrique par rapport à la médiane. En particulier, le changement en termes de valeurs extrêmes est plus fort. Le GCM IPSL-IPSL-CM5A-MR porte particulièrement cette tendance.
- Les simulations ont une concordance de signe sur le territoire du Nord-Est sur les trois horizons temporels sous scénario RCP8.5.
- A noter, que la tendance à l'assèchement, présente sur une partie de la côte méditerranéenne en fin de siècle sous RCP8.5 est très incertaine (pas d'accord de signe, ni de robustesse des modèles).

**Indicateur Cumul estival de précipitations**

Matrices de l'ensemble :

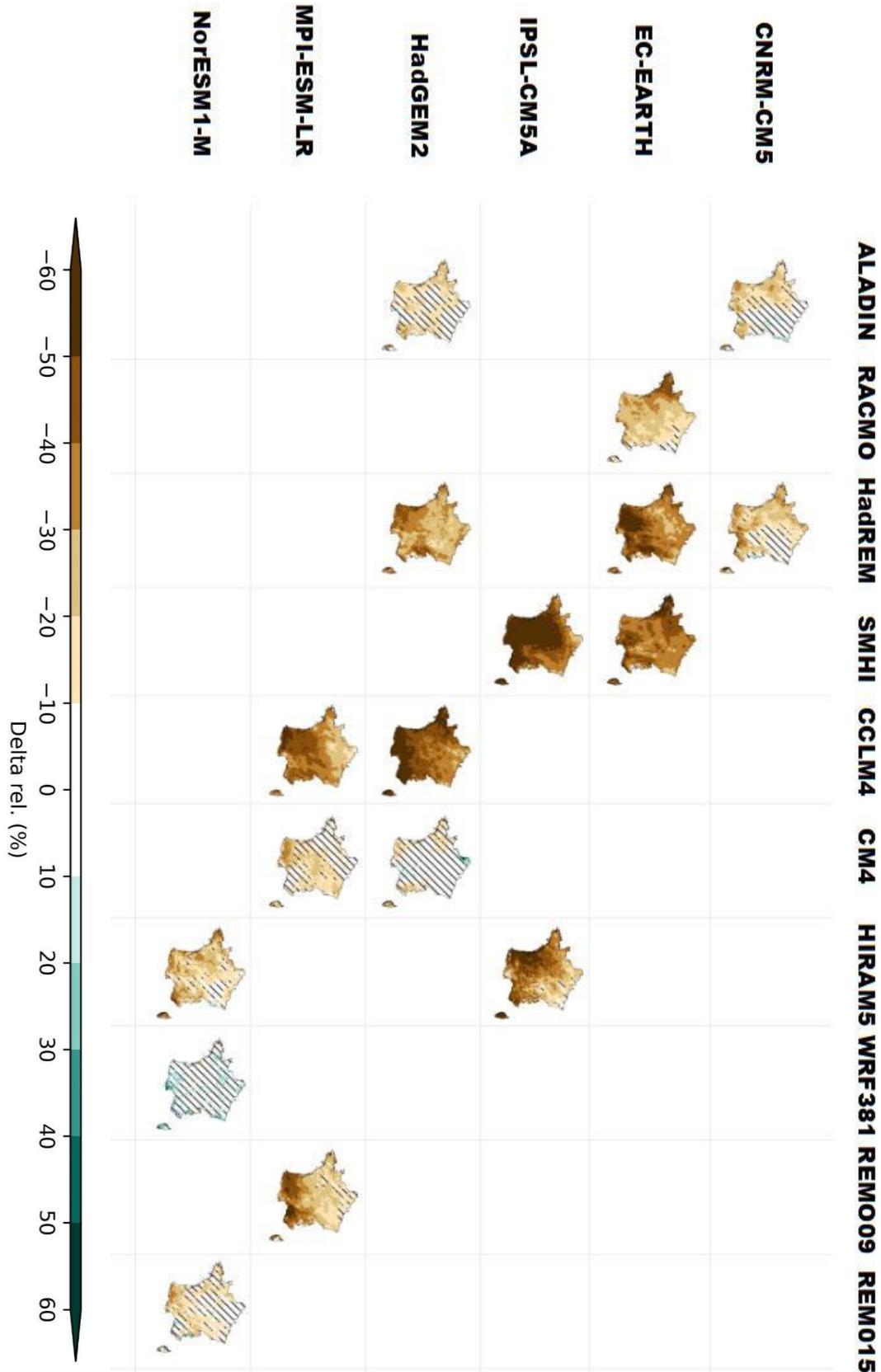


Figure 29 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon :

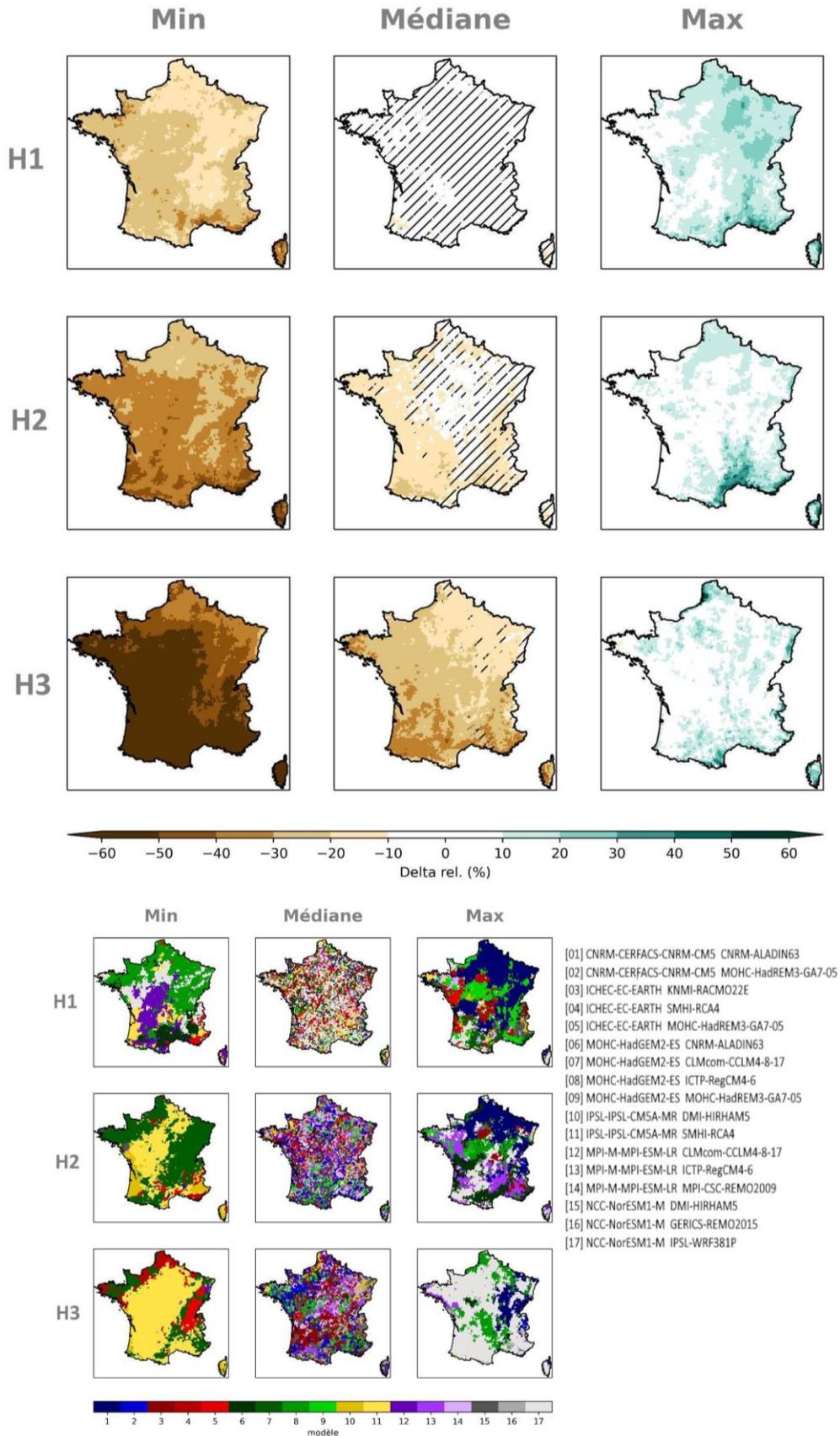


Figure 30 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

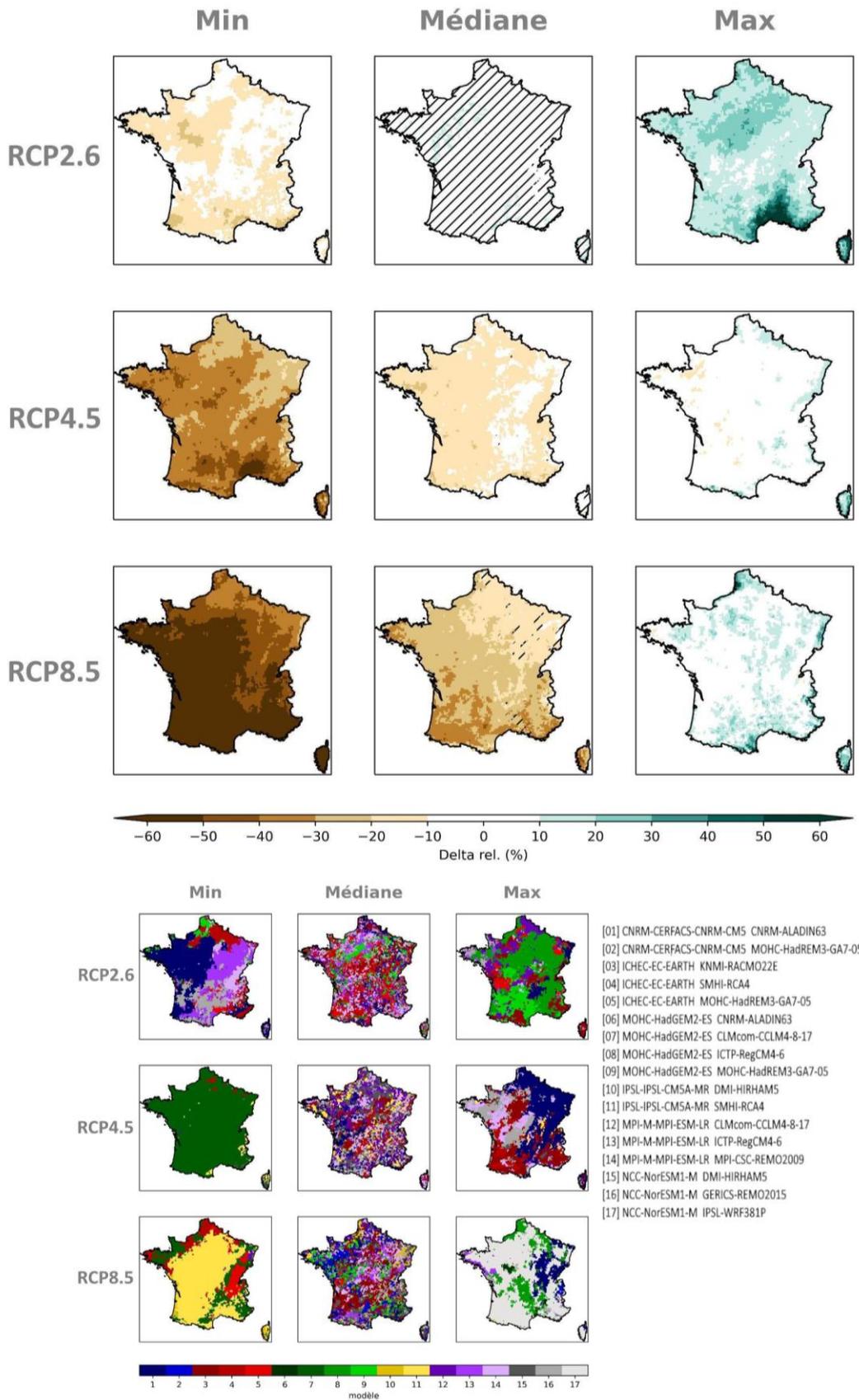


Figure 31 : Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul estival de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.2 % [-12.5;+7]	+0.6 % [-10.8;+7.4]	+1.7 % [-14.2;+9.7]
	H2	+1.7 % [-1.4 ; +7.7]	+1.1 % [-6.5 ; +5.3]	+2.2 % [-2.2 ; +12.6]
	H3	+2.7 % [-1.8 ; +13.3]	+3 % [-2.6 ; +15]	+1.6 % [-5.4 ; +11.7]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-4.5 % [-22.6 ; +3.3]	-3.3 % [-20.2 ; +5.1]	-5.7 % [-24.9 ; +1.6]
	H2	-5.3 % [-29 ; -0.8]	-5.7 % [-27.3 ; +0.9]	-8.5 % [-30.6 ; -2.2]
	H3	-12.2 % [-33.5 ; -5.4]	-13.7 % [-31.1 ; -3]	-10.7 % [-35.7 ; -4.4]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-3.3 % [-16.5 ; +6.8]	-4.3 % [-18.8 ; +12.7]	-3.2 % [-18.8 ; +12.16]
	H2	-11 % [-30.6 ; +2.2]	-10.1 % [-28.8 ; +3.4]	-11.8 % [-31.9 ; +4.7]
	H3	-22.9 % [-48.8 ; +4.7]	-18.6 % [-42.9 ; +5.1]	-23.8 % [-54.7 ; +4.4]

Tableau 10 : Ecart de cumul estival de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- L'été se caractérise par un assèchement général, qui prend des intensités et extensions différentes selon l'horizon et le scénario considéré.
- Avec le scénario RCP8.5 en particulier, le signal apparaît incertain à l'horizon proche et se propage ensuite du sud-ouest au nord-est du pays. Ainsi la carte médiane présente des changements non concordants en signe et de valeurs presque nulles, et l'ensemble se distribue assez symétriquement vers l'assèchement comme vers une humidification. En revanche, avançant dans le siècle, l'assèchement devient plus fort, le signe de la médiane suggère une diminution des précipitations, et sur la moitié du pays les simulations concordent sur le signe du changement tandis que le nombre de simulations qui prévoient une humidification et son intensité diminuent. Sur la matrice multi-modèle, en fin de siècle, plus de la moitié des simulations présentent un assèchement robuste sur la presque totalité du territoire. En fin de siècle, la diminution peut atteindre -50 % avec un accord sur la baisse des précipitations.
- L'analyse en fin de siècle est plus délicate entre les trois scénarios. Le scénario RCP2.6 a un signal sans concordance de signe et présente une symétrie entre futurs plus secs ou plus humides. L'assèchement commence à se manifester dans le scénario RCP4.5, avec une bonne concordance de signe mais une intensité de baisse faible. Le scénario RCP8.5 amplifie cet assèchement avec une baisse forte de la médiane de l'ordre de -20 % sur le territoire.

**Indicateur Précipitation journalière maximale**

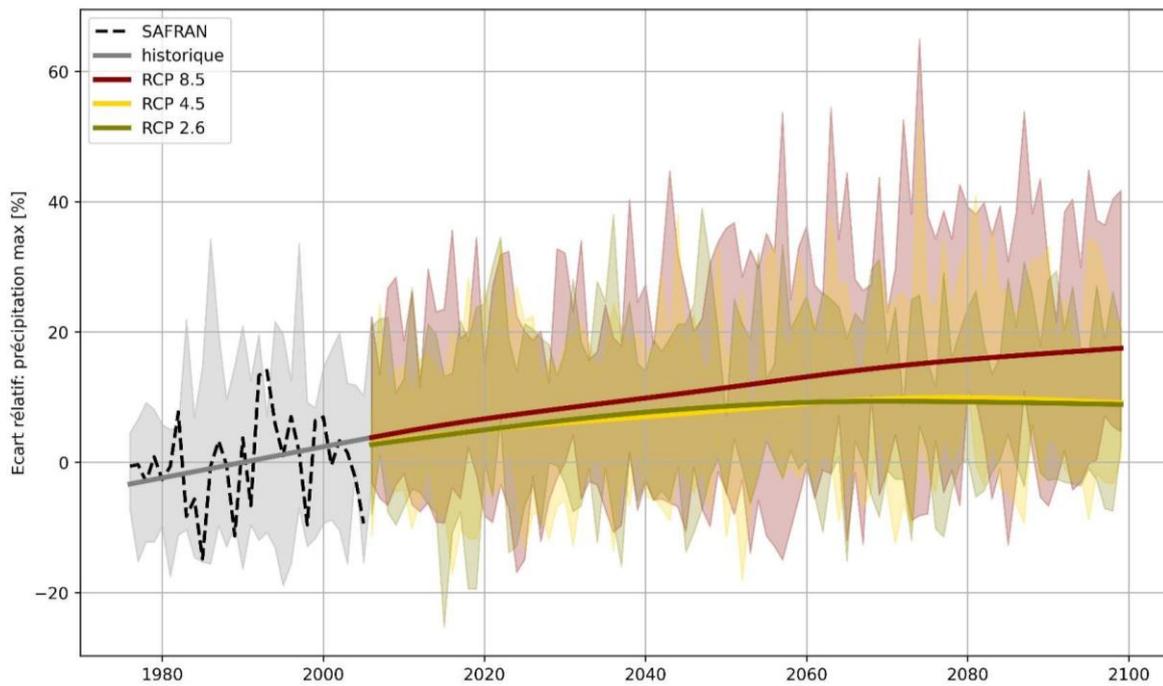


Figure 32 : Évolution de l'écart relatif de précipitation maximale annuelle journalière en France Métropolitaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFFRAN par rapport à la normale SAFFRAN 1976-2005.

Matrices de l'ensemble :

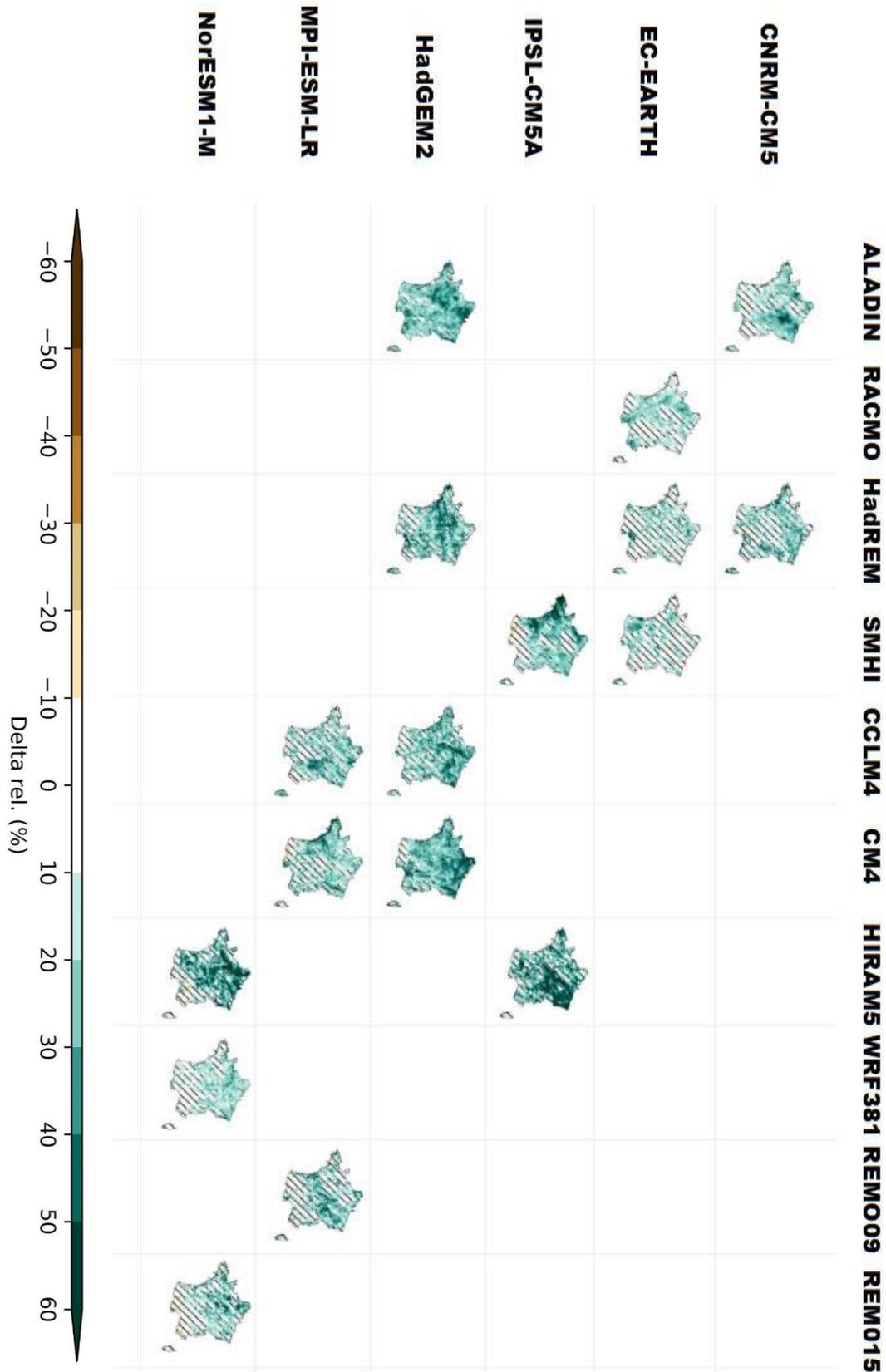


Figure 33 : Cartes des écarts relatifs des précipitations maximales annuelles journalières à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

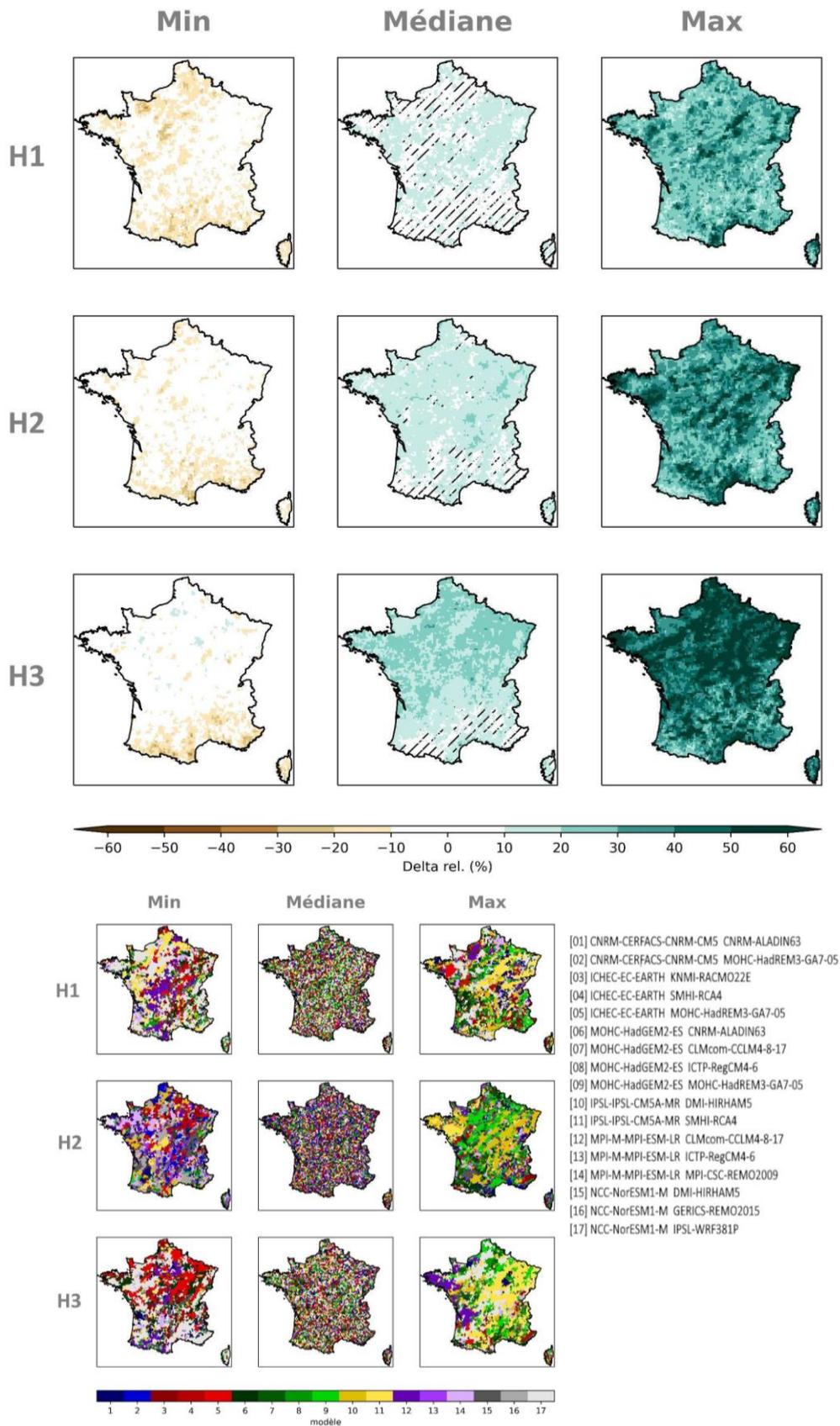
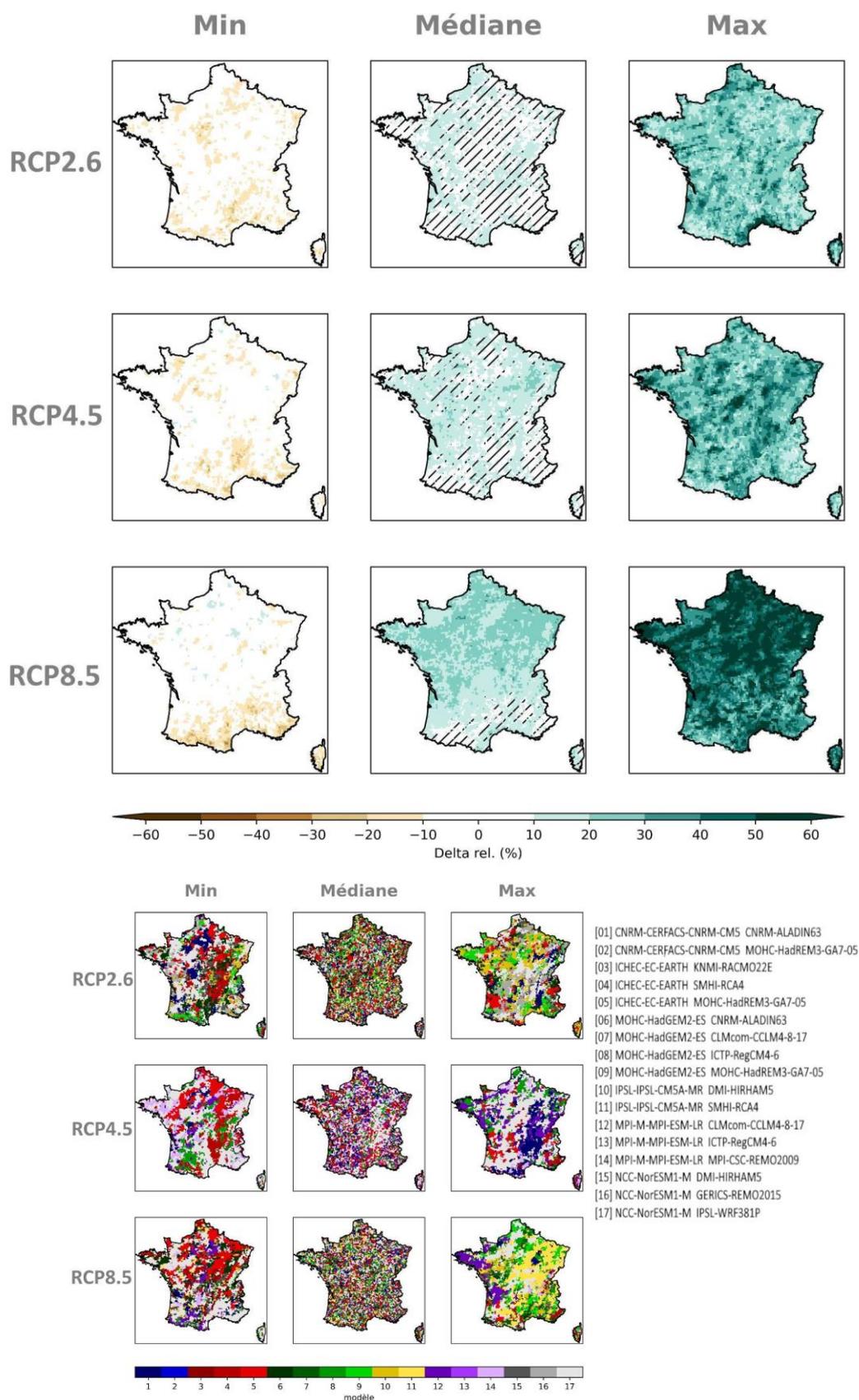


Figure 34 : Cartes des écarts relatifs de précipitations maximales annuelles journalières à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) :



**Synthèse spatiale :**

Changement des précipitations journalières maximales annuelles				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6.8 % [+3.8;+11.4]	+9 % [+5;+11.6]	+6 % [+2.4;+11.3]
	H2	+8.9 % [+5 ; +12.4]	+9.2 % [+6 ; +14.2]	+9.3 % [+4.3 ; +11.2]
	H3	+8.5 % [+6.1 ; +12.8]	+8.4 % [+5.7 ; +14]	+9.3 % [+5 ; +12]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6.4 % [+5 ; +8.9]	+8.3 % [+5.1 ; +11.9]	+5.2 % [+1.9 ; +9.1]
	H2	+9.9 % [+6.1 ; +11.6]	+9.3 % [+6 ; +13.3]	+8.8 % [+3.6 ; +10.9]
	H3	+10.4 % [+7.5 ; +15.8]	+13.2 % [+7.1 ; +18]	+9.5 % [+4.4 ; +15.9]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+9 % [+5.5 ; +13.7]	+10.2 % [+6.7 ; +15.4]	+7.9 % [+3.3 ; +14.4]
	H2	+11.8 % [+4.6 ; +19.3]	+13.3 % [+8.6 ; +23.5]	+10.7 % [+1.8 ; +18.1]
	H3	+16.1 % [+10.4 ; +27.5]	+21.1 % [+8.9 ; +35.8]	+13.1 % [+4.6 ; +22.3]

Tableau 11 : Ecarts des précipitations journalières maximales annuelles par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- Avec le RCP8.5, on enregistre une majorité de hausses de l'intensité des précipitations extrêmes en France visible sur la médiane avec une confiance (accord de signe) croissante au cours du siècle. En fin de siècle, l'incertitude sur le signe du changement persiste seulement sur l'extrême sud du pays. En examinant les simulations individuellement, le signal apparaît pourtant peu robuste, vraisemblablement du fait de la variabilité naturelle importante de ce type d'événement considéré sur une période trop courte de 30 ans. En fin de siècle, les scénarios RCP2.6 et RCP4.5 présentent également une incertitude forte même si on ne retrouve que des valeurs en hausse pour l'ensemble des horizons (y compris l'enveloppe basse de la distribution).
- On note également que la distribution n'est pas symétrique autour de la médiane, mais plus étendue vers l'augmentation de l'intensité. Les valeurs hautes de l'intervalle de confiance sont cohérentes avec la hausse moyenne planétaire attendue de l'ordre de +7 % par degré de réchauffement (à noter qu'elles la dépassent sur le nord de la France).

### 4.3 Evapotranspiration de référence (evs au pas de temps annuel)

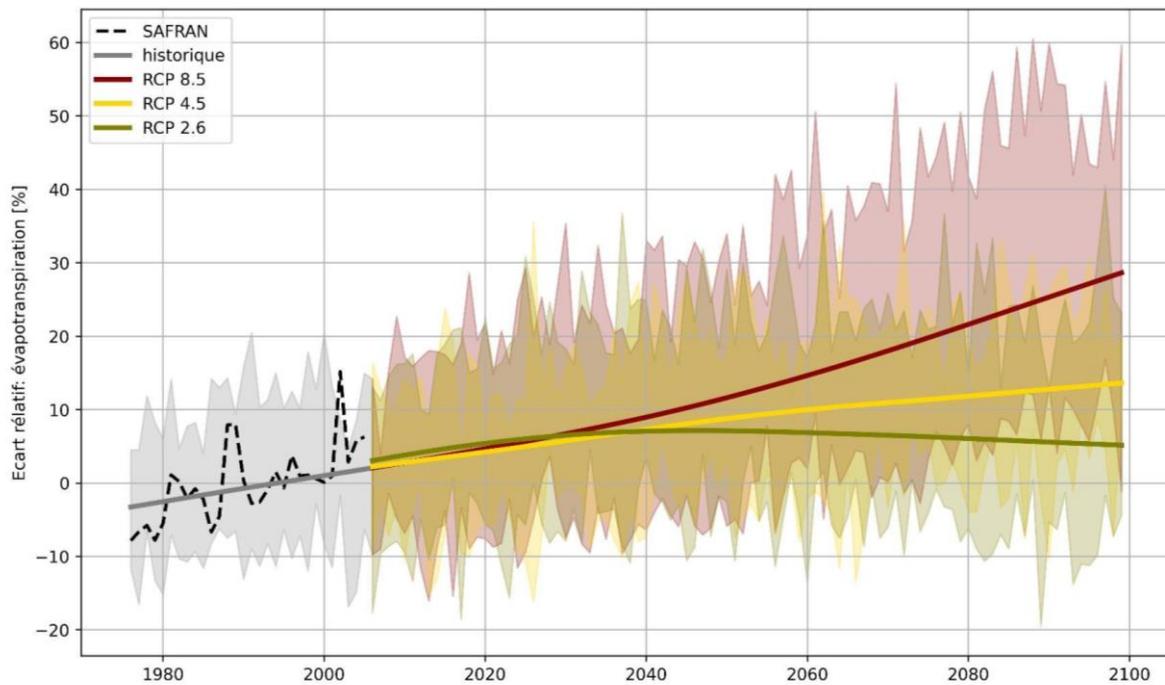


Figure 36 : Évolution de l'écart relatif de cumul annuel d'évapotranspiration de référence en France Métropolitaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005.

Matrices de l'ensemble :

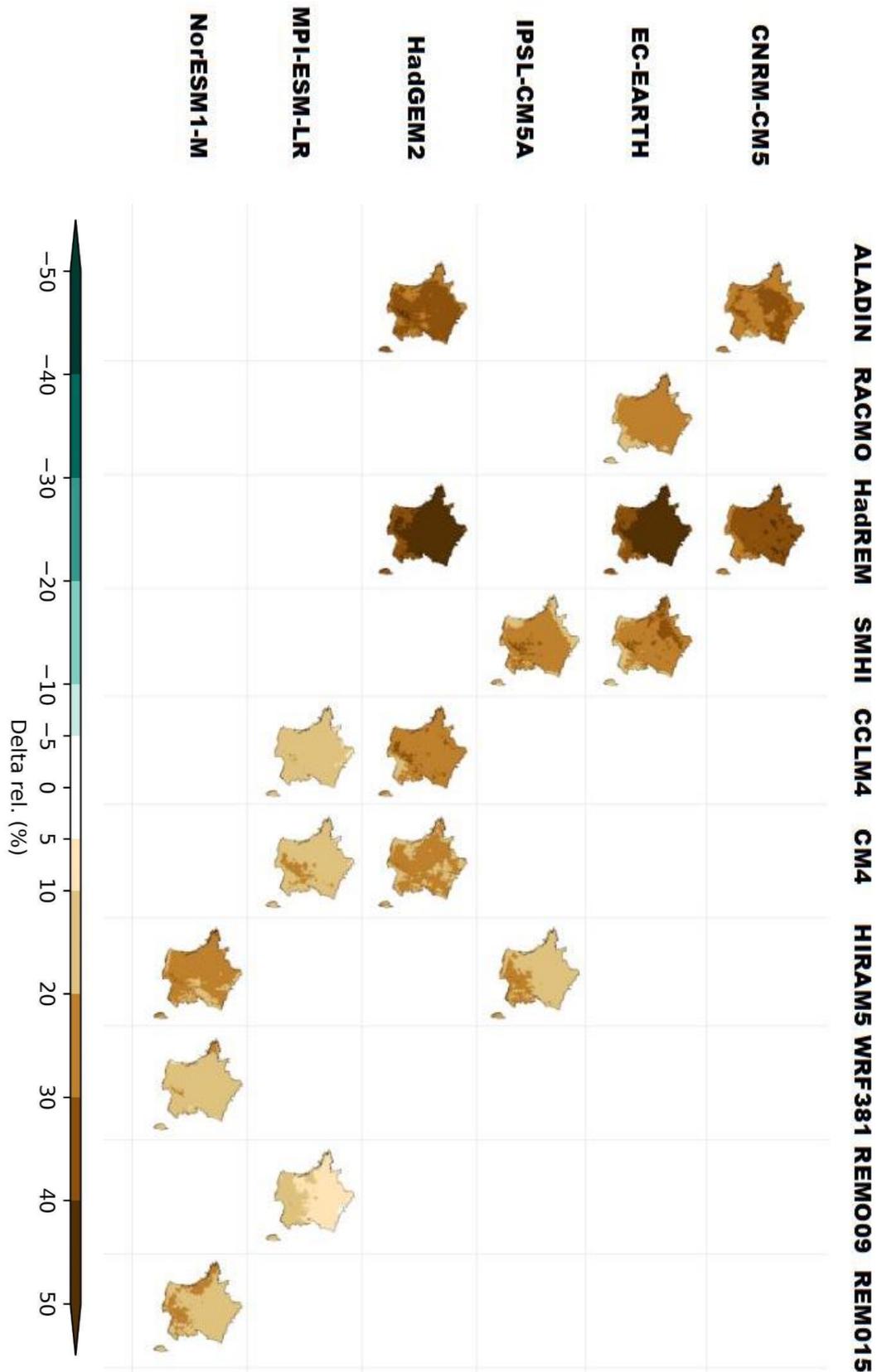


Figure 37 : Cartes des écarts relatifs de l'évapotranspiration de référence annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

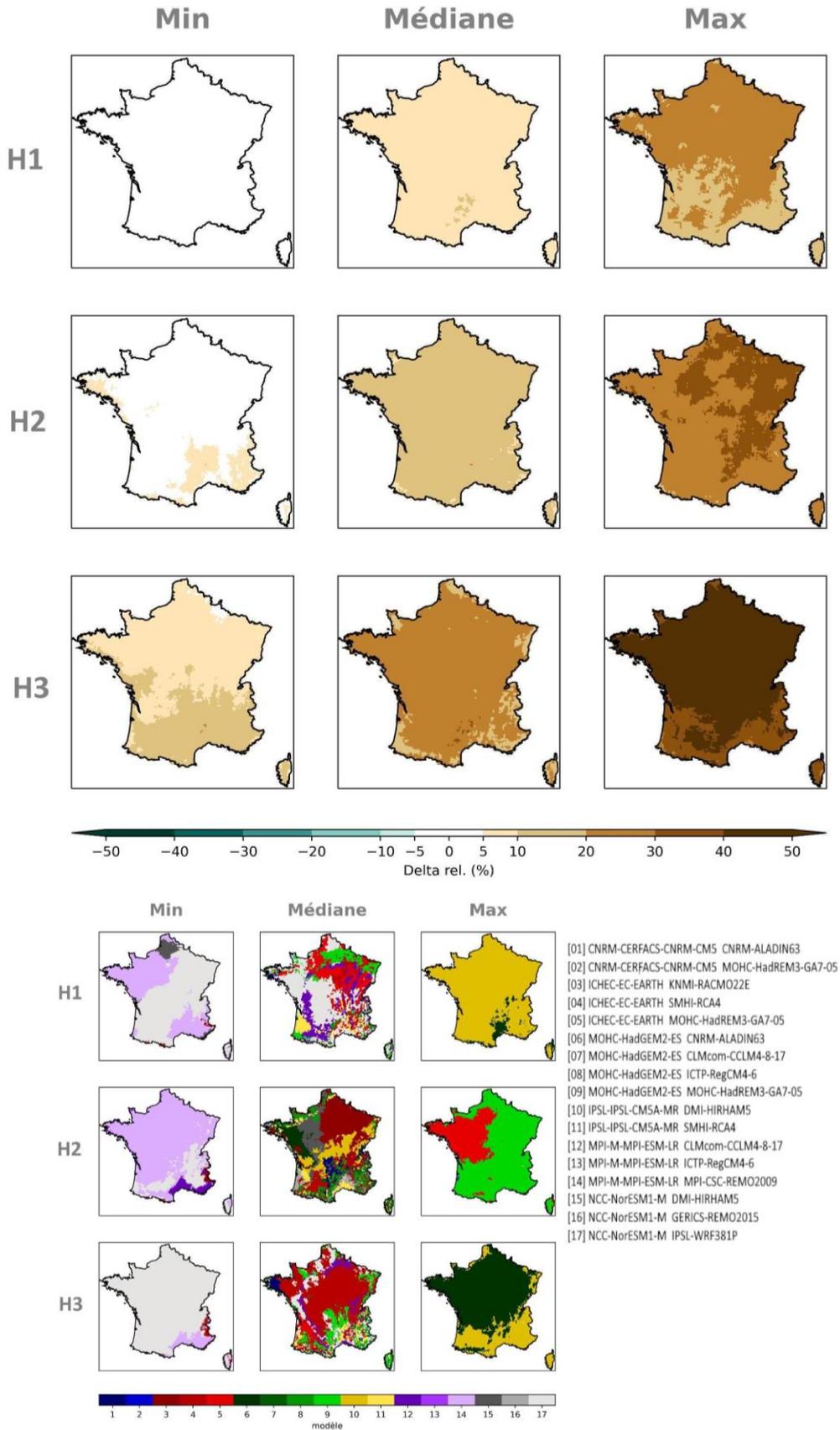


Figure 38 : Cartes des écarts d'évapotranspiration de référence annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) :

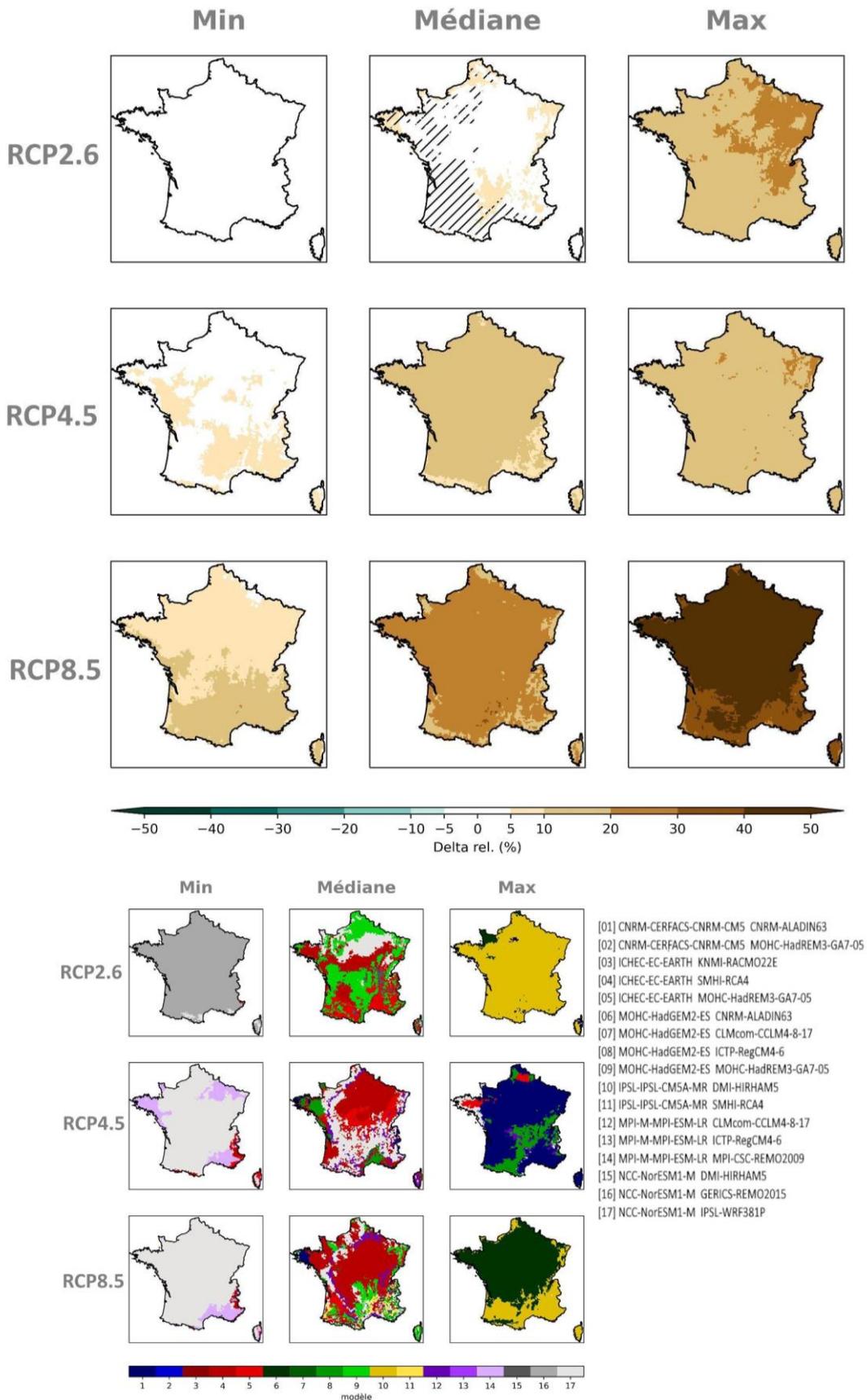


Figure 39 : Cartes des écarts d’évapotranspiration de référence annuelle à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Changement de l'évapotranspiration de référence annuelle				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6.4 % [-0.8;+19.3]	+7.3 % [-1.5;+19.7]	+6.7 % [-0.2;+18.8]
	H2	+5.7 % [-0.1 ; +18.6]	+6.5 % [-0.3 ; +19.2]	+5.3 % [+0.1 ; +18.4]
	H3	+4.9 % [+0.3 ; +18.4]	+4.6 % [+0.7 ; +19.5]	+4.4 % [0 ; +17.4]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+7.7 % [-0.2 ; +10.7]	+8 % [-1.3 ; +10.8]	+7.2 % [+0.8 ; +10.5]
	H2	+11.6 % [+0.8 ; +15.7]	+12.2 % [-0.3 ; +16.6]	+10.7 % [+1.7 ; +14.9]
	H3	+12.2 % [+4.9 ; +16.5]	+12.9 % [+4.5 ; +17.5]	+12.1 % [+5.3 ; +15.6]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+7.2 % [+1.0 ; +20.4]	+6.9 % [+0.2 ; +22]	+8 % [+1.6 ; +19.1]
	H2	+13.5 % [+4.6 ; +27.7]	+13.1 % [+4 ; +29.3]	+12.7 % [+5.1 ; +26.3]
	H3	+22.8 % [+10.4 ; +43]	+22.9 % [+8 ; +47.6]	+22.3 % [+12.6 ; +39.8]

Tableau 12 : Ecart de l'évapotranspiration de référence annuelle par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- L'évolution de l'évapotranspiration de référence est principalement pilotée par l'augmentation des températures. Avec le RCP8.5, le signal à la hausse se renforce tout au long du siècle.
- Sur les simulations individuelles, ce signal à la hausse est généralisé et robuste en fin de siècle sur tout le territoire. Pour les scénarios RCP2.6 et RCP4.5, l'accord de signe n'est cependant pas atteint en fin de siècle.
- Les valeurs du Tableau 12 montrent peu de différences régionales et des hausses de l'ordre de +5 % par °C supplémentaire de réchauffement annuel, conduisant ainsi en fin de siècle à des hausses moyennes de l'ordre de +12 % en RCP 4.5 et supérieures à +20 % en RCP8.5.

#### 4.4 Bilan hydrique (*p-eps* au pas de temps annuel)

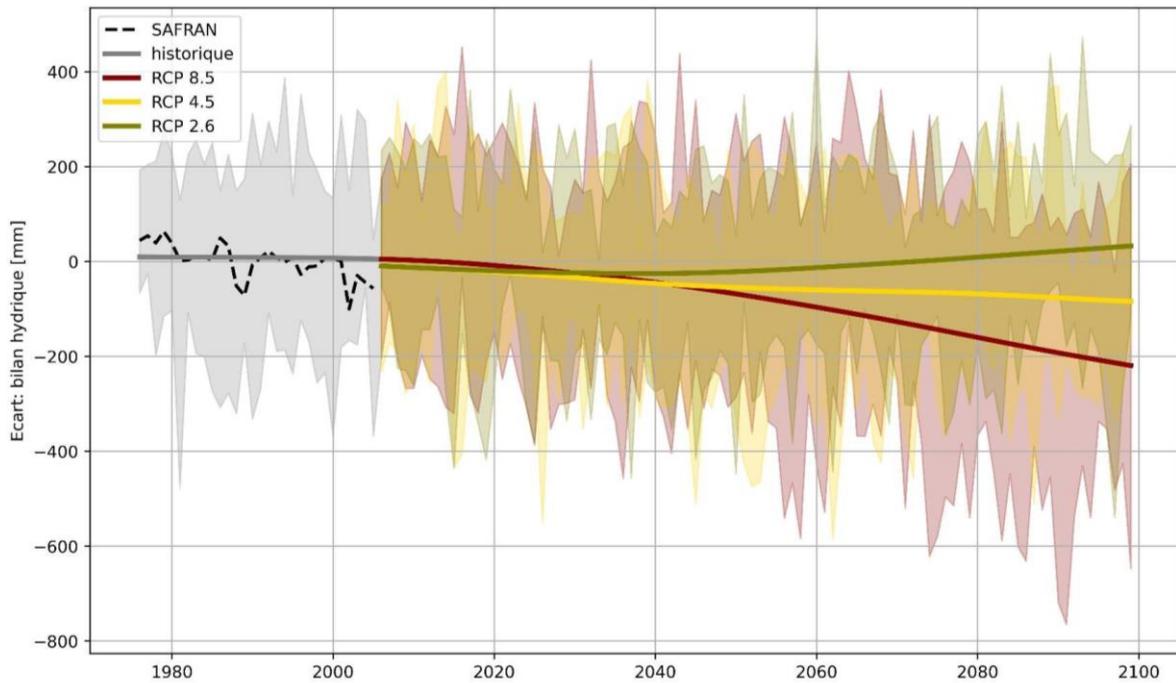


Figure 40 : Évolution de l'écart du bilan hydrique annuel en France Métropolitaine au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, 2006-2100 (par rapport à la normale de référence 1976-2005) pour les trois scénarios RCP2.6 en rouge, RCP4.5 en jaune et RCP8.5 en vert. Le trait continu correspond à la médiane lissée (moyenne glissante sur 10 ans). L'enveloppe de couleur illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations. Sur la période 1976-2005 l'écart par rapport à la normale de référence 1976-2005 ; le trait continu en gris correspond à la médiane lissée des simulations historiques ; l'enveloppe en gris illustre l'intervalle entre l'écart minimal et l'écart maximal de la distribution de l'ensemble des simulations ; le trait discontinu noir sont l'écart des valeurs annuelles non lissé SAFRAN par rapport à la normale SAFRAN 1976-2005.

Matrices de l'ensemble :

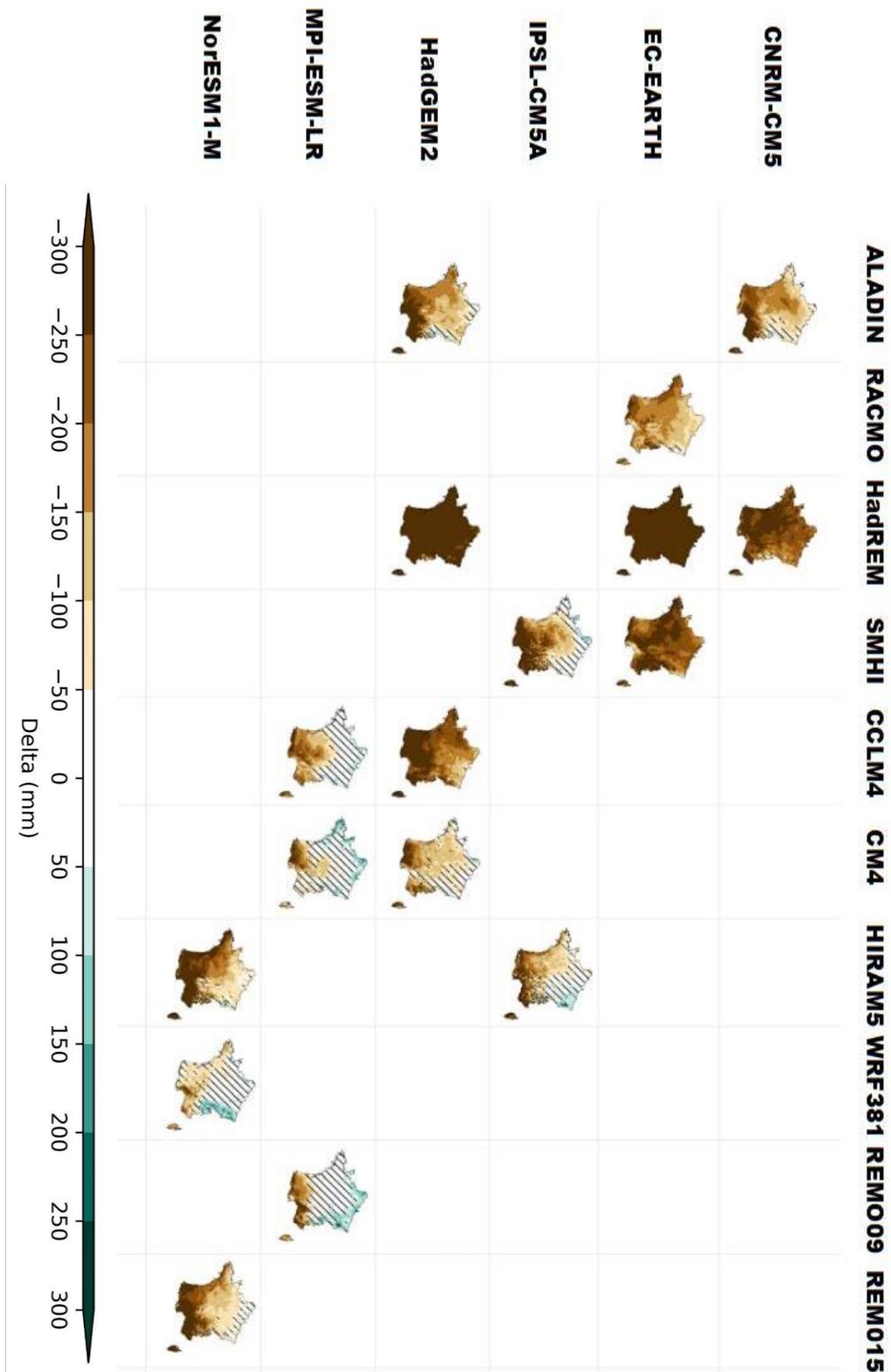


Figure 41 : Cartes des écarts du bilan hydrique annuel (p-avs) à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

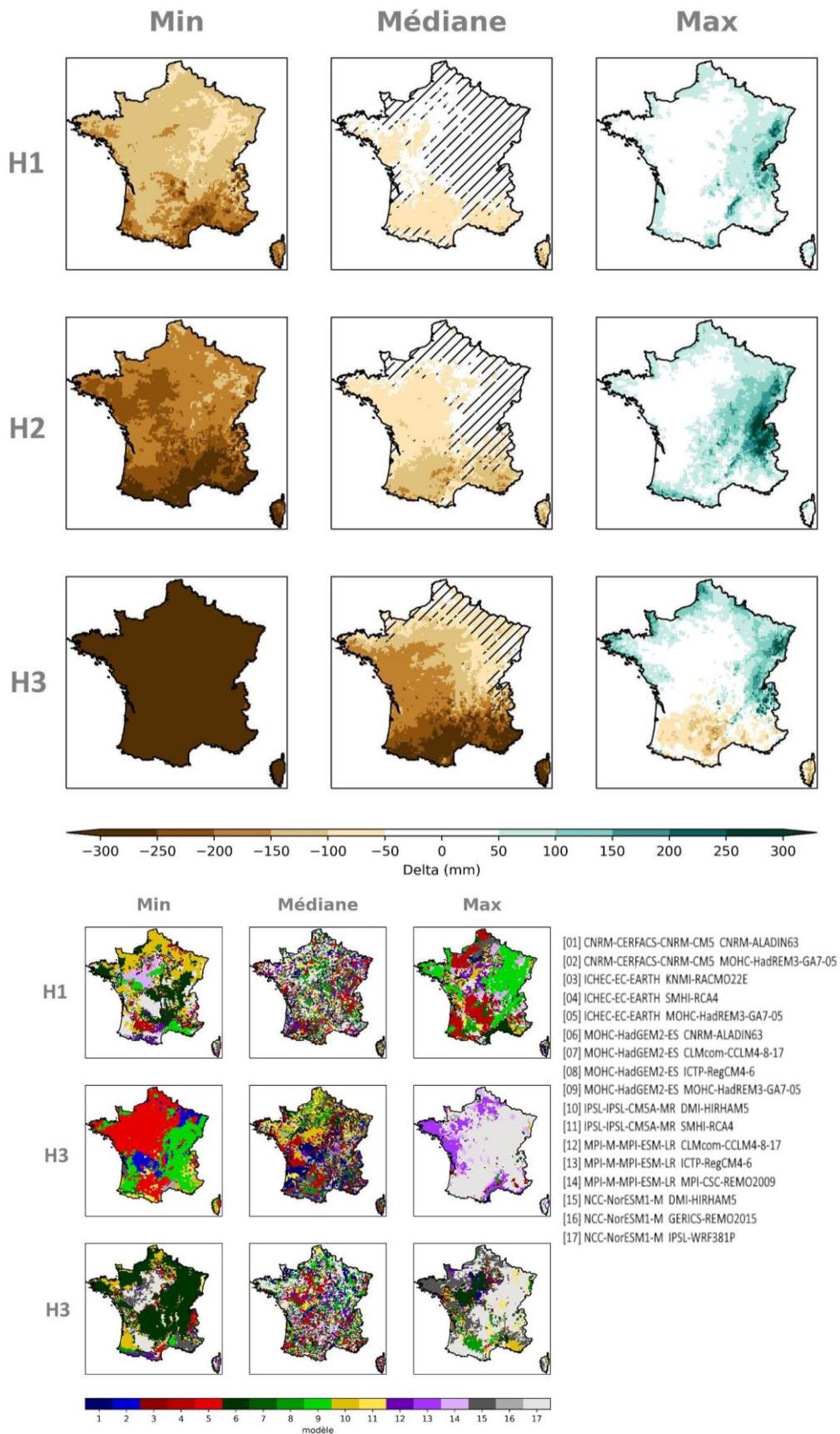


Figure 42 : Cartes des écarts de bilan hydrique annuel (p-eps) à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

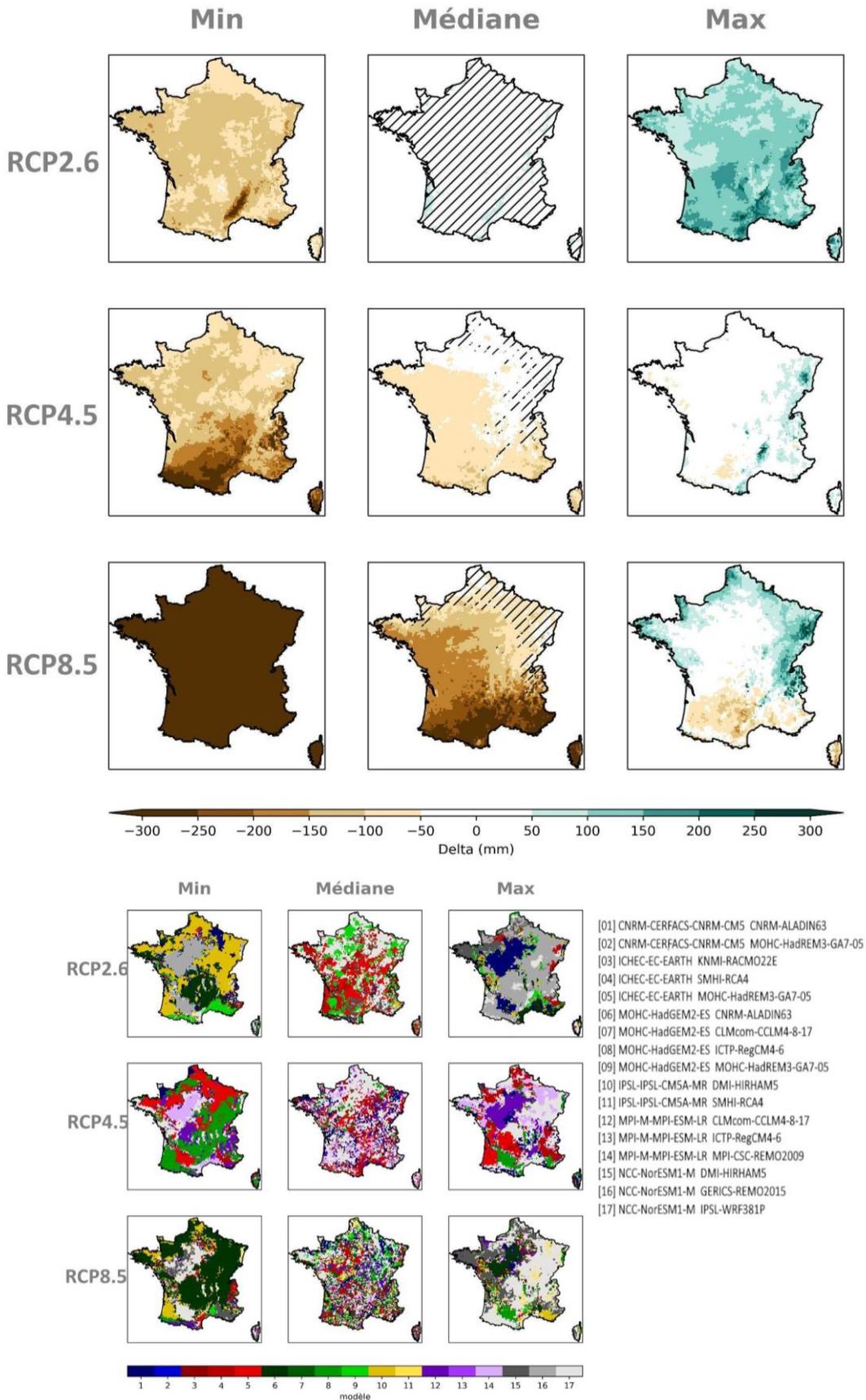


Figure 43 : Cartes des écarts de bilan hydrique annuel (p-eps) à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, ADAMONT).

**Synthèse spatiale :**

Evolution du bilan hydrique annuel (p-evs)				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-36 mm [-120 ; +74]	-28 mm [-114 ; +90]	-30 mm [-127 ; +59]
	H2	-8 mm [-118 ; +55]	-2 mm [-93 ; +39]	-7 mm [-100 ; +73]
	H3	+18 mm [-81 ; +71]	+23 mm [-92 ; +67]	+26 mm [-84 ; +93]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-57 mm [-72 ; +62]	-32 mm [-62 ; +63]	-57 mm [-97 ; +57]
	H2	-90 mm [-147 ; +63]	-66 mm [-103 ; +70]	-100 mm [-170 ; +56]
	H3	-62 mm [-123 ; -25]	-43 mm [-76 ; -5]	-69 mm [-172 ; -36]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-29 mm [-108 ; +17]	-21 mm [-106 ; +26]	-45 mm [-114 ; +15]
	H2	-74 mm [-182 ; +57]	-42 mm [-174 ; +50]	-105 mm [-197 ; +64]
	H3	-163 mm [-401 ; -33]	-110 mm [-384 ; +37]	-230 mm [-417 ; -73]

Tableau 13 : Ecart du bilan hydrique annuel (p-evs) par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, ADAMONT).

**Commentaires :**

- Avec le RCP8.5, l'évolution du bilan hydrique annuel présente globalement un gradient sud/nord avec une baisse qui se renforce au cours du siècle, traduite notamment par la généralisation de l'accord de signe.
- Les simulations individuelles sous RCP8.5 en fin de siècle confirment la prédominance des baisses souvent fortes du bilan hydrique annuel avec également la présence quasi-systématique du gradient sud-nord sur les cartes.
- L'accord de signe à la hausse est également quasi-généralisé en fin de siècle avec le RCP4.5 (à l'inverse du RCP2.6).
- Du point de vue quantitatif, la baisse du bilan hydrique est de manière générale deux fois plus forte sur la moitié sud que sur la moitié nord avec des valeurs annuelles de baisse entre -100 mm et -200 mm à rapporter à des cumuls annuels de précipitation de l'ordre de 600 mm à 800 mm.

## 4.5 Narratifs

---

Nous présentons ci-dessous les quatre narratifs sélectionnés avec pour chacune des simulations l'ensemble des indicateurs aux trois horizons (proche, moyen, lointain), ainsi que pour l'horizon moyen une illustration de la variabilité annuelle et saisonnière de la température moyenne et du cumul de précipitations.

On rappelle que les quatre situations contrastées définies sont les suivantes :

1. **Narratif euphorbe (MOHC-HadGEM2-ES/CNRM-ALADIN63 « Réchauffement marqué et augmentation des précipitations ».**
2. **Narratif narcisse (CNRM-CERFACS-CNRM-CM5/CNRM-ALADIN63) « Changements futurs relativement peu marqués »,**
3. **Narratif dahlia (ICHEC-EC-EARTH/MOHC-HadREM3-GA7-05) « Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel) »,**
4. **Narratif aster (MOHC-HadGEM2-ES/CLMcom-CCLM4-8-17) « Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations »,**

### *Synthèse des évolutions moyennes par horizon*

Les cartes ci-dessous présentent une synthèse des évolutions projetées par chaque simulation avec pour les indicateurs traités les moyennes par horizon pour le scénario climatique RCP 8.5. Les cartes produites prennent en compte les incertitudes liées à la concordance du signal.

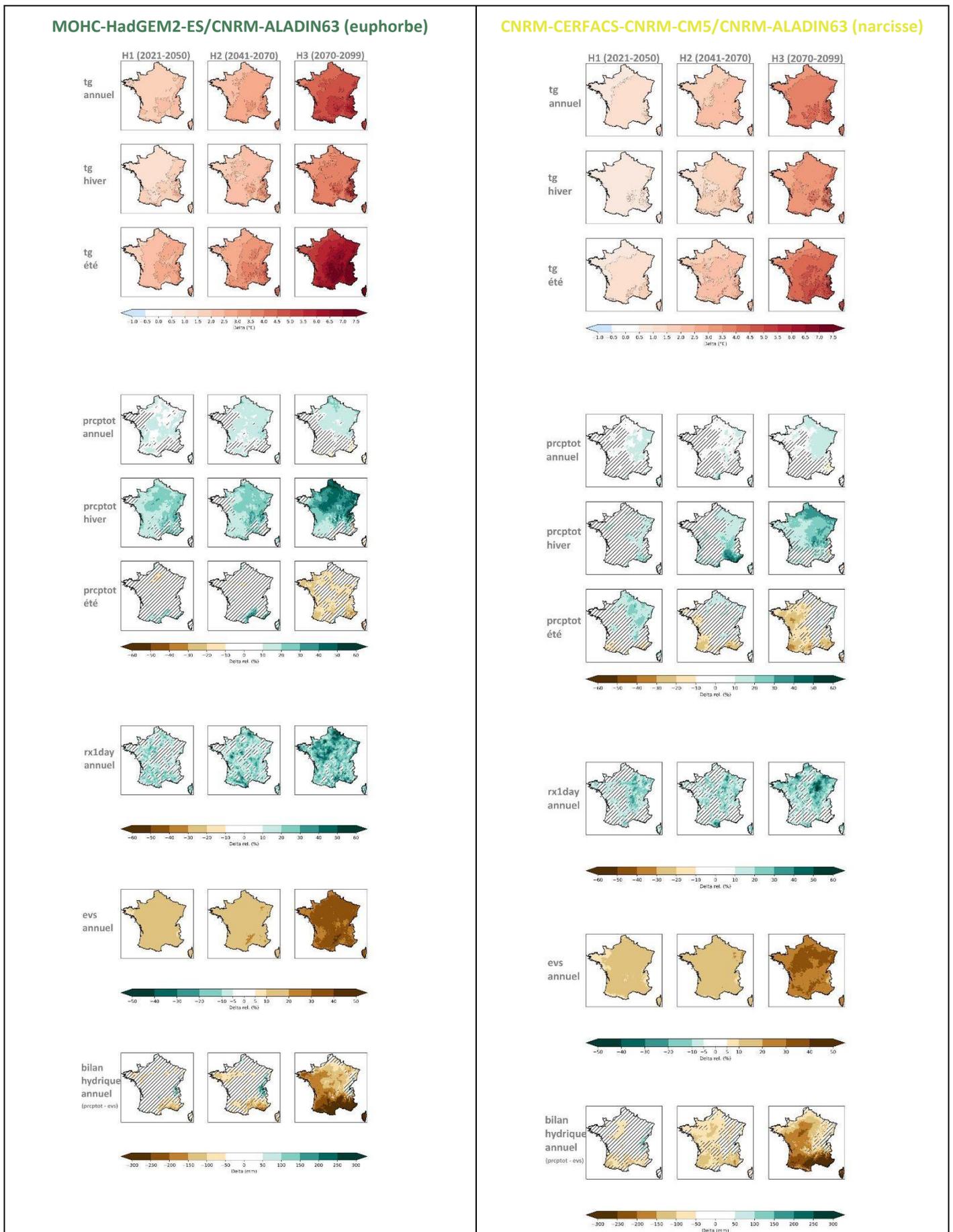


Figure 44 : Changements projetés par les quatre narratifs aux différents horizons.

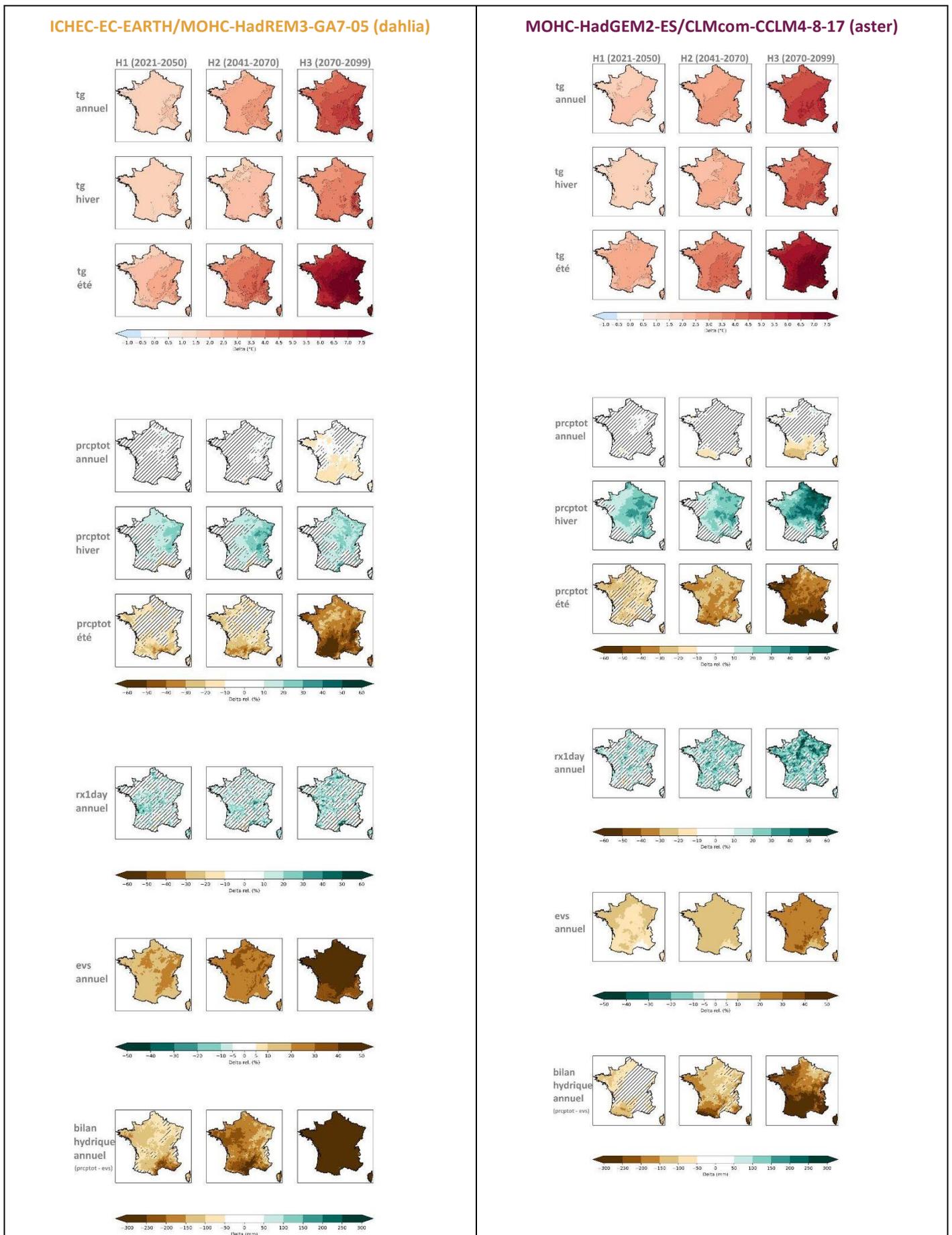


Figure 44 : Changements projetés par les quatre narratifs aux différents horizons. (suite).

### Comparaison des narratifs (changements moyens)

- Les synthèses par horizon des quatre narratifs (Figure 44) permettent de visualiser les trajectoires temporelles ayant conduit en fin de siècle à l'identification de leur caractère.
- Pour la température moyenne, les narratifs **dahlia**, **aster** et **euphorbe** sont très proches en termes de réchauffement annuel : +4,6°C à +5°C à l'échelle de la France entre 1976-2005 et la fin du siècle (cf. Annexe 2). Le narratif **narcisse** se limite à +3,7°C. Cette différence apparaît dès l'horizon proche et se retrouve à l'identique au pas de temps saisonnier (hiver et été).
- Pour les précipitations annuelles, les narratifs **narcisse** et **euphorbe** sont proches et projettent des fins de siècles plus humides à l'échelle de la France, le narratif **euphorbe** étant le plus humide. Les deux autres narratifs (**dahlia** et **aster**) projettent des fins de siècle plus sèches, le narratif **dahlia** étant le plus sec. On constate cependant que ce classement n'est pas forcément vérifié en milieu de siècle : si le narratif **narcisse** est très stable (hausse des précipitations continue au cours du siècle), les narratifs **dahlia** et **euphorbe** présentent une forte variabilité. Le classement des narratifs est aussi sensiblement différents aux pas de temps saisonnier : en hiver les narratifs les plus humides sont **aster** et **euphorbe** tandis que le narratif **dahlia** est le plus sec. En été, les narratifs **dahlia** et **aster** sont les plus secs tandis que les évolutions des narratifs **narcisse** et **euphorbe** sont moins marquées.
- En termes de précipitation maximale, c'est le narratif **aster** qui présente les hausses les plus fortes en fin de siècle devant le narratif **narcisse** tandis que les narratifs **dahlia** et **euphorbe** sont plus modérés.
- Quel que soit le narratif, l'évapotranspiration est à la hausse en réponse au réchauffement. Le narratif **dahlia** se distingue pour la plus forte évolution devant les narratifs **euphorbe** et **narcisse**, assez proches, et enfin le narratif **aster**. Ce classement se retrouve aussi en milieu de siècle où les narratifs **narcisse** et **euphorbe** donnent les mêmes valeurs.
- L'évolution du bilan hydrique résulte des effets cumulés des changements de précipitations et d'évaporation/réchauffement. Quel que soit le narratif, le bilan est à la baisse (assèchement). Pour les narratifs **dahlia** et **aster**, les deux effets vont dans le même sens. Le narratif le plus sec est le narratif **dahlia**, devant le narratif **aster**. Pour les narratifs **narcisse** et **euphorbe**, l'assèchement est légèrement atténué par l'augmentation des précipitations en hiver. Ce résultat se retrouve aussi en milieu de siècle.

Le positionnement des narratifs relativement aux autres projections en fin de siècle sous RCP8.5 est donné en Figure 45.

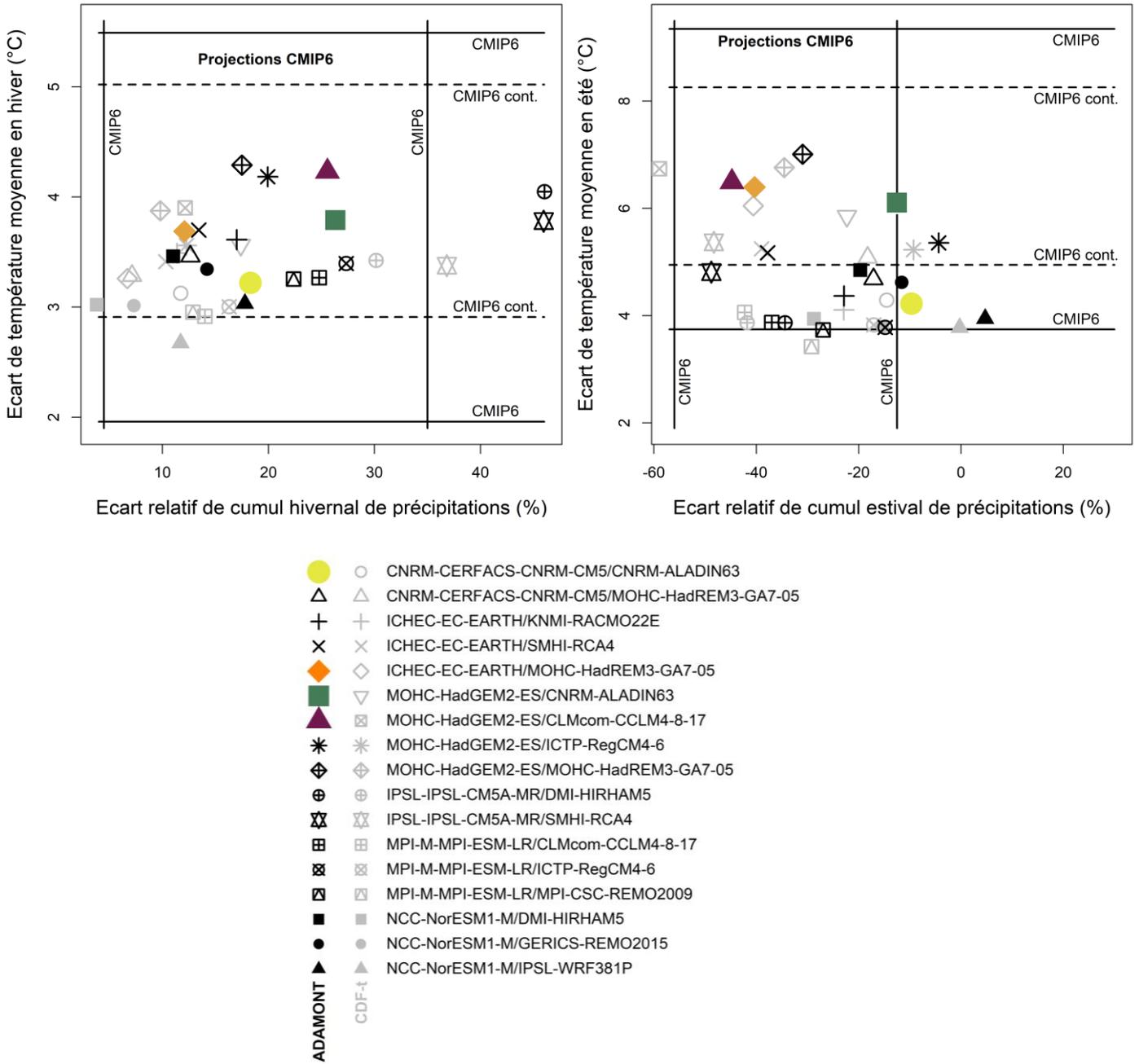


Figure 45 : Changements en température et en précipitations sur la France selon les 34 simulations Explore2-2024 avec identification des quatre narratifs sur les saisons hiver et été, comparés aux quantiles 5 % et 95 % (Q5 et Q95) de l'ensemble CMIP6 (« CMIP6 ») et CMIP6 contraint par les observations pour les températures selon la méthode de Ribes et al. (2022) (« CMIP6 cont. »).

### **Quatre climats futurs selon quatre narratifs (fin de siècle versus 1976-2005, RCP85)**

#### **Narratif « Réchauffement marqué et augmentation des précipitations »**

Le réchauffement s'élève à +4.8°C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers marqués : +3.8°C en hiver et +6.1°C en été.

Les précipitations moyennes ont augmenté de +6 %. Cette tendance à la hausse résulte d'une augmentation marquée en hiver (+26 %) particulièrement forte sur la moitié nord, et non compensée par l'assèchement en été (-13 %) modéré et peu significatif.

Les changements de précipitations maximales sont à la hausse (+25 %).

En réponse au réchauffement, l'évapotranspiration de référence a augmenté (+31 %) et l'emporte sur la hausse des précipitations pour mener à une diminution du bilan hydrique (environ -160 %).

#### **Narratif « Changements futurs relativement peu marqués »**

Le réchauffement (+3.7°C) ne dépasse pas le seuil des +4°C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers modérés : +3.2°C en hiver et +4.2°C en été.

Les précipitations moyennes ont augmenté de +6 %. Cette tendance à la hausse résulte d'une augmentation en hiver (+18 %) marquée sur la moitié nord, et non compensée par l'assèchement modéré en été (-10 %) non significatif sur un large quart nord-est.

Les changements de précipitations maximales sont à la hausse (+16 %) et concernent principalement la moitié nord.

En réponse au réchauffement, l'évapotranspiration de référence a augmenté (+28 %) et l'emporte sur la hausse des précipitations pour mener à une diminution du bilan hydrique (environ -150 %).

#### **Narratif « Fort réchauffement et fort assèchement en été »**

Le réchauffement s'élève à +4.6 °C à l'échelle de la France, avec de forts contrastes saisonniers : il est légèrement moins marqué en hiver (+3.7°C) et plus fort en été (+6,4°C).

Les précipitations moyennes ont diminué de -9 %. Cette tendance à la baisse résulte d'un fort assèchement en été (-40 %) particulièrement marqué sur la moitié sud, et non compensé par l'augmentation modérée des précipitations en hiver (+12 %) peu significative en dehors du quart nord-est.

Les changements de précipitations maximales sont plutôt à la hausse (+12 %) mais peu significatifs.

En réponse au réchauffement, l'évapotranspiration de référence a fortement augmenté (+43 %). Cumulé à la baisse des précipitations, il en résulte une diminution sévère du bilan hydrique (presque -400 %).

#### **Narratif « Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations »**

Le réchauffement atteint +5°C à l'échelle de la France, avec des contrastes saisonniers marqués : +4.2°C en hiver et +6.5°C en été.

Les précipitations moyennes ont diminué de -8 %. Cette tendance masque de forts contrastes saisonniers, avec un fort assèchement en été (-45 %), particulièrement marqué dans le sud, qui l'emporte sur l'augmentation des précipitations en hiver (+21 %) concernant principalement la moitié nord.

Les changements de précipitations maximales sont à la hausse (+26 %) mais restent non significatifs dans les régions les plus au sud.

En réponse au réchauffement, l'évapotranspiration de référence a augmenté (+26 %). Cumulé à la baisse des précipitations, il en résulte une diminution du bilan hydrique (environ -230 %).

**Variabilité interannuelle et saisonnière**

On représente la variabilité interannuelle en comparant les anomalies annuelles (Figure 46) et saisonnières (Figure 47, Figure 48) de température et précipitations de la réanalyse SAFRAN (1976 à 2022) avec les simulations en RCP8.5 et selon l’horizon moyen (H2, 2041-2070). L’intérêt de la représentation des observations est de permettre une comparaison directe à des années récentes ayant pu présenter un caractère extrême dans le climat actuel, notamment les années 1976, 2003 et 2022.

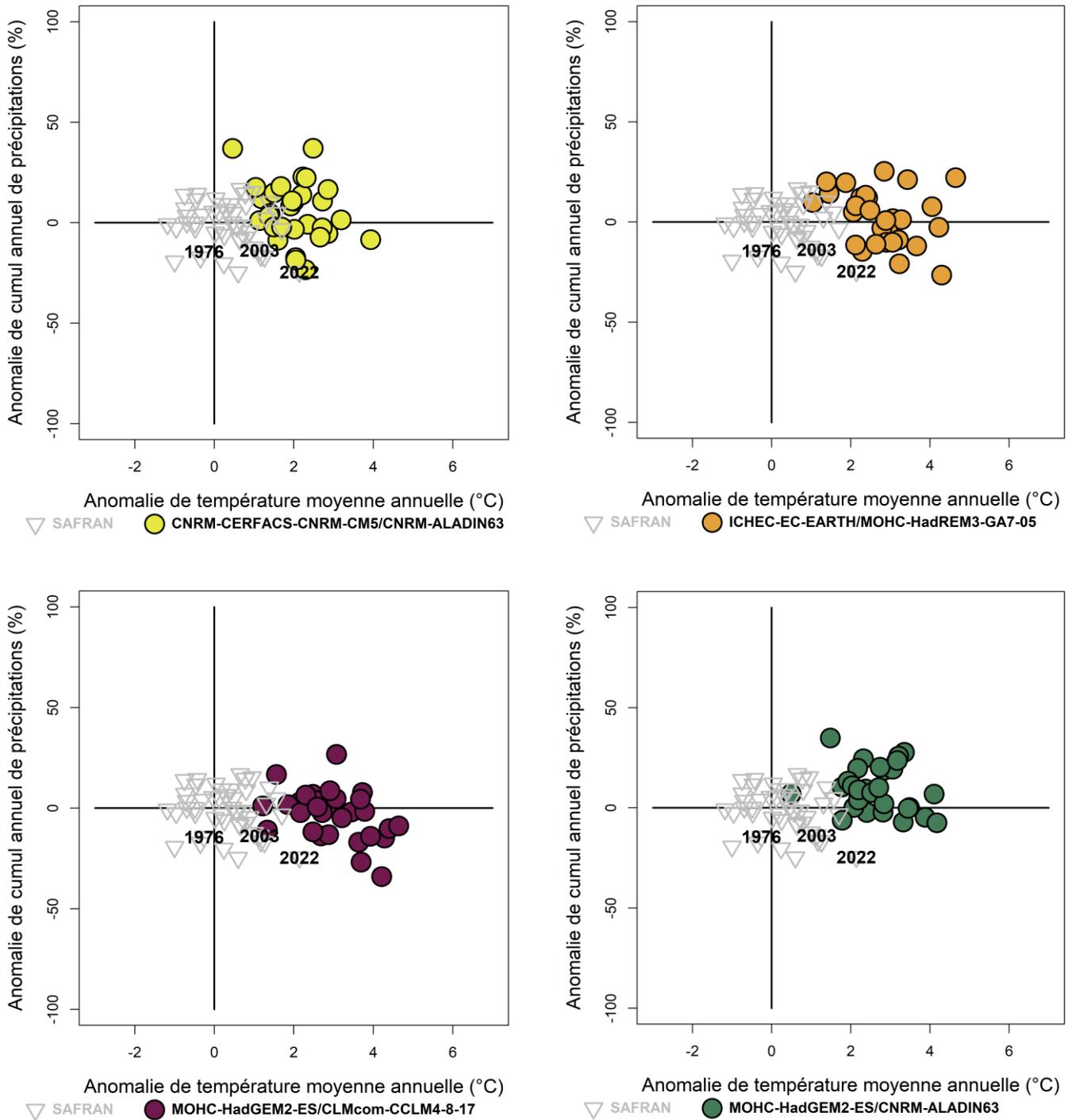


Figure 46 : Anomalies annuelles de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en narcisse) et les quatre narratifs (en jaune). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L’année 2022 correspond au point d’anomalie +2,1°C en température et -25 % en précipitation. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement.

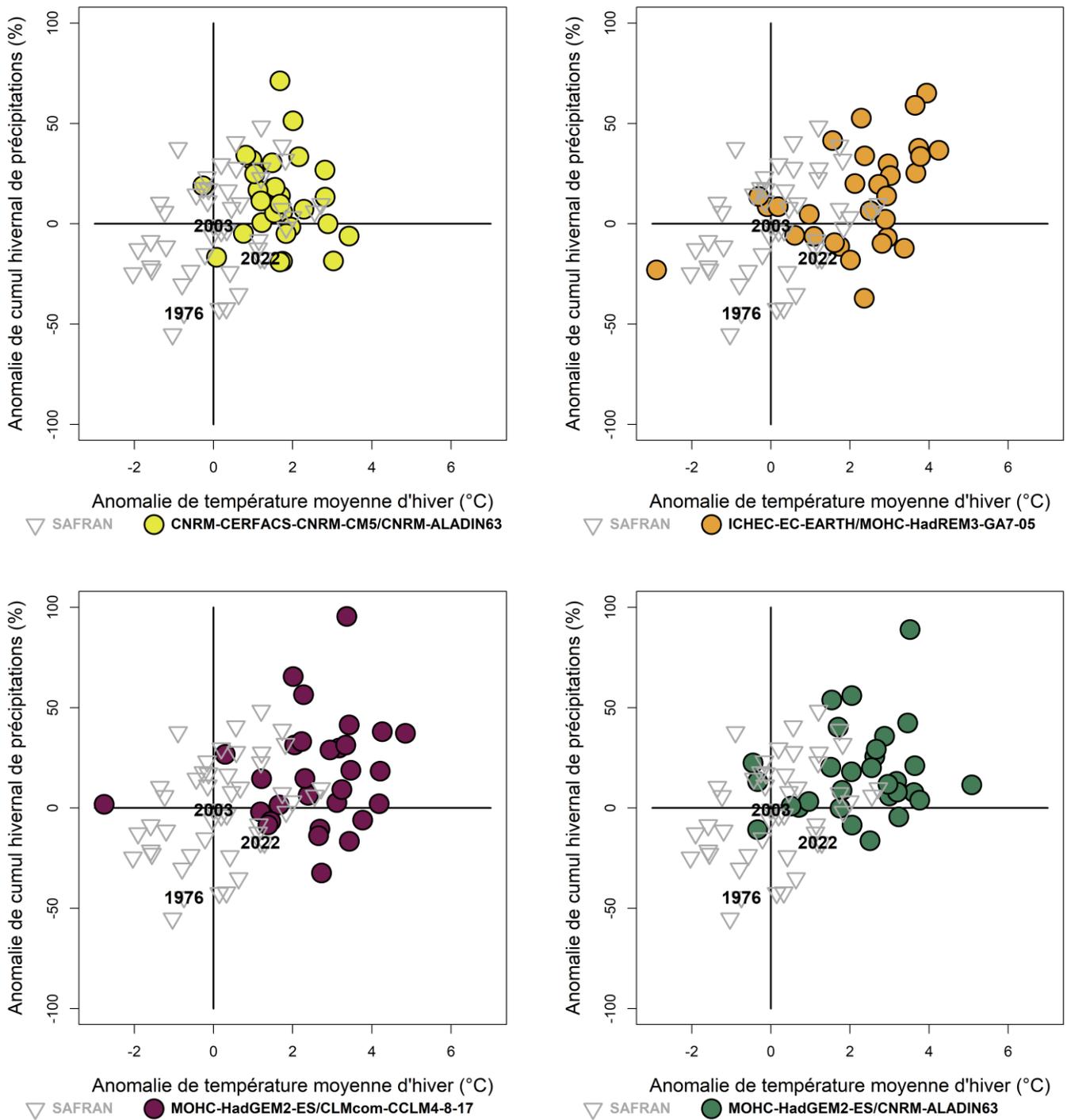


Figure 47 : Anomalies saisonnières (hiver : décembre-janvier-février) de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en narcisse) et les quatre narratifs (en jaune). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L'année 2022 correspond au point d'anomalie +1,2°C en température et -17 % en précipitations. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement.

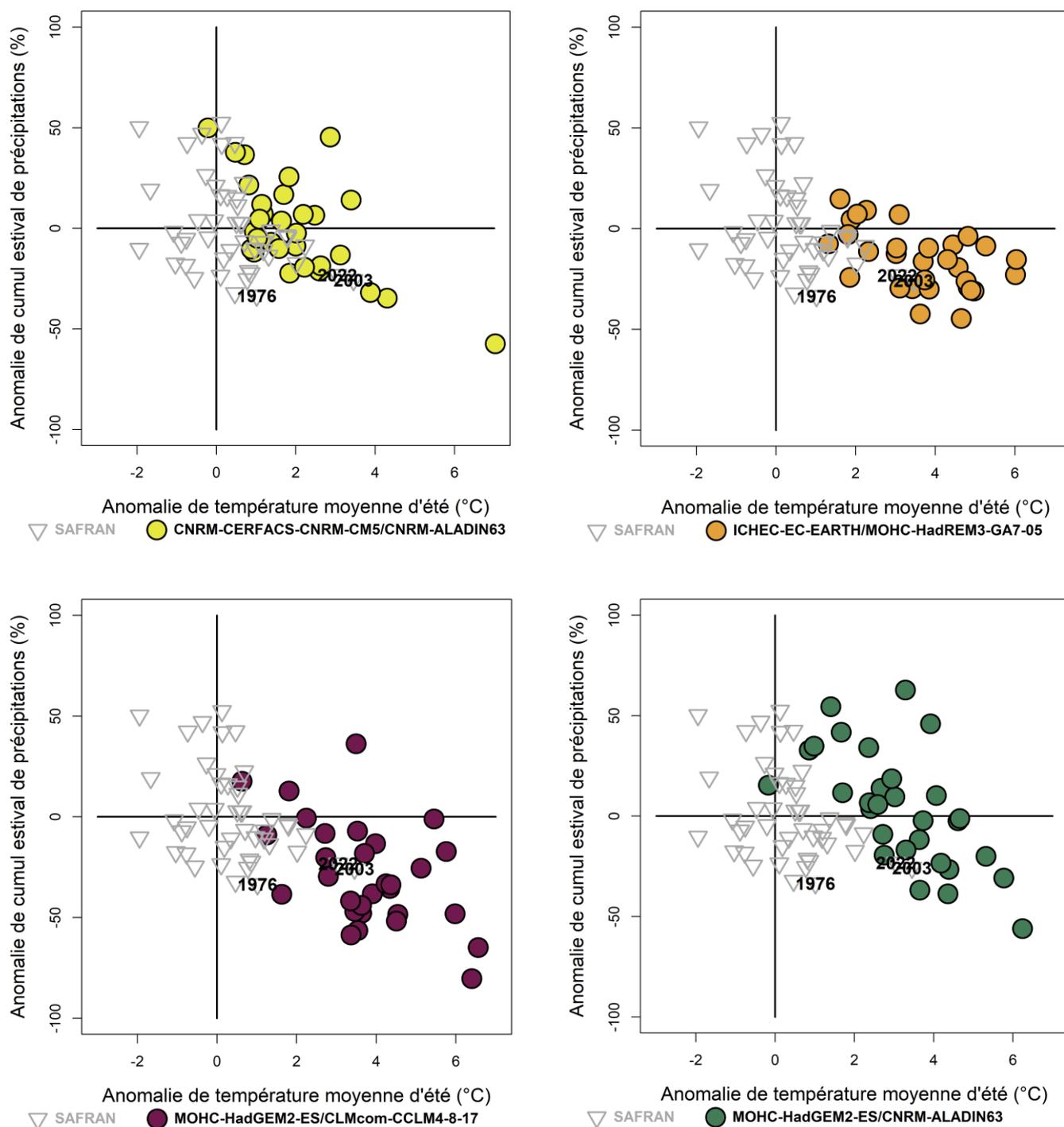


Figure 48 : Anomalies saisonnières (été : juin-juillet-août) de température (en abscisse) et précipitations (en ordonnée) pour la réanalyse SAFRAN (en gris) et les quatre narratifs (en couleur). Les anomalies SAFRAN sont calculées par rapport à la période 1976-2005. L'année 2022 correspond au point d'anomalie +3°C en température et -23 % en précipitations. Pour les narratifs, les anomalies sont calculées par rapport à chacune des simulations historiques des quatre couples GCM/RCM respectivement.

A l'horizon milieu de siècle :

- Avec le narratif « Réchauffement marqué et augmentation des précipitations » représenté par la simulation MOHC-HadGEM2-ES/CNRM-ALADIN63, les années sont plus chaudes mais aussi plus humides (toutes les années sont quasiment en anomalie positive par rapport à la période historique). Beaucoup d'années sont au-delà des records historiques. Les hivers sont souvent humides et les étés présentent des anomalies de précipitation comparables avec celles d'aujourd'hui.

- **Avec le narratif « Changements modérés »** représenté par la simulation CNRM-CERFACS-CNRM-CM5/CNRM-ALADIN63, on observe une majorité d'années plus chaudes que jamais observées (même en 2022) avec des anomalies annuelles pouvant être considérables (une année avec une anomalie proche de +4°C par rapport à 1976-2005). Côté précipitations, une année sur cette période de 30 ans connaît des conditions sèches de type année 2022. A l'inverse, deux années présentent des cumuls de précipitations jamais observés par le passé jusqu'à +35 %. Les hivers diffèrent assez peu des hivers connus ces dernières années. Les sécheresses hivernales deviennent rares et à l'inverse on observe des records humides. Les étés ne sont pas si différents non plus de ces dernières années, à l'exception d'une valeur exceptionnellement chaude et sèche (+7°C et -57 % de précipitations).
- **Avec le narratif « Fort réchauffement et fort assèchement en été »** représenté par la simulation ICHEC-EC-EARTH/MOHC-HadREM3-GA7-05, les températures annuelles sont systématiquement plus chaudes que celles de la dernière décennie mais le cumul de précipitations annuel évolue peu. Les hivers sont souvent plus chauds mais pas systématiquement. Les étés sont plus chauds et rarement humides.
- **Avec le narratif « Forts contrastes saisonniers »** représenté par la simulation MOHC-HadGEM2-ES/CLMcom-CCLM4-8-17, quasiment toutes les années de la période sont plus chaudes que jamais observées et plus d'1 année sur 3 voient leur température moyenne annuelle supérieure à +3,2°C par rapport à 1976-2005. Une majorité d'années présentent des cumuls de précipitation déficitaires et deux années présentent des cumuls nettement inférieurs à 2022. Pour autant, on observe aussi une année avec un cumul supérieur au maximum observé sur 1976-2022. Les hivers sont assez différents de ceux d'aujourd'hui surtout en termes de température ; trois années présentent aussi des cumuls importants jamais observés sur la période historique. De même, les étés sont très chauds, majoritairement déficitaires et souvent beaucoup plus secs que ceux observés jusqu'à présent.

Pour la température moyenne, les narratifs **dahlia**, **aster** et **euphorbe** sont très proches en termes de réchauffement annuel : +4.6°C à +5°C à l'échelle de la France entre 1976-2005 et la fin du siècle (cf. Annexe 2). Le narratif **narcisse** se limite à +3.7°C. Cette différence apparaît dès l'horizon proche et se retrouve à l'identique au pas de temps saisonnier (hiver et été).

## 5 Diagnostics climatiques à partir de la méthode CDF-*t*

Dans cette section, on utilise les simulations climatiques corrigées à partir de la méthode CDF-*t* pour illustrer les changements climatiques futurs selon les mêmes indicateurs et modes de représentation que précédemment.

Les résultats obtenus sont proches de ceux obtenus avec la méthode ADAMONT avec des écarts de température souvent un peu moins élevés qu'avec la méthode ADAMONT. Des comparaisons globales par indicateurs (température, précipitation, autres) et pour le scénario RCP 8.5 sont proposées par la suite. Le lecteur pourra également se reporter à l'Annexe 2 pour disposer par indicateur de tableaux de synthèse pour la comparaison des changements projetés par les deux méthodes.

## 5.1 Températures (tg)

Indicateur Température moyenne annuelle

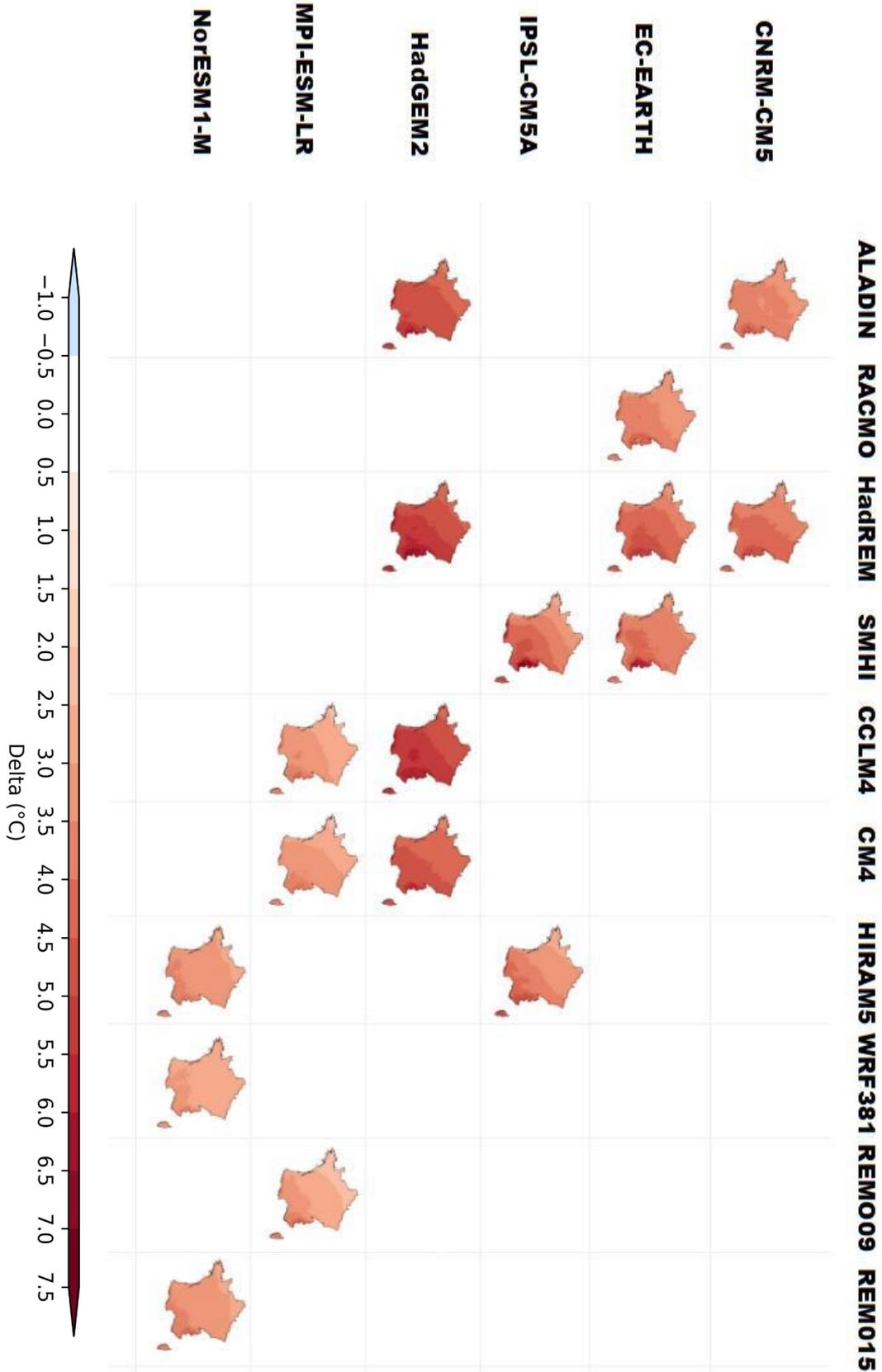


Figure 49 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

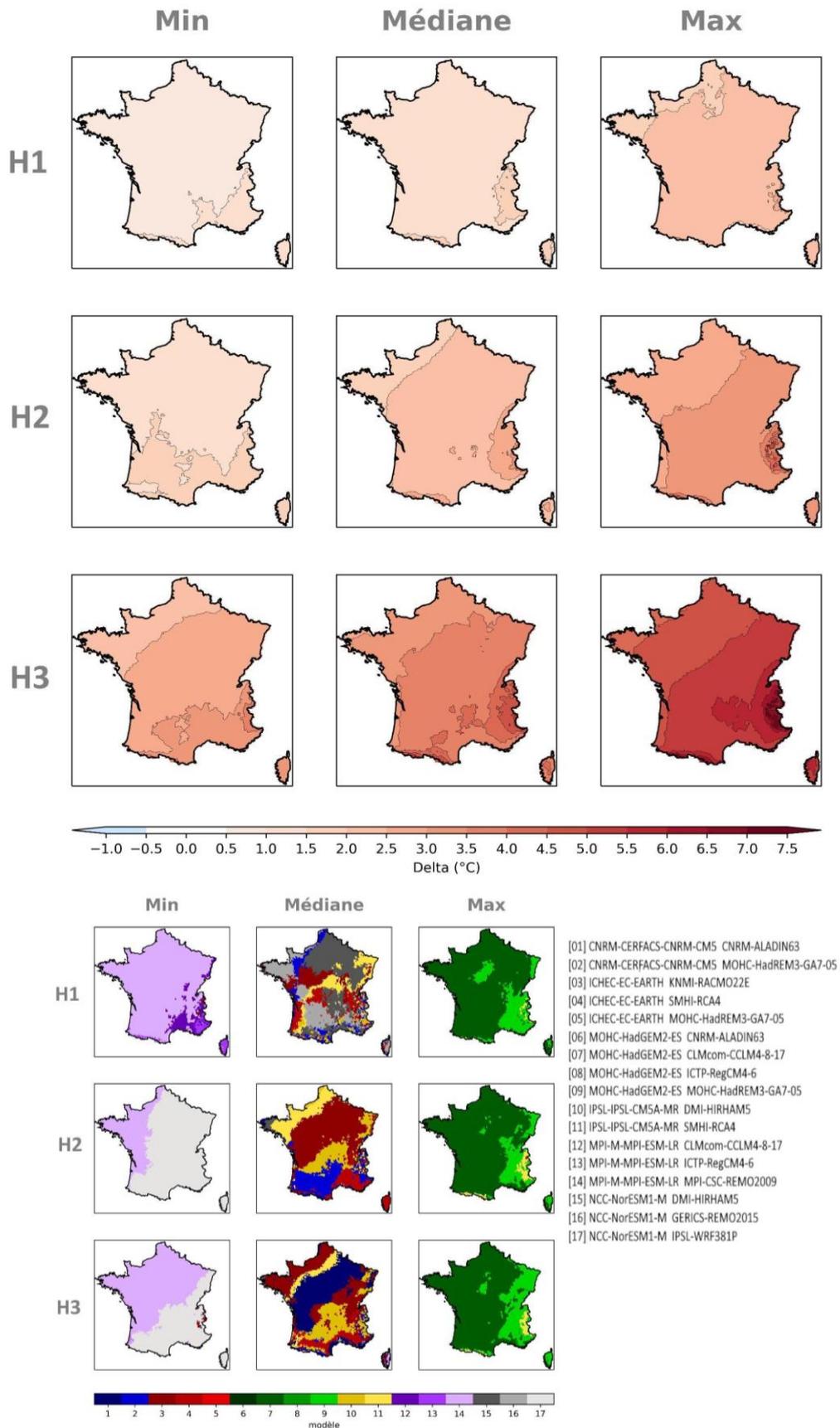


Figure 50 :Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

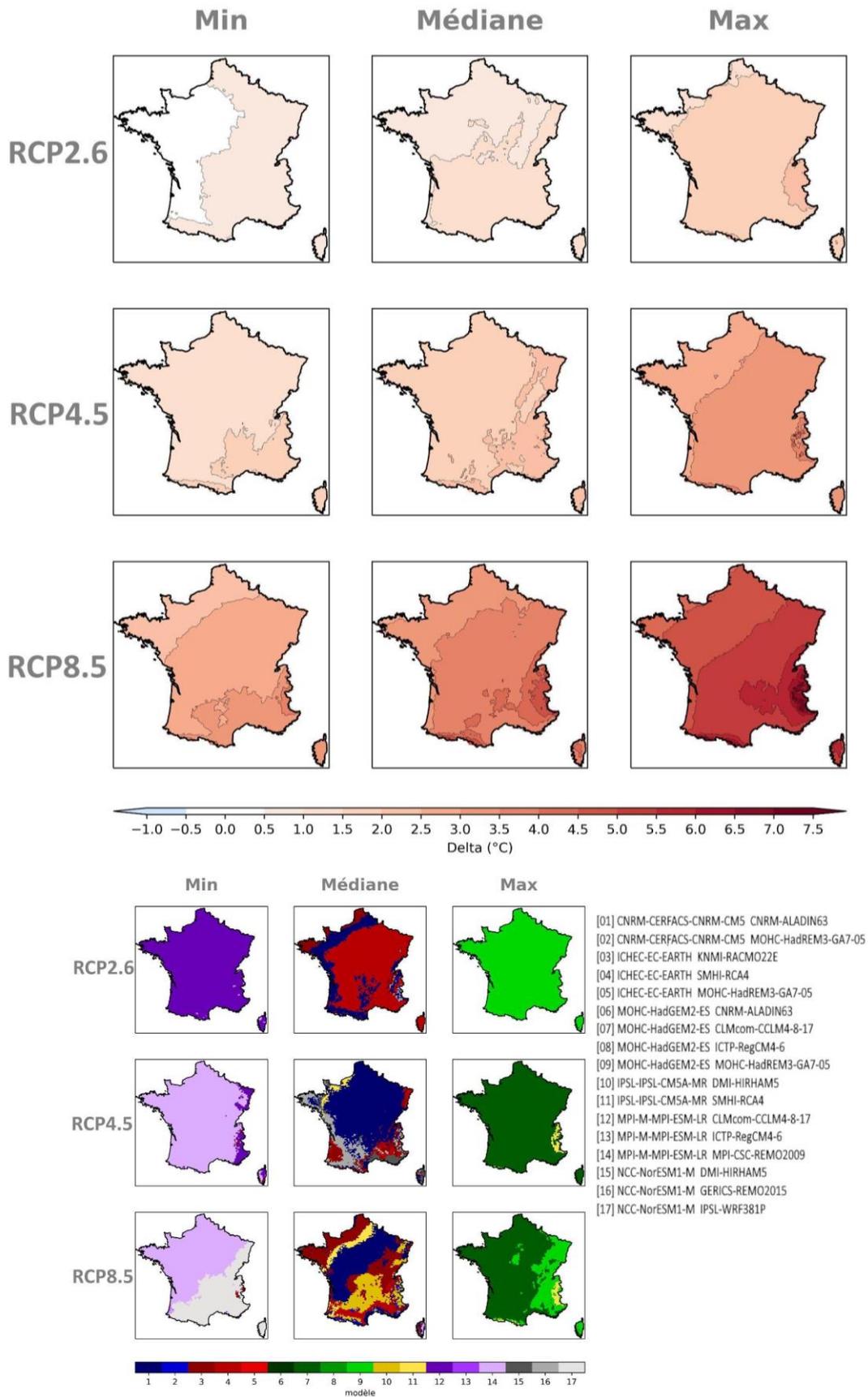


Figure 51 : Cartes des écarts de température moyenne annuelle à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de température moyenne annuelle				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+0.9°C [+0.7 ; +1.6]	+0.9°C [+0.6 ; +1.5]	+1°C [+0.7 ; +1.7]
	H2	+1.1°C [+0.7 ; +1.7]	+1.1°C [+0.7 ; +1.6]	+1.1°C [+0.8 ; +1.8]
	H3	+1.1°C [+0.5;+1.7]	+1°C [+0.5 ; +1.7]	+1.1°C [+0.6 ; +1.8]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.1°C [+0.6 ; +1.9]	+1°C [+0.6 ; +1.8]	+1.1°C [+0.7 ; +2]
	H2	+1.6°C [+0.8 ; +2.6]	+1.5°C [+0.7 ; +2.6]	+1.6°C [+1 ; +2.7]
	H3	+1.9°C [+1.3;+3.1]	+1.9°C [+1.2 ; +3]	+2°C [+1.5 ; +3.3]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.3°C [+0.8;+2.1]	+1.2°C [+0.6 ; +2.0]	+1.4°C [+0.9 ; +2.1]
	H2	+2.3°C [+1.5;+3.1]	+2.1°C [+1.4 ; +3.0]	+2.5°C [+1.6 ; +3.2]
	H3	+3.6°C [+2.9;+5.1]	+3.4°C [+2.6 ; +4.8]	+4°C [+3.1 ; +5.4]

Tableau 14 : Ecart de température moyenne annuelle par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

Indicateur Température moyenne en hiver

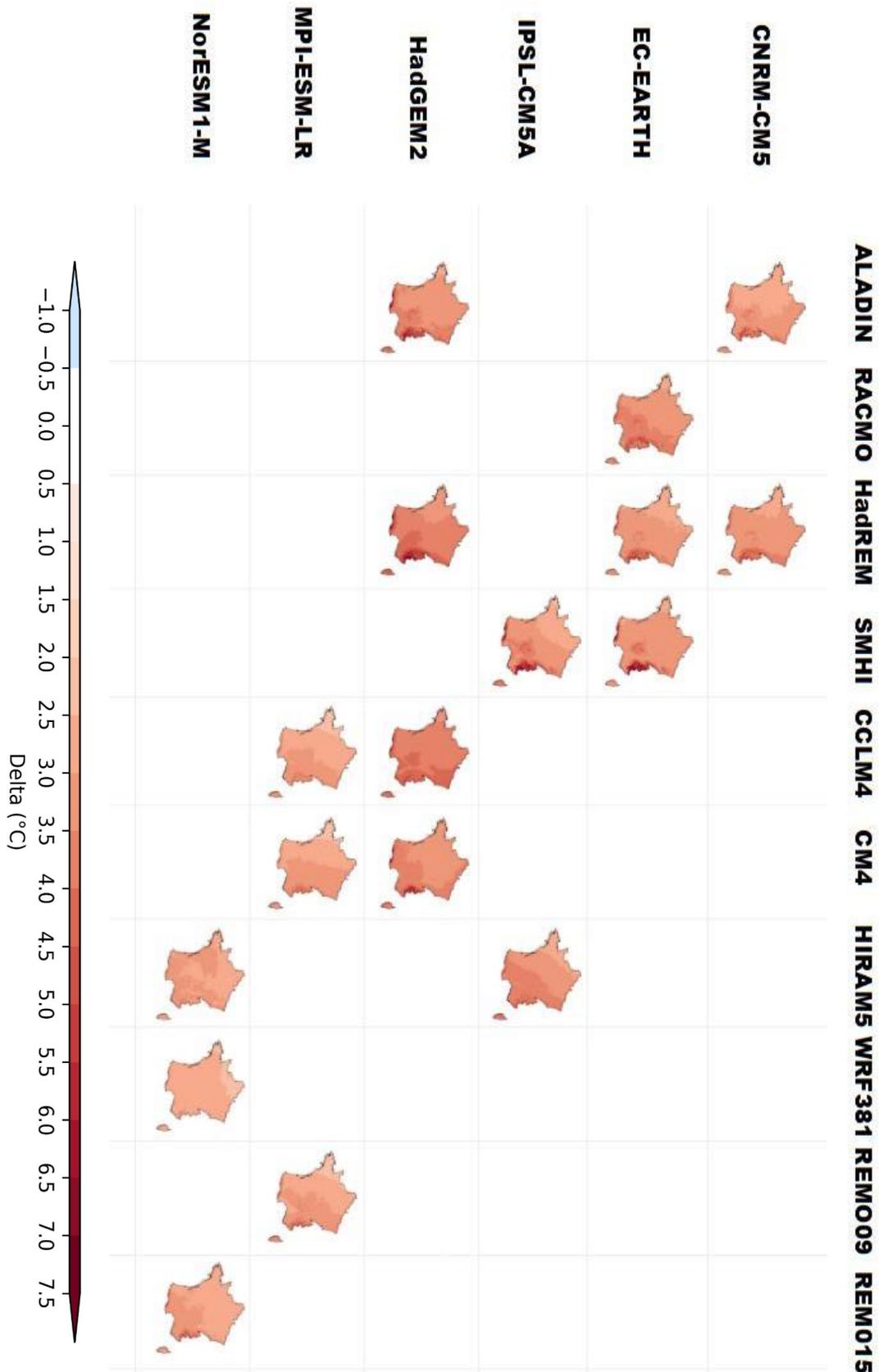


Figure 52 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

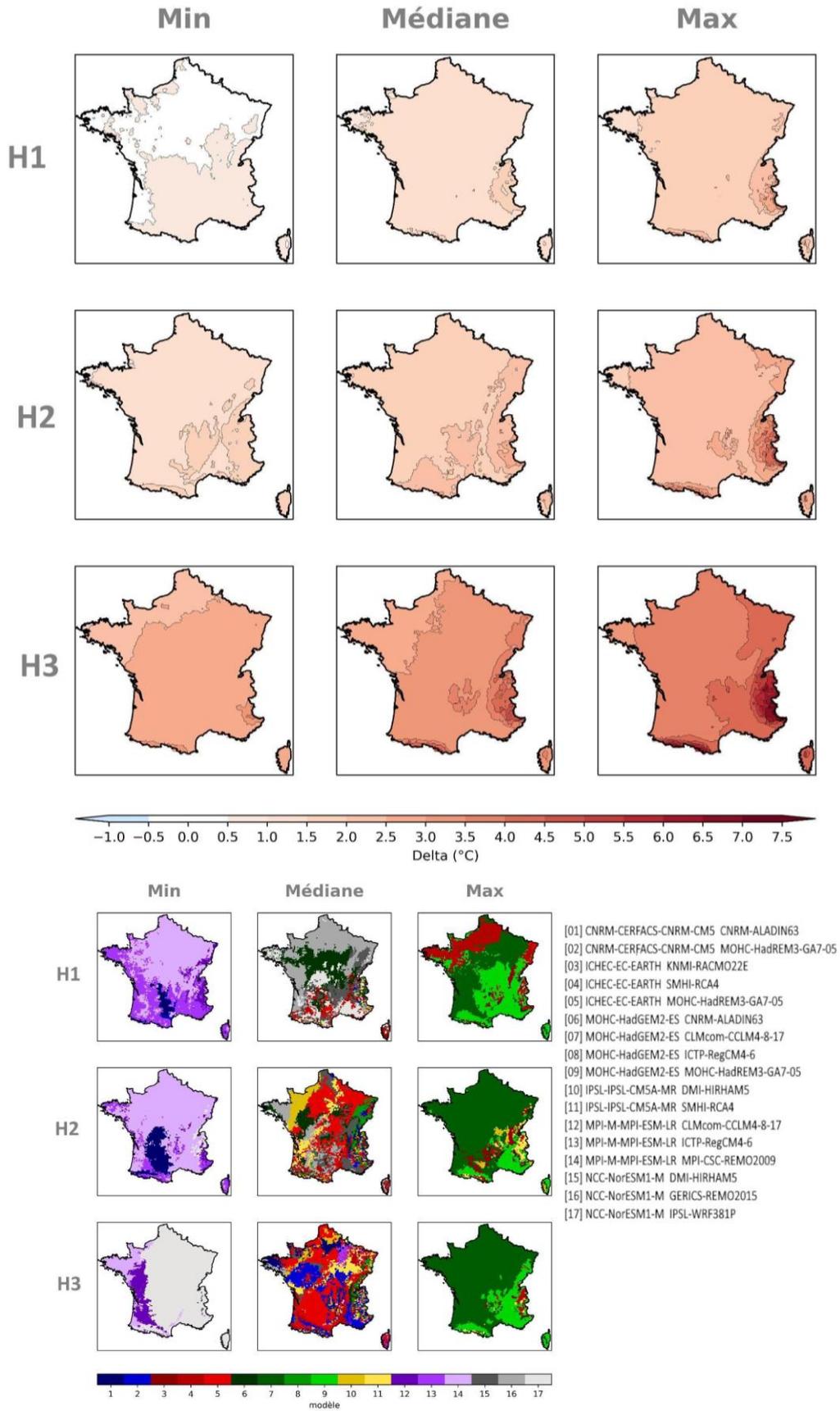


Figure 53 : Cartes des écarts de de température moyenne en hiver par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) :

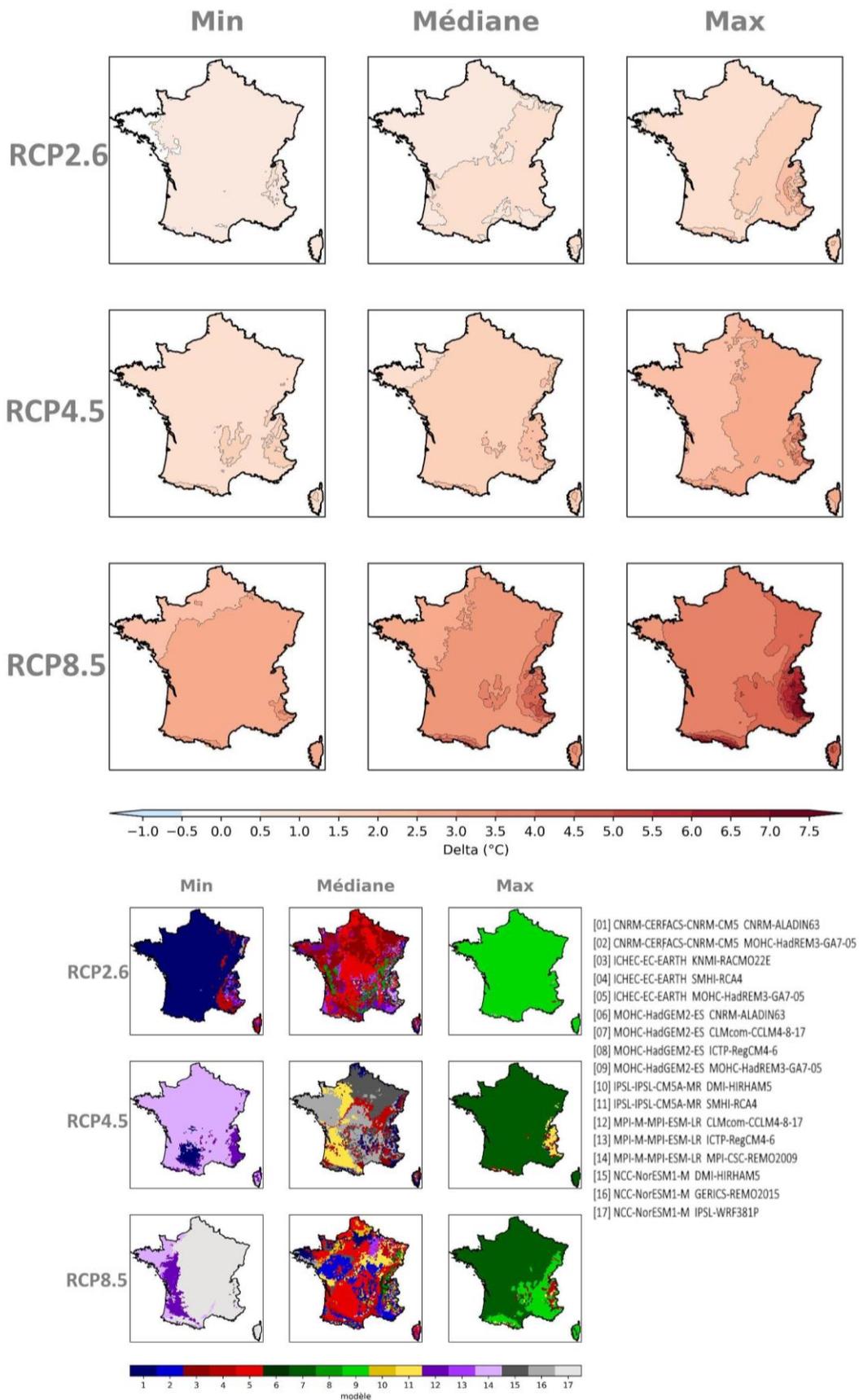


Figure 54 : Cartes des écarts de température moyenne en hiver annuelle à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de température moyenne en hiver				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+0.9°C [+0.7 ; +1.1]	+0.9°C [+0.6 ; +1.1]	+0.9°C [+0.7 ; +1.2]
	H2	+0.9°C [+0.9 ; +1.2]	+0.9°C [+0.7 ; +1.1]	+1°C [+0.9 ; +1.3]
	H3	+1°C [+0.7 ; +1.5]	+1°C [+0.6 ; +1.4]	+1.1°C [+0.7 ; +1.6]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1°C [+0.6 ; +1.7]	+0.9°C [+0.6 ; +1.7]	+1°C [+0.7 ; +1.6]
	H2	+1.3°C [+0.9 ; +2.2]	+1.2°C [+0.8 ; +2.3]	+1.4°C [+1 ; +2.2]
	H3	+1.8°C [+1.3 ; +2.5]	+1.7°C [+1.3 ; +2.5]	+1.9°C [+1.4 ; +2.6]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.3°C [+0.6 ; +1.7]	+1.2°C [+0.5 ; +1.6]	+1.4°C [+0.7 ; +1.8]
	H2	+2°C [+1.4 ; +2.3]	+1.8°C [+1.2 ; +2.3]	+2.1°C [+1.6 ; +2.5]
	H3	+3.2°C [+2.7 ; +4]	+3.1°C [+2.6 ; +3.8]	+3.5°C [+2.8 ; +4.1]

Tableau 15 : Ecart de température moyenne en hiver par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

Indicateur Température moyenne en été

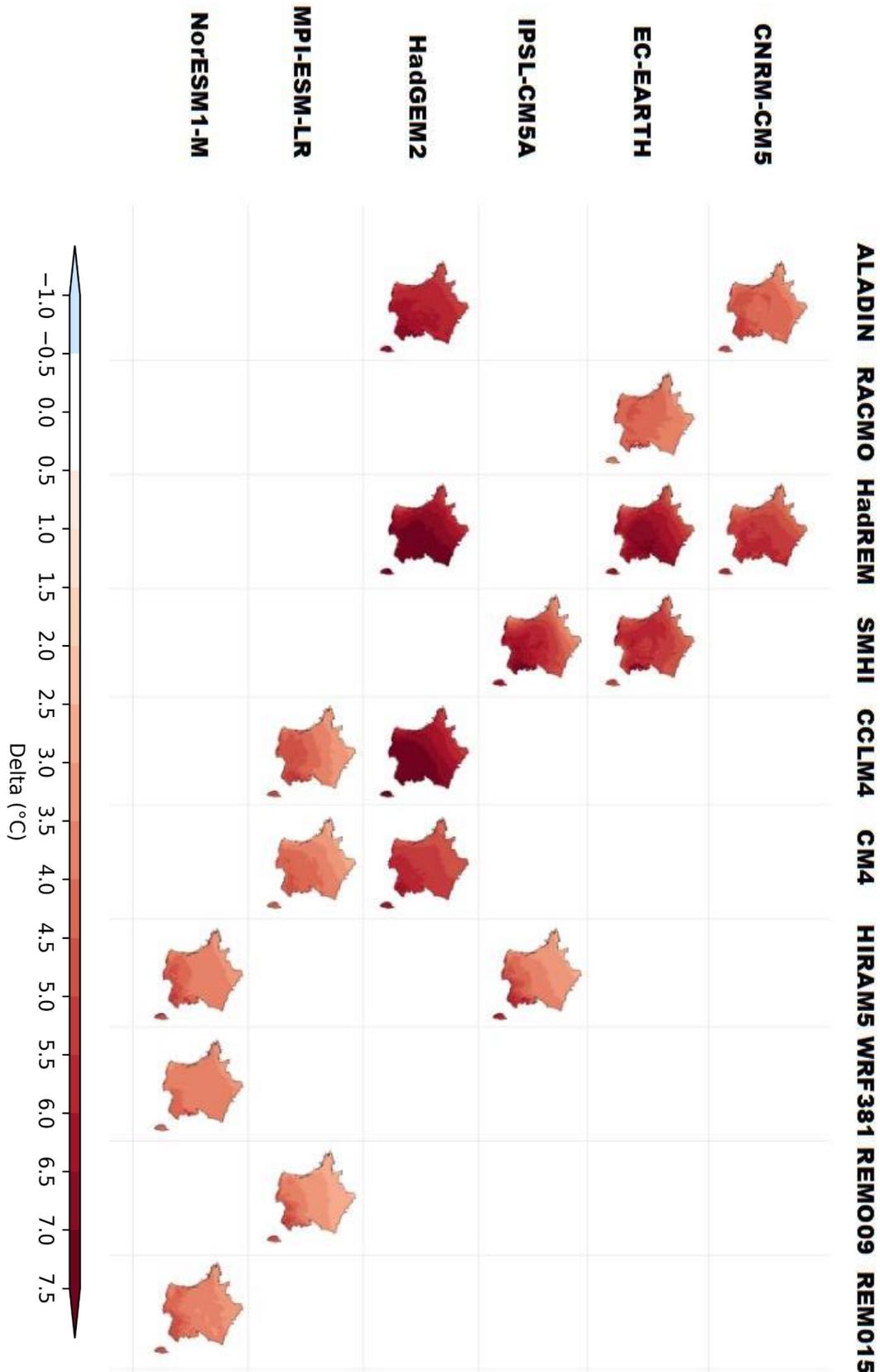


Figure 55 : Cartes des écarts de température moyenne en été à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l’ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

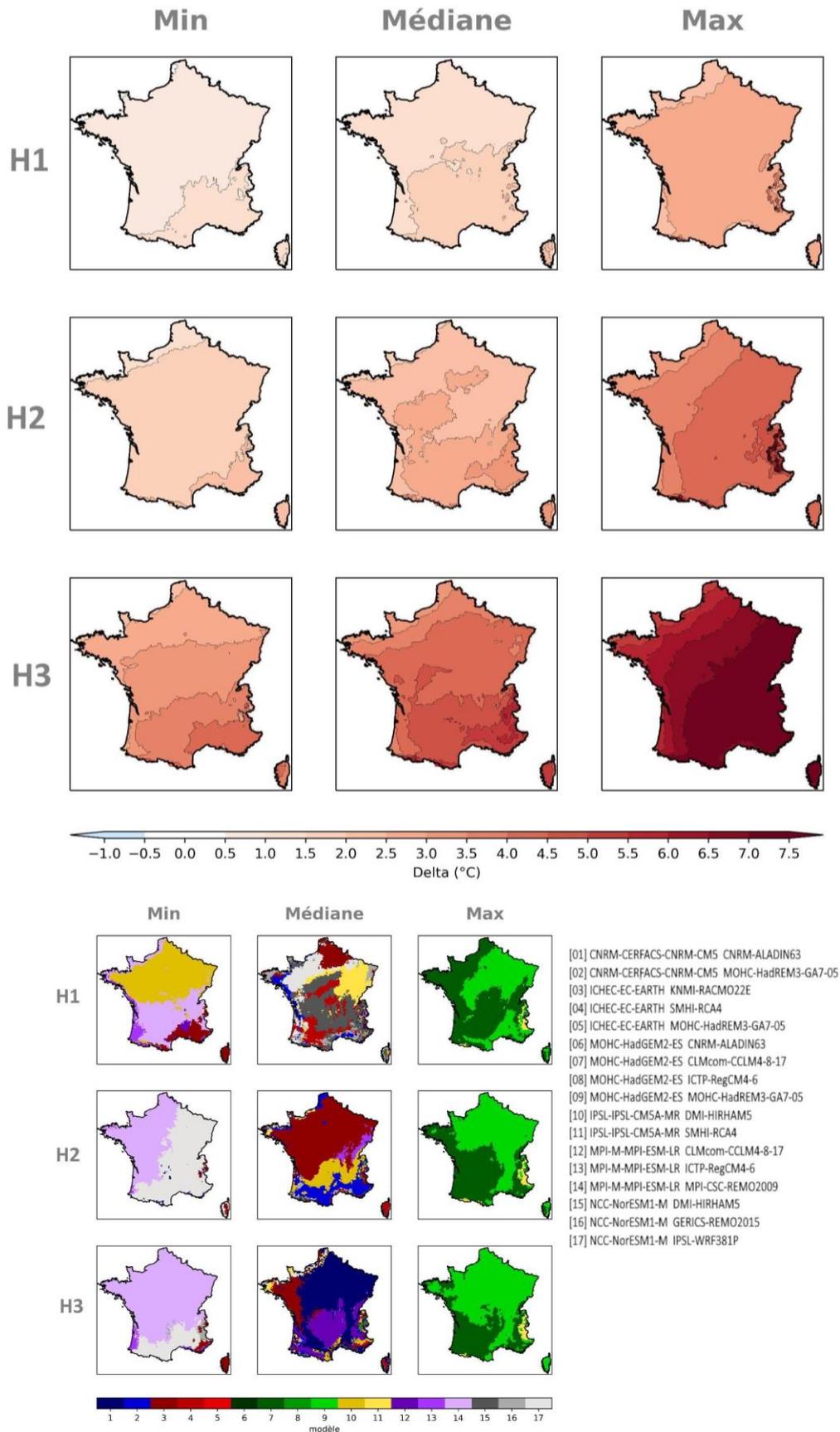


Figure 56 : Cartes des écarts de de température moyenne en été par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

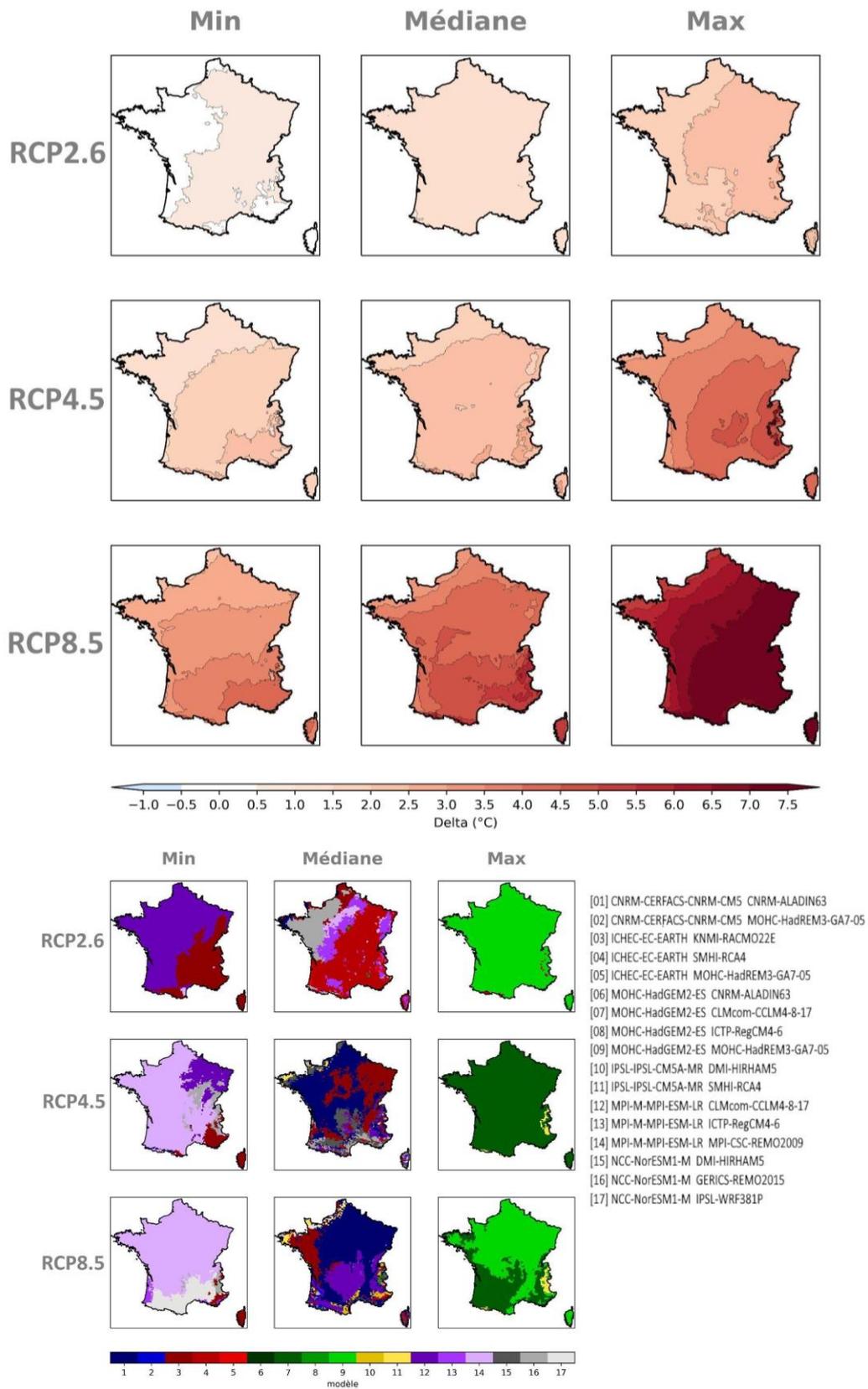


Figure 57 : Cartes des écarts de température moyenne en été à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

RCP 2.6		France	France Nord	France Sud
	H1	+1.2°C [+0.5 ; +2.2]	+1.2°C [+0.3 ; +2.1]	+1.3°C [+0.6 ; +2.2]
	H2	+1.1°C [+0.6 ; +2.1]	+1.1°C [+0.5 ; +2]	+1.1°C [+0.6 ; +2.1]
	H3	+1.1°C [+0.6 ; +2]	+1°C [+0.5 ; +2]	+1.2°C [+0.6 ; +2]
RCP 4.5		France	France Nord	France Sud
	H1	+1.3°C [+0.8 ; +2.4]	+1.2°C [+0.6 ; +2.1]	+1.4°C [+1 ; +2.6]
	H2	+2°C [+1 ; +3.6]	+1.8°C [+0.8 ; +3.4]	+2.1°C [+1.2 ; +3.8]
	H3	+2.2°C [+1.7 ; +4]	+2.1°C [+1.5 ; +3.7]	+2.2°C [+1.9 ; +4.2]
RCP 8.5		France	France Nord	France Sud
	H1	+1.6°C [+0.9 ; +2.7]	+1.3°C [+0.7 ; +2.6]	+1.7°C [+1.1 ; +2.8]
	H2	+2.4°C [+1.8 ; +4]	+2.4°C [+1.6 ; +3.9]	+2.8°C [+1.9 ; +4.3]
	H3	+4.3°C [+3.4 ; +7]	+4°C [+2.9 ; +6.6]	+4.6°C [+3.9 ; +7.2]

Tableau 16 : Ecart de température moyenne en été par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

**Commentaires généraux sur les températures (année, hiver et été) et le scénario RCP8.5 :**

- Les simulations corrigées par CDF-t présentent des changements plus faibles de température moyenne annuelle (écart d'environ -0.4°C), que les simulations ADAMONT en fin de siècle. Elles suggèrent des climats « plus frais ». L'écart augmente progressivement au cours des trois horizons (+0,07°C à l'horizon proche et +0.13°C à l'horizon moyen).
- Cet écart se retrouve globalement au niveau géographique entre moitié sud et moitié nord avec un effet moindre sur le sud.
- Cet écart est également conservé aux pas de temps saisonnier hiver comme été.

## 5.2 Précipitations (rr et rx1day)

Indicateur Cumul annuel de précipitations

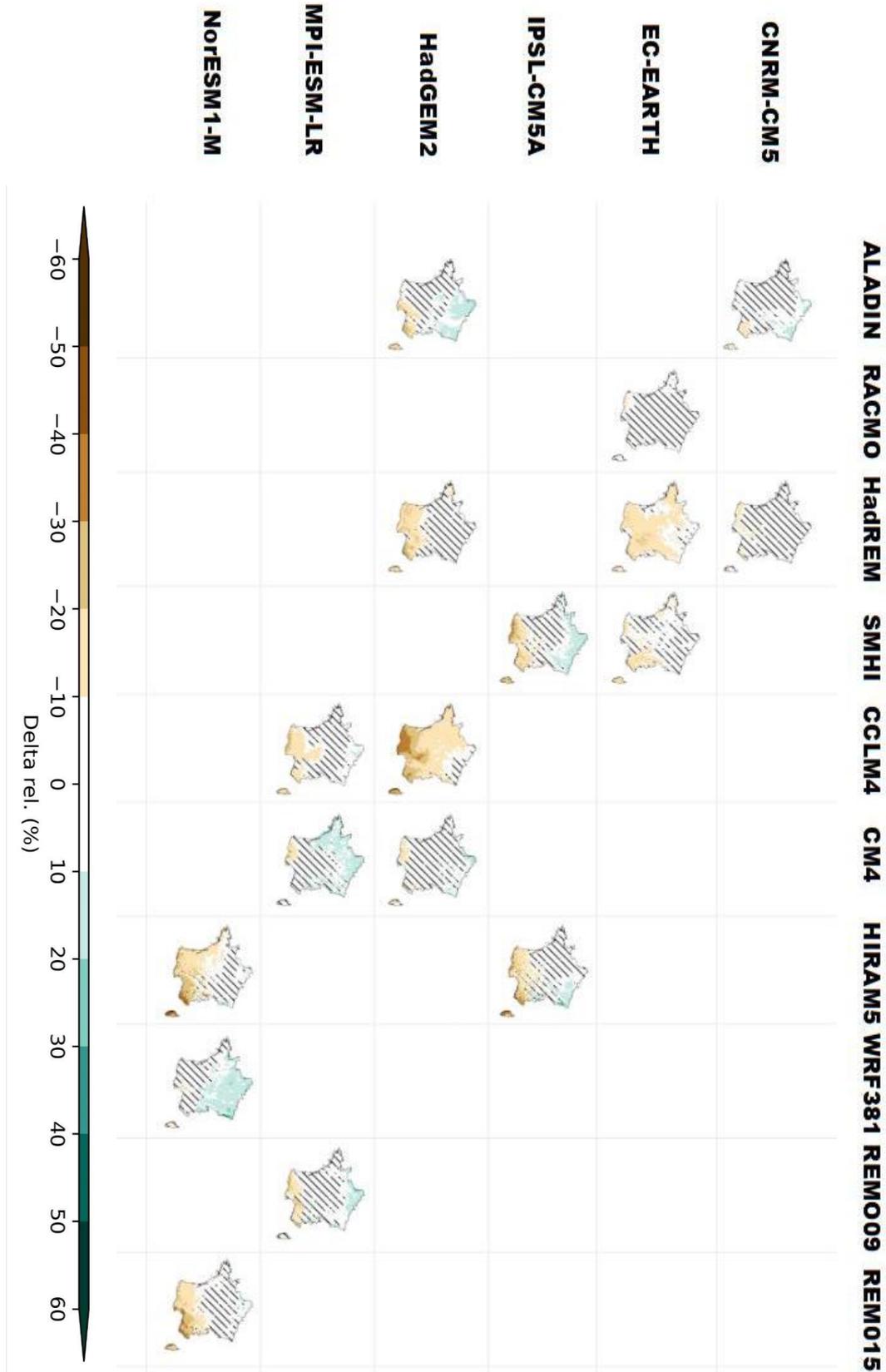


Figure 58 : Cartes des écarts de cumul annuel de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

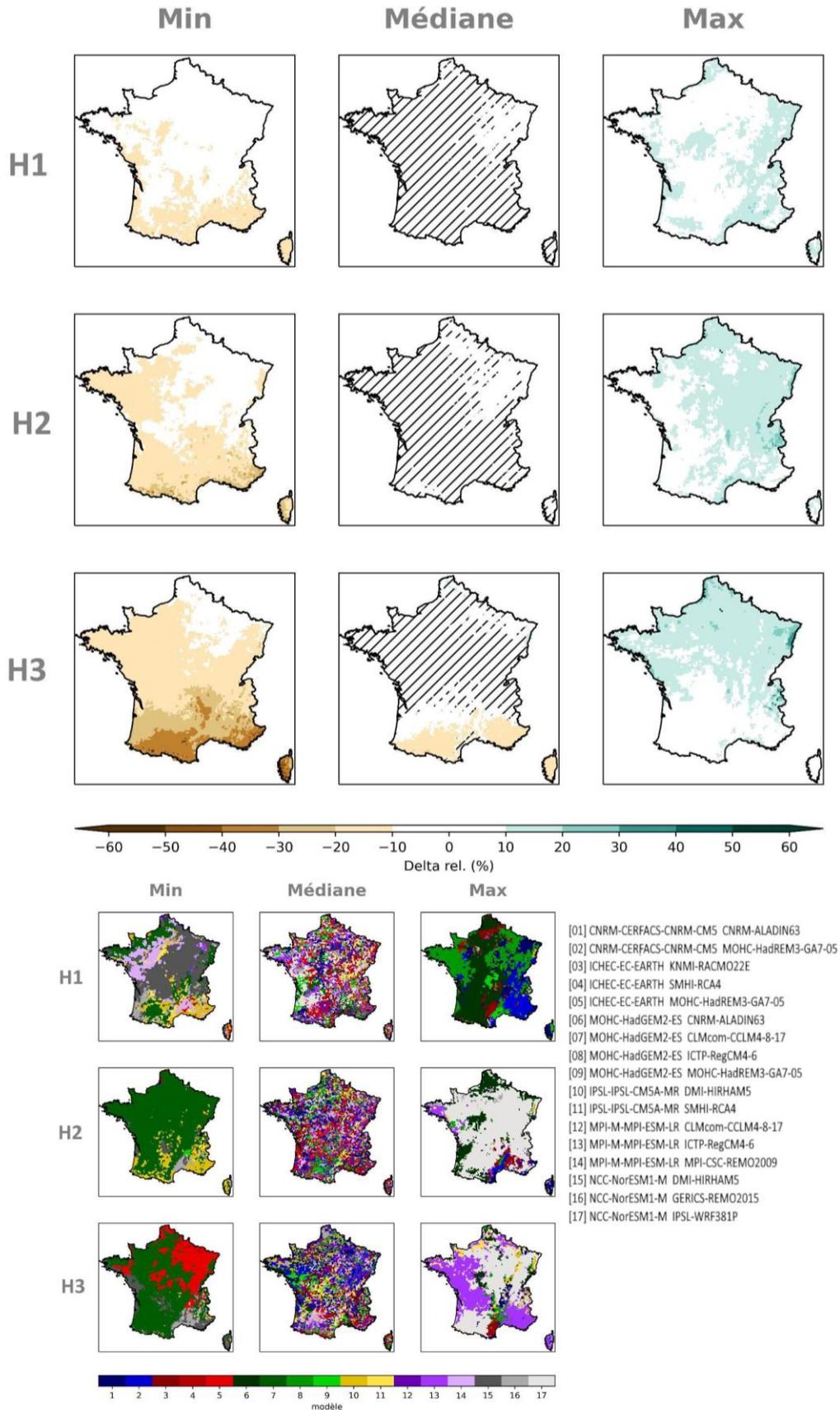


Figure 59 : Cartes des écarts de de cumul annuel de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

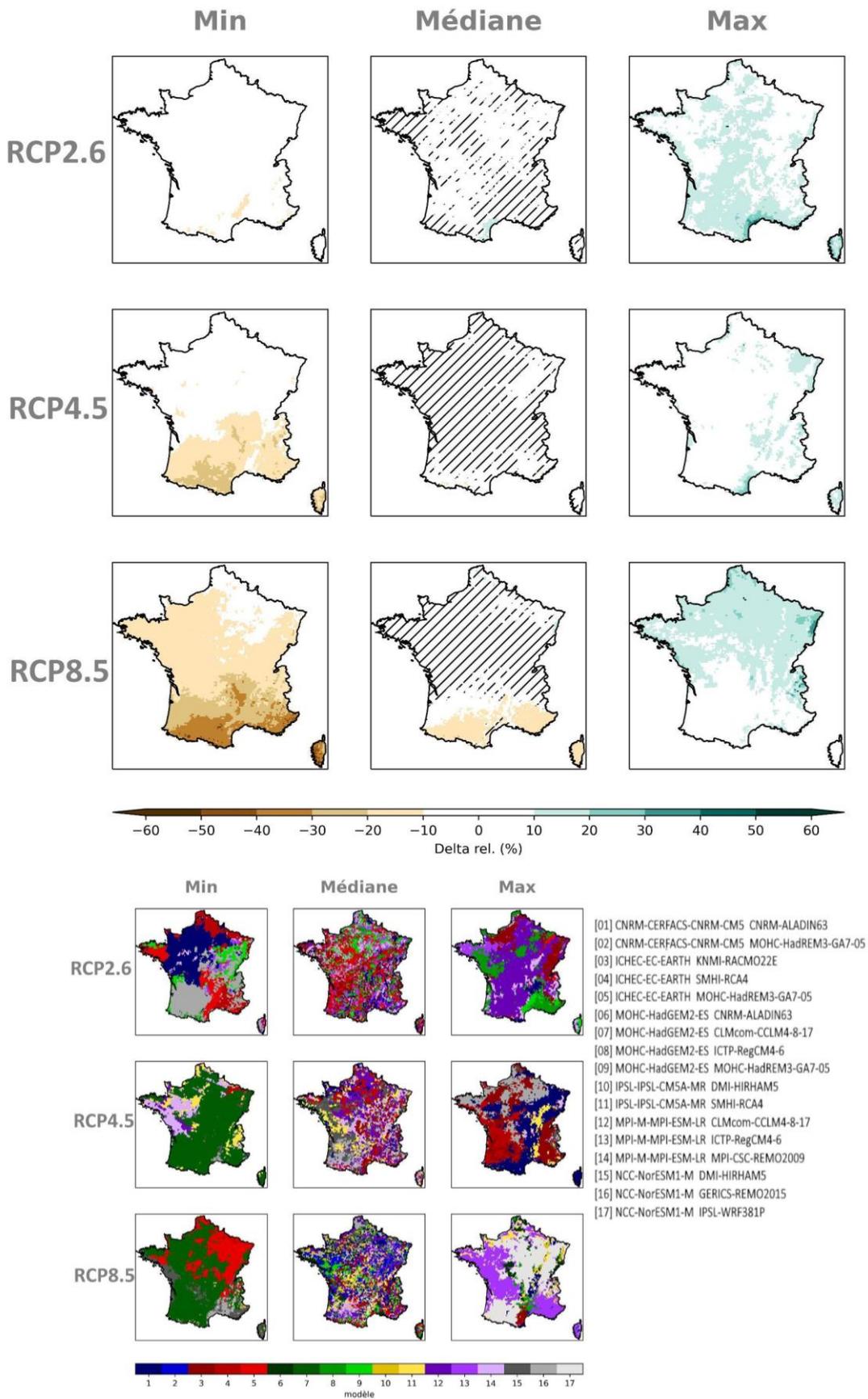


Figure 60 : Cartes des écarts relatifs de cumul annuel de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul annuel de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+1.9 % [-4 ; +5.8]	+1.6 % [-3 ; +7.3]	+0.7 % [-6 ; +4.4]
	H2	+2.5 % [-1 ; +5.8]	+2.8 % [-3.5 ; +5.3]	+2.5 % [-1.6 ; +6.2]
	H3	+3.9 % [+0.2 ; +8]	+3.4 % [+0 ; +7.4]	+4.1 % [-1.9 ; +8.4]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-0.9 % [-5.7 ; +4.9]	+0.9 % [-3.4 ; +5.6]	-1.3 % [-7.7 ; +4.6]
	H2	-1.1 % [-11.5 ; +4.9]	+0.5 % [-8.7 ; +5.6]	-1 % [-14 ; +4.2]
	H3	-1.1 % [-8.9 ; +4.2]	+1.1 % [-4 ; +4.4]	-2.7 % [-13.2 ; +4.1]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+0.2 % [-5.7 ; +6.2]	+2 % [-4.9 ; +7.8]	-0.9 % [-6.4 ; +5.9]
	H2	-0.7 % [-10.6 ; +9.9]	+2.1 % [-9.1 ; +11]	-1.7 % [-12 ; +9]
	H3	-2.1 % [-16.6 ; +6.1]	+2.5 % [-10.1 ; +11.4]	-8.6 % [-22.3 ; +1.4]

Tableau 17 : Ecart de cumul annuel de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

Indicateur Cumul hivernal des précipitations

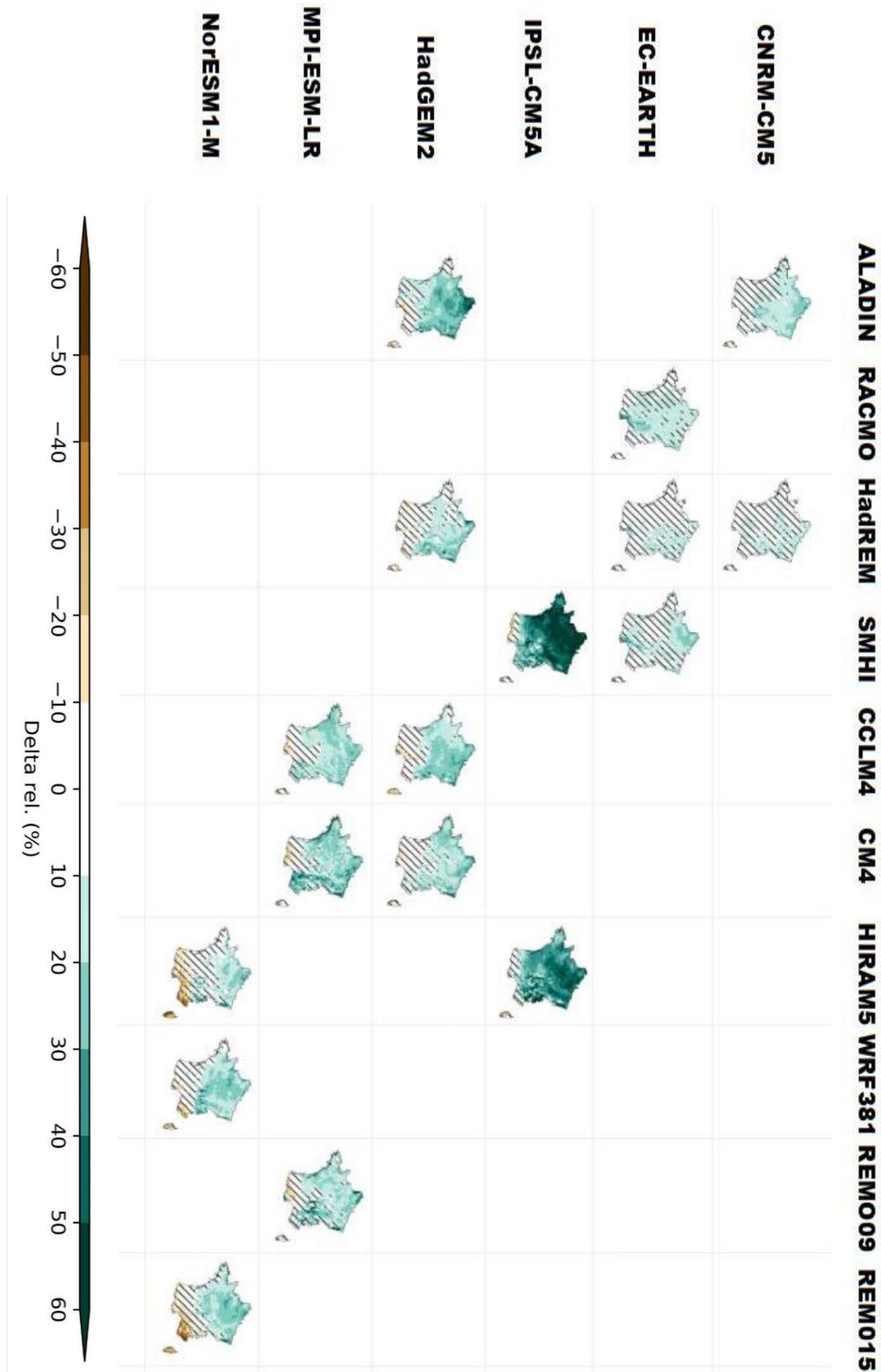


Figure 61 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

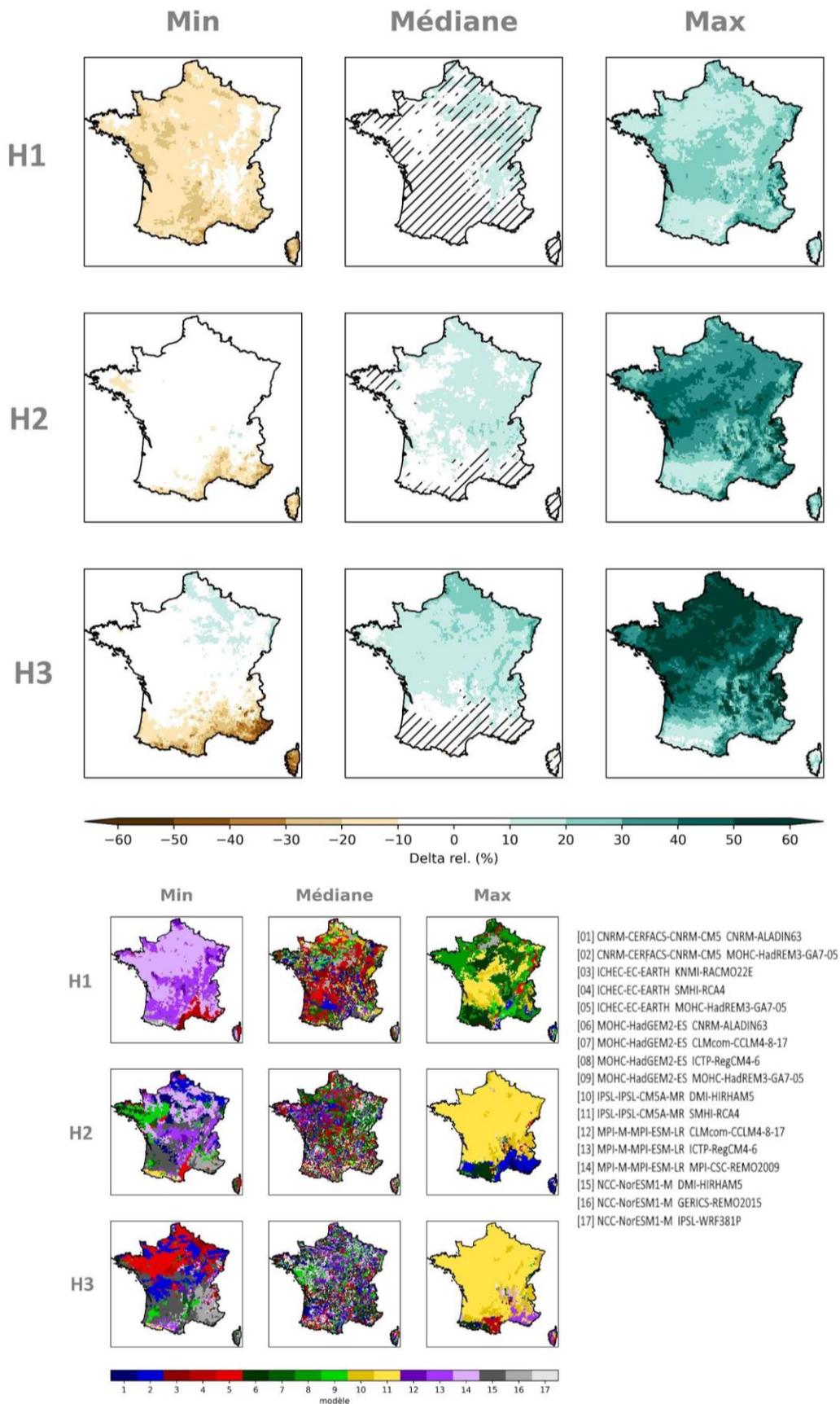


Figure 62 : Cartes des écarts de de cumul hivernal de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

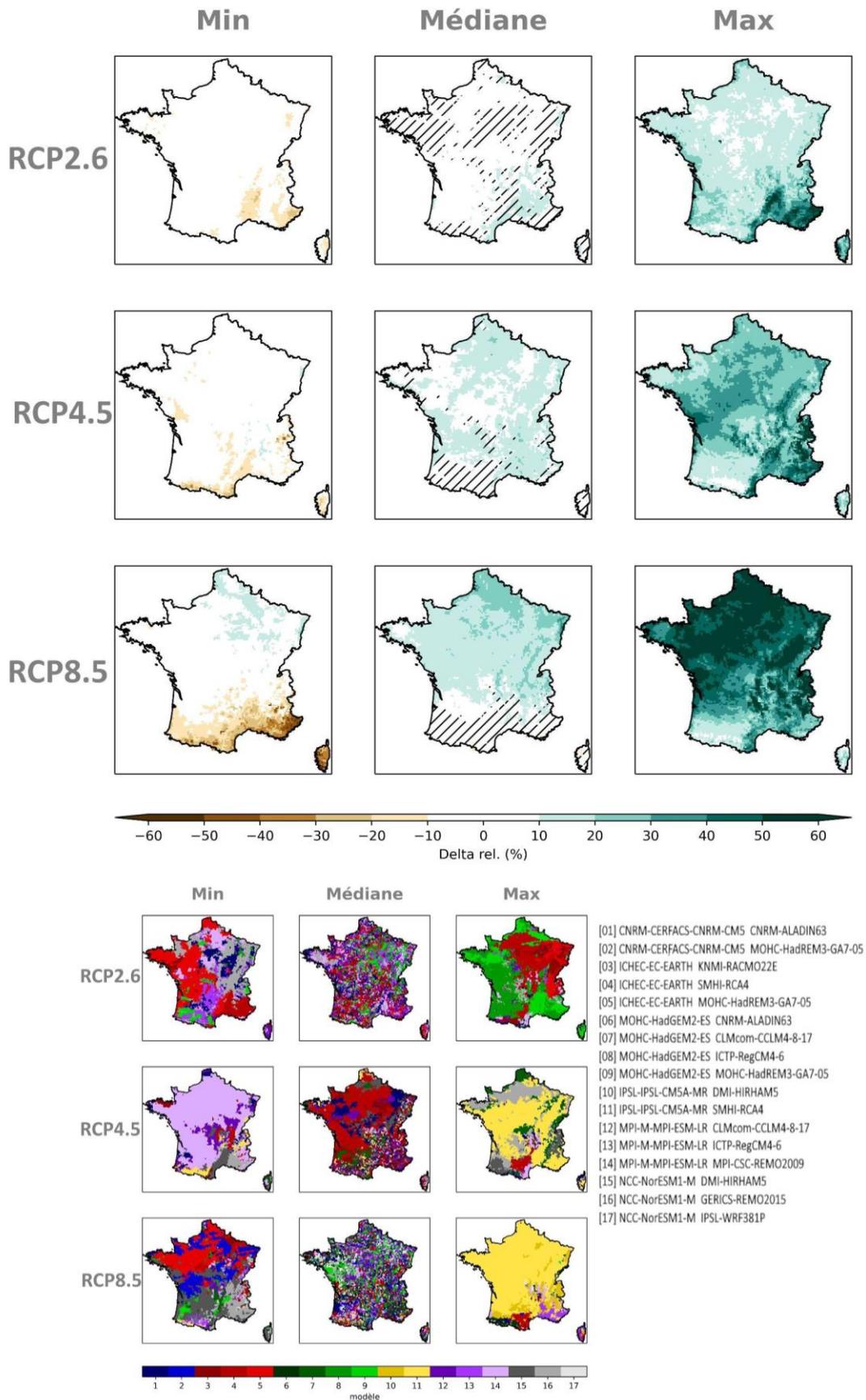


Figure 63 : Cartes des écarts de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul hivernal de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+4.4 % [+0.1;+7.1]	+4.1 % [+0.2;+8.5]	+3 % [-0.3;+10]
	H2	+5.1 % [-0 ; +10]	+3.6 % [-4 ; +8.2]	+6.4 % [+3.5 ; +12.9]
	H3	+5.6 % [+3.7 ; +12.1]	+5.2 % [+1.7 ; +8.6]	+7 % [+4.4 ; +15.5]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6.3 % [+2.8 ; +18.6]	+5.9 % [-0 ; +23.1]	+6.7 % [+4.9 ; +17]
	H2	+8.7 % [+1.5 ; +17.1]	+8.2 % [-0.9 ; +18.8]	+8.9 % [+3.8 ; +15.6]
	H3	+9.4 % [-0.2 ; +20.7]	+9.5 % [-1.3 ; +24.1]	+9.4 % [+0.9 ; +17.5]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6.2 % [-12.2 ; +15]	+9.3 % [-13.1 ; +16.8]	+4.2 % [-11.3 ; +13.3]
	H2	+9.1 % [+4.5 ; +27.7]	+10.2 % [+3.9 ; +36.8]	+8.2 % [+0.6 ; +19.1]
	H3	+11.7 % [+3.8 ; +36.8]	+18.4 % [+8.3 ; +49.8]	+8.1 % [-4.6 ; +24.5]

Tableau 18 : Ecart de cumul hivernal de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

Indicateur Cumul estival de précipitations

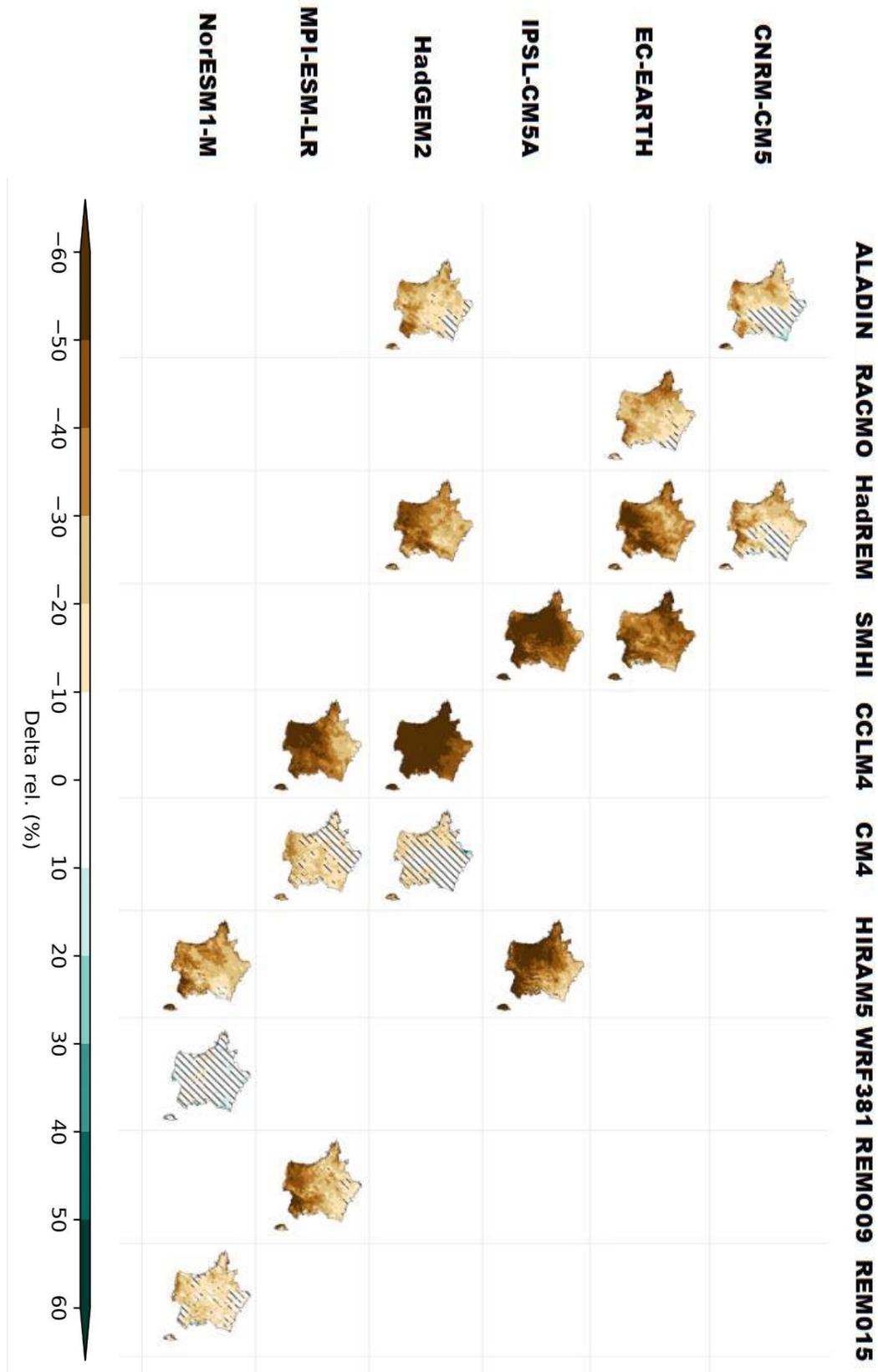


Figure 64 : Cartes des écarts relatifs de cumul hivernal de précipitations à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

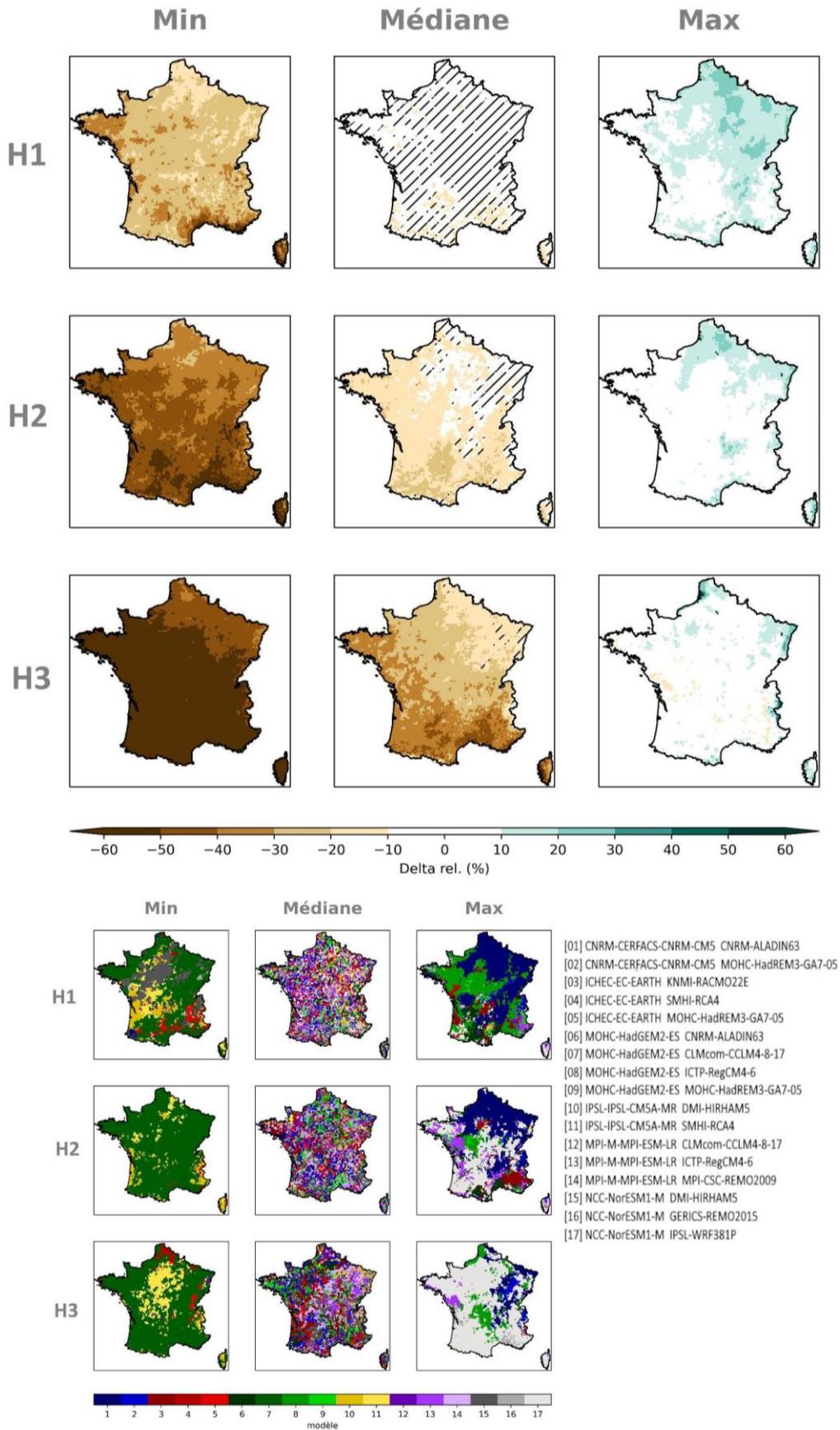


Figure 65 : Cartes des écarts de de cumul hivernal de précipitations par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

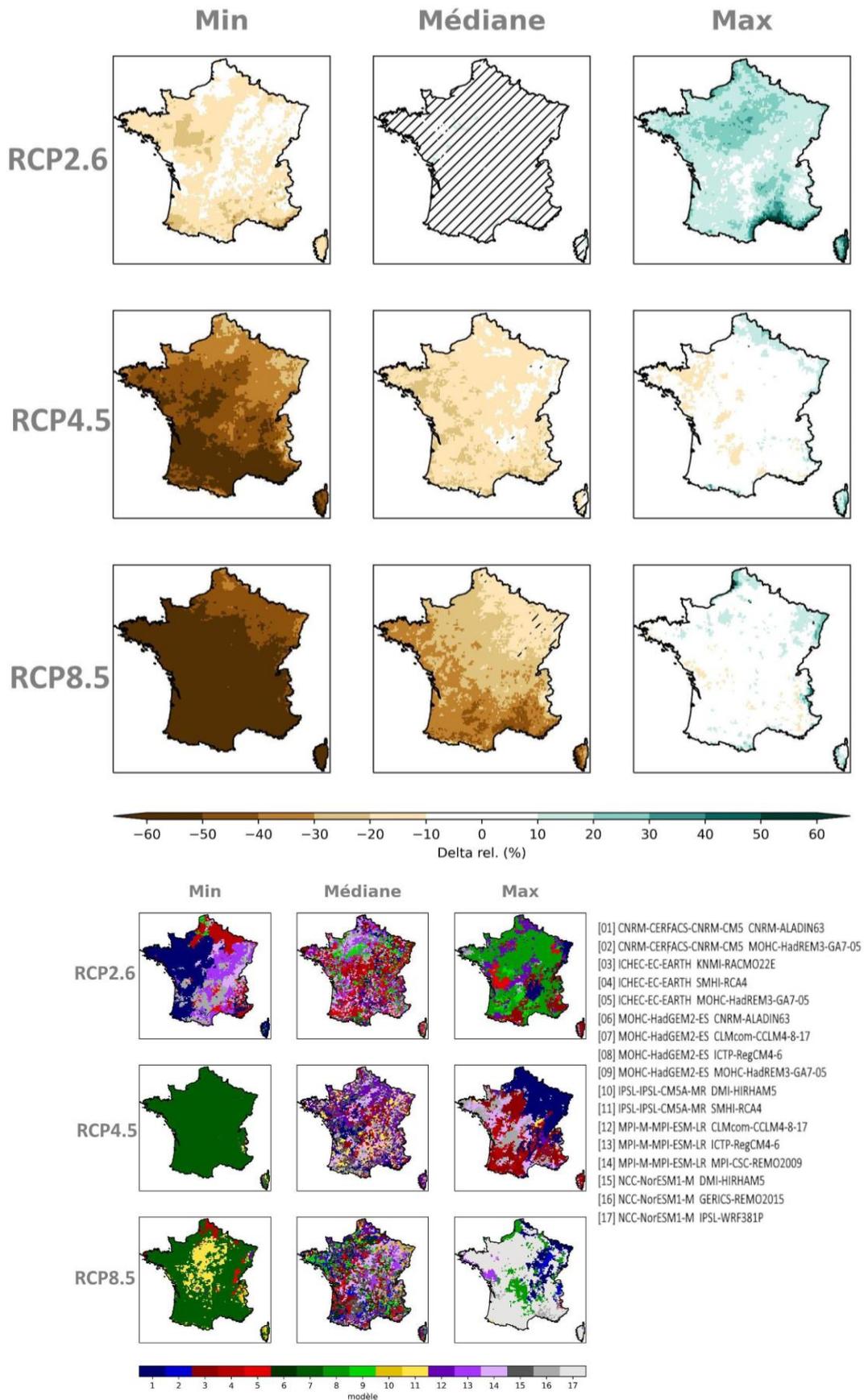


Figure 66 : Cartes des écarts de cumul hivernal de précipitations à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul estival de précipitations				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-0.4 % [-16.3;+5]	+0.7 % [-14.2;+6.1]	+0.1 % [-18.3;+6.9]
	H2	-0.2 % [-3.9 ; +6.9]	+0.2 % [-7.9 ; +5.6]	+0.2 % [-5.6 ; +9.8]
	H3	+1.5 % [-3.9 ; +13.2]	+1.1 % [-3.6 ; +16.3]	+0.5 % [-7.4 ; +10.2]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-6.8 % [-32.5 ; +1.2]	-2.4 % [-29.1 ; +2.7]	-9.2 % [-35.7 ; -0.2]
	H2	-6.9 % [-40.9 ; -1.7]	-6.2 % [-36.2 ; +1.9]	-9.7 % [-45.4 ; -4.1]
	H3	-13.8 % [-44.3 ; -7.1]	-13.8 % [-39.1 ; -3.9]	-12.3 % [-49.3 ; -6.4]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	5.5 % [-22 ; +6.2]	-5 % [-21.9 ; +11]	-5.4 % [-22 ; +3.5]
	H2	-13.2 % [-41.4 ; +0.6]	-10.4 % [-38.6 ; +3.9]	-16 % [-44.1 ; -0.5]
	H3	-28.7 % [-58.9 ; -0.3]	-21.2 % [-52.4 ; +1.7]	-33.4 % [-65.2 ; -2.1]

Tableau 19 : Ecarts de cumul estival de précipitations par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

**Commentaires généraux sur les cumuls de précipitations (année, hiver et été) et le scénario RCP8.5**

- Au pas de temps annuel, les simulations corrigées par CDF-t sont légèrement plus sèches que les simulations ADAMONT (de l'ordre de -3 % en fin de siècle).
- En l'hiver, l'écart est de l'ordre de -2 % à l'horizon proche, -5 % en milieu de siècle et approche -7 % en fin de siècle. Cet écart est légèrement moindre sur la moitié sud (+5 %).
- En été, l'écart est de -6 % en moyenne sur la France mais atteint -10 % sur la moitié sud.

Indicateur Précipitation journalière maximale

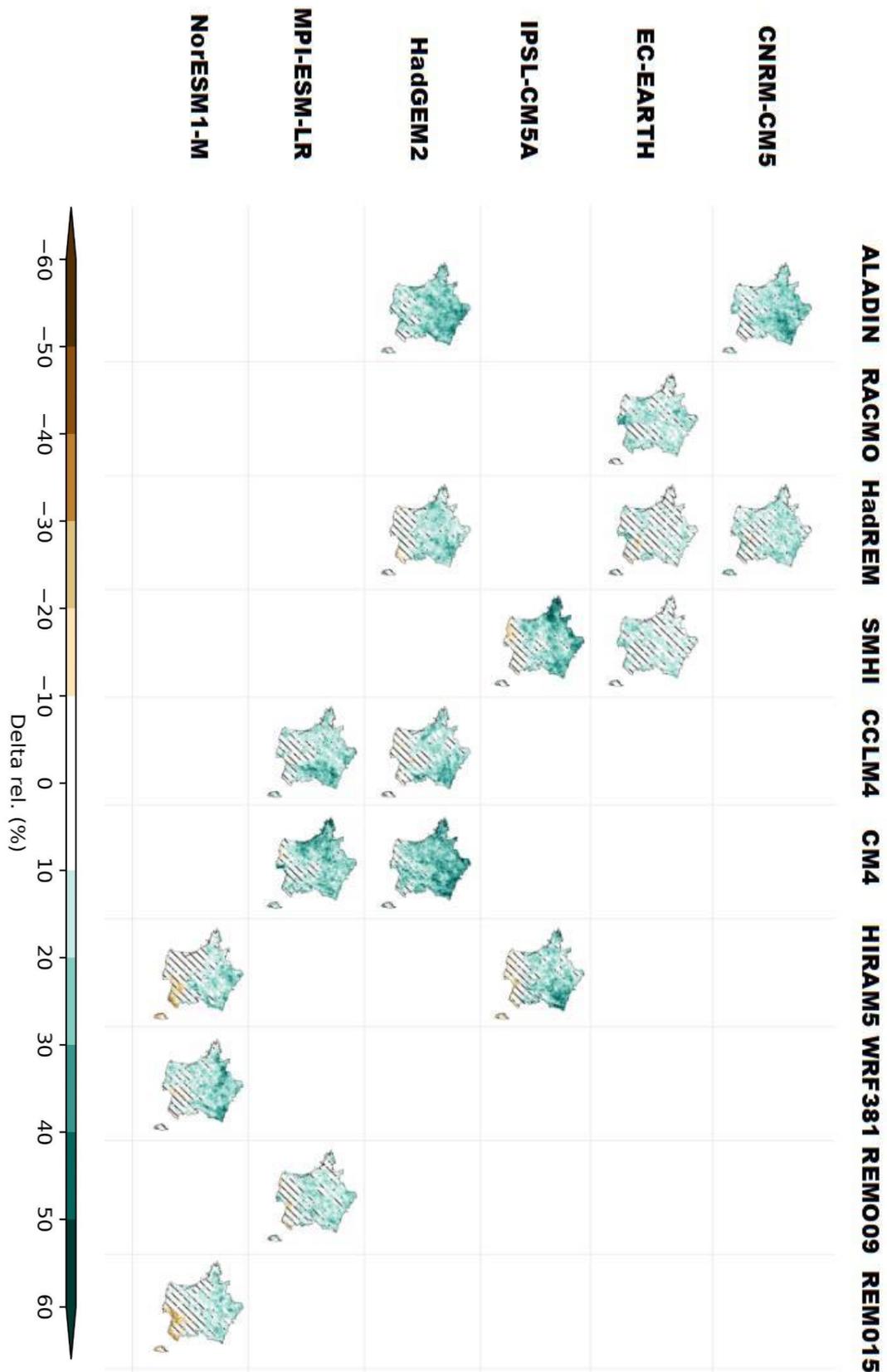


Figure 67 : Cartes des écarts relatifs des précipitations maximales annuelles journalières à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

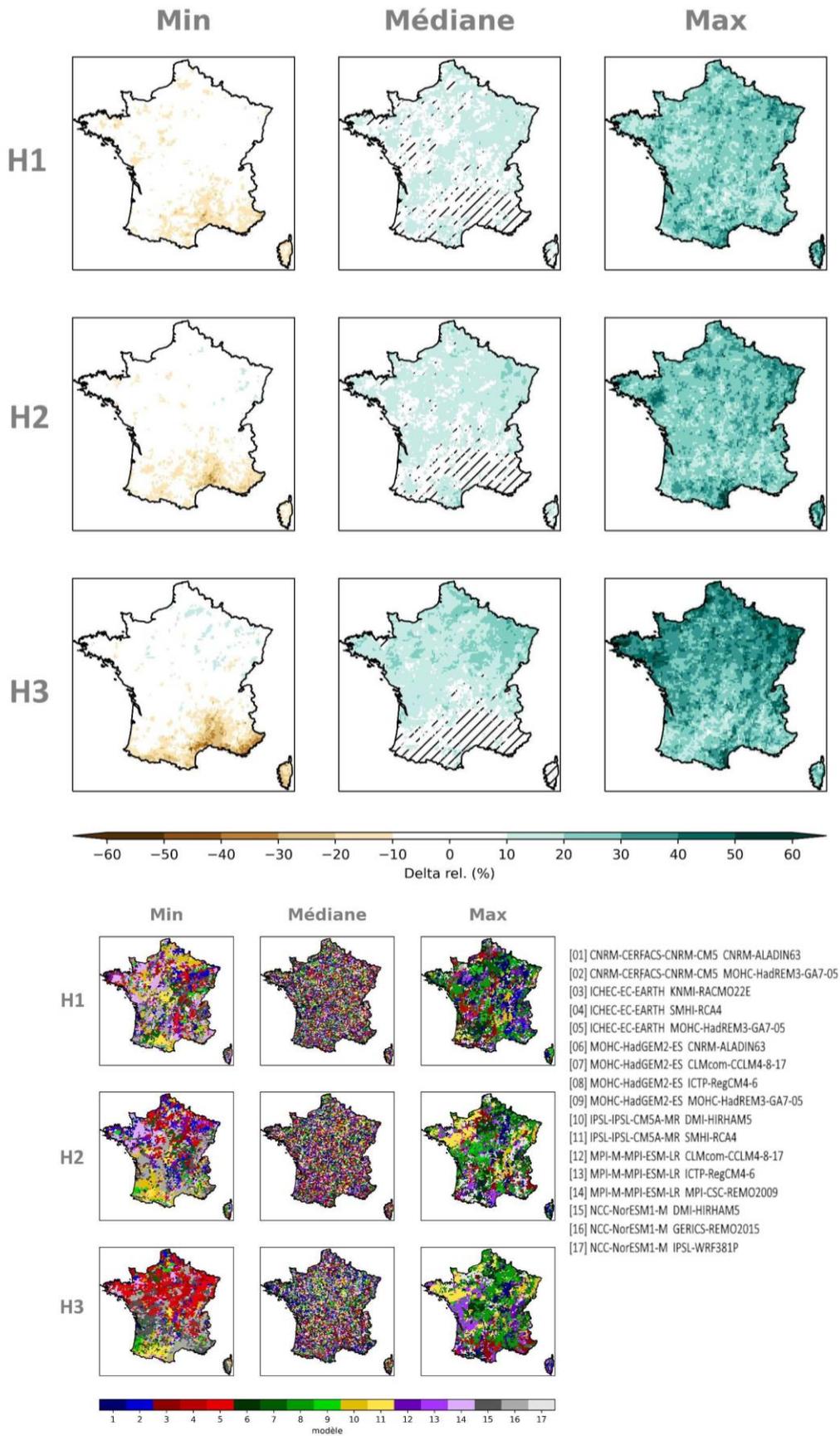


Figure 68 : Cartes des écarts relatifs de précipitations maximales annuelles journalières par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

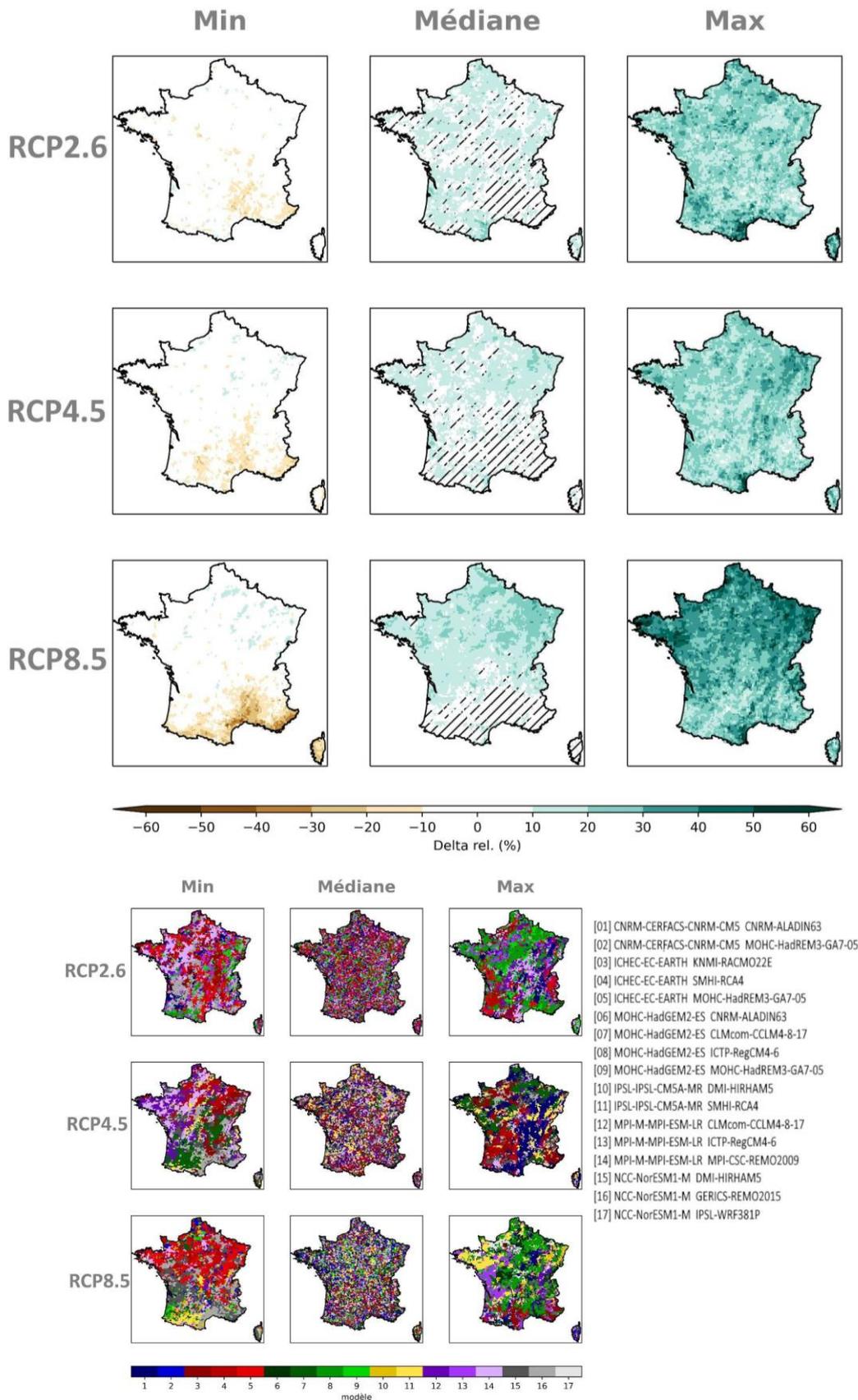


Figure 69 : Cartes des écarts des précipitations maximales annuelles journalières à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement des précipitations journalières maximales annuelles				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+7.8 % [+3.6;+11.7]	+9 % [+5.7;+14.7]	+7 % [+2.2;+9.9]
	H2	+8.7 % [+5.9 ; +12.8]	+9.7 % [+6.1 ; +14.7]	+9.4 % [+4.6 ; +11.6]
	H3	+9.4 % [+5.9 ; +14.1]	+9.9 % [+7.8 ; +17.3]	+9.7 % [+4.3 ; +12.2]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+6 % [+2.2 ; +9.6]	+8.9 % [+7.3 ; +10.9]	+5.1 % [-1.7 ; +9.9]
	H2	+8 % [+4.1 ; +11.5]	+10.4 % [+7.8 ; +13]	+7.4 % [+1.2 ; +11.3]
	H3	+7.9 % [+6 ; +15.8]	+12.4 % [+8.6 ; +17]	+6.6 % [+2 ; +15.1]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+9 % [+4.7 ; +14.6]	+11.1 % [+6.5 ; +17.1]	+7 % [+1.9 ; +12.9]
	H2	+9.9 % [+3.2 ; +16.2]	+13.3 % [+8.5 ; +20.1]	+8.8 % [-1 ; +14.2]
	H3	+10.9 % [+2.7 ; +22.1]	+18.5 % [+7.4 ; +29.8]	+5.8 % [-4.4 ; +17.2]

Tableau 20 : Ecart des précipitations journalières maximales annuelles par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

**Commentaires :**

- Pour les précipitations maximales annuelles journalières, les simulations corrigées par CDF-t présentent des évolutions moindres que celles obtenues avec ADAMONT de l'ordre de -5 % en fin de siècle avec des différences de -3 % sur la moitié nord et -7 % sur la moitié sud.
- Par ailleurs, des évaluations menées sur les valeurs extrêmes des précipitations maximales annuelles journalières de l'ensemble Explore2-2024 corrigées par la méthode CDF-t ont confirmé l'estimation réaliste des valeurs extrêmes de précipitation dans une majorité de cas. Toutefois, sur la Figure 70 représentant l'évolution du maximum annuel absolu en France pour l'ensemble des simulations pour le scénario climatique RCP8.5, on observe un comportement différent entre la période historique 1976-2005 et en dehors de cette période, pouvant avoir un impact pour la caractérisation des extrêmes et pour la modélisation hydrologique. Ce maximum annuel absolu n'est pas observé au même point : il apparaît de manière isolée sans présenter de structure spatiale.

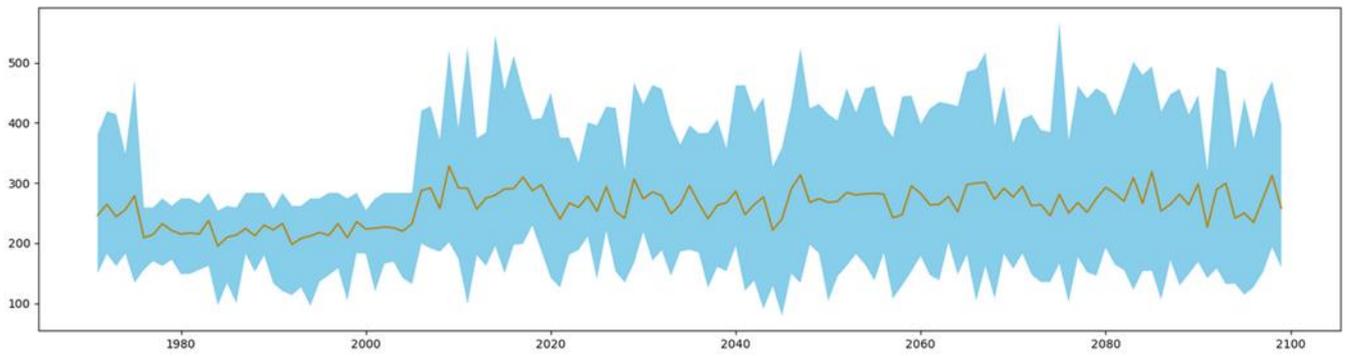


Figure 70 : Evolution du maximum absolu de précipitation journalière en France de l'ensemble Explore2-2024 sous RCP8.5 sur la période de simulation.

### 5.3 Evapotranspiration de référence (evs au pas de temps annuel)

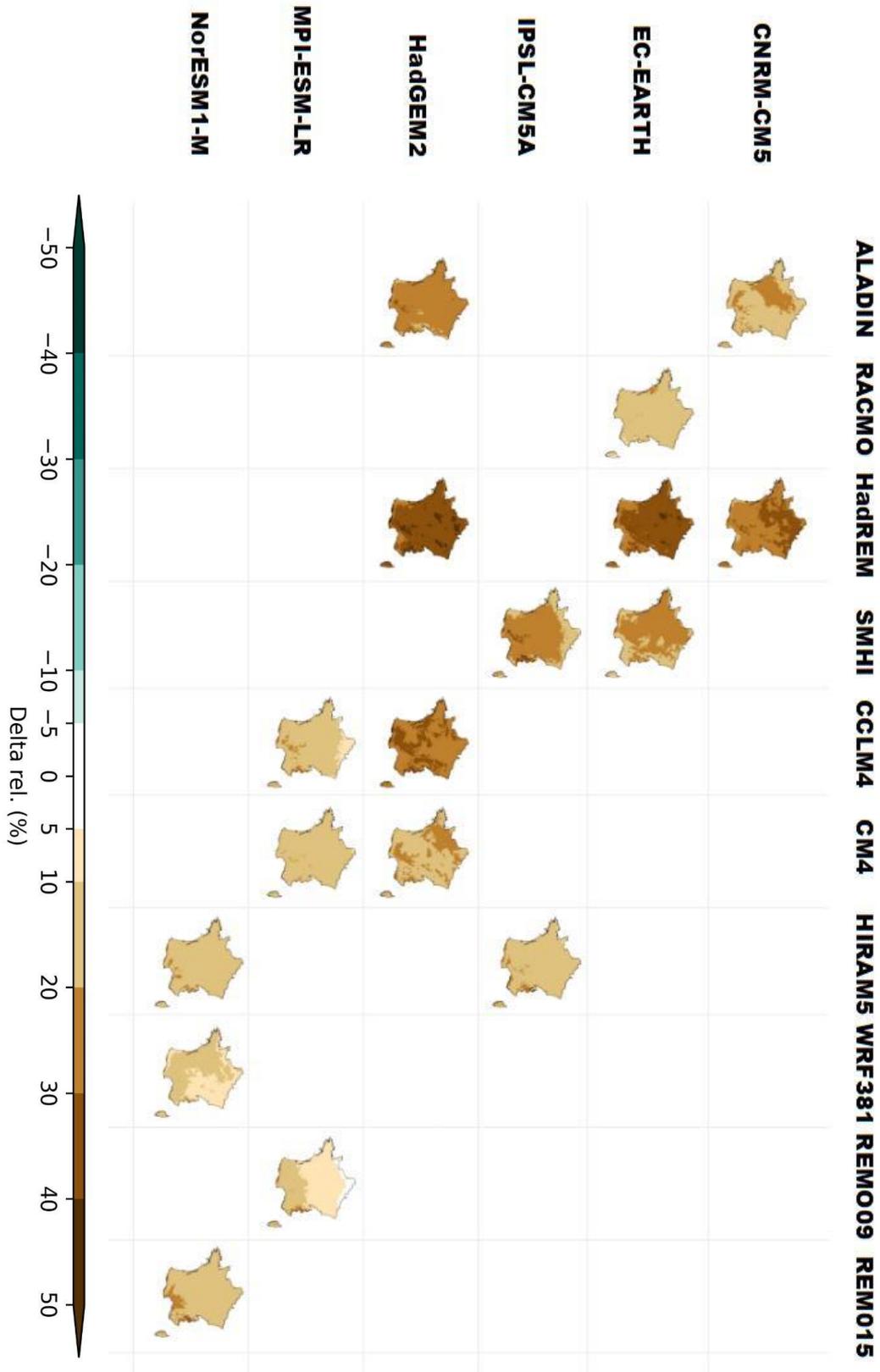


Figure 71 : Cartes des écarts de cumul annuel de l'évapotranspiration de référence à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

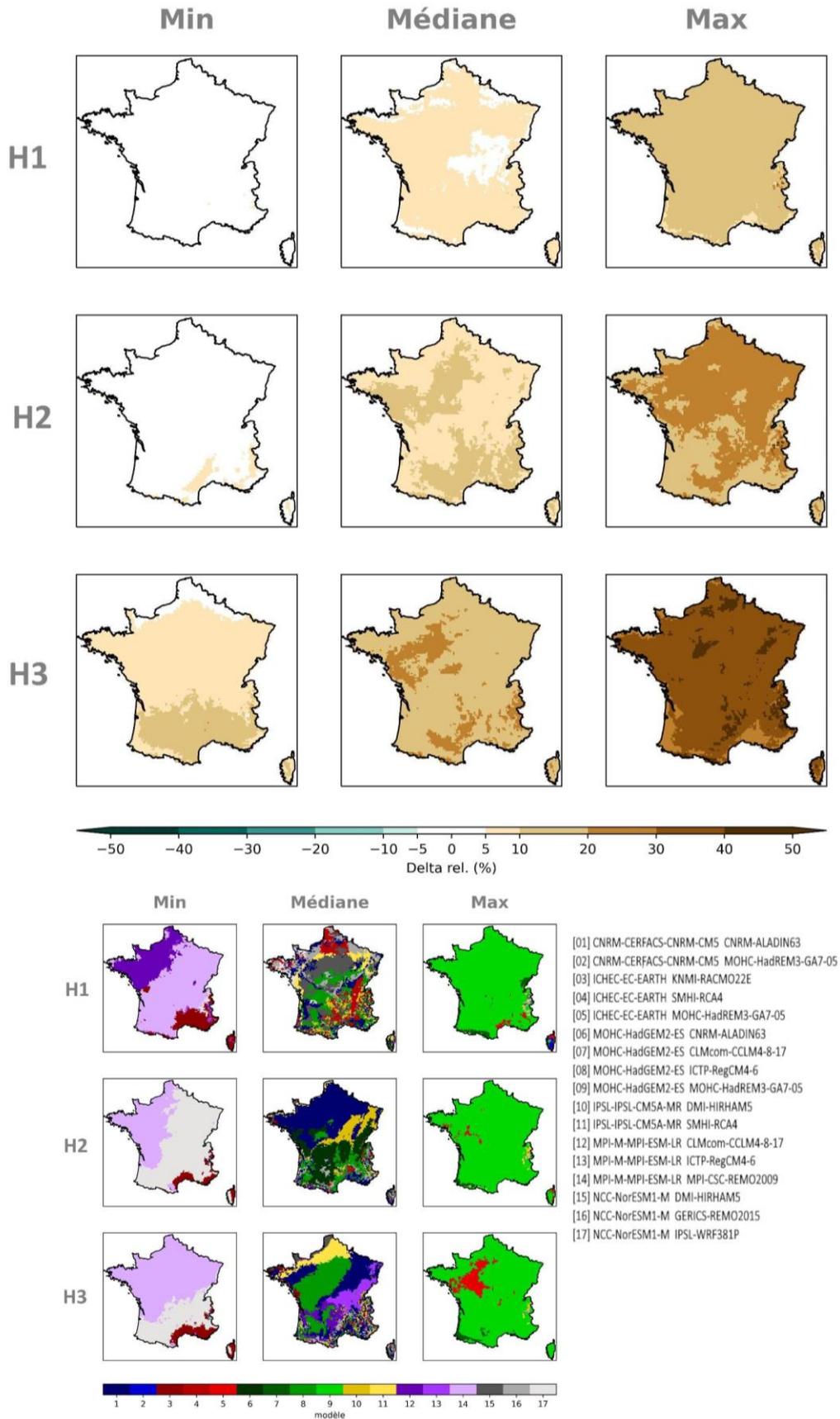


Figure 72 : Cartes des écarts de cumul annuel de l'évapotranspiration de référence par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) :

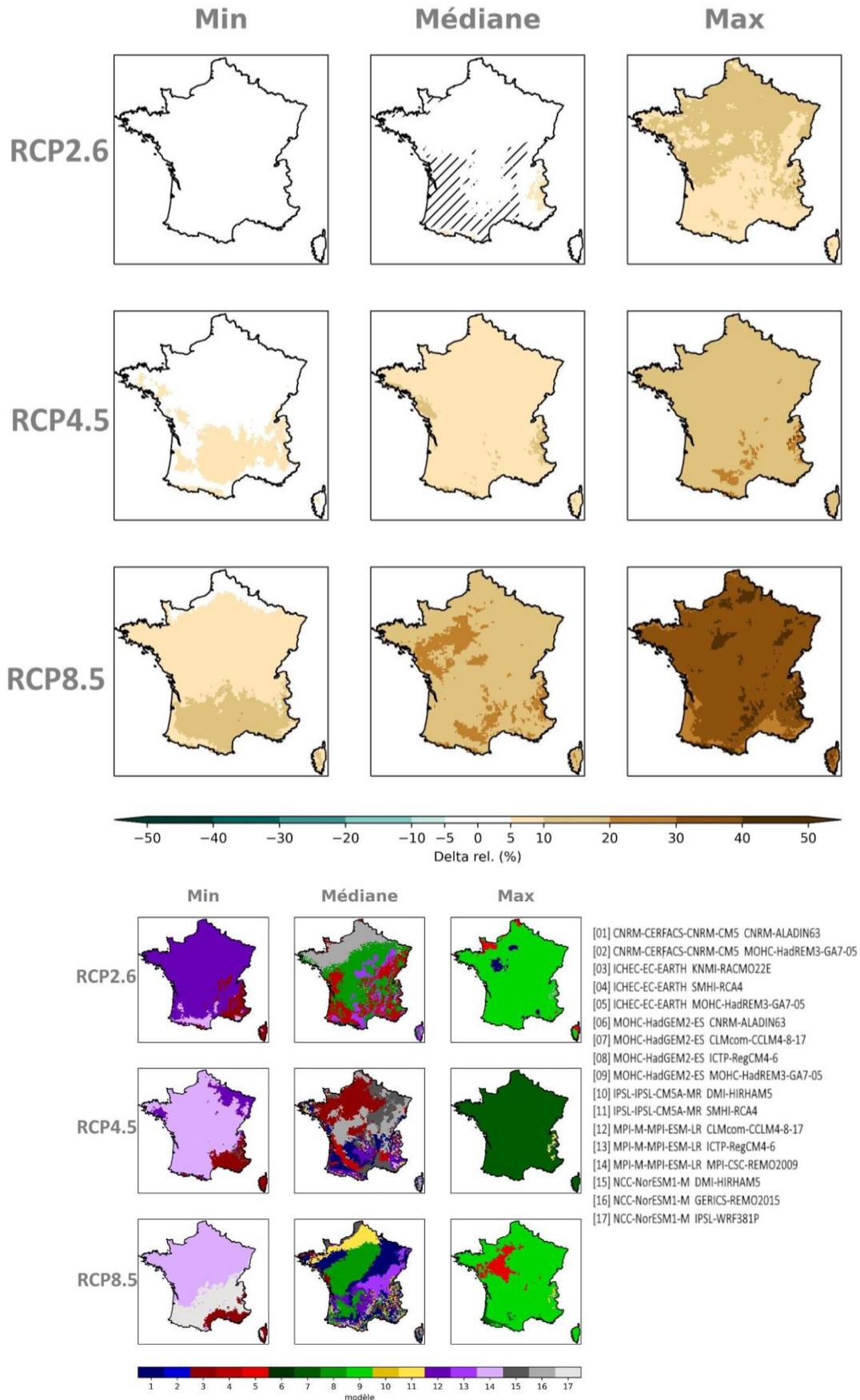


Figure 73 : Cartes des écarts de cumul annuel de l’évapotranspiration de référence à la période de référence par scénario RCP à l’horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement de cumul annuel de l'évapotranspiration de référence				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+4.8 % [0.0 ;+11.2]	+4.6 % [-0.8 ;+11.7]	+5.1 % [+0.7 ;+10.8]
	H2	+4.5 % [+0.4 ; +10.7]	+4.5 % [+0.1 ; +11]	+4.6 % [+0.8 ; +10.3]
	H3	+3.7 % [-0.8 ; +9.7]	+3.2 % [-1.5 ; +10.5]	+3.5 % [-0.2 ; +8.9]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+5.4 % [+0.9 ; +10.4]	+5.1 % [-0.3 ; +10.3]	+5.4 % [+2 ; +10.5]
	H2	+7.3 % [+1.3 ; +15.9]	+7.2 % [+0.1 ; +16.6]	+7.6 % [+2.4 ; +15.3]
	H3	+8.3 % [+5.1 ; +16.7]	+7.2 % [+4.1 ; +16.7]	+8.7 % [+5.9 ; +16.7]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	+5.8 % [+1.7 ; +13]	+5.5 % [+0.8 ; +14.2]	+5.8 % [+2.6 ; +11.9]
	H2	+10.1 % [+3.9 ; +20.2]	+9.5 % [+3.5 ; +21.3]	+10.5 % [+4.1 ; +19.2]
	H3	+18.6 % [+10.2 ; +35]	+18.8 % [+6.9 ; +36.6]	+18.3 % [+11.6 ; +33.7]

Tableau 21 : Ecart de cumul annuel de l'évapotranspiration de référence par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-t).

**Commentaires :**

- Pour l'évapotranspiration, les simulations corrigées par CDF-t présentent des évolutions moindres que celles obtenues avec ADAMONT de l'ordre de -3 % en fin de siècle avec des différences équivalentes sur la moitié nord et la moitié sud.

## 5.4 Bilan hydrique (*p-eps* au pas de temps annuel)

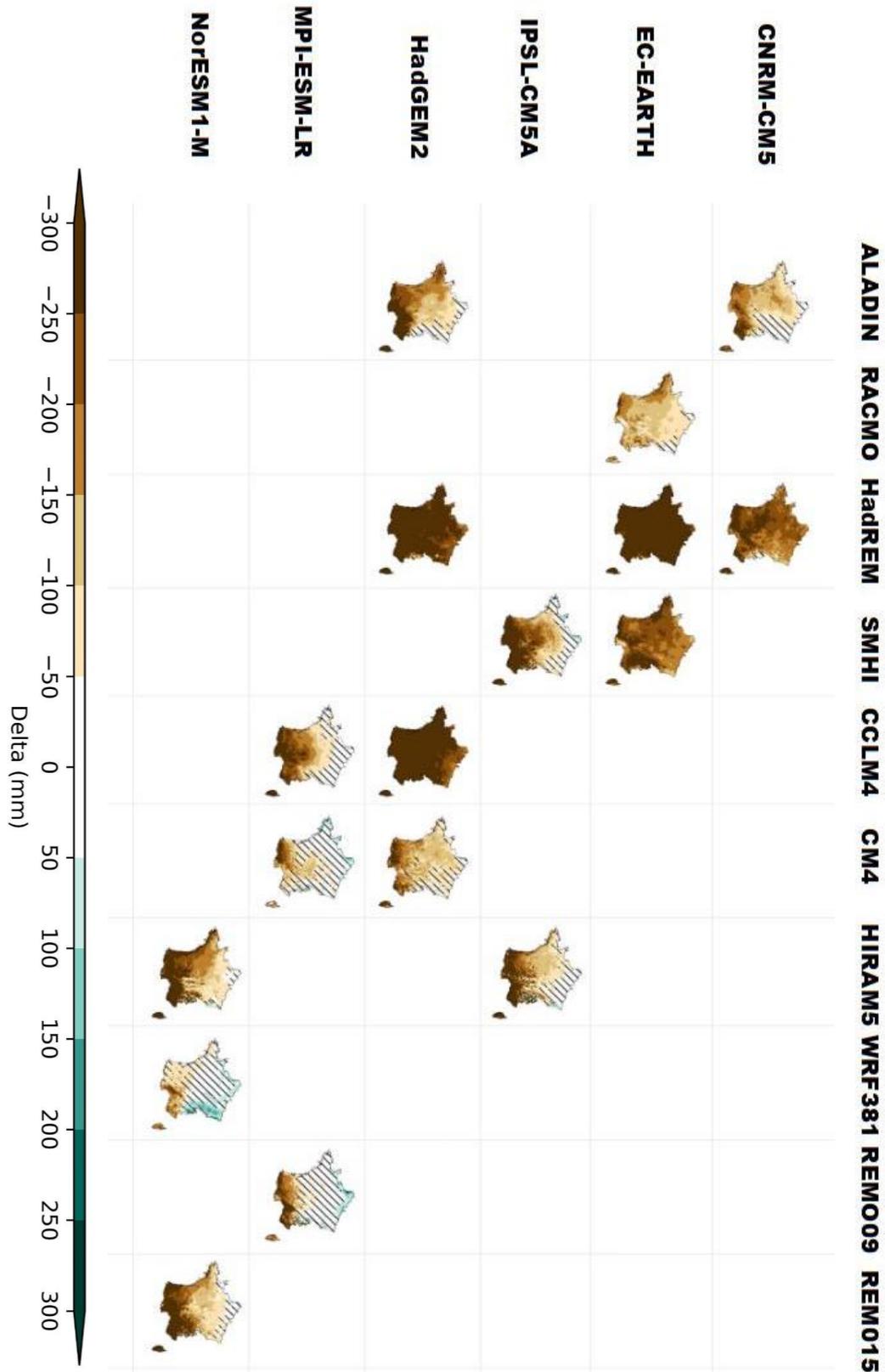


Figure 74 : Cartes des écarts du bilan hydrique à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) pour le scénario RCP8.5 par rapport à la période de référence 1976-2005 pour chacun des 17 couples GCM/RCM de l'ensemble Explore2-2024. Les lignes correspondent aux GCMs, les colonnes aux RCMs (ensemble, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-horizon sous RCP8.5 :

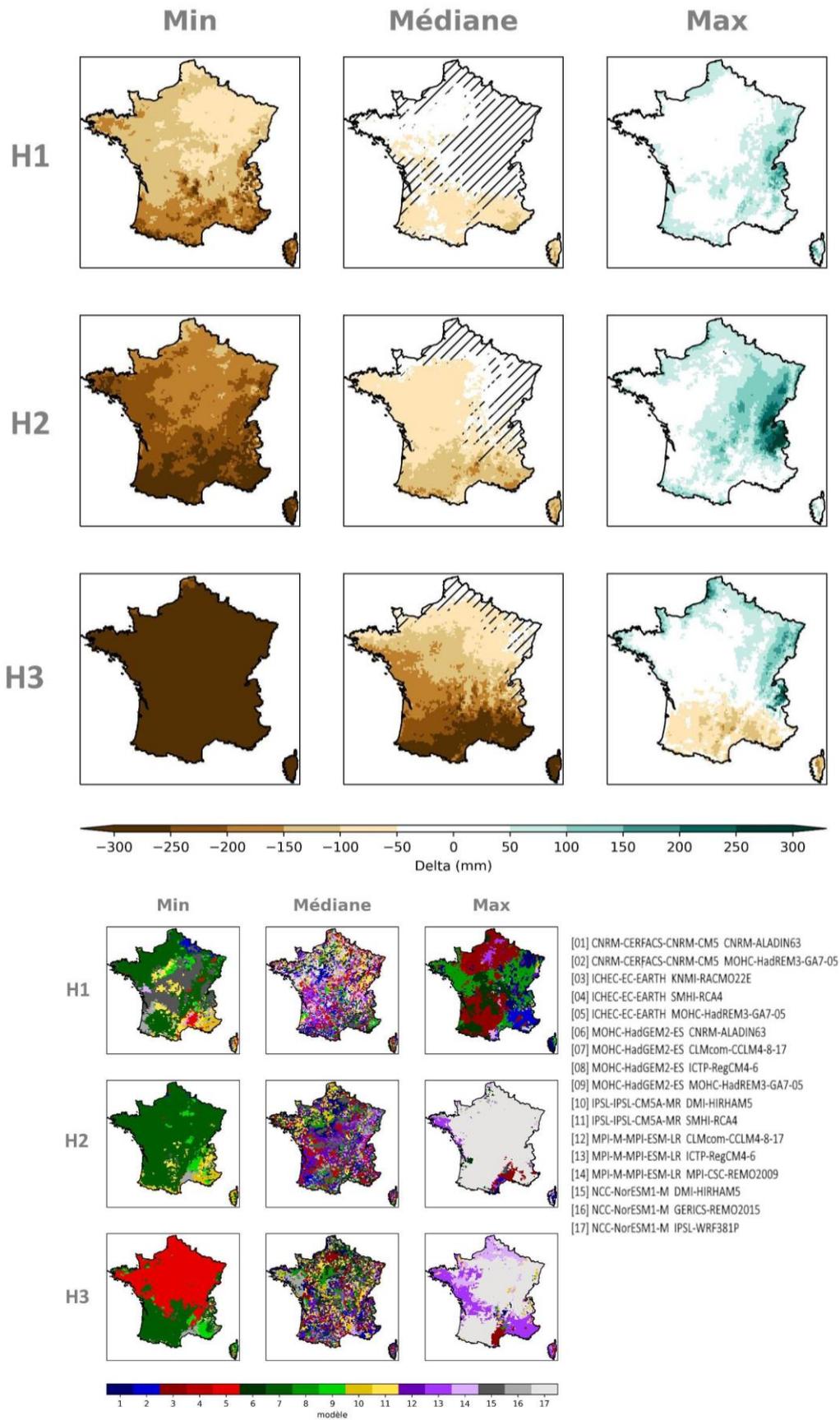


Figure 75 : Cartes des écarts du bilan hydrique par horizon selon le scénario RCP8.5 (multi-horizon, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

Matrice multi-scénario à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) :

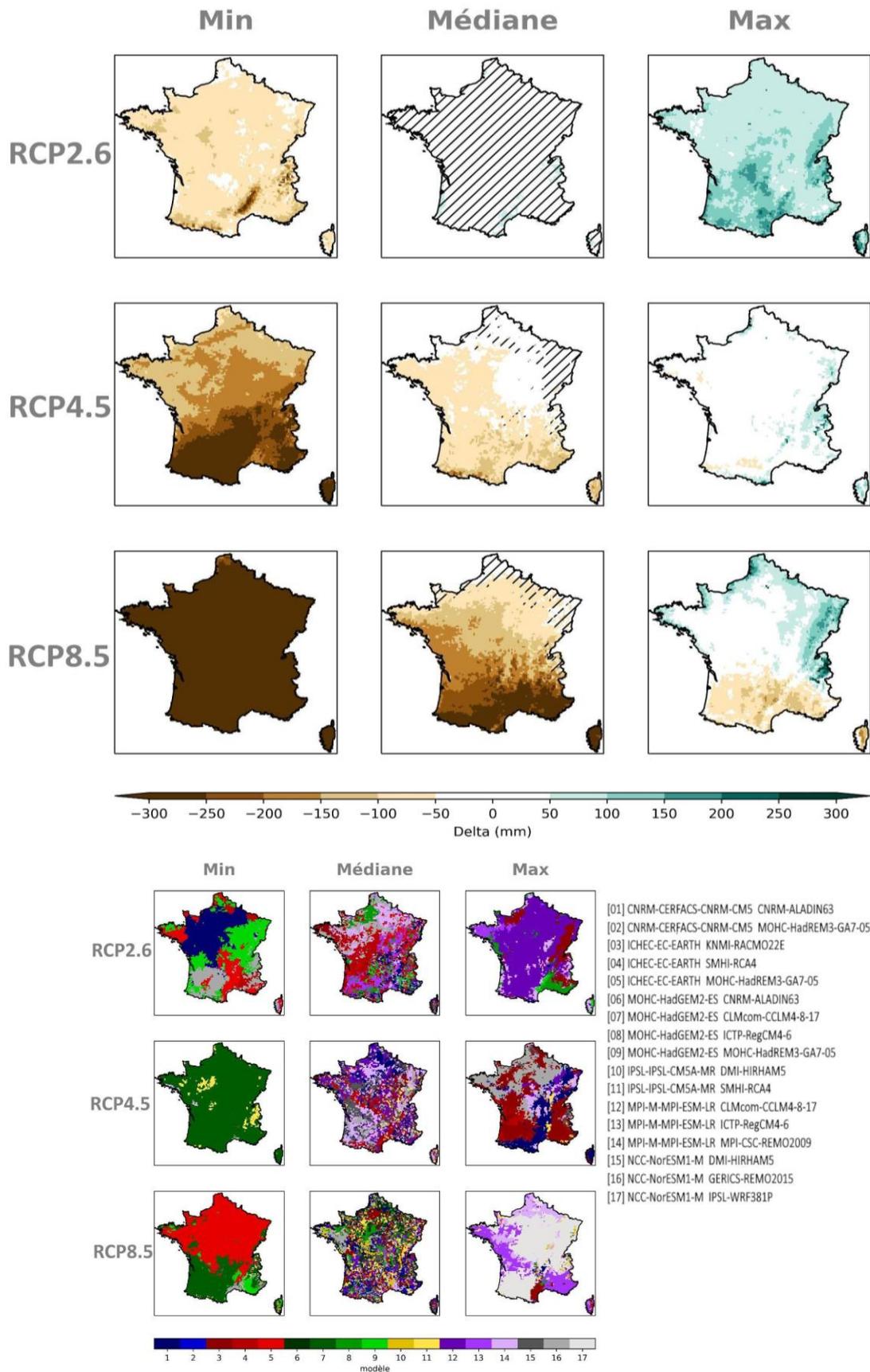


Figure 76 : Cartes des écarts du bilan hydrique à la période de référence par scénario RCP à l'horizon lointain (H3, 2070-2099) (multi-scénario, mosaïque, Explore2-2024, CDF-t).

**Synthèse spatiale :**

Changement du bilan hydrique annuel				
RCP 2.6	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-33 mm [-78 ;+53]	-32 mm [-76 ;+68]	-33 mm [-108 ;+39]
	H2	-11 mm [-71 ; +27]	+3 mm [-81 ; +22]	-2 mm [-60 ; +41]
	H3	+11 mm [-40 ; +80]	+12 mm [-56 ; +73]	+11 mm [-55 ; +87]
RCP 4.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-49 mm [-127 ; +39]	-34 mm [-98 ; +50]	-59 mm [-158 ; +30]
	H2	-66 mm [-220 ; +32]	-68 mm [-185 ; +45]	-73 mm [-258 ; +25]
	H3	-56 mm [-202 ; -13]	-36 mm [-145 ; -10]	-89 mm [-261 ; -15]
RCP 8.5	Horizon	France	France Nord	France Sud
	H1	-26 mm [-111 ; +21]	-28 mm [-84 ; +29]	-49 mm [-125 ; +20]
	H2	-71 mm [-218 ; +65]	-37 mm [-183 ; +73]	-109 mm [-244 ; +61]
	H3	-165 mm [-360 ; -21]	-85 mm [-310 ; +37]	-240 mm [-446 ; -74]

Tableau 22 : Ecart de bilan hydrique annuel (p-*evs*) par rapport à la période de référence 1976-2005 (Explore2-2024, CDF-*t*).

**Commentaires :**

- Pour le bilan hydrique, les simulations corrigées par CDF-*t* présentent sur la médiane d'ensemble des changements moindres que celles obtenues avec ADAMONT de l'ordre de 11 mm en fin de siècle sous RCP8.5 (Tableau 13, page 73).
- Les changements projetés sont plus prononcés sur la moitié sud que la moitié nord, comme pour ADAMONT.

## 6 Conclusion

Ce livrable permet de documenter en détail les principaux indicateurs climatiques du nouvel ensemble Explore2-2024 corrigé par les méthodes ADAMONT et CDF-*t*. Cet ensemble fournit les données d'entrée des modèles hydrologiques.

Comme pour l'ensemble DRIAS-2020, notons en premier lieu :

- Une augmentation continue des températures au cours du siècle (à l'exception du RCP2.6) plus marquée en été qu'en hiver,
- Une évolution du cumul annuel de précipitations présentant une grande incertitude,
- Une augmentation du contraste saisonnier avec une majorité des simulations qui indiquent des précipitations hivernales en hausse et estivales en baisse.

L'augmentation des contrastes saisonniers est associée à une augmentation des contrastes géographiques entre les régions de la moitié nord et celles de la moitié sud. Les indicateurs de type « bilan » montrent la prédominance de la diminution de la ressource en eau avec une évapotranspiration de référence en forte hausse pendant que le cumul de précipitations reste stable voire diminue (en été).

Une analyse des incertitudes liées à la variabilité interne ou à l'accord des signes dans les changements annoncés par les simulations montre également la lente émergence de certains signaux comme l'augmentation des précipitations en hiver ou la diminution en été.

L'approche par les matrices mosaïques permet d'identifier pour chaque zone du territoire les simulations présentant les valeurs extrêmes de changement : information pouvant servir au choix de scénarios contrastés pour les études prospectives. On constate que les produits de distribution sont bien élaborés par composition de simulations, ainsi une simulation n'est pas extrême pour toute la France.

La comparaison entre les simulations corrigées par ADAMONT et CDF-*t* montre quelques écarts à l'échelle nationale : la correction ADAMONT conduit à des climats légèrement plus chauds mais aussi plus humides, avec des précipitations extrêmes plus intenses, une évaporation plus forte et un bilan hydrique plus négatif, qu'avec la correction CDF-*t*.

L'approche à partir des quatre narratifs sélectionnés par le projet illustre les changements moyens mais aussi la variabilité annuelle et saisonnière en termes de température moyenne et cumul de précipitations : des années plus chaudes mais aussi parfois plus sèches que 2022 apparaissent dans les simulations en milieu de siècle. A l'inverse, certains narratifs proposent des années et des hivers plus humides que ceux observés jusqu'à présent.

## 7 Références

- EVIN, G., SOMOT, S., HINGRAY, B. (2021). Balanced estimate and uncertainty assessment of European climate change using the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble, *Earth Syst. Dynam.*, 12, 1543–1569, <https://doi.org/10.5194/esd-12-1543-2021>
- KNUTTI, R., MASSON, D., GETTELMAN, A. (2013). Climate model genealogy: generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters*, 40, 1194–1199.
- MICHELANGELI, R.A., VAUTARD, R., LEGRAS, B. (1995). Weather regimes: recurrence and quasi stationarity. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1237–1256.
- MICHELANGELI, P.-A., VRAC, M., LOUKOS, H. (2009). Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. *Geophysical Research Letters*, 36, L11708, doi:10.1029/2009GL038401
- MONERIE, P.A., SANCHEZ-GOMEZ, E., BOÉ, J. (2017). On the range of future Sahel precipitation projections and the selection of a sub-sample of CMIP5 models for impact studies. *Climate Dynamics*, 48, 2751–2770. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3236-y>
- NABAT, P., SOMOT, S., CORRE, L., KATRAGKOU, E., LI, S., MALLET, M., VAN MEIJAARD, E., PAVLIDIS, V., PIETIKÄINEN, J.-P., SOERLAND, S., SOLMON, F. (2021). Impact of aerosols on the future Euro-Mediterranean climate: results from the CORDEX FPS-Aerosol. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-2211, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-2211>
- REVERDY, A., EVIN, G., HINGRAY, B. (2023). Notice de présentation des projections et incertitudes pour Explore2. Rapport d'avancement, 31 pages, <https://doi.org/10.57745/YNG5YQ>
- ROBIN, Y., CORRE, L., MARSON, P., BERNUS, S., VRAC, M., THAO, S. (2023). Projections climatiques régionalisées : correction de biais et changements futurs. Rapport d'avancement, 62 pages, <https://doi.org/10.57745/OMWYR0>
- SHEPHERD, T.G., BOYD, E., CALEL, R.A. *et al.* (2018). Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change. *Climatic Change*, 151, 555–571. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2317-9>
- TARANU, I.S., SOMOT, S., ALIAS, A., DELIRE, C. (2023). Mechanisms behind large-scale inconsistencies between regional and global climate model-based projections over Europe. *Climate Dynamics*, 60, 3813–3838, <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06540-6>
- VERFAILLIE, D., DEQUE, M., MORIN, S., LAFAYSSE, M. (2017). The method ADAMONT v1.0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geoscientific Model Development*, 10.11, 4257–4283, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4257-2017>
- ZAPPA, G., SHEPHERD, T.G. (2017). Storylines of atmospheric circulation change for European regional climate impact assessment. *Journal of Climate*, 30, 6561–6577, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0807.1>

# Annexe 1 : Poster storylines (AG EURO-CORDEX 2023)

Lola Corre<sup>1</sup>, Julien Boé<sup>2</sup>, Lila Collet<sup>4</sup>, Agathe Drouin<sup>1</sup>, Thumette Madec<sup>1</sup>, Paola Marson<sup>1</sup>, Fabienne Rousset<sup>1</sup>, Samuel Somot<sup>3</sup>, Laurent Strohmenger<sup>4</sup>, Guillaume Thirel<sup>4</sup>  
 1 DCSC, Météo-France, Toulouse, France  
 2 CECI, CERFACS, CNRS, Toulouse, France  
 3 CNRM, Météo-France, CNRS, Université de Toulouse, Toulouse, France  
 4 Université Paris-Saclay, INRAE, HYCAR Research Unit, Antony, France



## Storylines to synthesize the range of future plausible climates over France for hydrological studies

### Motivation

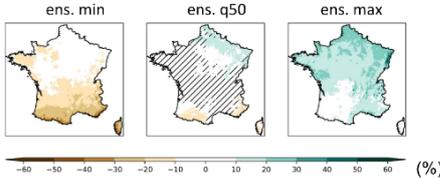
The precipitation response to global warming over metropolitan France is highly uncertain. To capture the range of the possible futures, a large ensemble of projections should be considered. How can we synthesize it for hydrological studies?

### Data

An ensemble of 17 bias-corrected 12-km-resolution EURO-CORDEX projections that have been selected to be consistent with the range of changes in mean temperature and precipitation of the CMIP6 ensemble over France [1].

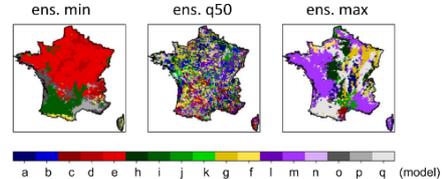
### 1. The probabilistic approach based on ensemble distribution products

Annual precipitation changes, RCP8.5, (2070-2099) vs. (1976-2005)



Multi-model averaging lead to a weak response that does not correspond to any model simulation and cannot be used to force hydrological models.

Model used to compute the distribution products by grid point

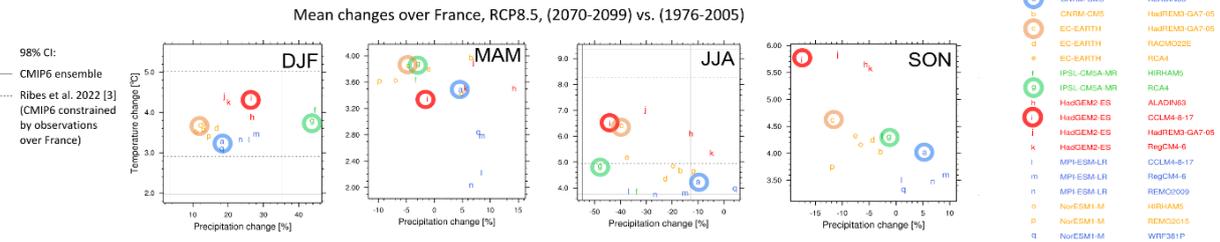


### 2. The possibilistic approach based on storylines

**The request from water resource managers : choose 4 simulations illustrating the most contrasting futures possible.**

Input data: mean temperature and precipitation changes over France, end of the century, RCP8.5, 4 seasons.

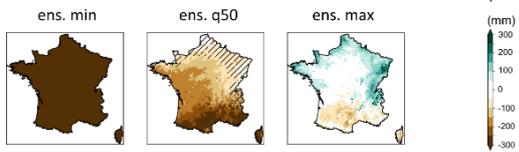
Methodology [2]: Hierarchical clustering (Euclidian distance + minimum variance criterion) and selection of one projection per cluster (experts/users co-construction).



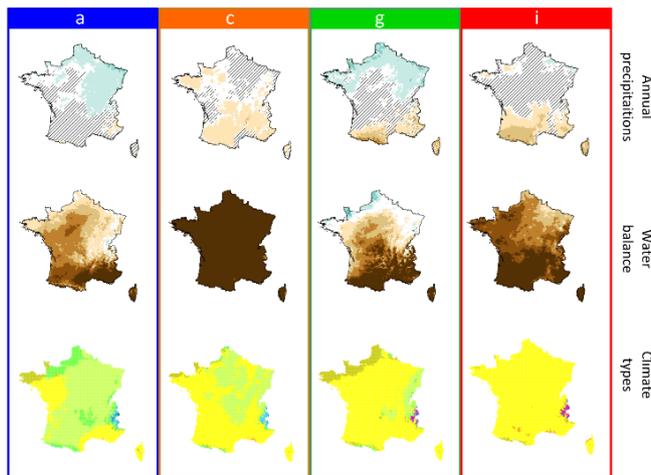
4 storylines (relative to the full ensemble)

- a: lesser warming and wetter
- c: drier all year (no recharging season)
- g: seasonally contrasted (wetter in DJF, drier in JJA)
- i: hotter and drier in JJA and SON

Climatic water balance changes (P - ETP)



Climate type maps (Köppen-Geiger classification)



- French national climate services are based on 17 bias-corrected EURO-CORDEX projections which do not agree on the simple sign of future annual precipitation changes.
- Water resource managers are requiring to narrow the ensemble down to 4 contrasted storylines.
- A hierarchical clustering method based on mean changes of temperature and precipitation was used to classify the projections, and one model from each group was selected (expert and users co-construction).
- The set of the 4 storylines broadly captures the ensemble mean pattern and the spread of main climatic parameters changes from the full ensemble.
- All storylines project warmer and drier summers spreading from south to north, leading to a generalization of the Mediterranean climate in France.
- Future work: to add new variables in the analysis (eg: other parameters, other periods, other scenario) and to test objective methods to select one model from each group.
- Storylines are subjective and their selection must be adapted to the user's needs.

[1] Soubeyrnou, J.-M., Bernus, S., Ceru, L., Drouin, A., Dubuisson, B., Etcheverry, P., Gouget, V., Josse, P., Kondoroff, M., Samacchini, R., & Touquet, F. (2021). Les nouvelles projections climatiques de référence DRAS 2020 pour la métropole. <http://www.drias-climat.fr/document/rapport-DRAS-2020-red3-2.pdf>  
 [2] Monerie, P.A., Sanchez-Gomez, E. & Boé, J. On the range of future Sahel precipitation projections and the selection of a sub-sample of CMIP6 models for impact studies. *Climate Dynamics*, 48, 2751–2770 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3236-y>  
 [3] Ribes, A., Boé, J., Qasbi, S., Dubuisson, B., Douville, H., & Terray, L. (2022). An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. *Earth System Dynamics*, 13(4), 1397–1415. <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022>

## Annexe 2 : Comparaison ADAMONT-CDF-t sous RCP8.5

### Changement de température moyenne annuelle (°C) – France

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.1	1.1	2.0	1.9	3.7	3.6
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.4	1.4	2.4	2.3	4.1	4.0
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.4	1.2	2.4	2.2	3.9	3.6
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.5	1.3	2.6	2.4	4.3	3.9
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.7	1.6	2.8	2.5	4.6	4.2
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	1.9	1.9	2.7	2.6	4.8	4.7
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.0	2.1	3.0	3.1	5.0	5.1
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.9	1.8	2.8	2.7	4.7	4.5
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.1	2.0	3.1	3.0	5.2	5.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.3	1.2	2.5	2.3	4.0	3.6
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.3	1.3	2.6	2.5	4.2	4.0
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.9	0.8	1.8	1.7	3.2	3.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.0	0.9	2.0	1.8	3.4	3.2
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.9	0.8	1.7	1.6	3.1	2.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.6	1.3	2.3	1.9	4.0	3.3
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.4	1.3	2.1	1.8	3.8	3.3
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.2	1.0	1.7	1.5	3.3	2.9
	Médiane	1.4	1.3	2.4	2.3	4.0	3.6

### Changement de température moyenne annuelle (°C) – France Nord

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.0	1.0	1.9	1.9	3.6	3.4
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.3	1.3	2.3	2.2	3.9	3.9
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.4	1.2	2.3	2.1	3.7	3.4
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.5	1.3	2.5	2.3	4.1	3.7
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.7	1.5	2.7	2.4	4.4	4.0
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	1.8	1.8	2.5	2.5	4.5	4.5
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.0	2.0	2.9	3.0	4.8	4.9
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.8	1.8	2.7	2.6	4.4	4.3
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.0	2.0	3.0	2.9	5.0	4.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.1	1.0	2.2	2.0	3.7	3.3
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.2	1.1	2.3	2.2	3.8	3.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.8	0.7	1.7	1.6	3.0	2.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.9	0.8	1.8	1.7	3.1	3.0
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.7	0.6	1.6	1.4	2.8	2.6
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.5	1.2	2.2	1.8	3.8	3.1
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.3	1.1	2.0	1.7	3.6	3.1
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.1	0.9	1.6	1.4	3.2	2.8
	Médiane	1.3	1.2	2.3	2.1	3.8	3.4

### Changement de température moyenne annuelle (°C) – France Sud

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.2	1.1	2.2	2.0	3.9	3.8
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.5	1.5	2.5	2.5	4.2	4.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.4	1.3	2.5	2.3	4.1	3.8
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.5	1.4	2.7	2.6	4.4	4.1
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.8	1.6	2.9	2.6	4.8	4.4
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	2.0	1.9	2.8	2.7	5.1	4.9
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.1	2.1	3.1	3.2	5.2	5.4
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	2.0	1.9	3.0	2.8	5.0	4.7
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.2	2.1	3.3	3.1	5.5	5.3
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.4	1.3	2.7	2.5	4.3	4.0
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.5	1.5	2.8	2.8	4.6	4.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	1.0	1.0	1.9	1.9	3.4	3.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.1	1.0	2.1	1.9	3.7	3.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	1.0	0.9	1.9	1.8	3.4	3.2
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.7	1.4	2.5	2.0	4.3	3.5
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.5	1.4	2.3	2.0	4.0	3.5
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.2	1.1	1.7	1.5	3.4	3.1
	Médiane	1.5	1.4	2.5	2.5	4.3	4.0

**Changement de température moyenne en hiver (°C) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	0.8	0.8	1.7	1.6	3.2	3.1
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	0.8	0.8	1.7	1.7	3.5	3.3
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.7	1.6	2.2	2.1	3.6	3.5
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.7	1.5	2.2	2.1	3.7	3.4
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.7	1.5	2.2	2	3.7	3.3
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	1.5	1.4	2.2	2	3.8	3.6
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	1.7	1.6	2.6	2.3	4.2	3.9
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.7	1.5	2.5	2.1	4.2	3.6
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.8	1.7	2.5	2.3	4.3	3.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.1	1	2.4	2.1	4	3.4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.0	0.9	2.2	2	3.8	3.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.7	0.7	1.6	1.5	3.3	2.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.7	0.6	1.6	1.5	3.4	3
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.6	0.6	1.5	1.4	3.3	3
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.5	1.3	2.1	1.9	3.5	3
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.4	1.3	1.9	1.9	3.3	3
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.3	1.2	1.7	1.6	3	2.7
	Médiane	0.8	1.3	2.2	2	3.6	3.3

**Changement de température moyenne en hiver (°C) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	0.7	0.7	1.6	1.5	3.1	3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	0.8	0.8	1.7	1.6	3.4	3.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.7	1.6	2.1	2	3.5	3.3
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.8	1.6	2.1	2	3.5	3.2
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.8	1.5	2	1.9	3.5	3.1
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	1.3	1.3	2.1	1.9	3.5	3.4
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	1.7	1.6	2.5	2.3	4.1	3.8
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.6	1.4	2.3	1.9	4	3.4
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.7	1.6	2.3	2.1	4	3.6
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	0.9	0.9	2.2	2	3.8	3.2
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	0.8	0.8	2	1.8	3.5	3
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.6	0.6	1.5	1.3	3.1	2.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.6	0.6	1.5	1.4	3.3	2.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.5	0.5	1.4	1.2	3.1	2.8
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.4	1.3	2	1.9	3.3	3
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.3	1.2	1.8	1.7	3.2	2.9
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.2	1.1	1.6	1.5	2.9	2.6
	Médiane	1.3	1.2	2	1.9	3.5	3.1

**Changement de température moyenne en hiver (°C) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	0.8	0.8	1.7	1.7	3.3	3.2
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	0.9	0.9	1.8	1.8	3.5	3.4
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.7	1.6	2.3	2.2	3.8	3.7
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.6	1.5	2.3	2.3	3.9	3.6
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.7	1.5	2.3	2.1	3.9	3.5
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	1.6	1.5	2.4	2.2	4	3.8
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	1.8	1.7	2.6	2.4	4.4	4
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.8	1.6	2.6	2.2	4.4	3.7
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.9	1.8	2.7	2.4	4.6	4.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.2	1	2.6	2.2	4.3	3.7
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.1	1.1	2.4	2.3	4.1	3.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.8	0.7	1.8	1.6	3.4	3.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.8	0.7	1.7	1.6	3.5	3.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.8	0.7	1.6	1.6	3.4	3.1
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.6	1.4	2.3	2	3.6	3.1
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.5	1.5	2.1	2	3.4	3.2
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.5	1.3	1.9	1.7	3.2	2.8
	Médiane	1.5	1.4	2.3	2.1	3.8	3.5

**Changement de température moyenne en été (°C) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.2	1.2	2.1	2.1	4.2	4.3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.5	1.7	2.5	2.7	4.7	5.1
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.3	1.2	2.6	2.4	4.4	4.1
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.6	1.6	3.1	3.1	5.2	5.2
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.3	2.1	3.7	3.5	6.4	6
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	2.4	2.3	3.2	3.1	6.1	5.9
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.6	2.7	3.8	4	6.5	6.7
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.9	1.9	3.2	3.2	5.4	5.2
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.7	2.7	4.1	4	7	6.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	0.9	0.9	2.4	2.4	3.9	3.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.4	1.6	3	3.3	4.8	5.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	1.0	1	2	2	3.9	4.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.0	1	2.1	2.2	3.8	3.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	1.0	0.9	2	1.8	3.7	3.4
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.9	1.6	2.8	2.3	4.8	3.9
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.7	1.4	2.7	2.2	4.6	3.8
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.6	1.4	2	1.8	3.9	3.8
	Médiane	1.6	1.6	2.7	2.4	4.7	4.3

**Changement de température moyenne en été (°C) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.0	1.1	2	2	3.9	4
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.4	1.6	2.4	2.6	4.6	4.9
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.3	1.2	2.6	2.4	4.1	3.9
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.5	1.5	3.1	3	5	5
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.2	2.1	3.7	3.4	6.2	5.9
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	2.3	2.3	3	3.1	5.7	5.6
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.6	2.6	3.6	3.8	6.2	6.3
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	1.8	1.9	3	3.1	4.9	5
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.6	2.6	3.9	3.9	6.7	6.6
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	0.7	0.7	2.1	2	3.4	3.3
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.1	1.3	2.6	2.9	4.2	4.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.9	0.8	1.9	1.8	3.7	3.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.8	0.9	1.9	2	3.3	3.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.8	0.7	1.8	1.6	3.3	2.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	1.8	1.4	2.7	2.1	4.6	3.6
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.5	1.2	2.5	2	4.4	3.5
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.5	1.3	2	1.7	4	3.6
	Médiane	1.5	1.3	2.6	2.4	4.4	4

**Changement de température moyenne en été (°C) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.3	1.3	2.2	2.2	4.5	4.6
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.6	1.8	2.6	2.9	4.8	5.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	1.3	1.2	2.6	2.5	4.6	4.4
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	1.7	1.7	3.2	3.3	5.3	5.5
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.4	2.2	3.8	3.5	6.6	6.2
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	2.5	2.3	3.4	3.2	6.6	6.1
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.6	2.7	3.9	4.2	6.8	7.2
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	2.0	1.9	3.5	3.3	5.8	5.5
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.8	2.7	4.3	4.1	7.4	7
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.2	1.2	2.8	2.8	4.4	4.4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.7	1.9	3.3	3.7	5.4	6
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	1.1	1.2	2.1	2.3	4.1	4.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.2	1.1	2.4	2.4	4.3	4.2
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	1.2	1.1	2.2	2	4.2	3.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	2.0	1.7	2.9	2.4	5.1	4.3
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	1.8	1.5	2.9	2.4	4.9	4.1
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1.6	1.5	2	1.9	3.9	3.9
	Médiane	1.7	1.7	2.9	2.8	4.9	4.6

**Changement de cumul annuel de précipitations (%) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	6.1	4.8	5.5	3.1	5.8	1.4
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	6.2	4.6	2.4	0.4	0.9	-2.1
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	6.5	4.4	7.1	4.2	-0.1	-2
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	2.4	1	0.9	-0.8	-6.5	-7.5
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	2.9	0.8	1.9	-0.7	-9.4	-11.7
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	8.2	6.2	10	6.2	6.5	1
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	1.1	-3.8	-3.2	-10.6	-7.7	-16.6
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	7.9	5.9	6.2	3.1	4.5	1.4
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	5.4	3	2.9	-1.3	-3.7	-7.4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-1.1	-4	-0.3	-6.1	3.2	-5.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-1.8	-3	-0.4	-2.7	0.7	-2
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	2	-0.8	3.1	-1.3	2	-3.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1	-0.5	7.3	3.5	9.5	5.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-0.7	-3.2	4.1	1	4.4	0.8
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-2.6	-5.7	-1.2	-4.2	-4.6	-9.9
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-0.5	-2.6	-0.5	-1.5	-4.2	-7.2
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	2.9	1.3	11.7	9.9	8.3	6.1
	Médiane	2.4	0.8	2.9	-0.7	0.9	-2.1

**Changement de cumul annuel de précipitations (%) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	7.6	5.7	6.3	3.6	10.6	5.7
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	5.8	4	2.5	0.6	3.6	0.3
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	7.2	4.8	7.8	4.1	2.1	-0.7
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	4.7	3.1	2.6	0.4	-4.9	-6.3
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	4.2	2	2.9	0.4	-7.6	-10
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	8.5	6.5	11.1	7.5	12.4	7.4
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	2.3	-2.6	-1.3	-9.1	-0.8	-10.1
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	10.2	7.8	8.9	5.1	9.6	6
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	5.8	3.5	4.9	0.4	0.3	-2.3
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	1.5	-1.3	4.7	-1	10	2.5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	1.2	-0.5	5.5	2.3	11.4	7.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	3.5	0.8	5.1	0.6	9.8	3.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.7	0.3	8.2	4.4	15.7	10
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-0.4	-2.7	5.4	2.1	11.1	6.8
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-1.8	-4.9	2.3	-0.8	3.2	-2.3
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	2.8	0.8	4.9	4	3.6	0.5
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	3.4	2.2	12.1	10.9	13.5	11.4
	Médiane	3.5	2	5.1	2.1	9.6	2.5

**Changement de cumul annuel de précipitations (%) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	4.8	4	4.8	2.6	1.6	-2.3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	6.5	5.2	2.2	0.2	-1.5	-4.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	5.8	4	6.5	4.2	-2	-3.2
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	0.4	-0.9	-0.5	-1.8	-8	-8.6
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	1.9	-0.2	1	-1.7	-10.9	-13.2
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	8.1	5.9	9	5.1	1.5	-4.6
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	0.1	-4.8	-4.8	-12	-13.6	-22.3
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	5.9	4.3	3.8	1.4	0.2	-2.7
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	5.1	2.5	1.3	-2.8	-7	-11.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-3.4	-6.4	-4.5	-10.6	-2.8	-11.7
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-4.5	-5.3	-5.5	-7.2	-8.6	-10.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.7	-2.2	1.4	-3	-4.8	-9.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	0.5	-1.2	6.4	2.8	4.2	1.4
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-1	-3.6	3.1	0.1	-1.3	-4.5
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-3.3	-6.4	-4.3	-7.2	-11.4	-16.6
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-3.3	-5.6	-5	-6.3	-10.9	-14.1
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	2.6	0.5	11.3	9	3.9	1.4
	Médiane	0.7	-0.9	1.4	-1.7	-2.8	-8.6

**Changement de cumul hivernal de précipitations (%) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	5.6	3.6	12.2	7.7	18.3	11.7
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	6.9	4.8	14.8	10.5	12.6	7.1
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	11.8	8.3	16.5	11.5	17	11.4
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	8	6.2	14.2	11	13.4	10.3
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	10.3	6.7	13.2	8.5	12.1	6.7
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	18	13.5	17.4	11.7	26.3	17.4
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	19.5	12.8	17	7.6	25.6	12.2
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	19.9	15	16	10.1	19.9	12.3
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	15.8	11.6	12.2	7.3	17.5	9.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	18.6	12.4	34.3	22.9	46	30.2
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	18.7	14	34.8	27.7	45.9	36.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-0.2	-5	16.9	7.8	24.8	14
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-7.5	-10.1	14	5.1	27.3	16.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-6.9	-12.2	13.5	4.8	22.4	12.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	6.3	1.7	9.2	4.5	11	3.8
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	7.9	4	12.4	9.1	14.2	7.3
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	3.2	-0.5	16.2	12.2	17.8	11.7
	Médiane	8	6.2	14.8	9.1	18.3	11.7

**Changement de cumul hivernal de précipitations (%) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	7.5	4.3	10.4	4.7	24.1	15.4
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	6.3	3.3	11.7	6.7	16.1	9
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	16.1	11.4	19.2	13.1	19.8	12.2
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	13.3	10.9	18	13.9	16.6	12.2
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	13.6	9.3	15.2	10.2	14.4	8.3
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	19.5	13.7	17.7	11	35.9	25.3
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	22.3	14.6	18.7	8.5	34.5	20.3
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	24.1	16.8	18.7	10.5	29.4	19.2
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	16.6	11.7	13.3	7.5	23.9	16
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	17.8	12.1	39.5	28.1	52.6	36.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	20.7	16.1	45.1	36.8	60.3	49.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-0.3	-5	18.4	8	33.3	20.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-7.4	-9.5	15.8	5.9	36.1	22.2
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-8.3	-13.1	13.5	3.9	28.5	17.6
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	8.7	3.7	13.6	8.5	20.4	12.7
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	11.9	8.7	16.7	14.9	24.3	18.8
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	5.4	1.6	16.6	13.5	24.4	18.4
	Médiane	13.3	9.3	16.7	10.2	24.4	18.4

**Changement de cumul hivernal de précipitations (%) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	3.8	3	13.9	10.5	12.8	8.2
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	7.5	6.3	17.7	14.2	9.4	5.3
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	7.6	5.4	14	10	14.4	10.6
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	2.9	1.8	10.6	8.2	10.4	8.5
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	7.2	4.2	11.3	7	9.8	5.2
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	16.6	13.2	17.2	12.3	17.2	9.8
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	17	11.2	15.3	6.6	17.2	4.4
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	15.9	13.3	13.5	9.7	11	5.6
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	15	11.5	11.2	7.2	11.5	3.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	19.4	12.7	29.4	18.1	39.8	23.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	16.8	12.1	25	19.1	32.2	24.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-0.1	-5	15.6	7.7	16.8	8.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-7.6	-10.7	12.3	4.4	19	10.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-5.5	-11.3	13.5	5.6	16.7	8.5
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	3.9	-0.2	5.1	0.6	2.1	-4.6
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	4.1	-0.5	8.2	3.7	4.6	-3.6
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	1	-2.5	15.8	11	11.4	5.3
	Médiane	7.2	4.2	13.9	8.2	12.8	8.1

**Changement de cumul estival de précipitations (%) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	6.8	4.8	-1.1	-2.1	-9.7	-14.5
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	-0.5	-2.5	-11	-11.2	-17.1	-18.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	3.9	2	-2.4	-4.6	-22.9	-22.9
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-7.1	-8	-19.5	-20.8	-37.8	-39
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-12.5	-12.7	-15.5	-16	-40.3	-40.6
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	0.5	-1.2	2.2	-4.6	-12.5	-22.3
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-16.5	-22	-30.4	-41.4	-44.8	-58.9
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	6.6	6.2	-1.6	-5.3	-4.3	-9.3
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-0.8	-1.7	-9.4	-15.5	-30.9	-34.5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-10.4	-12.7	-21.5	-27.4	-34.4	-41.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-13.6	-14.1	-25.4	-26.7	-48.8	-48.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-3.3	-5.5	-11.9	-16	-37	-42.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-1.1	-3	-0.4	-4.4	-14.8	-17
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-4.3	-5.8	-11	-12.6	-26.9	-29.2
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-13.1	-16.5	-16.7	-20.2	-19.7	-28.7
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-6.7	-8.4	-12.4	-13.2	-11.6	-15.3
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-2.1	-3.6	1.7	0.6	4.7	-0.3
	Médiane	-3.3	-5.5	-11	-13.2	-22.9	-28.7

**Changement de cumul estival de précipitations (%) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	12.2	11	3.4	3.9	-5.5	-8.1
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	0.9	-0.1	-10.1	-8.8	-14.1	-14.2
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	4.1	2.2	-3	-5	-22	-20.9
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-4.4	-5.5	-16.8	-19.1	-38.3	-39.9
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-9.8	-10.1	-10.8	-11	-34.9	-35.1
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	-3.1	-2.6	-0.5	-4	-11.2	-17.2
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-18.8	-21.9	-28.8	-38.6	-39.4	-52.4
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	8.8	9	1.8	-2.2	-2	-6
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-1.6	-0.7	-4.8	-9.5	-27.3	-28.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-6	-9.1	-16.1	-21.9	-27	-33.2
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-10.7	-13	-23.1	-25.8	-42.9	-44.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-3.5	-4.3	-12.7	-14.9	-30.5	-34.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-4.3	-3.8	-3.3	-4.4	-12.4	-12.8
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-5.2	-6.2	-11.6	-12.6	-18.6	-21.2
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-14.7	-18.4	-16.9	-20.2	-15.5	-23.9
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-6.5	-8	-9	-10.4	-9.2	-13.6
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-4.2	-5	1.6	1.7	5.1	1.7
	Médiane	-4.3	-5	-10.1	-10.4	-18.6	-21.2

**Changement de cumul estival de précipitations (%) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	1.8	-1.1	-5.4	-7.8	-13.6	-20.7
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	-1.9	-4.7	-11.8	-13.5	-20	-22.1
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	3.7	1.8	-1.8	-4.2	-23.7	-24.8
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-9.6	-10.4	-22.2	-22.4	-37.3	-38.1
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-15.1	-15.2	-20.1	-20.9	-45.5	-46
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	3.9	0	4.7	-5.2	-13.8	-27.2
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-14.4	-22.1	-31.9	-44.1	-49.9	-65.2
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	4.4	3.5	-4.7	-8.3	-6.5	-12.3
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-0.1	-2.7	-13.7	-21.2	-34.4	-40.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-14.7	-16.2	-26.6	-32.6	-41.5	-50
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-16.4	-15.1	-27.8	-27.6	-54.7	-52
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-3.2	-6.8	-11.1	-17.1	-43.2	-50.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	1.9	-2.1	2.4	-4.5	-17.1	-21.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-3.4	-5.4	-10.4	-12.7	-35	-36.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-11.6	-14.7	-16.5	-20.2	-23.7	-33.4
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-7	-8.7	-15.8	-16	-13.9	-17
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-0.1	-2.2	1.8	-0.5	4.4	-2.1
	Médiane	-3.2	-5.4	-11.8	-16	-23.7	-33.4

**Changement des précipitations journalières maximales annuelles (%) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	10.7	12.8	11.7	12.7	15.8	15.9
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	9.4	9.2	9.9	8.5	15.5	10.9
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	9	10.8	12.2	12.9	13.8	12.9
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	7.7	8.6	10.7	9.9	11.3	9.2
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	8.7	6.9	10.4	8.3	11.6	6
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	12.7	12.6	17	15.2	24.9	18.5
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	8.5	7.4	14.4	7.7	20.6	10.4
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	13.7	14.6	17.1	16.2	25.4	22.2
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	13.5	10.4	19.3	11.1	21.7	10.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	9.5	6	17.8	6.4	27.5	9.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	6.9	7.7	13.2	10	17.7	13.5
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	9.2	8	11.7	9.9	16.9	13.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	7.9	9.3	11.8	12.6	16.2	17.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	6.1	5	9.5	7.2	13.6	8.7
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	9	7	12.9	6.5	18.8	3.5
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	5.5	4.7	4.6	3.2	10.4	2.7
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	7.6	9.5	10.6	13.6	11.1	11.5
	Médiane	9	8.6	11.8	9.9	16.2	10.9

**Changement des précipitations journalières maximales annuelles (%) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	12.9	15.4	13.3	14.8	22.3	22.9
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	8.6	9.3	10	9.4	19.1	15.3
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	10.2	11.7	13.2	13.3	14.1	13
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	8.8	11.1	10.7	11.2	8.9	8.8
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	9.6	8.2	9.6	8.5	12.6	7.4
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	10.3	13.1	15.4	16.7	28.6	25.6
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	10.7	11.1	16.7	11.4	27.2	18.5
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	15.4	17.1	19.6	20.1	32.6	29.8
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	13.2	11.4	23	14.8	26.2	17.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	11.8	7.5	23.5	13.7	35.8	20.6
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	9.8	9.3	19.6	17	25.3	25.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	9.2	9.8	12.3	11.5	19.7	19.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	10.8	12.2	15.4	16	21.1	23
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	6.7	6.5	10.9	8.5	18.3	13.7
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	10.7	7.2	18.1	11.5	30	14.1
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	8.6	8.8	8.6	9.7	18.9	13.7
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	7.8	11.4	11	15.3	16.7	20.4
	Médiane	10.2	11.1	13.3	13.3	21.1	18.5

**Changement des précipitations journalières maximales annuelles (%) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	9.2	11.1	10.7	11.3	11.2	11.3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	9.9	9.2	9.8	8	13.2	8.1
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	8.3	10.2	11.5	12.7	13.6	12.8
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	6.9	7	10.7	9	13	9.5
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	8.1	6.2	10.9	8.1	11	5.1
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	14.4	12.3	18.1	14.2	22.3	14
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	7	5	12.9	5.4	16.1	5.2
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	12.6	12.9	15.5	13.7	20.8	17.2
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	13.8	9.8	16.9	8.8	18.8	5.2
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	7.9	5.1	13.9	1.6	21.8	2.9
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	4.9	6.6	8.6	5.5	12.3	5.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	9.2	6.8	11.2	9	14.9	9.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	6.1	7.4	9.6	10.5	13.1	13.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	5.8	4	8.6	6.4	10.5	5.5
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	7.9	6.8	9.3	3.2	11.2	-3.4
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	3.3	1.9	1.8	-1	4.6	-4.4
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	7.4	8.2	10.3	12.5	7.3	5.8
	Médiane	7.9	7	10.7	8.8	13.1	5.8

**Changement de cumul annuel d'évapotranspiration de référence (%) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	11.4	5.5	16.1	9.1	28.4	18.6
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	16	9.5	23	15.8	34.3	27.4
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	6	2.7	11.8	7.3	22.1	14.3
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	6.5	4.9	14.3	12.2	25	21
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	18.6	10.6	26.8	18.1	43.1	32.8
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	12.7	7.7	16.1	10.9	31.2	24.3
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	9.2	10.6	14.8	16.6	25.8	28.8
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	6.5	6.3	12	11.1	20.9	19.2
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	20.4	13	27.7	20.2	42.6	35.1
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	6.1	4.6	13.5	10.1	19.1	14.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	7.2	6.8	15.5	14.8	23.4	22.7
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	1.1	2.3	6.8	7.6	14.4	15
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	2.8	2.8	7.7	7.4	16.2	15.1
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	1	1.7	4.6	4.7	10.4	10.2
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	9.2	5.8	12.9	8	22.8	14.9
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	7.4	6.2	9.7	8	18.5	15.7
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	6	4.2	6.3	3.9	14.8	10.9
	Médiane	7.2	5.8	13.5	10.1	22.8	18.6

**Changement de cumul annuel d'évapotranspiration de référence (%) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	11.7	5.5	16.9	9.5	29.4	18.8
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	17.4	10.5	24.6	17.1	37.7	29.6
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	6.4	2.9	13.1	7.8	23.2	14.3
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	6.9	4.7	16	12.7	28.1	22.2
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	19.6	11.2	29	19.4	47.6	35.5
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	13.2	8.3	16	11.2	31.3	24.7
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	10.3	11.2	16.1	17.1	26.9	28.5
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	6.9	6.8	12.3	11.7	20.8	19.6
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	22	14.2	29.3	21.3	45.7	36.6
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	4.9	3.3	12.1	8.3	17.3	12.5
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	6.3	5.5	16	14.2	22.9	20.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.2	0.9	6.5	6.4	12.9	12.2
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	2	2.2	7	7	14.8	14.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.3	0.8	4	3.5	7.9	6.9
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	9.5	5.8	13.1	7.6	22.6	13.8
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	6.7	5.2	8.3	6.1	17.6	13.5
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	6.3	4.1	6.9	3.6	15.2	10.2
	Médiane	6.9	5.5	13.1	9.5	22.9	18.8

**Changement de cumul annuel d'évapotranspiration de référence (%) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	11	5.4	15.4	8.8	27.5	18.3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	14.8	8.5	21.6	14.7	31.3	25.4
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	5.8	2.6	10.6	6.8	21.2	14.3
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	6.1	5.2	12.7	11.8	22.3	20
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	17.7	10	24.9	17	39.2	30.4
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	12.2	7.2	16.1	10.5	31.2	24
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	8.2	10.1	13.7	16.2	24.8	29
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	6.2	5.8	11.8	10.6	20.9	18.9
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	19.1	11.9	26.3	19.2	39.8	33.7
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	7.2	5.7	14.7	11.8	20.7	16.8
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	8	8	15.2	15.4	23.8	24.3
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	2	3.6	7	8.7	15.6	17.6
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	3.6	3.3	8.2	7.6	17.5	15.9
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	1.6	2.6	5.1	5.7	12.6	13.3
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	8.9	5.8	12.7	8.4	22.9	15.8
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	8.1	7.1	11	9.7	19.4	17.6
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	5.7	4.3	5.7	4.1	14.5	11.6
	Médiane	8	5.8	12.7	10.5	22.3	18.3

**Changement de bilan hydrique annuel (mm) – France**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	-29	5	-68	-36	-154	-119
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	-71	-26	-148	-111	-244	-219
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	12	21	-23	-13	-160	-122
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-20	-26	-96	-96	-239	-222
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-106	-69	-182	-138	-401	-348
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	-21	3	-30	-20	-171	-165
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-52	-111	-134	-218	-253	-360
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	17	11	-34	-50	-112	-125
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-108	-66	-179	-159	-347	-323
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-49	-70	-100	-130	-110	-154
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-69	-78	-116	-133	-163	-183
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	12	-24	-21	-66	-86	-141
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-11	-25	8	-19	-34	-57
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-16	-43	3	-24	-36	-65
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-87	-95	-104	-97	-206	-199
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-44	-69	-74	-71	-171	-179
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-20	-18	57	65	-33	-21
	Médiane	-29	-26	-74	-71	-163	-165

**Changement de bilan hydrique annuel (mm) – France Nord**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	-21	12	-62	-32	-110	-77
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	-75	-37	-146	-111	-226	-198
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	10	22	-25	-16	-137	-102
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-10	-4	-87	-82	-228	-204
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-100	-59	-175	-128	-385	-326
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	-25	1	-20	-11	-113	-101
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-49	-97	-117	-192	-185	-277
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	26	22	-13	-34	-64	-79
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-106	-66	-161	-141	-310	-268
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-23	-33	-42	-64	-33	-63
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-31	-41	-61	-76	-59	-74
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	21	0	-2	-37	-7	-51
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-2	-12	18	-9	26	-9
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-10	-29	17	-6	37	13
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-76	-80	-69	-58	-125	-112
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-20	-28	-16	-6	-88	-85
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-19	-8	50	70	6	30
	Médiane	-21	-28	-42	-37	-110	-85

**Changement de bilan hydrique annuel (mm) – France Sud**

GCM	RCM	ADAMONT H1	CDF-t H1	ADAMONT H2	CDF-t H2	ADAMONT H3	CDF-t H3
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63	-45	-1	-75	-41	-200	-163
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	MOHC-HadREM3-GA7-05	-64	-13	-150	-112	-263	-240
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E	16	20	-21	-9	-184	-142
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	-37	-49	-105	-109	-252	-241
ICHEC-EC-EARTH	MOHC-HadREM3-GA7-05	-114	-79	-189	-148	-417	-370
MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63	-10	5	-40	-29	-230	-230
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	-53	-125	-152	-244	-323	-446
MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6	6	-1	-56	-67	-162	-172
MOHC-HadGEM2-ES	MOHC-HadREM3-GA7-05	-111	-67	-197	-177	-385	-381
IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5	-90	-108	-159	-197	-189	-248
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	-102	-115	-173	-192	-270	-296
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	-14	-50	-41	-97	-168	-234
MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6	-27	-37	-3	-30	-96	-107
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	-25	-57	-10	-43	-111	-146
NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5	-105	-110	-141	-137	-290	-290
NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015	-100	-111	-135	-138	-256	-277
NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P	-22	-27	64	61	-73	-74
	Médiane	-45	-50	-105	-109	-230	-240