

Eau  
Environnement

**Grand Est**  
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE



⊕  
REGION GRAND EST

## ETUDE HYDROLOGIQUE GLOBALE DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE

Rapport de mission 1-2 : impact du changement  
climatique

Rapport n° : 20F-085-RP-4  
Révision n° : C  
Date : 20/06/2022

Votre contact :  
Olivier BARBET  
barbet@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS - PARIS  
75 boulevard Mac Donald  
75019 - Paris  
FRANCE  
Tel. : +33.1.55.26.99.99  
Fax : +33.1.40.34.63.36

[www.isl.fr](http://www.isl.fr)

**ISL**  
Ingénierie



# Visa

Document verrouillé du 20/06/2022.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	24/02/2022	OBA	OBA	ADB	
B	17/06/2022	OBA	OBA	BSE	Intégration remarques suite COPIL du 13 janvier 2022 Version finale
C	20/06/2022	OBA	OBA	BSE	Version finale

ADB : de BONVILLER Arnaud

BSE : SEUROT Benjamin

OBA : BARBET Olivier





## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTE GENERAL	1
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	1
1.3	PERIMETRE DE L'ETUDE	1
1.4	ORGANISATION DE L'ETUDE	3
1.5	PILOTAGE ET ETAPES DE VALIDATION	3
<b>2</b>	<b>METHODOLOGIE</b>	<b>5</b>
2.1	METHODOLOGIE GENERALE	5
2.2	CHOIX DES SCENARIOS	6
2.3	TRAITEMENT DES DONNEES DES MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX	7
2.3.1	RECUPERATION DES DONNEES	7
2.3.2	COMPARAISON DES DONNEES OBSERVEES AUX POSTES METEOROLOGIQUES ET DES DONNEES « HISTORIQUES » DES MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX	9
2.3.2.1	Données de pluies	9
2.3.2.2	Données de températures	10
2.3.2.3	Synthèse	12
2.4	CONSTRUCTION DES CHRONIQUES D'ENTREE POUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE	12
2.4.1	INTRODUCTION	12
2.4.2	CORRECTION DES BIAIS PAR APPROCHE CENTILE-CENTILE	13
2.4.2.1	Méthodologie	13
2.4.2.2	Vérification des évolutions/tendances	14
2.4.3	APPLICATION A LA CHRONIQUE COMPLETE 1980-2020	17
<b>3</b>	<b>RESULTATS DES SIMULATIONS – PROJECTIONS HYDROLOGIQUES</b>	<b>18</b>
3.1	EVOLUTION DES DEBITS FUTURS – ANALYSE SPATIALISEE	18
3.1.1	DEBITS MOYENS	18
3.1.2	DEBITS D'ETIAGES – QMNA5	20
3.2	EVOLUTION DES DEBITS FUTURS – STATIONS PRINCIPALES	21
3.2.1	DEBITS MOYENS	21

3.2.2	DEBITS D'ETIAGES	22
3.2.3	DEBITS DE CRUES	23
3.3	DISCUSSION	25
4	BIBLIOGRAPHIE	29

## TABLE DES ANNEXES

### ANNEXE 1 CARTOGRAPHIES

### ANNEXE 2 EVOLUTION DES TEMPERATURES SUR LE BASSIN DE LA MOSELLE – DRIAS 2020

### ANNEXE 3 EVOLUTION DES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN DE LA MOSELLE – DRIAS 2020

## TABLE DES FIGURES

Figure 2-1 : méthodologie de constitution de chroniques de débits modifiées par le changement climatique.	5
Figure 2-2 : localisation des points de grille du DRIAS et des postes météorologiques pris en compte dans le modèle hydrologique GESRES <sub>ISL</sub> .	8
Figure 2-3 : distribution des quantiles de pluies journalières du mois de juillet à la station d'Augny (Metz).	13
Figure 2-4 : distribution des coefficients de correction quantile par quantile (station d'Augny, mois de juillet) – en haut, sans correction, en bas, avec correction.	16
Figure 3-1 : évolution de la pluviométrie – IPSL RCP 4.5 – DRIAS 2014.	26
Figure 3-2 : évolution de la pluviométrie – IPSL RCP 4.5 – DRIAS 2020.	26
Figure 3-3 : évolution de la pluviométrie – CNRM RCP 8.5 – DRIAS 2014.	27
Figure 3-4 : évolution de la pluviométrie – CNRM RCP 8.5 – DRIAS 2020.	27

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : liste des points de calcul des débits.	2
--	---

Tableau 2-1 : comparaison des pluies « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux – période de 1980 à 2004.....	9
Tableau 2-2 : valeurs moyennes des pluies annuelles (en mm) – 1980-2004. ....	10
Tableau 2-3 : comparaison des températures « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux – période de 1980 à 2004. ....	11
Tableau 2-4 : valeurs moyennes des températures annuelles (en °C) – 1980-2004.....	12
Tableau 2-5 : évolutions des températures par rapport à la période de référence. A gauche, évolutions calculées d'après les chroniques des modèles climatiques régionaux. A droite évolutions calculées à partir des chroniques construites sur la base des observations. ....	15
Tableau 2-6 : évolutions des précipitations par rapport à la période de référence. A gauche, évolutions calculées d'après les chroniques des modèles climatiques régionaux. A droite évolutions calculées à partir des chroniques construites sur la base des observations. ....	17
Tableau 3-1 : évolution des débits moyens par sous-bassin versant.....	19
Tableau 3-2 : évolution des débits d'étiages (QMNA5) par sous-bassin versant. ....	20
Tableau 3-3 : évolution des débits moyens pour chaque scénario simulé. ....	21
Tableau 3-4 : évolution des débits d'étiage pour chaque scénario simulé. ....	22
Tableau 3-5 : évolution des débits de crue décennale pour chaque scénario simulé. ....	23
Tableau 3-6 : débits moyens mensuels à Saint-Dié-des-Vosges sur la Meurthe pour les quatre scénarios simulés. ....	24





# 1 INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE GENERAL

Le bassin versant de la Moselle couvre un bassin versant d'environ 28 000 km<sup>2</sup> réparti sur les territoires français (pour sa partie amont), luxembourgeois et allemands où elle conflue avec le Rhin à Coblenze (Koblenz).

Sa source est située dans les Vosges sur les hauteurs de Bussang.

Le bassin versant subit régulièrement des « crises hydrologiques », crues et étiages. Les crues sont susceptibles d'impacter un total d'environ 69 000 habitants et 42 000 emplois répartis sur les 5 territoires à risque important d'inondation (TRI). Les périodes d'étiages prononcées peuvent altérer la ressource en eau (quantitativement et qualitativement) et impacter les activités économiques sur le bassin.

De nombreuses démarches d'études et de programmes d'actions portées par différents maîtres d'ouvrage sont en cours sur le bassin versant. Dans un souci de cohérence, la Région Grand Est (au titre de sa compétence animation-concertation dans le domaine de la ressource en eau) et la DREAL ont initié depuis 2019 une démarche afin de mutualiser les projets et sujets à l'échelle du bassin versant de la Moselle française.

Le premier sujet mis en commun fait l'objet de la présente consultation : il s'agit de l'étude du fonctionnement hydrologique global du bassin versant de la Moselle. Cette étude constitue l'action 1.5 du PAPI d'intention du bassin versant de la Moselle aval porté par le Syndicat Mixte Moselle Aval.

## 1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

La présente étude a pour objet de préciser le fonctionnement hydrologique global du bassin versant de la Moselle française.

Il s'agit :

- De synthétiser les données hydrologiques existantes en période de crue et en période d'étiage, sur les événements historiques ;
- D'actualiser et/ou déterminer un ensemble de débits caractéristiques en période de crue et en période d'étiage, actuelles et futures.

La présente étude a vocation à fournir les débits de référence, aussi bien en crues et en étiages, à l'échelle du bassin français de la Moselle pour alimenter de futures études (études hydrauliques, locales, globales, disponibilité des ressources en eau, ...).

## 1.3 PERIMETRE DE L'ETUDE

Le périmètre d'étude se limite au bassin versant français de la Moselle, couvrant une superficie d'environ 11 500 km<sup>2</sup>. Le bassin versant français de la Sarre, principal affluent de la Moselle, ne fait pas partie du périmètre de l'étude.

La détermination des débits de référence est menée en 38 points de calcul pour les crues et en 19 points de calcul pour les étiages. Ces points de calcul sont répertoriés dans le Tableau 1-1 :

N°	Point hydrologique	Sous-bassin	Débits de crues	Débits d'étiages
1	L'Ingressin à Toul	Moselle amont	X	
2	L'Euron à Lorey	Moselle amont	X	
3	Le Terrouin à Villey-Saint-Etienne	Moselle amont	X	
4	Le Durbion à Châtel-sur-Moselle	Moselle amont	X	
5	La Vologne à Jarménil	Moselle amont	X	
6	La Moselotte à Saint-Etienne-lès-Remiremont	Moselle amont	X	
7	La Moselle à Remiremont	Moselle amont	X	X
8	La Moselle à Epinal	Moselle amont	X	X
9	La Moselle à Pont-Saint-Vincent	Moselle amont	X	
10	Le Madon à Pont-Saint-Vincent	Moselle amont	X	
11	La Meurthe à Saint-Dié-des-Vosges	Meurthe	X	X
12	La Meurthe à Raon-l'Etape	Meurthe	X	
13	La Plaine à Raon-l'Etape	Meurthe	X	
14	La Meurthe à Lunéville	Meurthe	X	
15	La Vezouze à Lunéville	Meurthe	X	X
16	Le Sânon à Dombasle-sur-Meurthe	Meurthe	X	
17	La Meurthe à Laneuveville-devant-Nancy	Meurthe	X	X
18	La Moselle à Custines	Moselle amont	X	X
19	Le Rupt de Mad à Arnaville	Moselle aval	X	
20	La Seille à Metz	Moselle aval	X	X
21	L'Orne à Moyeuvre-Grande	Moselle aval	X	X
22	L'Orne à son exutoire	Moselle aval	X	X
23	L'Orne à Jarny (amont confluence Yron)	Moselle aval	X	X
24	La Moselle à Metz	Moselle aval	X	
25	La Moselle à Uckange	Moselle aval	X	X
26	La Moselle à Apach	Moselle aval	X	
27	Le ruisseau d'Olima (ruisseau de Gandrupt)	Moselle amont	X	
28	La Meurthe à Damelevières	Meurthe	X	X
29	La Moselle à Toul	Moselle amont	X	X
30	Le ruisseau d'Esch à Pont-à-Mousson	Moselle aval	X	
31	La Moselle en amont de Pont-à-Mousson	Moselle aval	X	X
32	La Petite Seille	Moselle aval	X	
33	La Seille à Salonnnes (amont Petite Seille)	Moselle aval	X	X
34	La Seille à Nomeny	Moselle aval	X	
35	Le Woigot	Moselle aval	X	X
36	Le Longeau	Moselle aval	X	X
37	L'Yron	Moselle aval	X	X
38	La Fensch à Knutange	Moselle aval	X	X

Tableau 1-1 : liste des points de calcul des débits.

## 1.4 ORGANISATION DE L'ETUDE

L'étude comporte 3 missions. La mission 1 est organisée en deux étapes :

- Mission 1-1 : Synthèse des études et données existantes ;
- Mission 1-2 : Détermination des débits de références.

**Le présent rapport traite de la mission 1-2 de l'étude pour la partie prise en compte du changement climatique.** Il comprend les chapitres suivants :

- Chapitre 2 : Méthodologie ;
- Chapitre 3 : Résultats des simulations – projections hydrologiques

## 1.5 PILOTAGE ET ETAPES DE VALIDATION

L'étude hydrologique du bassin versant de la Moselle a été suivie par un comité de pilotage (COPIL) en charge de valider les grandes étapes de la mission, ainsi que par un comité technique (COTECH) en charge du suivi de l'étude et de la préparation des réunions du COPIL.

Le COPIL, co-présidé par le Président de la Région Grand-Est ou son représentant et par le Président du Syndicat Mixte Moselle Aval ou son représentant, est constitué par :

- Le Service Eaux et Biodiversité de la Région Grand-Est ;
- Le Syndicat Mixte Moselle Aval ;
- L'EPTB Meurthe-Madon ;
- Le Service Prévention des Risques Naturels et Hydrauliques de la DREAL Grand-Est ;
- Le Service de Prévision des Crues Meuse-Moselle de la DREAL Grand-Est ;
- Les Directions Départementales des Territoires de Meurthe-et-Moselle, Moselle et Vosges ;
- L'Agence de l'eau Rhin-Meuse ;
- La Communauté d'Agglomération d'Epinal, représentant les collectivités du bassin amont de la Moselle.

Le COTECH, co-présidé par le Service Eaux et Biodiversité de la Région Grand-Est et par le Syndicat Mixte Moselle Aval, est constitué par au moins un agent :

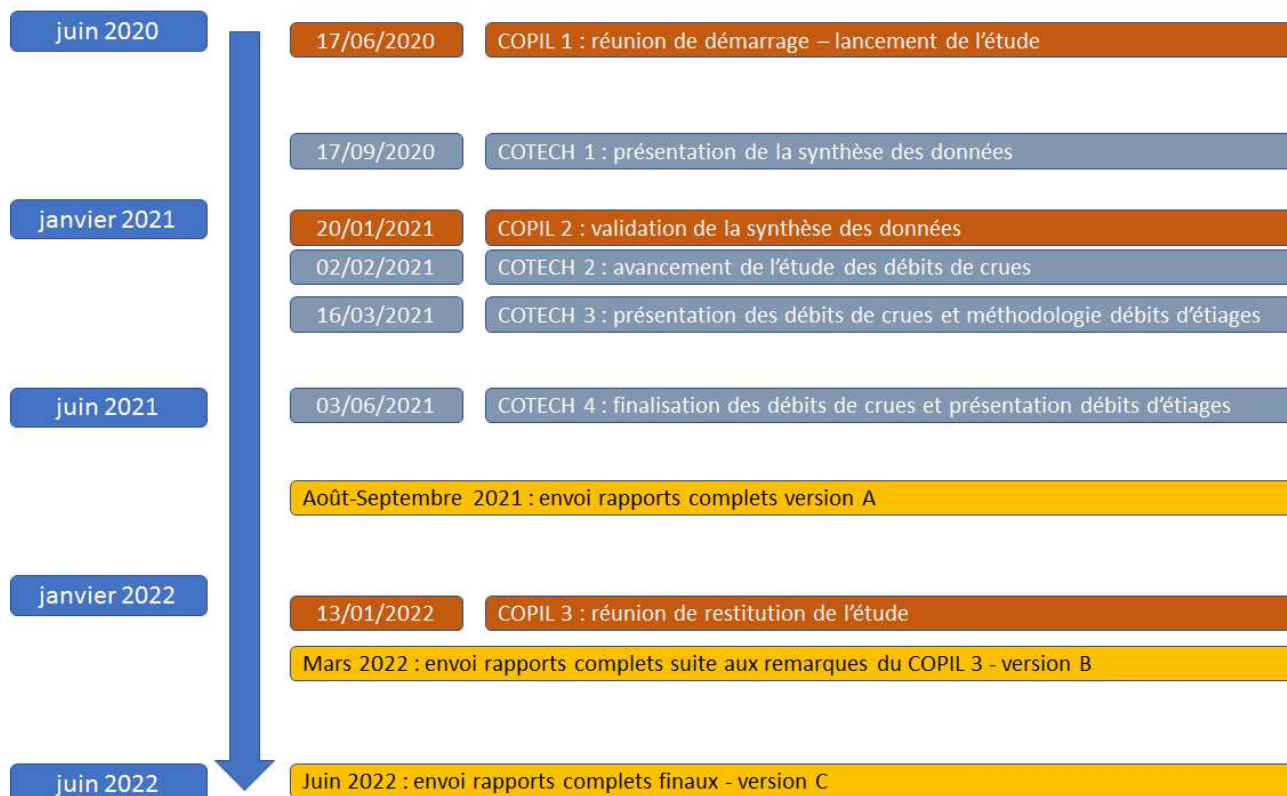
- Du Service Eaux et Biodiversité de la Région Grand-Est ;
- Du Syndicat Mixte Moselle Aval ;
- De l'EPTB Meurthe-Madon ;
- Du Service Prévention des Risques Naturels et Hydrauliques de la DREAL Grand-Est ;
- Du Service de Prévision des Crues Meuse-Moselle de la DREAL Grand-Est ;
- Des Directions Départementales des Territoires de Meurthe-et-Moselle, Moselle et Vosges ;
- De l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

Le CEREMA et le LOTERR (Université de Lorraine) ont également participé à plusieurs COPIL et/ou COTECH afin d'apporter leur expertise de l'hydrologie du bassin versant de la Moselle.

Le COPIL s'est réuni à 3 reprises au cours de l'étude.

Le COTECH s'est réuni à 4 reprises au cours de l'étude.

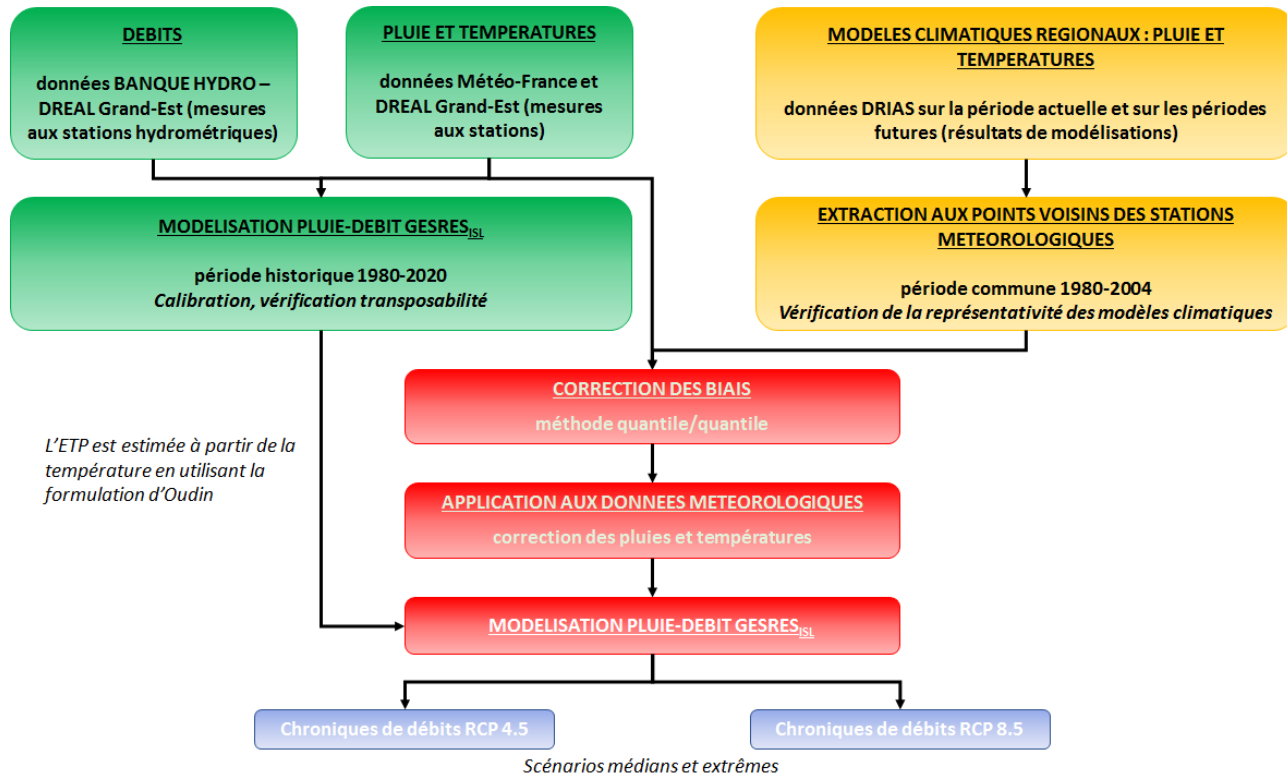
La figure suivante illustre les différentes étapes de validation ayant jalonné l'étude :



## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 METHODOLOGIE GENERALE

L'approche méthodologique générale est résumée sur le logigramme de la Figure 2-1 :



**Figure 2-1 : méthodologie de constitution de chroniques de débits modifiées par le changement climatique.**

L'ensemble de la démarche fait intervenir deux variables pouvant être qualifiées de « primaires » : la pluie et la température. Ces deux variables sont nécessaires et suffisantes pour le calcul des débits en tout point du bassin versant. Les chroniques de débits observées sont utiles pour le calage et la validation du modèle hydrologique. Le module CEMANEIGE permet de quantifier l'influence de la neige à partir des pluies et températures. L'évapo-transpiration potentielle est évaluée à partir des températures par la formule d'Oudin.

Les données d'entrées sont ainsi :

- Les pluies et températures observées (« réelles ») sur la période 1980-2020, utilisées pour caler le modèle hydrologique et reconstituer les chroniques de débits observés ;
- Les pluies et températures issues des modèles climatiques régionaux sur la période 1975-2004. Les chroniques disponibles sont la chronique « historical », qui correspond au climat actuel, et les chroniques correspondant aux climats futurs.

Les deux jeux de données ont une période commune de 1980 à 2004, soit 25 années.

Dans un premier temps, les chroniques observées et les chroniques « historical » issues des modèles climatiques sont comparées afin de vérifier dans quelle mesure ces chroniques « historical » se rapprochent des valeurs observées sur le bassin versant (cf. 2.3.2).

Par construction, les chroniques « historical » sont différentes de celles observées, parfois avec des écarts assez notables, en particulier sur les pluies. En conséquence, une évaluation des biais entre les chroniques observées et les chroniques « historical » est réalisée par une approche statistique de type quantile/quantile (cf. 2.4.2).

Ensuite les chroniques de pluies et températures du climat futur sont construites à partir des chroniques observées et en appliquant les évolutions données par les modèles climatiques corrigées des biais (cf. 2.4.3). Ces chroniques du climat futur sont ensuite injectées dans le modèle hydrologique qui donne en sortie les chroniques de débits futurs.

L'approche méthodologique s'appuie ainsi sur deux principaux outils :

- Les **modèles climatiques régionaux** dont les résultats sont mis à disposition sur le site du DRIAS (<http://www.drias-climat.fr/>). Les résultats fournis proviennent de projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME). Les informations climatiques (précipitations, températures ...) sont délivrées sous différentes formes graphiques ou numériques. Plusieurs périodes sont analysées et pour différents scénarios d'émission de CO<sub>2</sub> (RCP2.6, RCP4.5 ou RCP8.5). La période de référence s'étend de 1975 à 2004, l'horizon proche correspond à la période 2021-2050, l'horizon moyen à la période 2041-2070 et l'horizon lointain à la période 2071-2100 ;
- Le **modèle hydrologique GESRES<sub>ISL</sub>** développé pour la présente étude sur l'ensemble du bassin versant de la Moselle française. Les températures et les pluies, utilisées comme données d'entrée de la modélisation pluie-débit, sont modifiées à partir des projections climatiques pour simuler les débits dans le futur. Une description du modèle hydrologique est fournie dans le rapport 20F085-RP-3.

## 2.2 CHOIX DES SCENARIOS

Les scénarios de changement climatique retenus pour la présente étude sont identiques à ceux pris en compte dans le cadre de l'étude quantitative de 2020 [1] :

- Scénario RCP 4.5, modèle IPSL, horizons proches (« horizon 2030 ») et horizon moyen (« horizon 2050 ») ;
- Scénario RCP 8.5, modèle CNRM, horizons proches (« horizon 2030 ») et horizon moyen (« horizon 2050 »).

Au total, quatre scénarios sont ainsi simulés.

## 2.3 TRAITEMENT DES DONNEES DES MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX

### 2.3.1 RECUPERATION DES DONNEES

Les données « historiques » (données de la période de référence) et les données aux horizons proche et moyen sont téléchargées sur le site internet du DRIAS <http://www.drias-climat.fr/>.

**Les données mises à disposition sont régionalisées à partir des scénarios les plus récents des modèles climatiques globaux du GIEC (2020).**

Les scénarios retenus pour la présente étude sont le RCP4.5 IPSL 2030, RCP8.5 CNRM 2030, RCP 4.5 IPSL 2050 et RCP8.5 CNRM 2050, produits par le Centre National de Recherches Météorologiques constitué par le CNRS et Météo-France, et l'Institut Pierre-Simon-Laplace.

Ils proviennent des chaînes de modélisation suivantes :

- IPSL : modèles IPSL-CM5A / WRF381P / correction ADAMONT ;
- CNRM : modèles CNRM-CM5 / ALADIN63 / correction ADAMONT.

Les données sont extraites aux points de grilles voisins des postes météorologiques utilisés pour la modélisation pluie-débit sous GESRES<sub>ISL</sub>. Les données sont extraites sur la période commune du 01/01/1980 au 31/12/2004. Les points de grilles sont espacés tous les 8 km environ.

**Les chroniques journalières sont utilisées.**



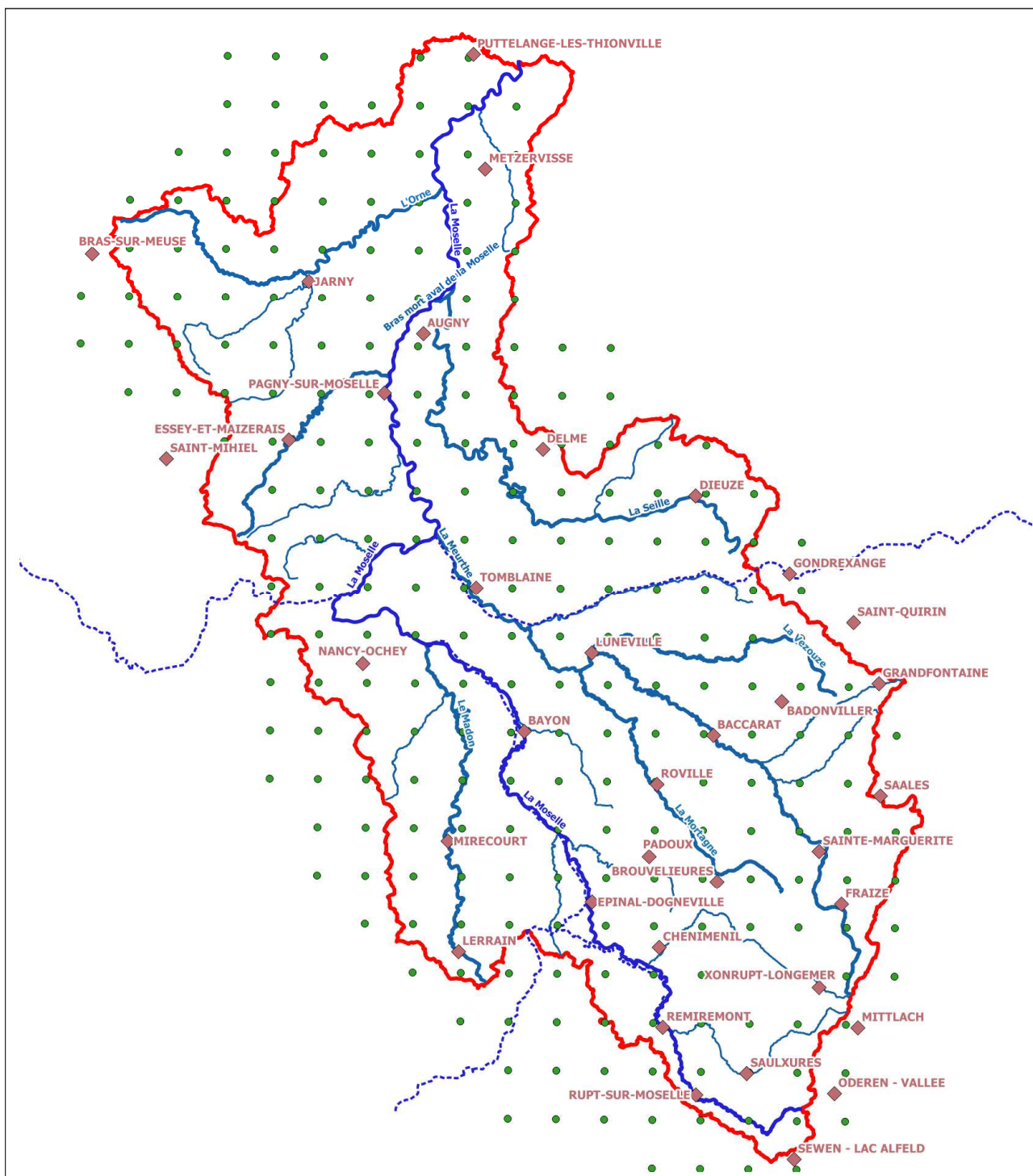


Figure 2-2 : localisation des points de grille du DRIAS et des postes météorologiques pris en compte dans le modèle hydrologique GESRES<sub>ISL</sub>.



## 2.3.2 COMPARAISON DES DONNEES OBSERVEES AUX POSTES METEOROLOGIQUES ET DES DONNEES « HISTORIQUES » DES MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX

Les données « historiques » de pluies et températures des modèles climatiques régionaux ont été comparées aux données observées aux stations météorologiques.

### 2.3.2.1 Données de pluies

Les chroniques de pluies journalières observées et issues des modèles climatiques diffèrent de façon importante, ce qui est attendu : il est très difficile pour les modèles de reproduire les cumuls de précipitations au jour le jour. La comparaison entre observations et modèles climatiques porte donc sur les moyennes mensuelles et interannuelles.

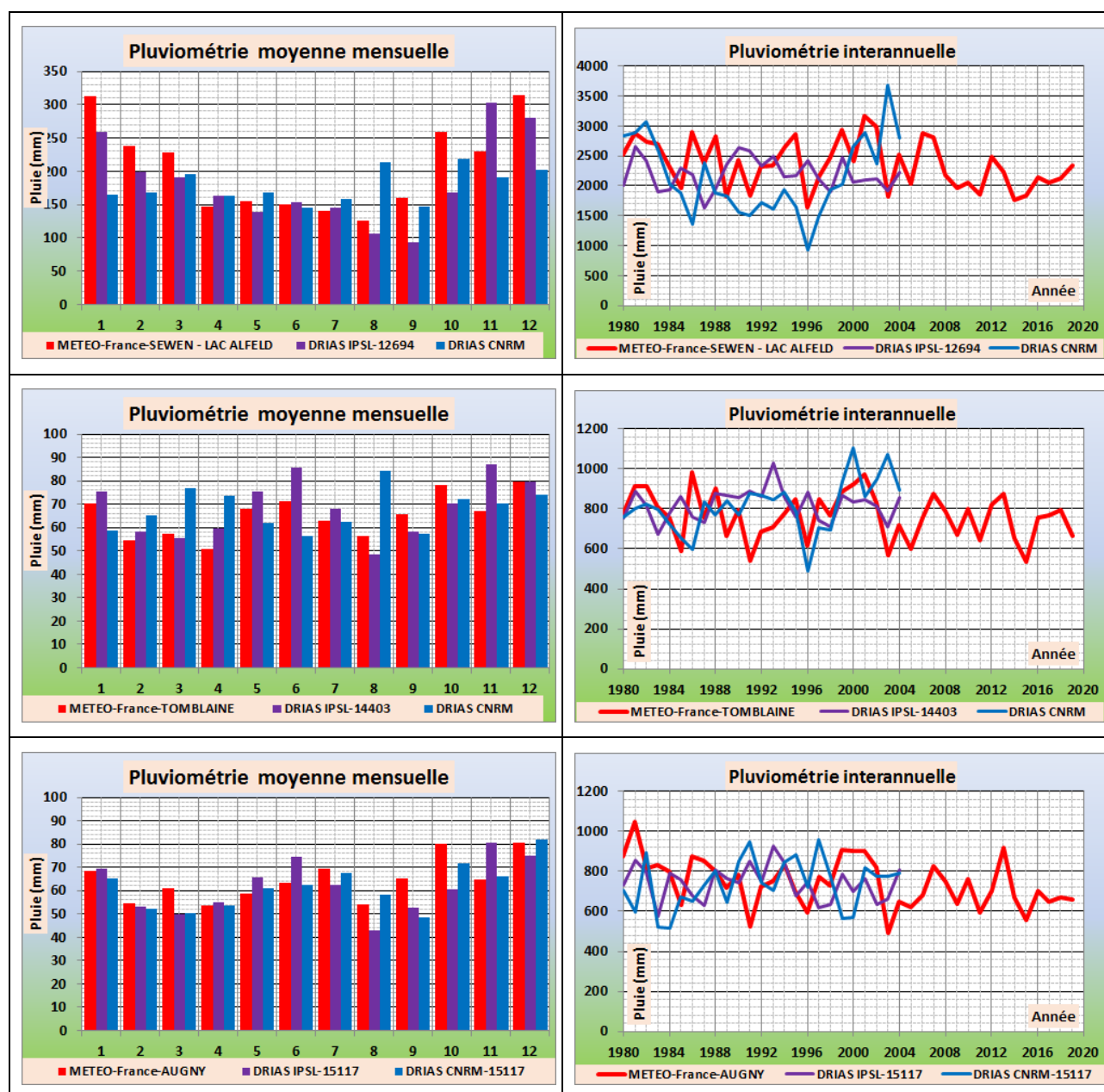


Tableau 2-1 : comparaison des pluies « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux – période de 1980 à 2004.

Les figures précédentes comparent les données aux trois stations de Sewen-Lac Alfeld (amont bassin de la Moselle), Nancy-Essey (Tombelaine) et Metz (Augny).

Le tableau suivant présente les moyennes et écart-types des pluies moyennes annuelles aux trois mêmes stations :

Station	Grandeur	Observation (Météo-France)	IPSL – historical (DRIAS-2020)	CNRM – historical (DRIAS-2020)
Sewen-Lac Alfeld	Moyenne	2 462	2 201	2 139
	Ecart-type	413	265	650
Nancy-Essey	Moyenne	782	821	813
	Ecart-type	125	78	134
Metz	Moyenne	773	741	738
	Ecart-type	127	87	126

**Tableau 2-2 : valeurs moyennes des pluies annuelles (en mm) – 1980-2004.**

Aux stations de Nancy et Metz, situées sur le plateau lorrain, les moyennes interannuelles de précipitations sont proches. De même, les écart-types sont assez proches, le modèle IPSL donnant une variabilité interannuelle un peu moindre.

Sur Sewen, située en altitude, les écarts sont plus marqués : ceci peut s'expliquer par l'altitude, les points de grilles de la DRIAS n'étant pas situés exactement au même endroit que la station météorologique, les écarts d'altitude peuvent être importants. Cette observation est généralisable pour les postes météorologiques situés en altitude.

De manière générale, les moyennes interannuelles et la variabilité interannuelle sont correctement représentées par les modèles climatiques régionaux sur les zones de plateaux. En altitudes, les écarts peuvent être plus importants mais peuvent s'expliquer par la résolution des modèles climatiques (8 x 8 km<sup>2</sup>) et les forts gradients de précipitations sur les reliefs.

La répartition mensuelle des précipitations est correctement représentée par les deux modèles aux deux stations de Nancy et Metz. Sur le massif vosgien, les écarts sont un peu plus marqués en automne et hiver : le modèle IPSL est plus en adéquation avec les observations sur la période hivernale tandis que le modèle CNRM est plus en adéquation avec les observations sur la période automnale. Pour le printemps et l'été, les deux modèles sont plutôt cohérents avec les observations.

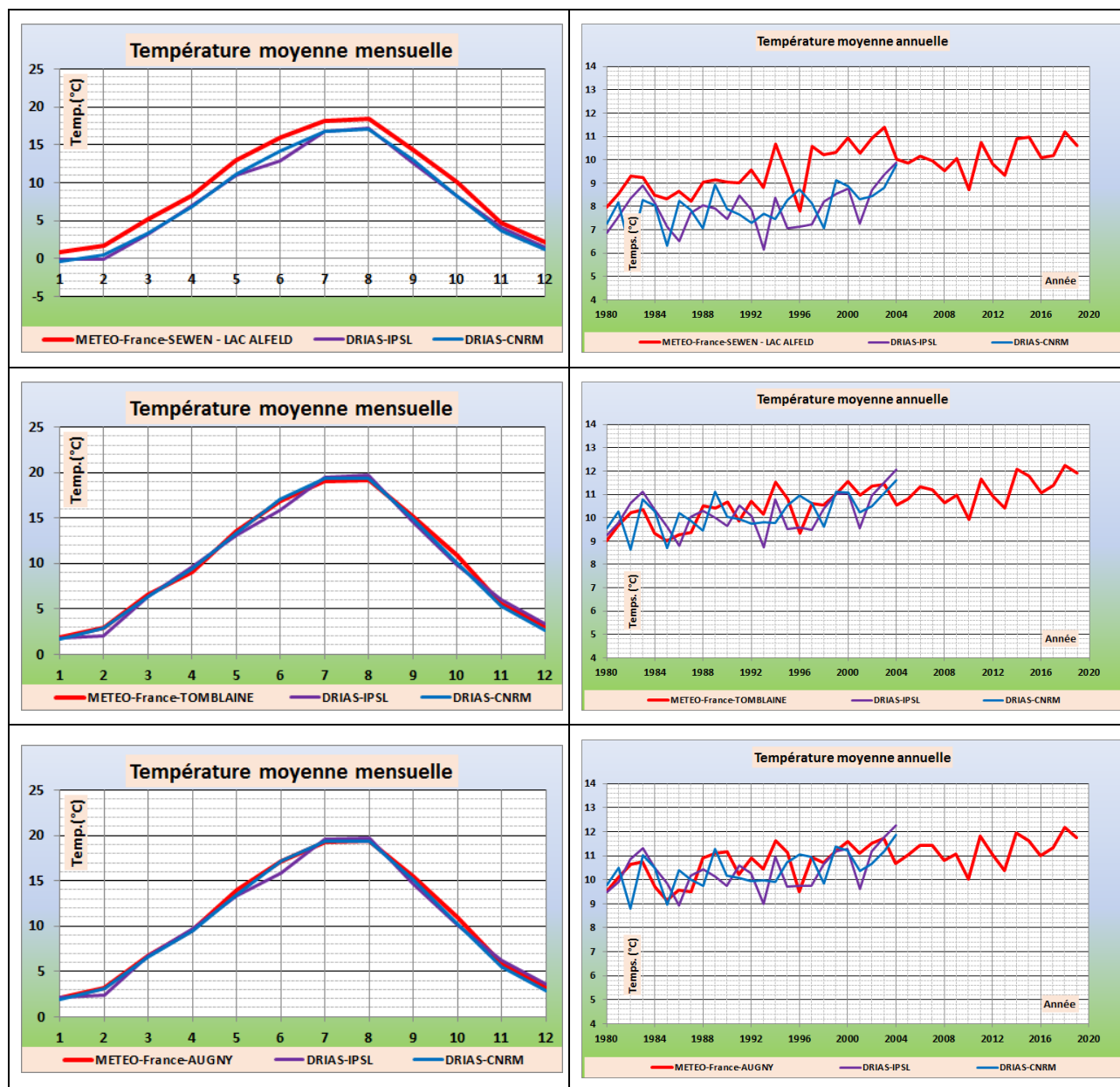
En conclusion, dans l'ensemble, les deux modèles climatiques IPSL et CNRM reproduisent de manière satisfaisante la variabilité et la saisonnalité des précipitations.

#### 2.3.2.2 Données de températures

De la même manière que pour les pluies, les données de températures ont été comparées.

Dans l'ensemble, les chroniques de températures reconstituées par les modèles climatiques sont beaucoup mieux corrélées avec les observations que les pluies.

Les figures suivantes comparent les données aux trois stations de Sewen-Lac Alfeld (amont bassin de la Moselle), Nancy-Essey (Tombelaine) et Metz (Augny).



**Tableau 2-3 : comparaison des températures « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux – période de 1980 à 2004.**

Le tableau suivant présente les moyennes et écart-types des températures moyennes annuelles aux trois mêmes stations :

Station	Grandeur	Observation (Météo-France)	IPSL – historical (DRIAS-2020)	CNRM – historical (DRIAS-2020)
Sewen-Lac Alfeld	Moyenne	9,4	7,9	8,0
	Ecart-type	1,0	0,9	0,9
Nancy-Essey	Moyenne	10,3	10,2	10,2
	Ecart-type	0,8	0,8	0,7
Metz	Moyenne	10,6	10,4	10,4
	Ecart-type	0,8	0,8	0,7

**Tableau 2-4 : valeurs moyennes des températures annuelles (en °C) – 1980-2004.**

Aux stations de Nancy et Metz, situées sur le plateau lorrain, les moyennes et écart-types sont très proches.

A la station de Sewen, les écarts sont plus marqués mais peuvent s'expliquer par les forts gradients liés à l'altitude, d'autant plus que ces écarts apparaissent relativement constants d'un mois à l'autre (pour le graphe des moyennes mensuelles) ou d'une année à l'autre (pour le graphe des moyennes annuelles).

Les répartitions moyennes mensuelles de températures sont bien représentées par les modèles climatiques régionaux : ainsi, la saisonnalité des températures est bien reproduite. De plus, les modèles climatiques reproduisent assez bien la trajectoire d'augmentation des températures observée depuis la fin des années 1980.

### 2.3.2.3 Synthèse

Les chroniques « historical » présentent des écarts parfois importants avec les chroniques observées ce qui est attendu. Les écarts sont plus notables sur les pluies mais les ordres de grandeurs sont bien respectés

Néanmoins, la saisonnalité des phénomènes, que ce soit la distribution des pluies ou les températures, est plutôt bien représentée par les modèles climatiques.

## 2.4 CONSTRUCTION DES CHRONIQUES D'ENTREE POUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE

### 2.4.1 INTRODUCTION

Par construction, les chroniques issues des modèles climatiques régionaux (chroniques « DRIAS ») ne peuvent directement utilisées comme données d'entrée dans le modèle hydrologique pour deux raisons principales :

- Elles sont biaisées par rapport aux observations (cf. 2.3.2) et Figure 2-3 ;
- Leur résolution spatiale est trop grossière (8 x 8 km<sup>2</sup>) : l'exemple de la station de Sewen-Lac Alfeld présenté au 2.3.2 illustre l'amplitude des écarts dans le massif vosgien où les gradients spatiaux sont très marqués.

A cela s'ajoute le fait que le modèle hydrologique a été calé à partir des données de pluies et de températures observées aux stations météorologiques (cf. rapport 20F-085-RP-3).

La Figure 2-3 illustre les biais introduits par la modélisation climatique régionale à la station d'Augny pour les pluies journalières du mois de juillet (l'échelle logarithmique en ordonnée permet de mettre en évidence les écarts) :

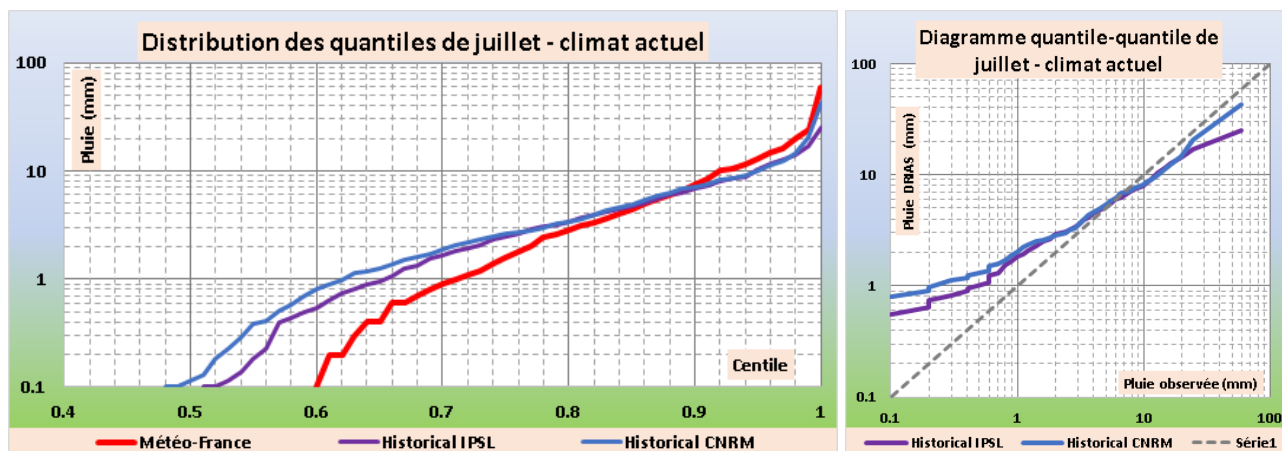


Figure 2-3 : distribution des quantiles de pluies journalières du mois de juillet à la station d'Augny (Metz).

Dans cet exemple, considérant les pluies journalières du mois de juillet à Augny, les modèles climatiques régionaux (CNRM et IPSL) ont tous deux tendance à sur-estimer les faibles quantiles par rapport aux observations et, au contraire, à sous-estimer les forts quantiles.

Ainsi, pour quantifier l'impact du changement climatique sur les débits des cours d'eau, il convient de corriger ces biais pour chacune des variables (pluie et température), sur chaque station utilisée en entrée du modèle hydrologique (36 stations pluviométriques, 8 stations de températures).

L'approche retenue est une approche quantile-quantile. Afin de bien tenir compte de la saisonnalité des phénomènes météorologiques, elle est appliquée mois par mois.

## 2.4.2 CORRECTION DES BIAIS PAR APPROCHE CENTILE-CENTILE

### 2.4.2.1 Méthodologie

Compte tenu des écarts constatés entre les observations et les résultats des modèles climatiques régionaux, des méthodes de correction des biais sont mises en œuvre pour corriger les données de pluies et de températures afin d'ajuster la distribution statistique des données des modèles climatiques à la distribution statistique des données observées.

Dans le cadre de la présente étude, une correction centile-centile est appliquée :

- Pour chaque mois, les 100 quantiles (pas de 1 %) de la distribution des données journalières (pluies et températures) sont déterminés sur la période commune de référence de 1980 à 2004. L'opération est réalisée sur les données observées et sur les chroniques issues de chaque modèle climatique (chroniques « historique », court et moyen terme) ;
- **La correction des températures s'effectue avec un facteur d'écart.** Pour chaque centile, l'écart de température entre la période future et la période « historique » est calculé. A noter que les corrections sont calculées pour les températures moyennes journalière : la même correction est appliquée pour les températures minimales et maximales ;



- **La correction des précipitations s'effectue avec un facteur multiplicatif.** La principale difficulté liée aux pluies est le traitement des valeurs nulles (jours sans pluie). Les comparaisons entre chroniques « historiques » et chroniques futures issues des modèles climatiques ne montrent pas de modification significative du nombre de jour sans pluie. Ainsi, le parti pris est d'appliquer un coefficient de 0 pour les jours sans pluies (pas de correction donc).

Au total, 12 mois x 101 centiles<sup>1</sup>, soit 1 212 facteurs correctifs sont calculés pour chacun des deux paramètres météorologiques, pour chaque station utilisée dans le modèle hydrologique.

Une fois l'ensemble des facteurs correctifs déterminés, ils sont appliqués aux chroniques observées pour construire les chroniques de pluies et de températures du climat futur à utiliser en entrée du modèle hydrologique.

Pour les pluies, la formulation suivante est appliquée :

$$P_{m-x\%}(\text{GESRES futur}) = \alpha_{m-x\%}(\text{scénario futur}) \times P_{m-x\%}(\text{Observé})$$

avec  $P_{m-x\%}(\text{GESRES futur})$  la pluie journalière du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  de la chronique du climat futur en entrée du modèle hydrologique,  $P_{m-x\%}(\text{Observé})$  la pluie journalière du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  de la chronique observée,  $\alpha_{m-x\%}(\text{scénario futur})$  le facteur correctif de la pluie du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  du scénario choisi (RCP 4.5 2030, RCP 4.5 2050, RCP 8.5 2030 ou RCP 8.5 2050).

Pour les températures, la formulation suivante est appliquée :

$$T_{m-x\%}(\text{GESRES futur}) = \beta_{m-x\%}(\text{scénario futur}) + T_{m-x\%}(\text{Observé})$$

avec  $T_{m-x\%}(\text{GESRES futur})$  la température journalière du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  de la chronique du climat futur en entrée du modèle hydrologique,  $T_{m-x\%}(\text{Observé})$  la température journalière du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  de la chronique observée,  $\beta_{m-x\%}(\text{scénario futur})$  le facteur correctif de la température du mois  $m$ , de quantile  $x\%$  du scénario choisi (RCP 4.5 2030, RCP 4.5 2050, RCP 8.5 2030 ou RCP 8.5 2050).

#### 2.4.2.2 Vérification des évolutions/tendances

Une fois les chroniques de climat futur construites, il est vérifié que ces chroniques « réalisent », ou reproduisent, bien les mêmes évolutions que celles issues des simulations des modèles climatiques régionaux.

Pour ce qui concerne les températures, les évolutions sont plutôt bien « réalisées », comme l'illustre l'exemple de l'application de la méthode à Metz-Augny (cf. Tableau 2-5). Les évolutions des températures obtenues avec les chroniques d'entrées du modèle hydrologique sont très proches des évolutions de températures obtenues avec les chroniques issues des modèles climatiques régionaux (« chroniques DRIAS »).

<sup>1</sup> : le centile 0 est utilisé.

Chroniques DRIAS					Chroniques d'entrée GESRES <sub>ISL</sub>				
1980-2004	RCP 4.5 2030	RCP 4.5 2050	RCP 8.5 2030	RCP 8.5 2050	1980-2004	RCP 4.5 2030	RCP 4.5 2050	RCP 8.5 2030	RCP 8.5 2050
Janvier	1.2	1.9	0.7	2.0	Janvier	1.3	1.9	0.7	2.0
Février	1.3	2.1	1.1	1.7	Février	1.3	2.1	1.1	1.7
Mars	0.6	1.9	0.6	2.0	Mars	0.6	1.8	0.6	2.0
Avril	0.7	1.3	1.6	1.4	Avril	0.8	1.3	1.7	1.4
Mai	1.8	1.9	1.5	1.8	Mai	1.8	1.7	1.4	1.8
Juin	0.7	0.3	0.9	1.7	Juin	0.6	0.2	1.0	1.6
Juillet	1.6	1.4	1.1	2.0	Juillet	1.6	1.3	1.1	1.9
Août	1.4	1.6	0.8	1.3	Août	1.4	1.8	0.8	1.3
Septembre	1.1	2.1	1.1	2.1	Septembre	1.1	2.1	1.1	2.1
Octobre	1.0	1.3	1.1	2.5	Octobre	1.0	1.5	1.0	2.5
Novembre	1.2	0.8	0.5	2.1	Novembre	1.2	1.0	0.5	2.0
Décembre	1.2	0.8	0.0	1.9	Décembre	1.2	0.9	0.0	1.9
ANNUEL	1.2	1.4	0.9	1.9	ANNUEL	1.2	1.5	0.9	1.9

**Tableau 2-5 : évolutions des températures par rapport à la période de référence. A gauche, évolutions calculées d'après les chroniques des modèles climatiques régionaux. A droite évolutions calculées à partir des chroniques construites sur la base des observations.**

Pour ce qui concerne les pluies, des écarts importants peuvent être obtenus selon les stations et selon les mois. Ceci est lié à des facteurs de correction qui peuvent être très élevés pour certains centiles : en particulier, les centiles correspondant aux cumuls journaliers les plus faibles ainsi que les derniers centiles correspondant aux plus fortes précipitations.

En conséquence, des corrections manuelles sont apportées aux facteurs de correction afin d'ajuster les évolutions au mieux. Ces corrections manuelles s'appliquent dans l'ensemble aux quantiles correspondant aux forts cumuls comme illustré sur la figure suivante :

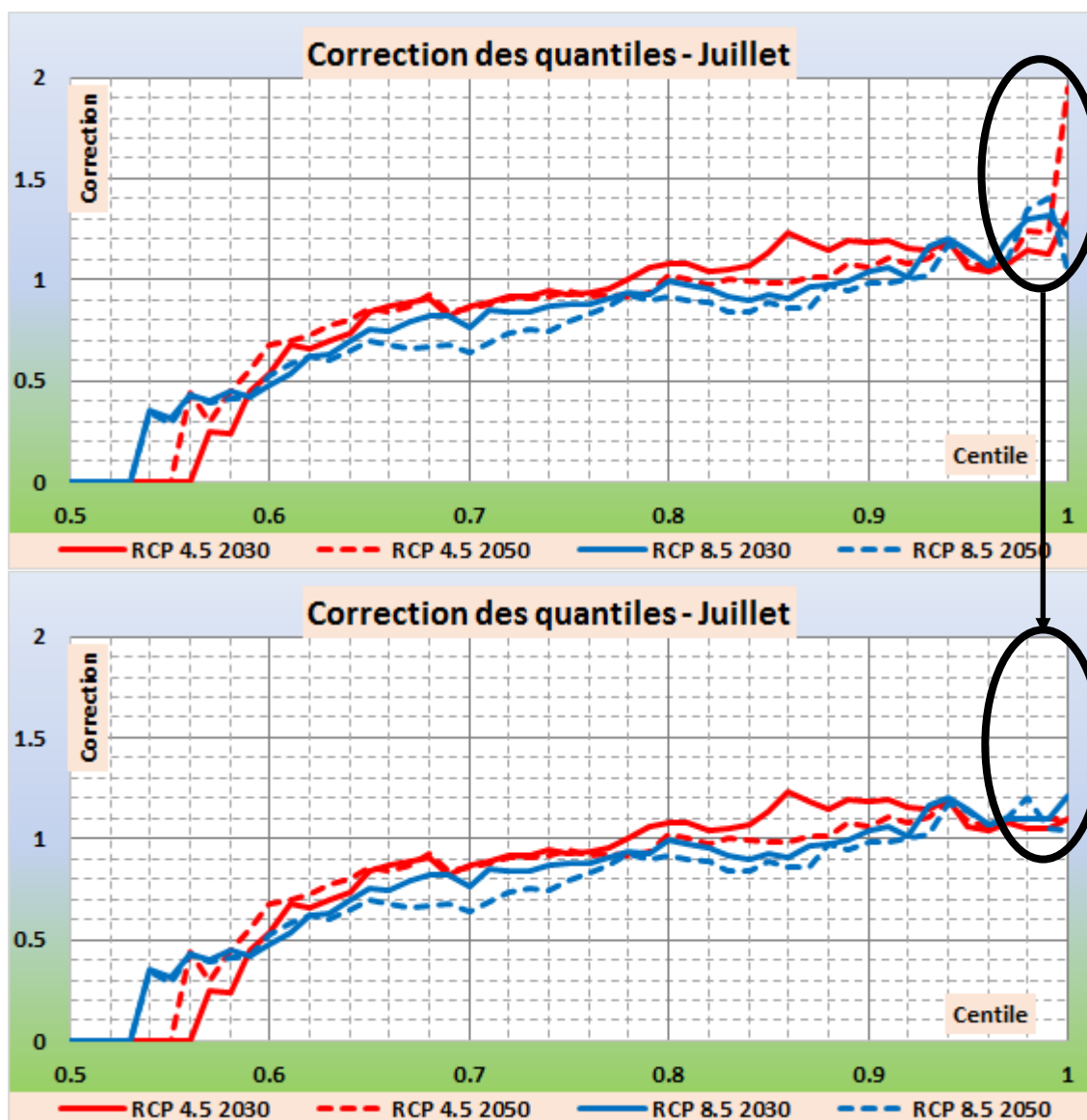


Figure 2-4 : distribution des coefficients de correction quantile par quantile (station d'Augny, mois de juillet) – en haut, sans correction, en bas, avec correction.

Le Tableau 2-6 illustre le cas de la station de Metz-Augny : après corrections manuelles, l'évolution des pluies mensuelles et annuelles est du même ordre de grandeur entre les chroniques d'entrées du modèle hydrologique et les chroniques issues des modèles climatiques régionaux (« chroniques DRIAS »).



Chroniques DRIAS					Chroniques d'entrée GESRES <sub>ISL</sub>				
1980-2004	RCP 4.5 2030	RCP 4.5 2050	RCP 8.5 2030	RCP 8.5 2050	1980-2004	RCP 4.5 2030	RCP 4.5 2050	RCP 8.5 2030	RCP 8.5 2050
Janvier	13%	21%	12%	25.2%	Janvier	14%	21%	12%	24.7%
Février	17%	28%	19%	38.1%	Février	16%	27%	20%	39.3%
Mars	17%	17%	-8%	10.9%	Mars	17%	18%	-7%	10.4%
Avril	1%	-3%	4%	4.9%	Avril	0%	-3%	5%	6.2%
Mai	-8%	-6%	-10%	-1.5%	Mai	-8%	-6%	-9%	-0.7%
Juin	5%	-2%	28%	1.8%	Juin	5%	-4%	27%	1.4%
Juillet	9%	9%	6%	1.4%	Juillet	9%	9%	6%	2.5%
Août	34%	11%	19%	38.6%	Août	35%	10%	18%	38.1%
Septembre	4%	2%	40%	26.9%	Septembre	5%	4%	39%	27.0%
Octobre	23%	30%	5%	3.9%	Octobre	23%	29%	5%	3.4%
Novembre	1%	11%	1%	-4.7%	Novembre	1%	11%	-1%	-5.1%
Décembre	32%	26%	-16%	-1.7%	Décembre	32%	27%	-17%	-1.5%
ANNUEL	12%	12%	7%	10.7%	ANNUEL	13%	13%	8%	11.2%

**Tableau 2-6 : évolutions des précipitations par rapport à la période de référence. A gauche, évolutions calculées d'après les chroniques des modèles climatiques régionaux. A droite évolutions calculées à partir des chroniques construites sur la base des observations.**

### 2.4.3 APPLICATION A LA CHRONIQUE COMPLETE 1980-2020

Les coefficients de correction ainsi calculés et corrigés (pour ce qui concerne les pluies) sont ensuite appliqués à la chronique complète sur la période 1980-2020, toujours avec la même approche centile-centile.

Ainsi, pour les 36 postes pluviométriques et les 8 postes de températures utilisées dans la modélisation hydrologique, les chroniques suivantes sont disponibles :

- Chronique de pluies et températures journalières du 01/01/1980 au 01/09/2020 (données Météo-France) ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 4.5 à court terme ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 8.5 à court terme ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 4.5 à moyen terme ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 8.5 à moyen terme.

## 3 RESULTATS DES SIMULATIONS – PROJECTIONS HYDROLOGIQUES

### 3.1 EVOLUTION DES DEBITS FUTURS – ANALYSE SPATIALISEE

#### 3.1.1 DEBITS MOYENS

Les cartes 2 à 5 présentées en ANNEXE 1 donnent les évolutions des débits moyens annuels pour chaque sous-bassin versant du modèle hydrologique.

Les mêmes cartes sont reproduites dans le Tableau 3-1.

Globalement, les quatre scénarios conduisent à une augmentation des débits moyens sur l'ensemble du bassin versant de la Moselle française. Seul le scénario CNRM RCP 8.5 à court terme présente un sous-bassin versant (le plus aval) avec une diminution du débit moyen.

Les évolutions sont plus marquées pour les scénarios IPSL RCP 4.5. Elles sont un peu plus modérées pour les scénarios CNRM RCP 8.5.

Les sous-bassins compris entre Epinal et Raon-l'Etape à l'amont et Nancy à l'aval font apparaître une augmentation plus marquée par rapport aux autres sous-bassins versants.

Les quatre cartes font apparaître une augmentation forte des modules au voisinage de Bayon : cela s'explique par une augmentation des précipitations localement plus marquée sur le point DRIAS voisin de la station de Bayon.

En aval de la confluence de la Moselle avec la Meurthe, les évolutions sont assez homogènes sur les différents sous-bassins versants pour les scénarios IPSL RCP 4.5. Pour les scénarios CNRM RCP 8.5, les évolutions entre sous-bassins versants sont un peu plus différenciées. Ces observations sont à mettre en regard avec les évolutions de précipitations issues des modèles DRIAS (cf. ANNEXE 3) : les évolutions de précipitations sur la partie aval du bassin de la Moselle française sont ainsi plus homogènes pour les scénarios IPSL RCP 4.5 que pour les scénarios CNRM RCP 8.5.

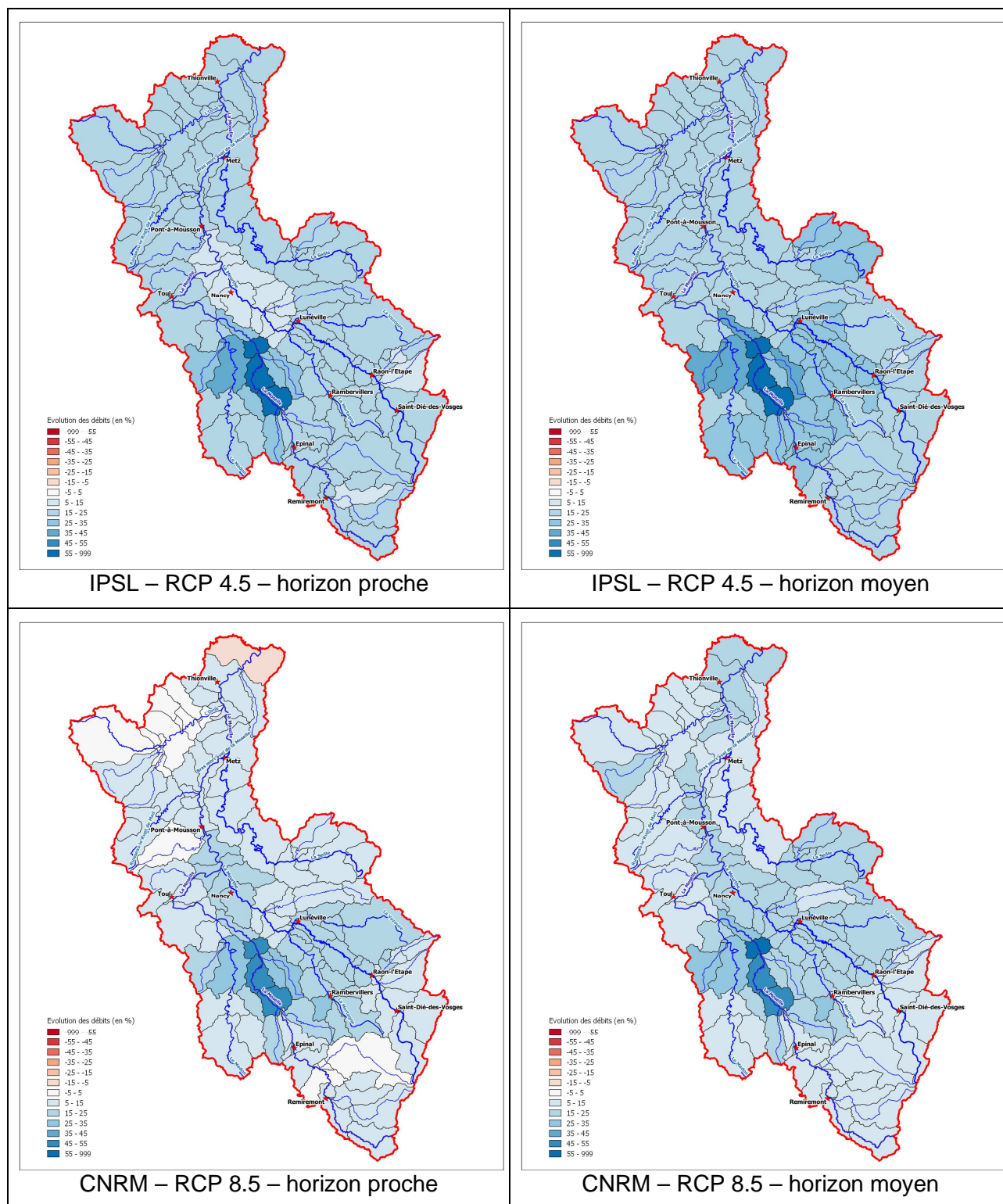
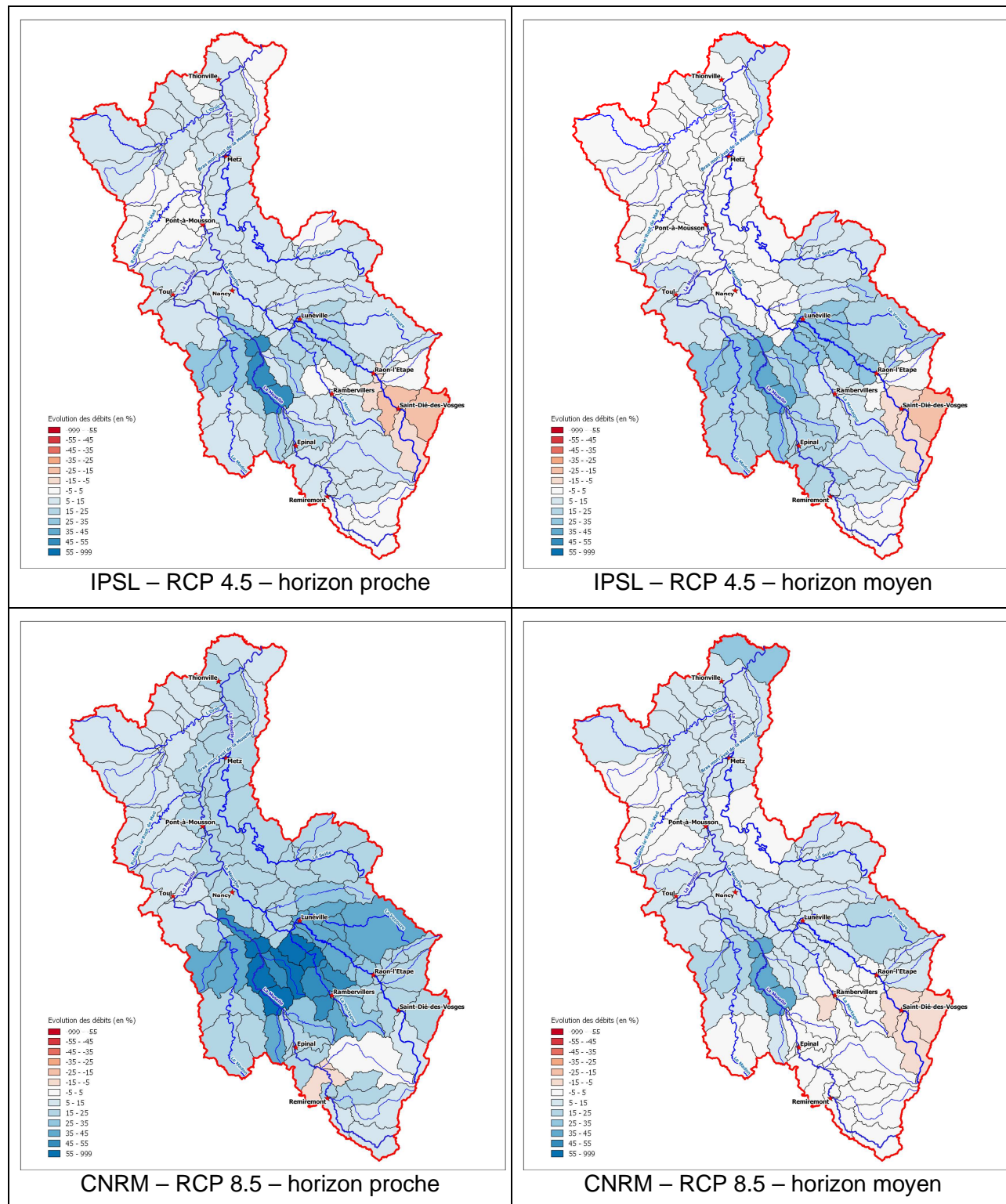


Tableau 3-1 : évolution des débits moyens par sous-bassin versant.

### 3.1.2 DEBITS D'ETIAGES – QMNA5

Les cartes 6 à 9 présentées en ANNEXE 1 donnent les évolutions des débits d'étiage pour chaque sous-bassin versant du modèle hydrologique.

Les mêmes cartes sont reproduites dans le Tableau 3-2 :



**Tableau 3-2 : évolution des débits d'étiages (QMNA5) par sous-bassin versant.**

Concernant les débits d'étiage, les évolutions apparaissent plus contrastées que pour les débits moyens.

Ainsi, pour trois des scénarios, les débits d'étiage sur la Meurthe amont sont en diminution. A contrario, le scénario CNRM RCP 8.5 à court terme (horizon proche) donne une évolution plutôt positive des débits d'étiage sur la Meurthe amont.

Pour le reste, les évolutions sont dans l'ensemble plutôt faiblement positives. A noter, de la même manière que pour les débits moyens, une évolution plus marquée sur les sous-bassins compris entre Epinal et Raon-l'Etape à l'amont et Nancy à l'aval.

## 3.2 EVOLUTION DES DEBITS FUTURS – STATIONS PRINCIPALES

Les évolutions des débits futurs sont présentées pour plusieurs stations principales du bassin versant de la Moselle et ses affluents.

Pour les débits de crues, les évolutions sont calculées à partir du débit moyen sur la durée caractéristique (cf. rapport 20F085-RP-2).

### 3.2.1 DEBITS MOYENS

Les évolutions des débits moyens pour chaque scénario aux principales stations du bassin versant de la Moselle française sont données dans le Tableau 3-3 :

Station	Référence (m3/s)	IPSL RCP 4.5		CNRM RCP 8.5	
		proche	moyen	proche	moyen
Moselle à Epinal	40,0	+18 %	+21 %	+6 %	+11 %
Madon à Pulligny	11,1	+26 %	+31 %	+15 %	+19 %
Moselle à Toul	64,2	+22 %	+26 %	+11 %	+15 %
Meurthe à Saint-Dié-des-Vosges	7,9	+18 %	+21 %	+11 %	+11 %
Meurthe à Raon-l'Etape	15,3	+17 %	+20 %	+12 %	+12 %
Vezouze à Lunéville	7,0	+20 %	+24 %	+16 %	+18 %
Meurthe à Laneuveville-devant-Nancy	40,2	+18 %	+22 %	+15 %	+14 %
Moselle à Custines	114,1	+20 %	+23 %	+12 %	+15 %
Seille à Metz	11,2	+21 %	+24 %	+11 %	+16 %
Orne à Rosselange	11,0	+20 %	+21 %	+5 %	+13 %
Moselle à Uckange	147,9	+20 %	+23 %	+11 %	+15 %

Tableau 3-3 : évolution des débits moyens pour chaque scénario simulé.

L'augmentation des débits moyens est assez marquée pour l'ensemble des stations et pour tous les scénarios, hormis la Moselle amont à Epinal et l'Orne à Rosselange pour le scénario CNRM RCP 8.5 à court terme, l'évolution y étant plus modérée.

L'impact des scénarios IPSL RCP 4.5 est plus significatif : autour de 20 % d'augmentation pour le court terme et autour de 25 % d'augmentation pour le moyen terme.

Pour les scénarios CNRM RCP 8.5, l'augmentation est de l'ordre de 10 à 15 % à court terme (hormis Orne et Moselle à Epinal) et de 15 à 20 % sur le moyen terme.

### 3.2.2 DEBITS D'ÉTIAGES

Les évolutions des débits d'étiages pour chaque scénario aux principales stations du bassin versant de la Moselle française sont données dans le Tableau 3-4 :

Station	Référence (m3/s)	IPSL RCP 4.5		CNRM RCP 8.5	
		proche	moyen	proche	moyen
Moselle à Epinal	5,2	+5 %	+6 %	+9 %	-
Madon à Pulligny	0,6	+22 %	+26 %	+32 %	+14 %
Moselle à Toul	7,3	+13 %	+16 %	+20 %	+7 %
Meurthe à Saint-Dié-des-Vosges	1,2	-16 %	-11 %	+12 %	-9 %
Meurthe à Raon-l'Étape	2,3	-12 %	-6 %	+15 %	-4 %
Vezouze à Lunéville	0,5	+13 %	+24 %	+38 %	+18 %
Meurthe à Laneuveville-devant-Nancy	5,0	+2 %	+9 %	+25 %	+4 %
Moselle à Custines	16,9	+7 %	+11 %	+17 %	+4 %
Seille à Metz	0,9	+7 %	+7 %	+24 %	+10 %
Orne à Rosselange	0,9	+7 %	+3 %	+9 %	+8 %
Moselle à Uckange	20,3	+8 %	+11 %	+17 %	+5 %

**Tableau 3-4 : évolution des débits d'étiage pour chaque scénario simulé.**

Les évolutions des débits d'étiage sont plus contrastées que pour les débits moyens.

Concernant la Meurthe amont, une diminution est calculée pour trois des scénarios, seul le scénario CNRM RCP 8.5 à court terme montrant une augmentation.

Sur la Moselle amont à Epinal, les évolutions sont relativement faibles pour les quatre scénarios. Les évolutions sont par contre assez marquées sur le Madon, sur la Moselle à Toul et sur la Vezouze : cette observation rejoint le constat fait au paragraphe 3.1.2 mettant en évidence une évolution plus marquée sur les sous-bassins compris entre Epinal et Raon-l'Étape à l'amont et Nancy à l'aval.

Plus généralement, le scénario CNRM RCP 8.5 à court terme présente des augmentations des débits d'étiages plus sensibles sur l'ensemble du bassin versant en comparaison des trois autres scénarios simulés.



### 3.2.3 DEBITS DE CRUES

Les évolutions des débits de crue décennale pour chaque scénario aux principales stations du bassin versant de la Moselle française sont données dans le Tableau 3-5 :

Station	Référence Q(T=10 ans) (m3/s)	IPSL RCP 4.5		CNRM RCP 8.5	
		proche	moyen	proche	moyen
Moselle à Epinal	611	+37 %	+51 %	+7 %	+23 %
Madon à Pulligny	253	+34 %	+47 %	+19 %	+32 %
Moselle à Toul	1 010	+37 %	+49 %	+13 %	+26 %
Meurthe à Saint-Dié-des-Vosges	115	+34 %	+52 %	+20 %	+31 %
Meurthe à Raon-l'Etape	187	+33 %	+54 %	+21 %	+31 %
Vezouze à Lunéville	153	+28 %	+51 %	+37 %	+43 %
Meurthe à Laneuveville-devant-Nancy	486	+27 %	+47 %	+26 %	+32 %
Moselle à Custines	1 453	+33 %	+47 %	+15 %	+27 %
Seille à Metz	127	+37 %	+52 %	+12 %	+26 %
Orne à Rosselange	250	+28 %	+34 %	+21 %	+37 %
Moselle à Uckange	1 588	+33 %	+43 %	+12 %	+26 %

**Tableau 3-5 : évolution des débits de crue décennale pour chaque scénario simulé.**

Les évolutions sont calculées à partir des débits moyens sur la durée caractéristique (exprimée en jours). Il est supposé que le rapport entre le débit de pointe des crues et le débit moyen sur la durée caractéristique n'est pas modifié par le changement climatique.

Les quatre scénarios simulent une augmentation des débits de crues sur l'ensemble du bassin versant et des affluents. Cette augmentation est plus ou moins marquée selon les cours d'eau et les scénarios.

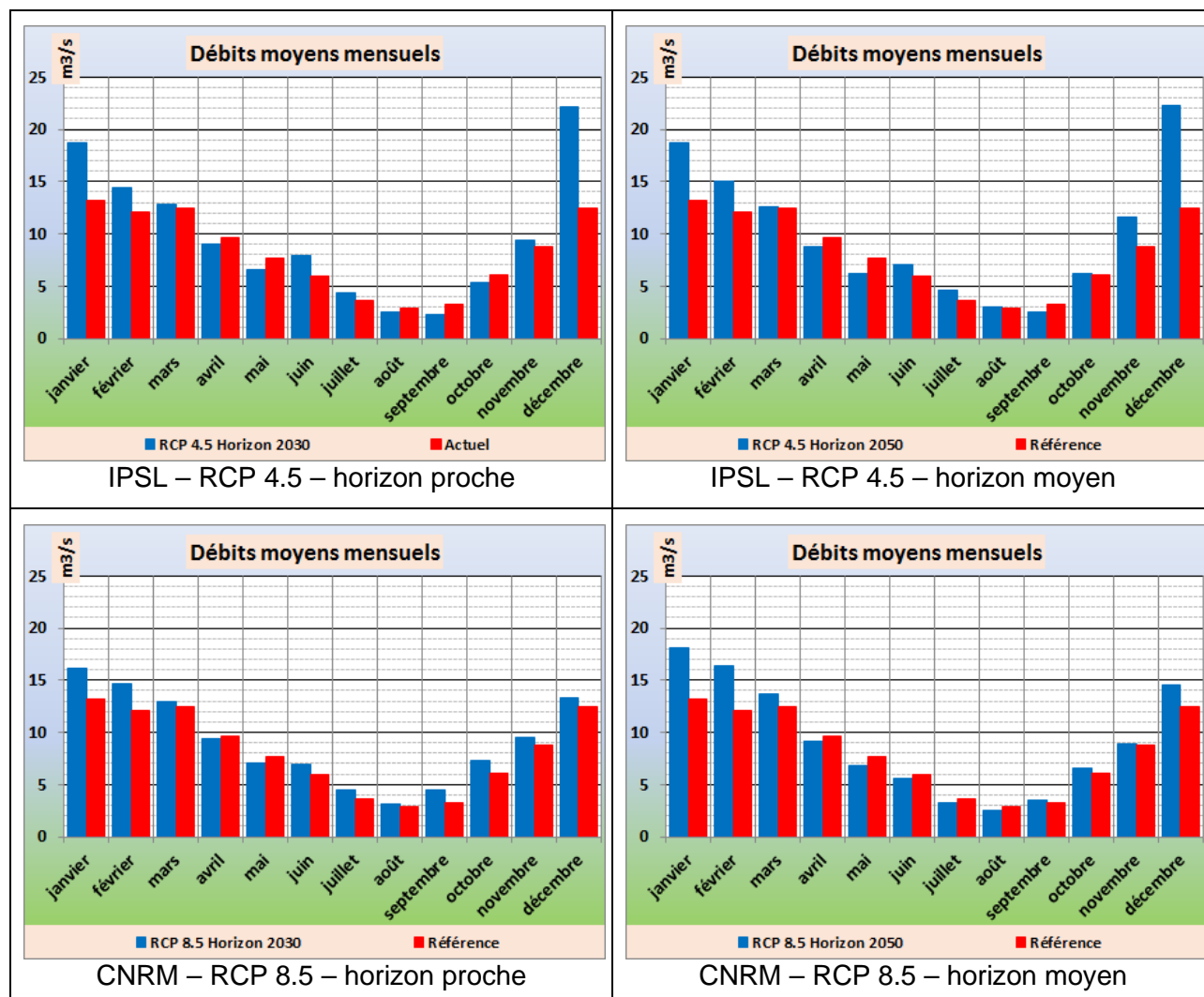
Les scénarios IPSL RCP 4.5 donnent des augmentations significatives des débits de crue à court comme à moyen terme : à court terme, les augmentations sont de l'ordre de 30 à 35 %, à moyen terme, elles atteignent 45 à 50 %.

Les augmentations calculées pour les scénarios CNRM RCP 8.5 sont plus modérées : de l'ordre de 15 à 25 % à court terme et de l'ordre de 25 à 35 % à moyen terme.

Ces écarts de comportement entre les scénarios IPSL RCP 4.5 et CNRM RCP 8.5 s'expliquent par la différence dans l'évolution des pluviométries en période hivernale, illustrées par les figures de l'ANNEXE 3 : les scénarios IPSL RCP 4.5 donnent des augmentations de précipitations sur la période hivernale sensiblement plus marquées que les scénarios CNRM RCP 8.5.

De plus, toujours sur cette période hivernale, l'augmentation des températures est également plus marquée pour les scénarios IPSL RCP 4.5 (cf. ANNEXE 2).

En complément, le Tableau 3-6 présente les débits mensuels moyens calculés à la station de Saint-Dié-des-Vosges sur la Meurthe. Ces graphiques mettent en évidence la forte augmentation des débits moyens sur les mois de décembre et janvier pour les scénarios IPSL RCP 4.5



**Tableau 3-6 : débits moyens mensuels à Saint-Dié-des-Vosges sur la Meurthe pour les quatre scénarios simulés.**



### 3.3 DISCUSSION

Les résultats obtenus doivent être traités avec beaucoup de prudence compte tenu des fortes incertitudes pesant sur les données d'entrées (données issues des modèles climatiques régionalisées) et sur les méthodes (modélisation, échantillonnage, traitements statistiques, etc.).

Dans le cadre du projet MOSARH21 (cf. [2]), une analyse des incertitudes a été menée et a mis en évidence la forte sensibilité des résultats aux données d'entrées issues des modèles climatiques régionaux, les incertitudes liées aux modélisations demeurant faibles.

Les nouvelles estimations réalisées dans la présente étude illustrent cette forte sensibilité aux données d'entrée dans la mesure où les résultats obtenus diffèrent sensiblement de ceux obtenus dans le cadre du projet MOSARH21 pour les scénarios équivalents (IPSL RCP 4.5 et CNRM RCP 8.5). Ces écarts peuvent s'expliquer en grande partie par les évolutions de pluviométries, très différentes entre les données DRIAS de 2014 (utilisées dans le cadre du projet MOSARH21) et les données DRIAS de 2020 (utilisées pour la présente étude).

Ces évolutions très différentes des précipitations sont illustrées sur les figures suivantes :

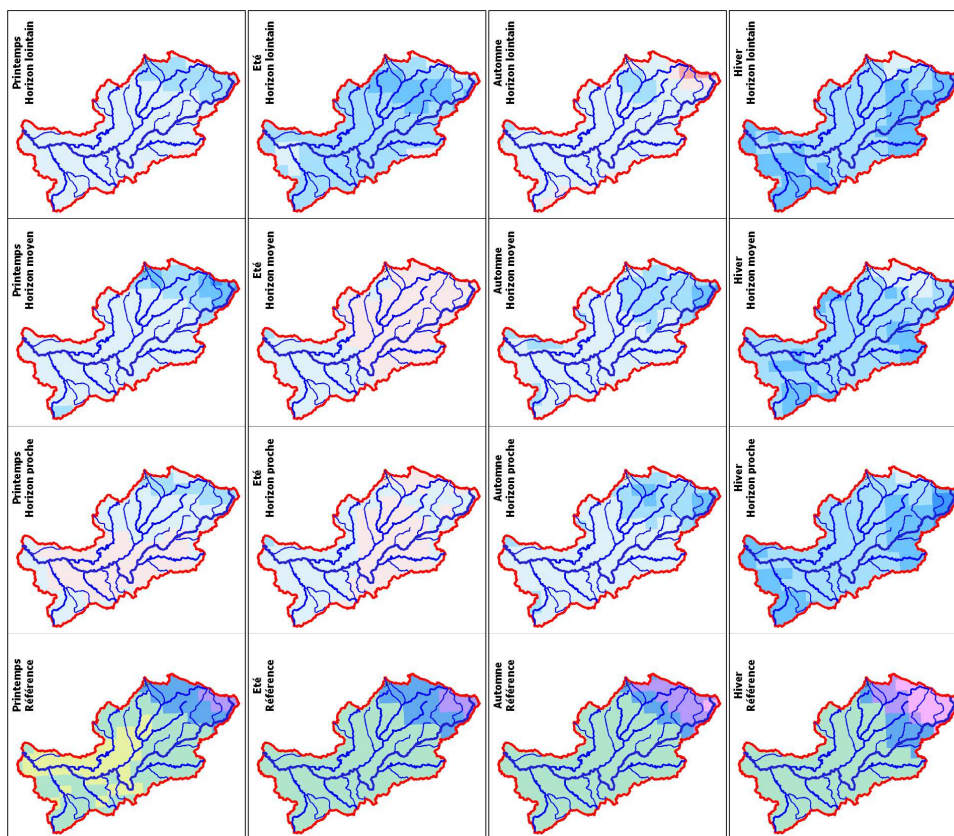


Figure 3-1 : évolution de la pluviométrie – IPSL RCP 4.5 – DRIAS 2014.

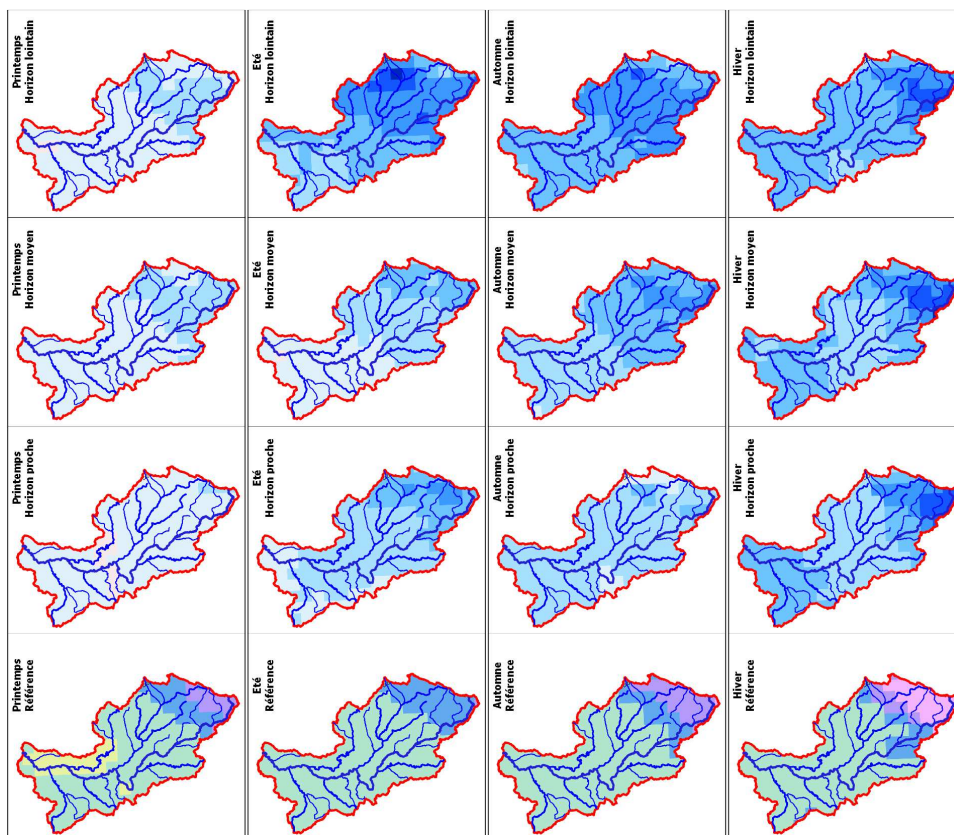


Figure 3-2 : évolution de la pluviométrie – IPSL RCP 4.5 – DRIAS 2020.

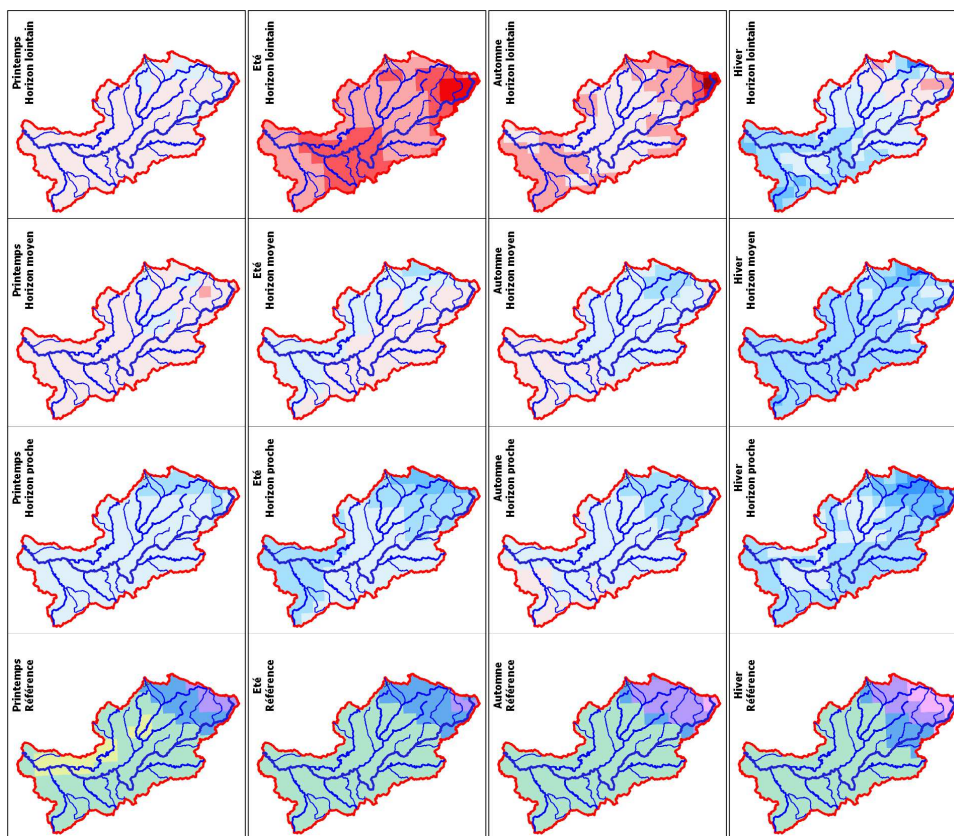


Figure 3-3 : évolution de la pluviométrie – CNRM RCP 8.5 – DRIAS 2014.

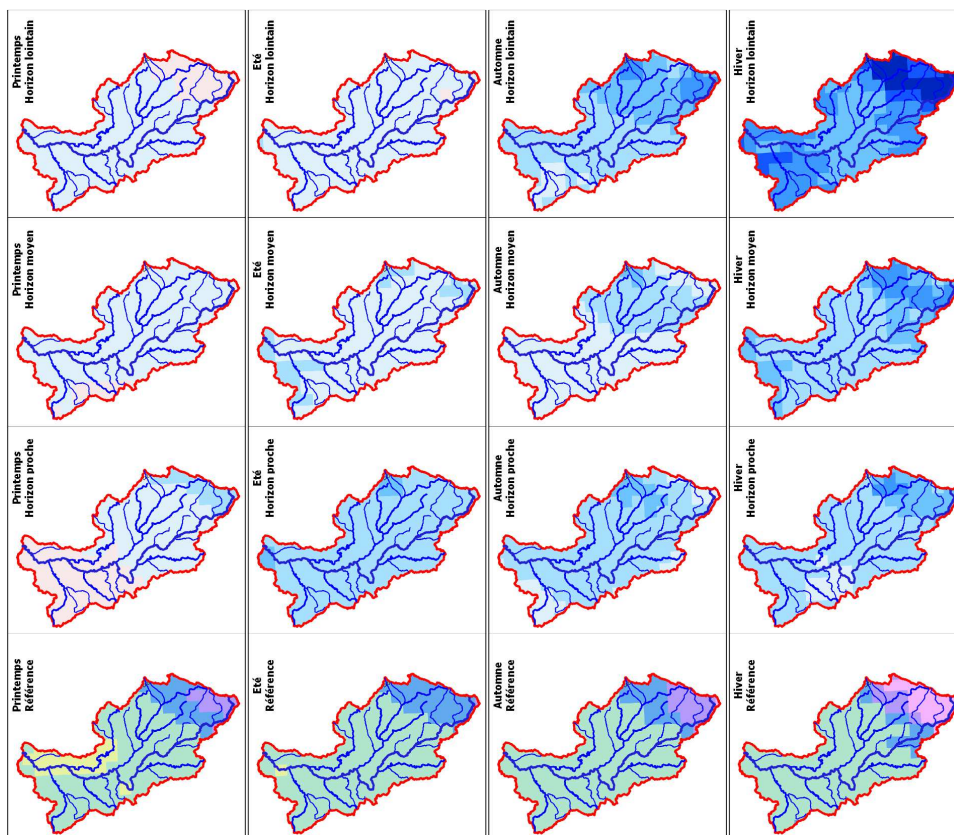


Figure 3-4 : évolution de la pluviométrie – CNRM RCP 8.5 – DRIAS 2020.

Ainsi, les données DRIAS de 2020 donnent, de manière générale, des augmentations des précipitations sur l'ensemble du bassin de la Moselle, pour tous les scénarios et en toutes saisons. A quelques exceptions près : baisse de précipitation au printemps sur la Moselle aval (CNRM à court terme) et sur la Moselle amont (CNRM à long terme).

Les évolutions issues des données DRIAS de 2014 sont beaucoup plus contrastées, avec notamment des situations de baisse des précipitations plus nombreuses et sur de grandes étendues du bassin versant de la Moselle.

Les calculs menés pour l'estimation de l'impact du changement climatique utilisent le modèle hydrologique en version « naturelle » c'est-à-dire sans prendre en compte les prélèvements, rejets et ouvrages de stockage. Les calculs en état futur ne tiennent pas compte des évolutions anthropiques : évolutions des prélèvements/rejets, évolutions de l'occupation du sol,...



## 4 BIBLIOGRAPHIE

- [1] SAFEGE, «Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est - Evaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions,» Région Grand-Est, 2020.
- [2] G. THIREL, «Rapport final du projet MOSARH21 - Evolutions des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de changement climatique,» IRSTEA, 2018.
- [3] C. LANG, «Etiages et tarissements : vers quelles modélisations? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français.,» Université de Metz - CEGUM, 2007.
- [4] A. VALERY, «Modélisation précipitations-débit sous influence nivale - Elaboration d'un module neige et évaluation sur 380 bassins versants,» AgroParis Tech - CEMAGREF, 2010.
- [5] J. BOE, «Changement global et cycle hydrologique - une étude de régionalisation sur la France,» Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2007.
- [6] M. NICOLAS, «Impact du changement climatique sur les débits du XXI<sup>e</sup> siècle en France : une estimation avec les nouvelles projections du GIEC (CMIP5) et le modèle hydrologique de l'IRTEA (GR),» Université Pierre et Marie Curie - Paris, 2014.
- [7] G. DAYON, «Evolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies,» Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2015.
- [8] G. DROGUE, «Etudes hydro-climatiques régionales - Applications à l'évolution du climat et aux écoulements de rivière dans un espace transfrontalier,» Université Paris Diderot - Paris 7 - LOTERR, 2013.

## ANNEXE 1      CARTOGRAPHIES

## ANNEXE 2      EVOLUTION DES TEMPERATURES SUR LE BASSIN DE LA MOSELLE – DRIAS 2020

## ANNEXE 3      EVOLUTION DES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN DE LA MOSELLE – DRIAS 2020