



Syndicat de la
**VALLEE DE
L'OGNON**

Rapport

N° : 24F-131-RL-2

Révision n° : A

Date : 21/01/2026

Votre contact :
Charlotte LOGVINENKO
logvinenko@isl.fr

SYNDICAT DE LA VALLEE DE L'OGNON

ETUDE PROSPECTIVE SUR LA RESSOURCE EN EAU DU BASSIN VERSANT DE L'OGNON



// Etude du changement climatique

ISL Ingénierie SAS – LYON
83-85 boulevard Marius Vivier Merle
Immeuble LE PANORAMIC
69003 – Lyon
France
Tel : +33.4.27.11.85.00
Fax : +33.1.40.34.63.36



www.isl.fr

Visa

Document verrouillé du 21/01/2026.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	21/01/2026	CLK	CLK	BSE	

BSE : SEUROT Benjamin

CLK : LOGVINENKO Charlotte

Rapport ISL
24F-131-RL-2
Revision A
Etude prospective sur la ressource en eau du
<http://www.isl.fr/r.php?c=280898>



SOMMAIRE

0	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	1
0.1	CONTEXTE GENERAL	1
0.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	1
0.3	PHASAGE DE L'ETUDE	2
0.4	RAPPEL DES RESULTATS DE LA PHASE B (DIAGNOSTIC)	2
0.4.1	Définition des débits spécifiques.....	2
0.4.1.1	QMNA.....	2
0.4.1.2	VCN.....	2
0.4.1.3	Module.....	3
0.4.1.4	Débits classés	3
0.4.2	Etat actuel (influencé)	3
0.4.3	Etat actuel « désinfluencé » (naturel reconstitué).....	3
0.4.4	Comparaison de l'état désinfluencé (naturel) et influencé	4
0.4.4.1	Module.....	4
0.4.4.2	QMNA5.....	4
1	BESOINS ET PRELEVEMENTS (VOLET PROSPECTIF	
2050)	8	
1.1	METHODOLOGIE.....	8
1.2	FOCUS SUR LE DOCUMENT DE FRANCE STRATEGIE – COMITE NATIONAL DE	
L'EAU	8	
1.3	HYPOTHESES RETENUES PAR TYPE D'USAGES	9
1.3.1	Alimentation en eau potable (AEP).....	10
1.3.1.1	Tendances historiques.....	10
1.3.1.2	France Stratégie	10
1.3.1.3	Scénarios étudiés	11
1.3.2	Industries	14
1.3.2.1	Tendances historiques.....	14
1.3.2.2	France Stratégie	15
1.3.2.3	Scénarios étudiés	15
1.3.3	Abreuvement.....	15

1.3.3.1	Tendances historiques.....	15
1.3.3.2	France Stratégie	16
1.3.3.3	Scénarios étudiés	16
1.3.4	Irrigation	18
1.3.4.1	Tendances historiques.....	18
1.3.4.2	France Stratégie	18
1.3.4.3	Scénarios étudiés	18
1.3.5	Barrage de champagney.....	21
1.3.5.1	Tendances historiques.....	21
1.3.5.2	Scénarios étudiés	22
1.3.6	Stations d'épuration	22
1.3.6.1	Tendances historiques.....	22
1.3.6.2	Scénarios étudiés	22
1.3.7	Bilan des prélèvements et rejets.....	24
1.3.8	Nota sur les plans d'eau	25

2 VOLET CLIMAT – DESCRIPTION DU CLIMAT FUTUR ET DE SES IMPACTS26

2.1	INTRODUCTION – LE PROJET EXPLORE2	26
2.2	CHOIX DES NARRATIFS	26
2.3	METHODOLOGIE GENERALE	30
2.3.1	Traitement des données des modèles climatiques régionaux.....	31
2.3.1.1	Récupération des données	31
2.3.1.2	Comparaison des données observées aux postes météorologiques et des données des modèles climatiques régionaux.....	32
2.3.2	Construction des chroniques d'entrée pour la modélisation hydrologique 35	
2.3.2.1	Introduction.....	35
2.3.2.2	Correction des écarts par approche quantile-quantile	35
2.3.3	Application à la chronique complète 1993-2022	38
2.3.4	Comparaison des débits simulés aux données DRIAS	38
2.3.4.1	Débits classés	39
2.3.4.2	Débits moyens mensuels.....	43
2.4	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE FONCTIONNEMENT DES HYDROSYSTEMES (CPGF) 48	

2.4.1	Introduction	48
2.4.2	Méthodologie	48
2.4.3	Résultats	50
2.4.4	Conclusion	58
2.5	MODELISATION HYDROLOGIQUE : GESRES	59
2.5.1	Evolution du climat futur 2056-2068	59
2.5.1.1	Température	59
2.5.1.2	Pluies.....	60
2.5.1.3	Evapotranspiration réelle (ETR).....	60
2.5.2	Evolution de l'hydrologie naturelle	61
2.5.2.1	Module.....	62
2.5.2.2	Débit quinquennal sec QMNA5.....	64
2.5.3	Evolution de l'hydrologie influencée	66
2.5.3.1	Narratif de réchauffement climatique Aladin.....	66
2.5.3.2	Narratif de réchauffement climatique HadGem	73
2.5.4	Evolution des impacts des usages.....	78
2.5.4.1	Préambule	78
2.5.4.2	Module.....	79
2.5.4.3	QMNA5.....	80
2.5.5	Satisfaction des usages	81
2.5.5.1	Situation actuelle	82
2.5.5.2	Aladin	83
2.5.5.3	HadGem	85
2.6	CONCLUSION DES MODELISATIONS	87

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 CARTES ETUDE PROSPECTIVE DU BASSIN VERSANT 1

ANNEXE 2 EVOLUTIONS DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DE LA RECHARGE DE CHAQUE SOUS BASSIN VERSANT SUR LES DIFFERENTES PERIODES ET MODELES ETUDIES2

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Résultats de modélisation en état actuel influencé en m ³ /s - Période [1994 – 2023]	3
Figure 2 : Résultats de modélisation en état actuel désinfluencé en m ³ /s - Période [1994 – 2023]..	3
Figure 3 : Valeurs et comparaison des modules de l'état influencé et naturel	4
Figure 4 : Valeurs et comparaison des QMNA5 de l'état influencé et naturel	4
Figure 5: Ecart entre le module naturel et influencé sur la période 1994-2023	5
Figure 6: Ecart entre le QMNA5 naturel et influencé sur la période 1994-2023	6
Figure 7 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements AEP [2012-2021]	10
Figure 8 : Document France Stratégie, prélèvements pour le résidentiel	11
Figure 9 : Test de sensibilité sur l'évolution de la consommation selon les deux méthodes sur les données 2012-2022	13
Figure 10 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements industries [2012-2021]	14
Figure 11 : Document France Stratégie, prélèvements pour l'industrie	15
Figure 12: Evolution du nombre d'exploitations sur le bassin versant.....	16
Figure 13: Document France Stratégie, Consommations pour l'irrigation des cultures dans les trois scénarios d'usage en fonction de la projection climatique et de la pluviométrie, en millions de m ³ 18	
Figure 14 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements à la prise d'eau du Rahin [2017-2024].....	21
Figure 15 : Histogramme de la répartition mensuelle moyenne des prélèvements réalisés sur la prise d'eau du Rahin [2022-2024]	21
Figure 16 : Bilan des prélèvements et rejets annuels sur le bassin versant de l'Ognon pour 2020 et 2050, Détail par usage	24
Figure 17 : Bilan des prélèvements et rejets annuels sur le bassin versant de l'Ognon pour 2020 et 2050, Global	24
Figure 18 : Description des narratifs Explore2.....	27
Figure 19: Ecart de température moyenne et de pluie annuelle entre la situation actuelle et 2041-2070; Note « Aide à la sélection des modèles Scénario d'émission RCP8.5 à l'horizon 2041-2070 », DRIAS, Météo France	28
Figure 20: Ecart de température moyenne et de pluie en été entre la situation actuelle et 2041-2070 ; Note « Aide à la sélection des modèles Scénario d'émission RCP8.5 à l'horizon 2041-2070 », DRIAS, Météo France	28
Figure 21 : Evolution des températures, pluies et ET0 à l'horizon 2070-2099 en comparaison de la période 1976-2005, pour les deux narratifs	29
Figure 22 : Méthodologie de constitution de chroniques de débits modifiées par le changement climatique.....	30
Figure 23 : Localisation des points de grille du DRIAS et des postes météorologiques pris en compte dans le modèle hydrologique GESRES _{ISL}	32
Figure 24 : évolutions des températures à Villersexel par rapport à la période de référence – Narratif violet	37
Figure 25 : Stations hydrométriques retenues - cartographie	39

Figure 26 : Comparaison des courbes de débits classés obtenus en aval des bassins versants avec les données DRIAS.....	43
Figure 27: Comparaison des débits moyens mensuels obtenus en aval des bassins versants avec les données DRIAS et les résultats GESRES, à l'état actuel et à l'horizon 2100 – Narratif violet ..	47
Figure 28: Cycle de l'eau (Eaufrance, 2024)	50
Figure 29: Echanges d'eau entre la nappe et le sol (OIEau,2018) (Eaufrance, 2026)	50
Figure 30: Evolution des précipitations du modèle Aladin par rapport à la période moderne 1994-2023.....	51
Figure 31: Evolution de la recharge basée sur modèle Aladin par rapport à la période moderne 1994-2023.....	52
Figure 32: Evolution des précipitations du modèle HadGem par rapport à la période moderne 1994-2023.....	54
Figure 33: Evolution de la recharge basée sur le modèle HadGem par rapport à la période moderne 1994-2023.....	55
Figure 34: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN2	56
Figure 35: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN2	57
Figure 36: Chroniques de températures actuelle et futures (modèles climatiques Aladin et HadGem)	59
Figure 37: Evapotranspiration mensuelle moyenne actuelle et futures du sous bassin OGN1 (modèles climatiques Aladin et HadGem)	60
Figure 38: Evolution du module en état futur (modèle Aladin) par rapport au module en état actuel	62
Figure 39: Evolution du module naturel en état futur (modèle HadGem) par rapport au module en état actuel	63
Figure 40: Evolution QMNA5 naturel en état futur (modèle Aladin) par rapport à l'état actuel	64
Figure 41: Evolution du QMNA5 naturel en état futur (modèle HadGem) par rapport à l'état actuel	65
Figure 42: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin tendanciel) par rapport à l'état actuel.....	67
Figure 43: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin augmentation) par rapport à l'état actuel.....	68
Figure 44: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin baisse) par rapport à l'état actuel.....	69
Figure 45: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin tendanciel) par rapport à l'état actuel.....	70
Figure 46 : Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin augmentation) par rapport à l'état actuel.....	71
Figure 47 : Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin baisse) par rapport à l'état actuel.....	72
Figure 48: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem tendanciel) par rapport à l'état actuel.....	73

Figure 49: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem augmentation) par rapport à l'état actuel.....	74
Figure 50: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem baisse) par rapport à l'état actuel.....	75
Figure 51: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem tendanciel) par rapport à l'état actuel.....	76
Figure 52: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem augmentation) par rapport à l'état actuel.....	77
Figure 53: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem baisse) par rapport à l'état actuel.....	78
Figure 54 : Impact de la pression des usages sur le module –état actuel.....	79
Figure 55: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN3	3
Figure 56: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN3	3
Figure 57: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN4	4
Figure 58: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN4	5
Figure 59: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN5	6
Figure 60: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN5	7
Figure 61: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN6	8
Figure 62: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN6	9
Figure 63: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN7	10
Figure 64: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN7	11
Figure 65: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour RAH2	12
Figure 66: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour RAH2	13
Figure 67: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour SCEY	14
Figure 68: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour SCEY	15

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des scénarios du document issu du Comité National de l'Eau – France Stratégie	9
Tableau 2 : Evolution de la population d'après l'INSEE pour chaque sous bassin versant.....	12
Tableau 3 : Evolution des consommations d'AEP selon les méthodes INSEE et BNPE.....	12
Tableau 4 : Evolution des cheptels ainsi que leur consommation par décennie	17
Tableau 5 : Besoins estimés en irrigation (actuels et futurs)	19
Tableau 6 : Superficie des maïs et céréales sur le bassin selon OSO.....	19
Tableau 7 : Estimation du volume irrigué par mois pour les céréales	20
Tableau 8 : Consommation totale et volume rejeté d'après l'évolution de la population estimée par l'INSEE pour chaque sous bassin versant selon les années	23
Tableau 9 : Evolution de l'évaporation sur les plans d'eau du BV en fonction des hypothèses climatiques.....	25
Tableau 10 : Evolution de l'évapotranspiration sur les plantes du BV en fonction des hypothèses climatiques.....	25
Tableau 11 : Comparaison des pluies « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux « de référence »	33
Tableau 12 : Valeurs moyennes des pluies annuelles (en mm).....	34
Tableau 13 : Comparaison des températures « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux de « référence ».....	34
Tableau 14 : Valeurs moyennes des températures annuelles (en °C).....	35
Tableau 15 : évolutions des températures à Villersexel par rapport à la période de référence – Narratif violet.....	37
Tableau 16 : Evolutions des précipitations par rapport à la période de référence – station de Montbozon – Narratif violet	38
Tableau 17 : Paramètres utilisés dans le calcul de la recharge pour chaque sous bassin versant	49
Tableau 18 : Modules en état actuel et futur (modèle Aladin).....	62
Tableau 19 : Modules en état actuel et futur (modèle HadGem)	63
Tableau 20 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur (modèle Aladin)	64
Tableau 21 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur (modèle HadGem).....	65
Tableau 22 : Modules en état actuel et futur pour Aladin tendanciel	67
Tableau 23 : Modules en état actuel et futur pour Aladin augmentation	68
Tableau 24 : Modules en état actuel et futur pour Aladin baisse	69
Tableau 25 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin tendanciel	70
Tableau 26 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin augmentation...	71
Tableau 27 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin baisse	72
Tableau 28 : Modules en état actuel et futur pour HadGem tendanciel	73
Tableau 29 : Modules en état actuel et futur pour HadGem augmentation.....	74
Tableau 30 : Modules en état actuel et futur pour HadGem baisse	75

Tableau 31 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem tendanciel....	76
Tableau 32 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem augmentation	77
Tableau 33 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem baisse.....	78
Tableau 34 : Impact de la pression des usages sur le module –états futurs.....	79
Tableau 35 : Impact de la pression des usages sur le QMNA5 –état actuel.....	80
Tableau 36 : Impact de la pression des usages sur le QMNA5 –états futurs.....	81
Tableau 37 : Tableau de satisfaction des usages pour l'état actuel.....	82
Tableau 38 : Tableau de satisfaction des usages pour Aladin tendanciel.....	83
Tableau 39 : Comparaison de la satisfaction des usages entre Aladin et l'état actuel	83
Tableau 40 : Volumes supplémentaires non satisfaits par rapport à la situation actuelle, modèle Aladin avec évolution des usages tendancielle	84
Tableau 41 : Tableau de satisfaction des usages pour HadGem tendanciel	85
Tableau 42 : Comparaison de la satisfaction des usages entre HadGem et l'état actuel.....	85
Tableau 43 : Volumes supplémentaires non satisfaits par rapport à la situation actuelle, modèle HadGem avec évolution des usages tendancielle	86

0 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

0.1 CONTEXTE GENERAL

Alors que le SDAGE Rhône Méditerranée identifie les secteurs en déséquilibre quantitatif, les signes de l'aggravation de la situation liés aux changements climatiques se multiplient. Le bassin de la Saône, dont l'Ognon constitue l'un des principaux affluents, est identifié comme un bassin vulnérable au changement climatique, justifiant la mise en place de mesures génériques d'adaptation du point de vue des enjeux, de la biodiversité, de la disponibilité en eau et de l'hydricité des sols. Il constitue d'autre part l'un des bassins les plus vulnérables au changement climatique pour l'enjeu « niveau trophique des eaux » nécessitant des actions fortes d'adaptation au changement climatique.

Le sous bassin versant de l'Ognon a, quant à lui, été identifié par le SDAGE comme sous bassin versant en équilibre quantitatif précaire. Des actions de préservations des équilibres quantitatifs pour tout ou partie du territoire y sont nécessaires pour l'atteinte du bon état.

La tendance à la raréfaction de la ressource pour l'avenir est désormais démontrée scientifiquement. Les débits des cours d'eau en particulier en période d'étiage ainsi que la recharge pluviale de la nappe diminueraient alors que l'assèchement des sols et l'augmentation de la température provoqueraient une augmentation des besoins. L'Ognon et sa vallée ont notamment subi un étiage sévère et prolongé au cours de l'année 2022.

0.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ce constat confirme la nécessité d'intégrer une plus forte anticipation des évolutions futures afin de garantir une gestion équilibrée de la ressource, mieux prendre en compte les évolutions dans les futurs projets et conserver les possibilités d'atteinte du bon état des cours d'eau.

La vallée de l'Ognon et les Plateaux Jurassiques de Haute-Saône constituent un territoire hétérogène où s'exercent de multiples pressions d'occupation de l'espace (évolution des pratiques agricoles, croissance périurbaine, voies de communications) avec des besoins en eau potable qui augmentent eux aussi.

L'état quantitatif des masses d'eau n'est globalement pas encore alarmant malgré des situations très hétérogènes autant en termes de capacité de stockage que de prélèvements.

Le comité de rivière de l'Ognon a souhaité intégrer dans le cadre de l'avenant au contrat de rivière Ognon, une étude visant à effectuer le bilan des prélèvements d'eau sur le bassin versant et à s'attacher à une analyse prospective de l'évolution des besoins et de la ressource en eau sur le territoire du Contrat de rivière. Cette étude fait écho au classement de l'Ognon par le SDAGE 2022-2027 en tant que sous bassin sur lequel des actions de préservation des équilibres quantitatifs sont nécessaires pour tout ou partie du territoire pour l'atteinte du bon état.

La présente étude prospective va permettre de déterminer l'ampleur potentielle du réchauffement climatique sur la ressource future et d'anticiper les enjeux en matière de déséquilibre hydrique.

0.3 PHASAGE DE L'ETUDE

L'étude est divisée en 4 phases :

- Phase A : Définition du cadre de la participation. Une phase de concertation en amont de la démarche permet une meilleure implication des différents acteurs et d'affiner son contenu. Le cadre de participation est co-construit avec les acteurs locaux, de façon à correspondre au plus près à leurs attentes et aux spécificités du territoire, pour aboutir sur un cadre clair et partagé.
- Phase B : Diagnostic global du bassin versant. Cette phase a pour objectif de recueillir des données en lien avec l'hydrologie/ l'hydrogéologie du bassin ainsi qu'avec les usages de l'eau (prélèvements et rejets) sur le bassin dans le but de réaliser un modèle pluie débit. Après calage, les prélèvements sont retirés du modèle pour caractériser l'hydrologie naturelle du bassin et quantifier l'impact des prélèvements sur la ressource.
- Phase B1 : Etude prospective du bassin versant. Cette étude complémentaire a pour objectif de quantifier l'impact du changement climatique et de l'évolution des usages sur la ressource future. Le modèle réalisé dans la phase B de la tranche ferme est réutilisé et modifié pour prendre en compte ces modifications.
- Phase C : Stratégie générique sur l'ensemble du bassin versant de l'Ognon. Une revue de la littérature des actions possibles pour améliorer la qualité de la ressource en eau et préserver sa quantité sera réalisée. Des premiers échanges avec les acteurs locaux seront réalisés pour commencer à co-construire un plan d'actions et discuter des actions applicables au territoire.
- Phase D : Plan d'actions global et générique. Un plan d'actions co-construit est proposé à partir de l'analyse multicritère des actions stratégiques établies précédemment.

0.4 RAPPEL DES RESULTATS DE LA PHASE B (DIAGNOSTIC)

0.4.1 DEFINITION DES DEBITS SPECIFIQUES

0.4.1.1 QMNA

Le QMNA est le débit moyen mensuel sec atteint par un cours d'eau pour une année donnée.

Il est généralement calculé sur une période de retour de 5 ans (QMNA₅). Il permet d'apprécier statistiquement le plus petit écoulement mensuel d'un cours d'eau sur une période donnée.

0.4.1.2 VCN

Les VCN_d sont des valeurs journalières extraites annuellement en fonction d'une durée fixée d (en jours).

Des moyennes mobiles, calculées à partir des débits moyens journaliers sur plusieurs jours consécutifs, aboutissent au calcul des VCN_d, débit moyen minimum sur d jours.

Par exemple, dans la Figure 1 de la page suivante, pour le nœud OGN1, le VCN₃ de période retour 2 ans vaut 0,18 m³/s. Cela signifie qu'une année sur deux, le débit moyen sur 3 jours successifs a été inférieur à 0,18 m³/s.

Dans les tableaux de résultat de la page suivante on retrouve les valeurs ci-dessous pour chaque nœud :

VNC3 – 2 ans : Une année sur deux, le débit moyen sur 3 jours successifs est inférieur à X m³/s

VNC3 – 5 ans : Une année sur cinq, le débit moyen sur 3 jours successifs est inférieur à $X \text{ m}^3/\text{s}$

VNC10 – 2 ans : Une année sur deux, le débit moyen sur 10 jours successifs est inférieur à $X \text{ m}^3/\text{s}$

VNC10 – 5 ans : Une année sur cinq, le débit moyen sur 10 jours successifs est inférieur à $X \text{ m}^3/\text{s}$

0.4.1.3 Module

Le module d'un cours d'eau est le débit moyen interannuel, c'est-à-dire la moyenne des débits mesurés ou estimés sur une longue période, généralement plusieurs années (souvent 20 à 30 ans). Il représente le débit "moyen" que le cours d'eau transporte dans des conditions normales à long terme.

0.4.1.4 Débits classés

Dans les tableaux de résultat de la page suivante on retrouve les valeurs ci-dessous pour chaque nœud :

10% : Débit dépassé 10% du temps

50% : Débit dépassé 50% du temps

90% : Débit dépassé 90% du temps

0.4.2 ETAT ACTUEL (INFLUENCE)

Pour rappel, la modélisation est réalisée sur la période allant du 01/01/1994 au 31/12/2023. Le modèle influencé intègre l'ensemble des prélèvements et des rejets listés dans le rapport de diagnostic du bassin versant.

Les résultats pour chaque sous bassin versant sont présentés ci-dessous. La localisation des sous bassins et de leur exutoires (nœuds) est précisée sur les cartes Figure 5 et Figure 6.

Nœud	Localisation	QMNA2	QMNA5	VNC3 - 2 ans	VNC3-5 ans	VNC10-2 ans	VNC10-5 ans	10%	50%	90%	module	1/10 module	1/20 module
OGN1	Ognon à Servance	0,37	0,20	0,18	0,11	0,21	0,13	7,20	1,50	0,30	2,96	0,30	0,15
OGN2	Ognon à Montessaux	0,56	0,29	0,28	0,16	0,32	0,18	13,50	2,70	0,50	5,45	0,54	0,27
OGN3		0,90	0,51	0,53	0,33	0,59	0,37	18,30	4,30	0,90	7,63	0,76	0,38
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	2,33	1,37	1,49	0,97	1,64	1,05	40,50	10,80	2,40	17,70	1,77	0,88
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	3,48	2,04	2,26	1,48	2,48	1,59	55,80	15,40	3,50	24,41	2,44	1,22
OGN6	Ognon à Pin	4,77	2,82	3,10	2,06	3,41	2,23	70,50	20,40	4,80	31,24	3,12	1,56
OGN7	Ognon à Pesmes	5,53	3,24	3,56	2,36	3,92	2,57	85,60	24,40	5,50	37,35	3,73	1,87
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,13	0,07	0,07	0,04	0,08	0,05	3,00	0,60	0,10	1,22	0,12	0,06
RAH2		0,46	0,27	0,29	0,19	0,32	0,21	8,60	2,10	0,40	3,66	0,37	0,18
SCEY	Scey à Beveuge	0,40	0,24	0,27	0,18	0,29	0,19	7,00	2,00	0,40	3,08	0,31	0,15

Figure 1 : Résultats de modélisation en état actuel influencé en m^3/s - Période [1994 – 2023]

0.4.3 ETAT ACTUEL « DESINFLUENCE » (NATUREL RECONSTITUE)

Le modèle naturel reconstitué est établi en retirant tous les prélèvements et les rejets du modèle.

Les résultats pour chaque sous bassin versant sont présentés ci-dessous.

Nœud	Localisation	QMNA2	QMNA5	VNC3 - 2 ans	VNC3-5 ans	VNC10-2 ans	VNC10-5 ans	10%	50%	90%	module	1/10 module	1/20 module
OGN1	Ognon à Servance	0,37	0,20	0,18	0,11	0,21	0,13	7,20	1,50	0,30	2,97	0,30	0,15
OGN2	Ognon à Montessaux	0,57	0,29	0,27	0,15	0,32	0,18	13,50	2,70	0,60	5,46	0,55	0,27
OGN3		0,90	0,51	0,51	0,32	0,58	0,36	18,30	4,30	0,90	7,63	0,76	0,38
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	2,38	1,39	1,49	0,96	1,66	1,05	41,10	11,10	2,50	17,95	1,79	0,90
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	3,55	2,07	2,26	1,46	2,51	1,59	56,10	15,70	3,60	24,68	2,47	1,23
OGN6	Ognon à Pin	4,86	2,86	3,11	2,04	3,45	2,24	70,90	20,70	4,90	31,52	3,15	1,58
OGN7	Ognon à Pesmes	5,63	3,29	3,57	2,33	3,97	2,57	86,00	24,70	5,70	37,62	3,76	1,88
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,14	0,08	0,07	0,04	0,08	0,05	3,00	0,60	0,10	1,25	0,12	0,06
RAH2		0,48	0,28	0,29	0,19	0,33	0,20	8,90	2,30	0,50	3,88	0,39	0,19
SCEY	Scey à Beveuge	0,41	0,24	0,28	0,18	0,30	0,19	7,10	2,00	0,40	3,09	0,31	0,15

Figure 2 : Résultats de modélisation en état actuel désinfluencé en m^3/s - Période [1994 – 2023]

0.4.4 COMPARAISON DE L'ETAT DESINFLUENCE (NATUREL) ET INFLUENCE

0.4.4.1 Module

Le tableau ci-après présente le module (débit moyen) de l'Ognon et de ses affluents sur la période 1994-2023, en conditions influencées et désinfluencées (état naturel reconstitué). L'écart entre les deux situations est exprimé en valeur absolue et en écart relatif. De manière générale, les écarts observés sont résiduels, voire légèrement négatifs, indiquant que le débit naturel théorique est globalement supérieur au débit influencé. Ces résultats suggèrent que l'impact des prélèvements sur le module de l'Ognon reste très limité.

La prise d'eau sur le Rahin induit une baisse d'environ 6 % de son module en aval. L'impact reste donc modéré, mais il est perceptible sur toute la portion aval de l'Ognon (-1% sur le module).

Nœud	Localisation	Module			
		influencé m3/s	naturel m3/s	écart %	écart m3/s
OGN1	Ognon à Servance	2,96	2,97	0%	0,00
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,46	0%	-0,01
OGN3		7,63	7,63	0%	0,00
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	17,95	-1%	-0,25
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	24,68	-1%	-0,26
OGN6	Ognon à Pin	31,24	31,52	-1%	-0,28
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	37,62	-1%	-0,28
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,25	-2%	-0,03
RAH2		3,66	3,88	-6%	-0,22
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,09	0%	-0,01

Figure 3 : Valeurs et comparaison des modules de l'état influencé et naturel

0.4.4.2 QMNA5

Le tableau ci-après présente le QMNA5 de l'Ognon et de ses affluents sur la période 1994-2023, en conditions influencées et désinfluencées (état naturel reconstitué).

Nœud	Localisation	QMNA5			
		influencé m3/s	naturel m3/s	écart %	écart m3/s
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	-1%	0,00
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,29	0%	0,00
OGN3		0,51	0,51	0%	0,00
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	1,39	-1%	-0,02
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	2,07	-1%	-0,03
OGN6	Ognon à Pin	2,82	2,86	-1%	-0,04
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	3,29	-1%	-0,05
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,08	-4%	0,00
RAH2		0,27	0,28	-4%	-0,01
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	-2%	-0,01

Figure 4 : Valeurs et comparaison des QMNA5 de l'état influencé et naturel

Les débits à l'étiage étant beaucoup plus faibles que pour les modules, de faibles variations entraîneront des écarts relatifs plus importants.

Les écarts observés sont très faibles, ce qui signifie que le QMNA5 influencé est légèrement inférieur au QMNA5 naturel.

Nous retiendrons qu'à l'échelle du bassin versant, les prélèvements sont légèrement plus importants que les rejets mais l'influence des prélèvements/rejets reste faible même en période d'étiage.

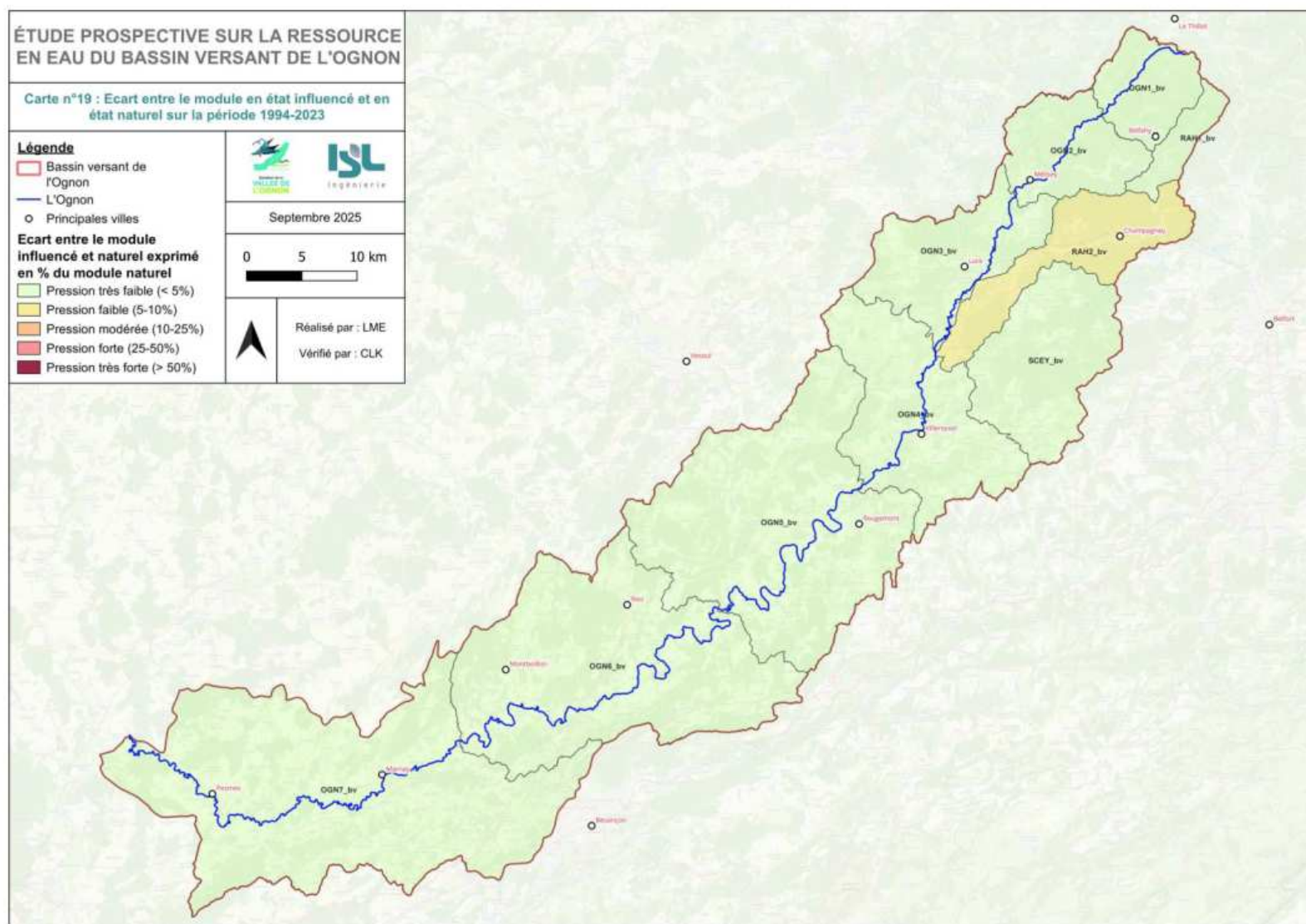


Figure 5: Ecart entre le module naturel et influencé sur la période 1994-2023

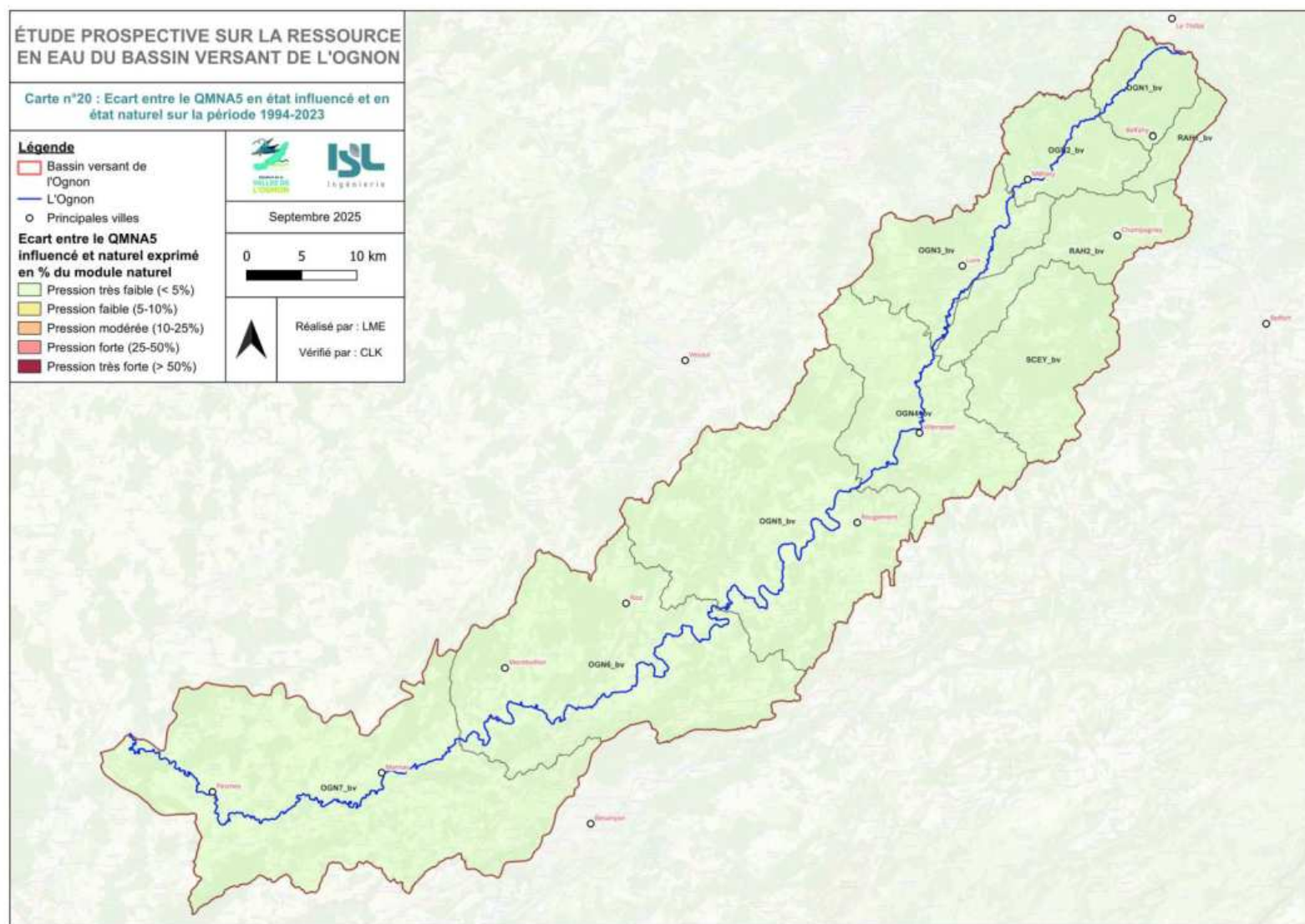


Figure 6: Ecart entre le QMNA5 naturel et influencé sur la période 1994-2023

PHASE B1 : Etude prospective du bassin versant de l'Ognon

1 BESOINS ET PRELEVEMENTS (VOLET PROSPECTIF 2050)

1.1 METHODOLOGIE

Le volet prospectif décrit l'évolution dans le futur des différents usages (prélèvements et rejets).

La démarche d'estimation des **usages futurs à l'horizon 2050** a été la suivante :

- 1 série d'entretiens prospectifs techniques de concertation organisés en avril 2025 ;
- Analyse documentaire ;
- Formulation et validation d'hypothèses présentées au SECTEC n°3 du 23/10/2025.

L'ambition de ce travail de prospective a été d'élaborer des hypothèses d'évolution des usages de l'eau à l'horizon 2050. 3 scénarios d'évolution des usages sont testés : un tendanciel, un avec des augmentations et un avec des baisses.

Il ne s'agit pas pour autant d'une prévision de l'avenir.

1.2 FOCUS SUR LE DOCUMENT DE FRANCE STRATEGIE – COMITE NATIONAL DE L'EAU

Le Comité National de l'Eau a réalisé une étude prospective sur l'évolution de la demande en eau en France. L'échelle de l'étude est large (France métropolitaine entière), avec un découpage en 40 bassins versants. Trois scénarii d'évolution des usages sont proposés :

- Un scénario tendanciel : la tendance passée est poursuivie,
- Un scénario avec effectivité des politiques publiques : réindustrialisation, plan protéine, utilisation d'eaux non conventionnelles, résorption des fuites, ...
- Un scénario de rupture, marqué par une sobriété dans tous les secteurs, sur la base du scénario coopération territoriale de l'ADEME.

Même si le maillage du territoire est assez grossier, ce document donne des ordres de grandeurs des évolutions possibles aux horizons 2030 et 2050 pour les différents types d'usage. Les évolutions du scénario avec effectivité des politiques publiques en 2050 ont été considérées pour la présente étude. Ces évolutions sont présentées dans les paragraphes spécifiques de chaque usage.

Le tableau suivant présente à titre d'information les mesures et les changements par secteur d'activité correspondant au scénario de politiques publiques. Le rapport complet de France Stratégie est disponible en ligne (<https://www.strategie-plan.gouv.fr/publications/demande-eau-prospective-territorialisee-lhorizon-2050>).

	Tendanciel	Politiques publiques	De rupture
Élevage	Cheptel bovins, ovins et porcs – Cheptel volailles +	Cheptel bovins, ovins et porcs – – Cheptel volailles =	Tous les cheptels – – –
Cultures (surfaces)	Maïs – Soja ++ Fourrages + Pomme de terre et betterave + Légumes et fruits + Vigne –	Maïs – Soja +++ Fourrages – Pomme de terre et betterave – Légumes et fruits ++ Vigne – –	Maïs – – Soja + Fourrages – – Pomme de terre et betterave – – Légumes et fruits +++ Vigne – – –
Cultures (autres)	Équipement en irrigation ++ Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage = Fuites des réseaux collectifs = Retenues de substitution = Agroécologie = Réutilisation eaux usées =	Équipement en irrigation ++ Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage + Fuites des réseaux collectifs – Retenues de substitution + Agroécologie + Réutilisation eaux usées +	Équipement en irrigation + Efficience du matériel d'irrigation + Outils d'aide au pilotage = Fuites des réseaux collectifs = Retenues de substitution = Agroécologie ++ Réutilisation eaux usées =
Énergie	Production nucléaire – Circuits de refroidissement ouverts =	Production nucléaire = Circuits de refroidissement ouverts – –	Production nucléaire – – Circuits de refroidissement ouverts – –
Industrie	Activité globale – Efficacité eau des process + Décarbonation =	Activité globale + Efficacité eau des process ++ Décarbonation ++	Activité globale – – Efficacité eau des process + Décarbonation +
Tertiaire	Activité globale + Sobriété = Réutilisation eaux usées =	Activité globale ++ Sobriété = Réutilisation eaux usées +	Activité globale +++ Sobriété + Réutilisation eaux usées =
Résidentiel	Population – Fuites des réseaux – Efficacité/sobriété = Forages +	Population + Fuites des réseaux – – Efficacité/sobriété + Forages +	Population – Fuites des réseaux – – Efficacité/sobriété ++ Forages =
Canaux	Linéaire du réseau + Fuites =	Linéaire du réseau + Fuites –	Linéaire du réseau + Fuites =

Source : France Stratégie

Tableau 1 : Description des scénarios du document issu du Comité National de l'Eau – France Stratégie

1.3 HYPOTHESES RETENUES PAR TYPE D'USAGES

Les différents usages concernant la ressource en eau sur le bassin versant de l'Ognon sont :

- L'alimentation en eau potable (AEP),
- L'industrie,
- L'agriculture (abreuvement et irrigation),
- La prise d'eau du barrage de Champagny,

- Les rejets d'eaux usées.

Ces usages ont été décrits dans leur état actuel dans le rapport de phase 1 (24F-131-RL1).

Les paragraphes suivants présentent pour chaque usage :

- les évolutions actuelles,
- les évolutions futures estimées dans le document de France Stratégie,
- les propositions d'hypothèses formulées par ISL et validées par les membres du COTEC. Pour tous les usages, il est proposé un scénario usage constant (pas d'évolution des usages sous changement climatique par rapport à la période 2002-2008) et un scénario avec évolution des usages

1.3.1 ALIMENTATION EN EAU POTABLE (AEP)

1.3.1.1 Tendances historiques

Les volumes globaux prélevés en 2012 et 2021 sont issus de la BNPE.

Une augmentation de 9% des prélèvements est constatée entre la période 2012-2014 et 2019-2021.

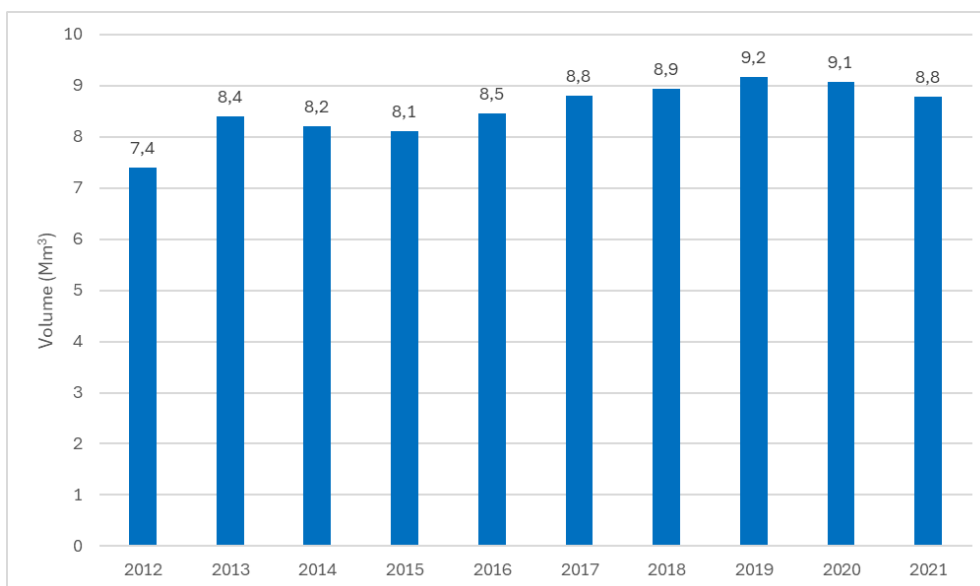


Figure 7 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements AEP [2012-2021]

Entre 2012 et 2022, la population a augmenté de 4,8% sur le bassin versant. Depuis 1990, la population a augmenté de 24%.

1.3.1.2 France Stratégie

Le document France Stratégie prévoit, à l'échelle de la France une réduction des prélèvements AEP de l'ordre de 15% à l'horizon 2050 selon le scénario Politiques Publiques.

Graphique 19 – Prélèvements pour le résidentiel dans les trois scénarios d'usage,
en millions de m³

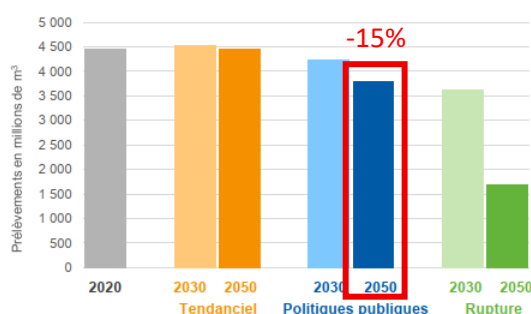


Figure 8 : Document France Stratégie, prélèvements pour le résidentiel

La réduction des fuites des réseaux d'eau potable couplée à des actions de sobriété et d'efficacité permet une diminution des prélèvements de 15 %.

1.3.1.3 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

Pour l'estimation des prélèvements futurs (2022-2050), l'hypothèse retenue prévoit une variation des prélèvements proportionnelle à celle de la population des sous-bassins versants, dans une approche prudente.

La source de donnée reste identique à celle en l'état actuel à savoir :

- Les données BNPE ;
- Les données AEP via le questionnaire ;
- Les données démographiques de l'INSEE.

Le tableau suivant présente la population totale de chaque sous bassin en 2022 et la projection à 2050 en prolongeant la tendance observée ces 10 dernières années d'après les données de l'INSEE :

Sous bassin versant	Population en 2022	Population estimée en 2050	Evolution entre 2050 et 2022 (en %)
OGN1	1154	1078	-6,6%
OGN2	3307	2666	-19,4%
OGN3	13403	12174	-9,2%
OGN4	6656	6659	0,0%
OGN5	10774	10729	-0,4%
OGN6	28663	38231	33,4%
OGN7	47256	57986	22,7%
RAH1	1265	809	-36,1%
RAH2	11203	9943	-11,2%

Sous bassin versant	Population en 2022	Population estimée en 2050	Evolution entre 2050 et 2022 (en %)
SCEY	6716	6965	3,7%
TOTAL	130397	147239	12,9%

Tableau 2 : Evolution de la population d'après l'INSEE pour chaque sous bassin versant

Ce tableau montre que la démographie de la population est positive sur l'ensemble du bassin versant passant de 130 397 habitants à 147 239 soit une augmentation de 12,9%.

En revanche, nous observons que cette augmentation n'est pas uniforme entre les sous bassins versants, en effet, OGN2 perd 19,4% de sa population totale entre 2050 et 2022, à l'inverse de OGN6, qui gagne environ 10 000 habitants (+33,4%).

Une analyse des prévisions des prélèvements estimées par la BNPE est réalisée afin de la comparer avec les évolutions de population INSEE et voir s'il existe un lien entre les évolutions de populations et les évolutions de consommations à l'échelle des sous bassins... Cette méthode, qu'on appellera « Méthode BNPE », présente les prélèvements estimés en 2050 sur la base des évolutions observées entre 2012 et 2022.

Sous bassin versant	Méthode INSEE			Méthode BNPE		
	Consommation en 2022	Consommation estimée en 2050	Evolution entre 2050 et 2022 (en %)	Consommation en 2022	Consommation estimée en 2050	Evolution entre 2050 et 2022 (en %)
OGN1	77 710	72 620	-6,6%	110 644	84 639	-23,5%
OGN2	222 694	179 515	-19,4%	473 954	273 534	-42,3%
OGN3	902 559	819 785	-9,2%	1 396 580	1 554 911	11,3%
OGN4	448 216	448 404	0,0%	533 944	885 331	65,8%
OGN5	725 522	722 505	-0,4%	1 170 922	2 835 399	142,2%
OGN6	1 930 169	2 574 452	33,4%	1 864 498	4 322 227	131,8%
OGN7	3 182 223	3 904 755	22,7%	1 133 425	1 687 549	48,9%
RAH1	85 185	54 451	-36,1%	1 075 496	1 359 732	26,4%
RAH2	754 411	669 562	-11,2%	589 314	154 699	-73,7%
SCEY	452 256	469 037	3,7%	432 167	426 862	-1,2%
TOTAL	8 780 944	9 915 086	12,9%	8 780 944	1 3584 882	54,7%

Tableau 3 : Evolution des consommations d'AEP selon les méthodes INSEE et BNPE

Il est observé de grosses disparités d'évolution entre les sous bassins versants et entre les deux méthodes d'estimation. Par exemple selon la méthode BNPE (prolongement de la tendance d'évolution de la consommation 2012-2021 jusqu'en 2050), OGN5 va voir sa consommation d'eau augmenter de 142,2% contre -73,7% pour RAH2. De manière générale, les écarts sont bien plus marqués selon la méthode BNPE que celle de l'INSEE.

L'analyse réalisée sur chaque SBV pour les deux méthodes conduit à l'obtention du graphique ci-dessous :

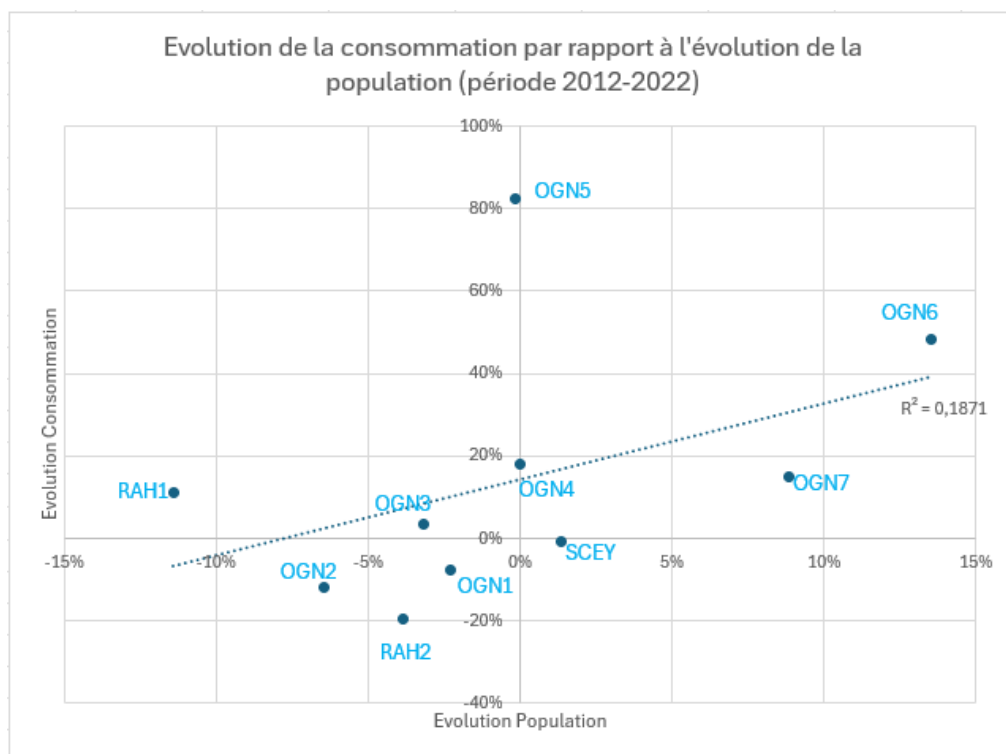


Figure 9 : Test de sensibilité sur l'évolution de la consommation selon les deux méthodes sur les données 2012-2022

Ce graphique permet de voir que l'évolution de la population et de la consommation par sous bassin versant ne sont pas corrélées. Par exemple, une augmentation des consommations a été observée d'après la BNPE (RAH1 et OGN3) tout en observant une diminution de la population d'après l'INSEE. A l'inverse, sur certains sous bassins, il a été observé une augmentation significative de la consommation d'après la BNPE (80% environ pour OGN5) alors qu'une stagnation de la population a été observée pour ce même sous bassin versant.

Cette analyse permet de conclure que même si à l'échelle du bassin versant, une augmentation de la population entraîne une augmentation de la consommation en eau, cette observation n'est pas vraie à l'échelle de sous bassins. En effet, l'eau consommée dans les sous bassins versant n'est pas forcément prélevée sur le même sous bassin.

Ainsi, la méthode d'évolution de la consommation de la BNPE est plutôt liée à l'évolution des prélèvements et fournit des évolutions locales alors que celle basée sur l'INSEE fonctionne sur une échelle globale et non locale.

A terme, et on compte tenu de la charte des objectifs de sobriété souhaité par les élus locaux, l'évolution de la consommation prise en compte sera celle établie par la méthode INSEE, qui nous paraît plus réaliste.

Scénario augmentation

À l'horizon 2050, le scénario repose sur l'hypothèse d'une **augmentation de la population de 30 %**, répartie de manière homogène sur l'ensemble du bassin versant.

Pour traduire cette évolution dans les calculs, les volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable ont été **augmentés progressivement dans le temps**, en suivant une évolution simple et régulière. L'année 2022, pour laquelle les données de population sont les plus récentes et connues, sert d'année de référence : elle correspond à une augmentation de **0 %**. À l'inverse, l'année 2050 représente l'horizon de projection, avec une augmentation totale fixée à **+30 %**.

Entre ces deux dates, l'augmentation est répartie de manière linéaire sur une période de **28 ans** (de 2022 à 2050). Ainsi, chaque année voit ses besoins en eau augmenter progressivement.

À titre d'exemple, pour l'année 2041, située 19 ans après 2022, l'augmentation appliquée est de $30 \times (19/28) = +20,4 \%$ par rapport à la situation actuelle.

Scénario baisse

La réflexion utilisée pour le scénario d'augmentation est maintenue mais en supposant une baisse de la population de l'ordre de **25%** d'ici 2050.

Ainsi pour l'exemple de l'année 2041, le pourcentage utilisé est de **-17%**.

1.3.2 INDUSTRIES

1.3.2.1 Tendances historiques

Les volumes déclarés à la BNPE entre 2012 et 2021 sont compris entre 0,5 et 0,7 Mm³. Pour tenir compte des consommations non déclarées, un volume complémentaire de 0,5 Mm³/an avait été ajouté dans le rapport précédent (valeur choisie en concertation avec la CCI pour tenir compte des prélèvements non déclarés à la BNPE). Ce volume complémentaire a été ajouté au pro rata de surface de chaque sous bassin versant, les industries consommant cette eau étant présentes sur l'entièreté du bassin et non pas dans une zone spécifique.

Aucune variation mensuelle n'a pu être identifiée, mais une augmentation significative des prélèvements est constatée ces dernières années (+70% en 10 ans). Des travaux de modification des circuits d'eau des plus gros consommateurs du bassin ont cependant été menés depuis 2021. La consommation déclarée devrait retomber autour de 0,5Mm³.

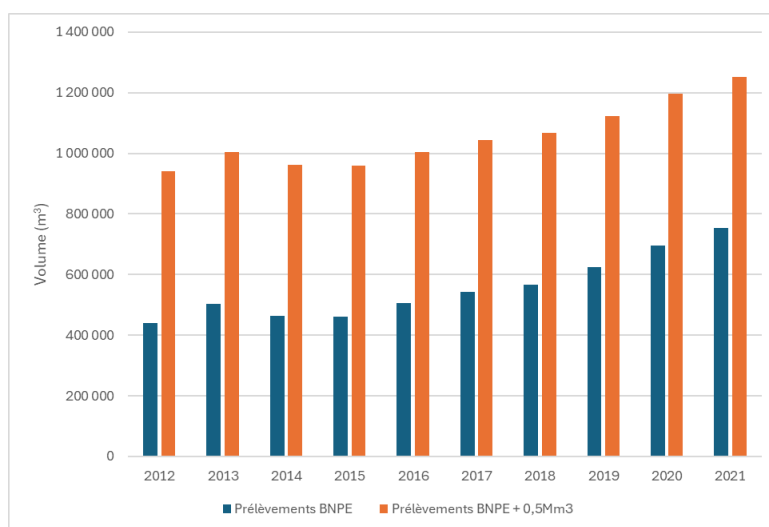


Figure 10 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements industriels [2012-2021]

1.3.2.2 France Stratégie

Le document France Stratégie prévoit, à l'échelle de la France une augmentation ou une baisse de la consommation selon les scénarios d'évolution des usages.

Graphique 15 – Prélèvements pour l'industrie dans les trois scénarios d'usage, en millions de m³

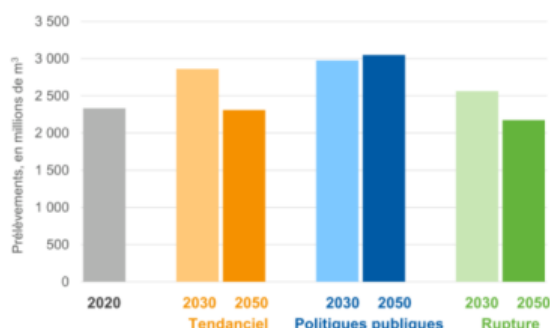


Figure 11 : Document France Stratégie, prélèvements pour l'industrie

Dans le scénario politiques publiques, les prélèvements pour l'industrie augmentent particulièrement du fait de la politique de réindustrialisation. Dans le scénario de rupture, la désindustrialisation se traduit par une baisse des prélèvements.

1.3.2.3 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

Compte tenu de l'incertitude importante quant à l'évolution du tissu industriel à l'horizon 2050, notamment en termes de localisation, d'activité ou de volumes prélevés, il a été décidé de conserver les mêmes hypothèses que celles utilisées pour l'état actuel (hypothèse discutée avec la CCI).

Un volume annuel constant de 1 Mm³ est retenu (consommation moyenne des 10 dernières années).

Scénario augmentation

Le scénario d'augmentation des prélèvements liés à l'industrie repose sur l'hypothèse d'une augmentation de **25%** des prélèvements par rapport au scénario tendanciel.

Scénario baisse

Le scénario d'augmentation des prélèvements liés à l'industrie repose sur l'hypothèse d'une baisse de **25%** des prélèvements par rapport au scénario tendanciel.

1.3.3 ABREUVEMENT

1.3.3.1 Tendances historiques

Le nombre d'exploitations sur le bassin versant diminue chaque année d'après le Recensement Général Agricole.

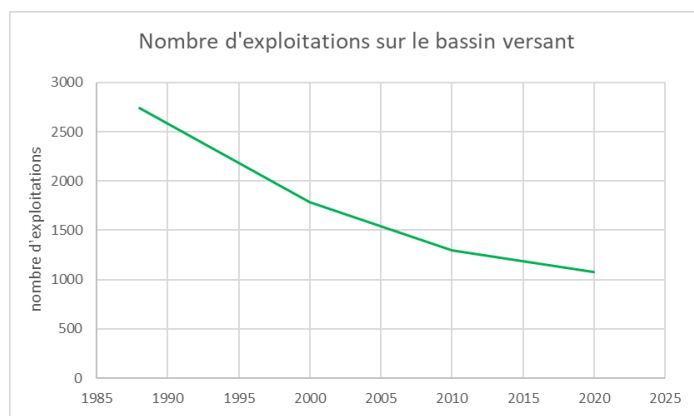


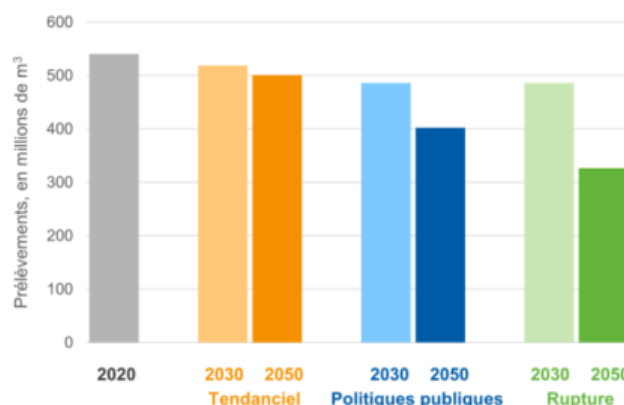
Figure 12: Evolution du nombre d'exploitations sur le bassin versant

Entre 2010 et 2020, une baisse de 5% du cheptel a été observée.

1.3.3.2 France Stratégie

L'évolution des prélèvements est liée uniquement à la diminution des cheptels (pas de prise en compte de l'évolution des températures sur la consommation en eau ni sur la répartition réseau/milieu).

Graphique 9 – Prélèvements pour l'élevage dans les trois scénarios d'usage, en millions de m³



Du fait de la diminution des cheptels bovins et porcins qui nécessitent le plus d'eau, les prélèvements liés à l'élevage diminuent dans tous les scénarios, et plus particulièrement dans le scénario de rupture.

1.3.3.3 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

L'hypothèse de projection future de l'agriculture repose sur la diminution de 5% des cheptels tous les 10 ans (en concertation avec la Chambre d'Agriculture).

Par ailleurs, la méthodologie pour les volumes reste inchangée comparée à l'analyse de l'état actuel à savoir un abreuvement du bétail quotidien estimé à :

- 60 L/j/UGB d'octobre à mars
- 90 L/j/UGB pour avril, mai et septembre
- 120 L/j/UGB de juin à août

Enfin, il est supposé que 20 % des volumes consommés entre mars et octobre sont directement prélevés dans le milieu naturel, le reste étant assuré via le réseau AEP. D'autre part, la consommation des bâtiments d'élevage n'est pas prise en compte (supposée intégralement sur le réseau AEP).

Année	Cheptel UGB	Nombre d'UGB en moins par rapport à la décennie précédente	Consommation totale (m³/an)	Prélèvement dans le milieu (m³/an)
2020	77446	0	2 336 159	355 478
2030	73574	3872	2 219 351	337 705
2040	69895	3679	2 108 383	320 818
2050	66400	3495	2 002 964	304 776

Tableau 4 : Evolution des cheptels ainsi que leur consommation par décennie

En effet, si l'on enlève 5% du cheptel entre 2030 et 2020, on estime à 3872 UGB la baisse du cheptel, ce qui équivaut à une diminution de la consommation de 116 808 m³/an.

En poursuivant ce raisonnement jusqu'à 2050, on obtient une consommation totale de 2 002 964 m³/an pour un cheptel de 66 400 UGB.

En d'autres termes, il s'agit d'une baisse de 14,3% de la consommation en eau entre les années 2020 et 2050 liée à l'abreuvement.

Scénario augmentation

Le scénario d'augmentation du prélèvement lié à l'abreuvement reprend les hypothèses du scénario tendanciel en modifiant les données d'entrées.

En effet, pour le scénario tendanciel, il est supposé un abreuvement du bétail quotidien estimé à :

- 60 L/j/UGB **d'octobre à mars**
- 90 L/j/UGB pour **avril, mai et septembre**
- 120 L/j/UGB de **juin à août**

Pour le scénario d'augmentation, cette hypothèse est modifiée de sorte à augmenter la consommation maximum de 2 mois. L'abreuvement du bétail quotidien en scénario d'augmentation devient :

- 60 L/j/UGB de **novembre à février**
- 90 L/j/UGB pour **mars, avril et octobre**
- 120 L/j/UGB de **mai, juin, juillet, août et septembre**

Scénario baisse

Le scénario de baisse reprend la méthodologie du scénario tendanciel en réduisant de **25%** les prélèvements.

1.3.4 IRRIGATION

1.3.4.1 Tendances historiques

Aucun prélèvement n'a été déclaré dans la BNPE pour les usages d'irrigation sur le bassin versant et les données liées au forage ne sont pas assez complètes pour être exploitables. Ainsi, aucune tendance historique ne peut être estimée de façon suffisamment précise.

1.3.4.2 France Stratégie

Le document France Stratégie prévoit, à l'échelle de la France une augmentation des consommations d'eau pour l'irrigation.

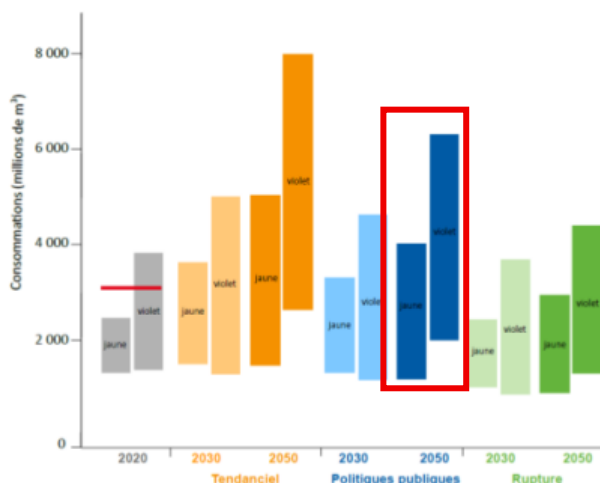


Figure 13: Document France Stratégie, Consommations pour l'irrigation des cultures dans les trois scénarios d'usage en fonction de la projection climatique et de la pluviométrie, en millions de m³

Le scénario violet correspond à un printemps et un été sec (type modèle HadGem), et le scénario jaune correspond à un changement climatique plus modéré (type modèle Aladin).

1.3.4.3 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

Les besoins en irrigation actuels du bassin versant sont estimés selon la méthodologie suivante :

- Une pluviométrie annuelle moyenne de 1100 mm est répartie mensuellement selon une distribution type (Janv. 9 %, Fév. 7,5 %, Mars 7,8 %, Avril 7,2 %, Mai 9 %, Juin 8,7 %, Juil. 7,5 %, Août 8,6 %, Sept. 7,7 %, Oct. 7,4 %, Nov. 9,8 %, Déc. 9,8 %).
- Pendant la période critique de chaque culture, seule une fraction de la pluie est considérée efficace, en appliquant un coefficient de pluie utile de 70 %.
- Pour le maïs (5 000 m³/ha/an, 17 800 ha, période avril–septembre), seule 5 % de la surface est supposée irriguée (RGA 2020 Haute-Saône, bassin versant de l'Ognon).
- Pour les céréales (4 000 m³/ha/an, 34 600 ha, période mars–juin), 1 % de la surface est supposée irriguée (même source). Ces hypothèses permettent de comparer la demande théorique en eau avec les volumes réellement mobilisés sur le territoire.

Une augmentation de l'ordre de 20 % des besoins est envisagée à l'horizon 2050 (réunion de concertation avec la Chambre d'Agriculture 70).

Ce faisant, l'estimation des besoins en irrigation est la suivante :

	Demande (m³/ha)	Pluie utile (m³/ha)	Irrigation (m³/ha)	Surface irriguée (ha)	Total (Mm³)	Total 2050 (Mm³) - +20%
Maïs	5000	3750	1250	890 (5% de 17 800)	1,11	1,33
Céréales	4000	2518	1482	346 (1% de 34 600)	0,51	0,62

Tableau 5 : Besoins estimés en irrigation (actuels et futurs)

Il est fait l'hypothèse que les volumes utilisés à ce jour pour l'irrigation sont compris dans le modèle (via le calage). Dans un potentiel modèle simulant le futur, seul l'écart 2050-2020 sera ajouté au modèle soit 0,32 Mm³.

Ce volume est ensuite réparti sur chaque sous bassin versant. Pour ce faire, une estimation des surfaces actuelles de maïs et céréales a été calculé à l'aide de la couche d'occupation du sol OSO.

Les surfaces pour chaque SBV peuvent être vues comme suit :

	Superficie maïs (ha)	Superficie céréales à paille (ha)	Pourcentage de la surface totale ajustée (%)
OGN1	0	0	0
OGN2	41	24	0
OGN3	446	410	3
OGN4	1 420	1 521	10
OGN5	2 607	3 635	21
OGN6	2 740	3 932	23
OGN7	4 378	7 089	39
RAH1	0	0	0
RAH2	127	108	0
SCEY	583	516	4
TOTAL	12 343	17 234	100

Tableau 6 : Superficie des maïs et céréales sur le bassin selon OSO

Les chroniques sont ensuite créées en multipliant le volume mensuel d'irrigation par le pourcentage de la surface agricole dédiée au maïs et aux céréales du sous bassin versant.

Scénario augmentation

Afin d'évaluer l'impact du réchauffement climatique sur les besoins en irrigation, une évolution des surfaces cultivées a été considérée, de manière à les adapter aux conditions climatiques projetées à l'horizon 2050 sur le bassin versant.

La pluviométrie annuelle moyenne de 1100 mm est répartie mensuellement selon une distribution modifiée :

- Aladin : Janv. 10,4 %, Fév. 8,3 %, Mars 8,0 %, Avril 6,4 %, Mai 8,7 %, Juin 7,5 %, Juil. 7,1 %, Août 9,2 %, Sept. 7,4 %, Oct. 8,2 %, Nov. 9,4 %, Déc. 9,3 %
- HadGem : Janv. 12 %, Fév. 10 %, Mars 9,1 %, Avril 7,8 %, Mai 8 %, Juin 6,1 %, Juil. 6,4 %, Août 3,8 %, Sept. 5,6 %, Oct. 7,9 %, Nov. 11,2 %, Déc. 11,9 %

Une seconde hypothèse repose sur le transfert de 50 % des surfaces actuellement dédiées aux cultures céréalières vers des « nouvelles cultures », supposées mieux adaptées au climat futur. La surface totale irriguée de ces nouvelles cultures est estimée à environ 10 % (contre 1% pour les cultures céréalières).

La surface irriguée consacrée au maïs demeure inchangée par rapport au scénario tendanciel. Les surfaces irriguées de maïs sont estimées à 20% de la surface totale de maïs (contre 5% en situation tendancielle).

Les cultures ne sont pas irriguées toute l'année : les céréales et les nouvelles cultures sont irriguées entre mars et juin et le maïs est irrigué entre avril et septembre. Le calcul pour estimer le volume irrigué par mois est indiqué ci-dessous pour les céréales.

	Volume irrigation estimé (m³/ha/an)	Volume irrigation (m³/ha)	Pluie utile (m³)	Volume à compléter (m³)	Volume irrigué (m³)
Mars	1000	17 308 600	12 188 078	5 120 522	51 205
Avril	1000	17 308 600	10 356 081	6 952 519	69 525
Mai	1000	17 308 600	11 088 066	6 220 534	62 205
Juin	1000	17 308 600	8 187 723	9 120 877	91 209

Tableau 7 : Estimation du volume irrigué par mois pour les céréales

En sommant les besoins en irrigations chaque mois et pour chaque type de culture, on obtient le volume total d'irrigation.

Le volume supplémentaire en irrigation par rapport à la situation actuelle (volume supposé déjà pris en compte dans le modèle) est de 8,7Mm³ pour le modèle climatique HadGem et 6,6 Mm³ pour le scénario Aladin.

Les chroniques sont ensuite créées de la même façon que pour le volume tendanciel : en multipliant le volume mensuel d'irrigation par le pourcentage de la surface agricole dédiée au maïs et aux céréales du sous bassin versant.

Scénario baisse

Aucun nouveau prélèvement lié à l'irrigation n'est intégré à ce scénario. Il est supposé qu'un certain nombre de prélèvements sont actuellement non déclarés et suffisent à irriguer les cultures pour ce scénario.

1.3.5 BARRAGE DE CHAMPAGNEY

1.3.5.1 Tendances historiques

Une forte variabilité interannuelle (3 à 11 Mm³) a été constatée sur la période 2016-2023, liée aux cycles décennaux de vidange et de remplissage réglementaire du barrage. Par conséquent, la valeur annuelle retenue est 6,6 Mm³ (moyenne des années 2022, 2023, 2024).

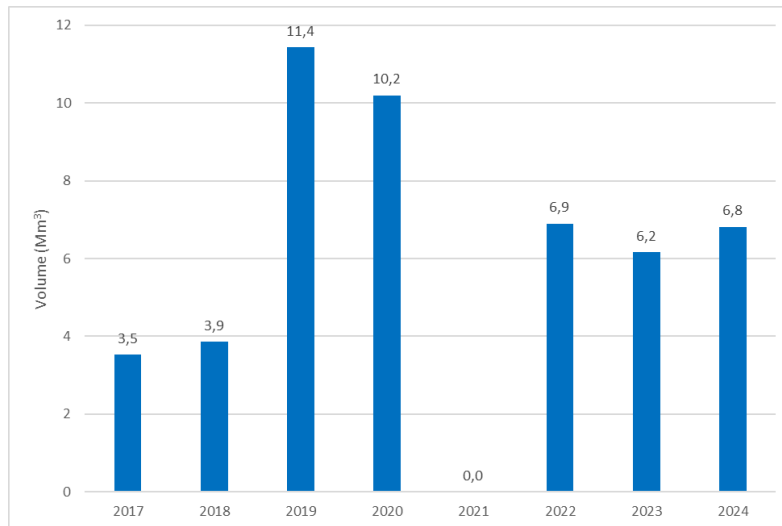


Figure 14 : Histogramme de l'évolution annuelle des prélèvements à la prise d'eau du Rahin [2017-2024]

Les prélèvements sont majoritairement réalisés durant les périodes d'abondance de la ressource, et ne représentent qu'une faible part en période d'étiage.

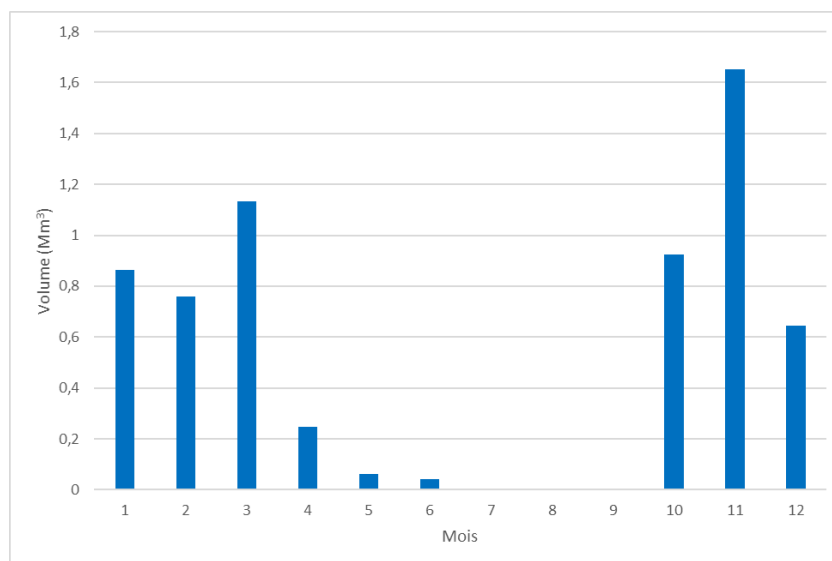


Figure 15 : Histogramme de la répartition mensuelle moyenne des prélèvements réalisés sur la prise d'eau du Rahin [2022-2024]

1.3.5.2 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

Les besoins et consommations en eau liés à la prise d'eau du Rahin demeurent inchangés entre les chroniques actuelles et celles projetées à l'horizon 2050 (plus d'évaporation liée au réchauffement climatique mais travaux d'étanchéification pour limiter les pertes d'eau envisagés). Le volume annuel prélevé par le Rahin est considéré égal à 6,6 Mm³/an. La répartition mensuelle est identique à celle de la période actuelle (prélèvements principalement pendant la saison des crues, quasi nuls en période d'étiage).

Scénario augmentation

Le scénario d'augmentation de la prise d'eau du Rahin repose sur une augmentation de **25%** des prélèvements par rapport au scénario tendanciel.

Sachant que le volume total par an est en moyenne de 6,6 Mm³, le volume total du scénario d'augmentation est $6,6 * 25\% = \mathbf{8,3\ Mm^3}$, soit une augmentation de 1,7 Mm³.

Ce volume est réparti selon chaque mois de l'année de manière similaire au scénario tendanciel.

Scénario baisse

Le scénario de baisse de la prise d'eau du Rahin repose sur une diminution de **25%** des prélèvements par rapport au scénario tendanciel.

Sachant que le volume total par an est en moyenne de 6,6 m³, le volume total du scénario d'augmentation est $6,6 * -25\% = \mathbf{4,9\ m^3}$, soit une diminution de 1,7 Mm³.

Ce volume est réparti selon chaque mois de l'année de manière similaire au scénario tendanciel.

1.3.6 STATIONS D'EPURATION

1.3.6.1 Tendances historiques

Les volumes rejetés par les stations d'épuration ont été estimés à partir des données transmises par l'Agence de l'Eau. Seule l'année 2023 a été fournie. Aucune tendance précise ne peut être réalisée sur les données historiques.

On peut cependant estimer que les rejets des stations d'épuration sont liés aux prélèvements AEP avec un taux de restitution global estimé à 81% en moyenne sur le bassin versant.

1.3.6.2 Scénarios étudiés

Scénario tendanciel

L'analyse des projections futures des consommations en eau liées aux stations d'épuration se base sur les données d'évolution de démographie de l'INSEE, du PAC, ainsi que des BNPE.

L'hypothèse choisie ici pour modéliser les rejets liés aux stations d'épuration est de suivre l'évolution de la consommation des AEP avec un rendement de 81%. Ainsi, les volumes rejetés correspondent aux volumes consommés en 2050 multipliés par 0,81.

Contrairement à l'étude de l'AEP, l'analyse ici a été menée uniquement selon la méthode de l'INSEE, en effet, la méthode BNPE étant jugée trop décorrélée de la réalité, elle n'a pas été gardée dans la suite des analyses.

Le tableau suivant reprend les consommations en 2021, celles estimées pour 2050 et les volumes rejetés en 2050 d'après les données de l'INSEE :

Sous bassin versant	Consommation 2021 (m³)	Consommation 2050 (m³)	Volume rejeté 2050 (m³)
OGN1	110 644	72 620	58 822
OGN2	473 954	179 515	145 407
OGN3	1 396 580	819 785	664 026
OGN4	533 944	448 404	363 207
OGN5	1 170 922	722 505	585 229
OGN6	1 864 498	2 574 452	2 085 306
OGN7	1 133 425	3 904 755	3 162 851
RAH1	1 075 496	54 451	44 105
RAH2	589 314	669 562	542 346
SCEY	432 167	469 037	379 920
TOTAL	8 790 944	9 915 086	8 031 219

Tableau 8 : Consommation totale et volume rejeté d'après l'évolution de la population estimée par l'INSEE pour chaque sous bassin versant selon les années

Avec une hypothèse de 81% de rendement du réseau AEP, on obtient des rejets totaux pour les stations d'épuration de l'ordre de 8 Mm³ en 2050 pour 9,9Mm³ de prélèvements AEP.

Scénario augmentation

Comme pour l'AEP, à l'horizon 2050, le scénario repose sur l'hypothèse d'une **augmentation de la population de 30 %**, répartie de manière homogène sur l'ensemble du bassin versant.

Avec une hypothèse de 81% de rendement du réseau l'AEP, on obtient des rejets totaux pour les stations d'épuration de l'ordre de 9,2 Mm³ en 2050 pour 11,4 Mm³ de prélèvements AEP.

Scénario baisse

La réflexion utilisée pour le scénario d'augmentation est maintenue mais en supposant une baisse de la population de l'ordre de **25%** d'ici 2050.

Avec une hypothèse de 81% de rendement du réseau l'AEP, on obtient des rejets totaux pour les stations d'épuration de l'ordre de 5,3 Mm³ en 2050 pour 6,6 Mm³ de prélèvements AEP.

1.3.7 BILAN DES PRELEVEMENTS ET REJETS

Le bilan annuel des prélèvements est présenté ci-dessous pour les 3 scénarios

Le tableau suivant présente les volumes prélevés et rejetés pour les deux horizons temporels, en distinguant les usages :

			Tendanciel		Augmentation		Baisse	
	Volume (Mm3) - 2020	Volume (%) - 2020	Volume (Mm3) - 2050	Volume (%) - 2050	Volume (Mm3) - 2050	Volume (%) - 2050	Volume (Mm3) - 2050	Volume (%) - 2050
AEP (prélèvements)	9,1	53%	9,9	55%	11,4	41%	6,6	52%
	(dont 2 Mm ³ abreuvement bétail)		(dont 2 Mm ³ abreuvement bétail)		(dont 2,2 Mm ³ abreuvement bétail)		(dont 1,7 Mm ³ abreuvement bétail)	
Industries (prélèvements)	1	6%	1	6%	1,3	5%	0,8	6%
Agriculture (prélèvements sur le milieu) - abreuvement	0,35	2%	0,3	2%	0,35	1%	0,26	2%
Agriculture (prélèvements sur le milieu) - irrigation			0,32	2%	6,6 (Aladin) 8,7 (HadGem)	24% 29%		
Prise d'eau sur le Rahin (prélèvements) – Moyenne [2022-2024]	6,6	39%	6,6	36%	8,3	30%	5	39%
STEU (rejets)	7,4	43% des volumes prélevés	8,0	44% des volumes prélevés	9,2	33% des volumes prélevés	5,3	42% des volumes prélevés

Figure 16 : Bilan des prélèvements et rejets annuels sur le bassin versant de l'Ognon pour 2020 et 2050, Détail par usage

	Volume (Mm3) - 2020	Tendanciel		Augmentation (Aladin)		Augmentation (HadGem)		Baisse	
		Volume (Mm3) - 2050	Evolution (%)	Volume (Mm3) - 2050	Evolution (%)	Volume (Mm3) - 2050	Evolution (%)	Volume (Mm3) - 2050	Evolution (%)
Prélèvements	17,05	18,1	+6%	28,0	+64%	30,1	+76%	12,7	-26%
Rejets	7,4	8,0	+9%	9,2	+25%	9,2	+25%	5,3	-27%

Figure 17 : Bilan des prélèvements et rejets annuels sur le bassin versant de l'Ognon pour 2020 et 2050, Global

1.3.8 NOTA SUR LES PLANS D'EAU

Pour les années futures, une augmentation de cette composante est envisagée à l'horizon 2050 (liée à une intensification de l'aridité estivale).

L'analyse de l'évaporation des plans d'eau a été conduite en utilisant les chroniques futures de températures selon les modèles climatiques Aladin et HadGem (cf. §2.3). Cette démarche vise à anticiper l'impact du changement climatique sur les volumes d'eau évaporés, dans un contexte de raréfaction de la ressource.

L'évaporation en Mm³ a pu être estimée en supposant une surface totale de tous les plans d'eau du bassin versant égale à 12 823 491 m² (d'après la BDTopo).

Hypothèse	Evaporation (Mm ³)	Evolution de l'évaporation	Perte d'eau supplémentaire (Mm ³)
Actuel	6,86	0%	0
Modèle Aladin	7,64	11%	0,78
Modèle HadGem	8,03	17%	1,17

Tableau 9 : Evolution de l'évaporation sur les plans d'eau du BV en fonction des hypothèses climatiques

Ces résultats traduisent une sensibilité accrue de l'évaporation aux hausses de température, soulignant ainsi l'importance de cette variable dans les projections futures de gestion de l'eau.

En parallèle de l'analyse de l'évaporation des plans d'eau, une analyse complémentaire est menée sur l'évapotranspiration, afin de mieux cerner l'impact global du réchauffement climatique sur la ressource en eau. Dans cette analyse, le modèle considère que l'intégralité du BV est recouvert de plantes et ne dispose d'aucun plan d'eau.

Cette analyse complémentaire vise uniquement à fournir des ordres de grandeur. Elle permet de mettre en perspective les résultats relatifs aux plans d'eau : en effet, se focaliser uniquement sur l'augmentation des pertes en eau liée à ces derniers pourrait laisser penser que la solution serait de les supprimer, alors qu'au global, une perte en eau subsiste quel que soit le type d'occupation du sol (retenue d'eau ou forêt). Cette analyse a donc pour objectif de relativiser les valeurs présentées précédemment.

En supposant une surface totale de forêt de 230 000 ha sur le bassin versant, on obtient le tableau suivant :

Hypothèse	Evapotranspiration (Mm ³)	Evolution de l'évapotranspiration	Perte d'eau supplémentaire (Mm ³)
Actuel, +0°C	1640	0%	0
Modèle Aladin	1826	11%	187
Modèle HadGem	1920	17%	281

Tableau 10 : Evolution de l'évapotranspiration sur les plantes du BV en fonction des hypothèses climatiques

Les pertes d'eau liées au réchauffement n'incomberont donc pas seulement aux plans d'eau, même si les pertes en été sont plus importantes sur les plans d'eau que sur un sol recouvert de végétaux.

2 VOLET CLIMAT – DESCRIPTION DU CLIMAT FUTUR ET DE SES IMPACTS

2.1 INTRODUCTION – LE PROJET EXPLORE2

Le projet Explore2 (2021-2024) est porté par l'INRAE et l'Office International de l'eau (OIEau). Il s'inscrit dans la suite du projet Explore 2070 (2010-2012) grâce auquel 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.

Ce projet a officiellement été lancé en juillet 2021, cofinancé par les partenaires du projet, le Ministère de la Transition Ecologique (MTE) et l'Office français de la biodiversité (OFB)

Les objectifs du projet consistent à :

- **Actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie** à partir des dernières publications du Giec,
- Mais aussi **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.

Autour d'un consortium scientifique porté par l'INRAE et rassemblant de nombreux acteurs de la recherche (Météo-France, BRGM, École normale supérieure, IRD, CNRS et EDF), le **volet scientifique** du projet est consacré à évaluer l'impact du changement climatique sur la ressource en eau sur l'ensemble du XXI^e siècle et sur la France hexagonale.

Ces données (séries temporelles et indicateurs hydrologiques) :

- Sont produites sur la base des simulations Euro-Cordex produites dans le cadre de l'exercice international CMIP5 mais avec une volonté de fournir des projections compatibles avec CMIP6¹ ;
- Concernent 3 scénarios d'émission de gaz à effet de serre : RCP2.6 (émission faible de gaz à effet de serre et d'aérosols), RCP4.5 (émissions modérées ou intermédiaires) et RCP8.5² (émissions fortes) ;
- Concernent 17 couples de modèles globaux/modèles régionaux (GCM/RCM) et deux méthodes de correction de biais ;
- Sont disponibles sur des grilles 8 x 8 km au pas de temps journalier.

L'**ensemble des données produites** dans le cadre d'Explore2 ainsi que des documents d'accompagnement sont mis à disposition sur un portail de services hydroclimatiques dédié à l'eau, baptisé DRIAS-eau, les futurs de l'eau.

2.2 CHOIX DES NARRATIFS

Les modèles climatiques fournissent des messages robustes pour la température : tant que les émissions nettes de gaz à effet de serre continueront d'augmenter, le réchauffement se poursuivra.

¹ Les simulations régionalisées du projet CMIP6 sont toujours en cours de traitement en juin 2025 ; elles seront disponibles courant 2026

² Pour information, la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique) est basée sur les simulations de 17 modèles avec le scénario de forçage radiatif 8.5.

Pour les précipitations, les modèles indiquent de fortes disparités et incertitudes.

Compte tenu de la multitude de combinaisons simulées et face à la difficulté de conclure si une combinaison est plus vraisemblable qu'une autre, **deux narratifs** correspondant à des projections climatiques contrastées parmi les 17 combinaisons GCM/RCM ont été retenus :

- ❑ **le narratif jaune (CNRM-CM5 rcp85 ALADIN63 ADAMONT)** : changements futurs relativement peu marqués ;
- ❑ **le narratif violet (HadGEM2-ES rcp85 CCLM4-8-17 ADAMONT)** : fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations.

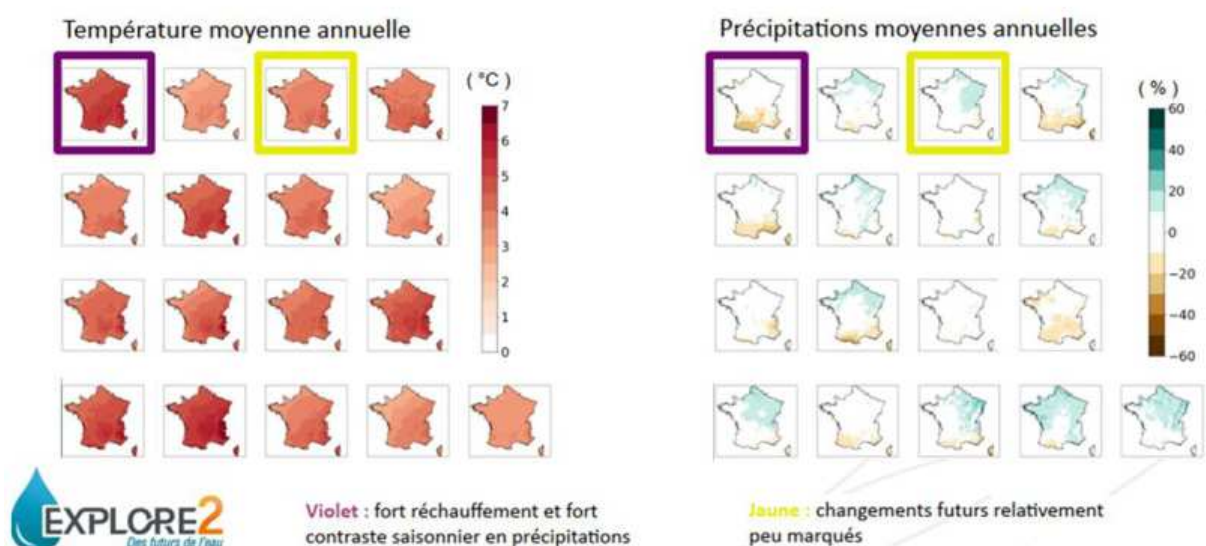


Figure 18 : Description des narratifs Explore2

Les deux modèles choisis permettent d'encadrer les incertitudes liées aux modélisations. Le modèle CNRM-CM5 / ALADIN63 / correction ADAMONT traduit des changements futurs relativement peu marqués tandis que le modèle HadGEM2 / CCLM48-17 / correction ADAMONT traduit un fort réchauffement et des forts contrastes saisonniers en précipitations.

Les évolutions de pluie et de température sur l'année et en été sont détaillées sur les diagrammes suivants à l'échelle de la France pour le scénario d'émission RCP8.5.

Diagramme $\Delta T / \Delta P$:

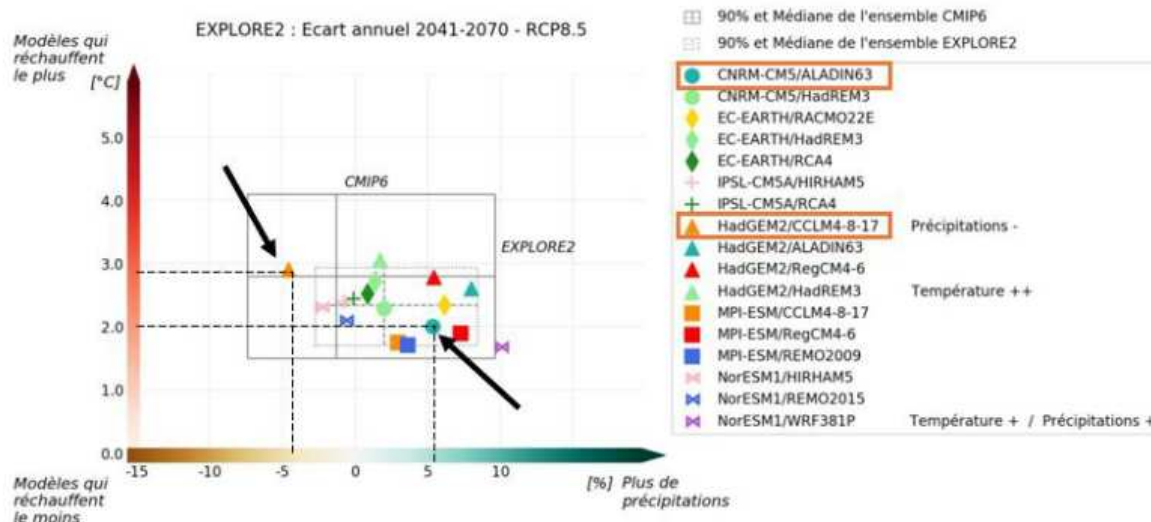


Figure 19: Ecarts de température moyenne et de pluie annuelle entre la situation actuelle et 2041-2070; Note « Aide à la sélection des modèles Scénario d'émission RCP8.5 à l'horizon 2041-2070 », DRIAS, Météo France

Diagramme $\Delta T / \Delta P$:

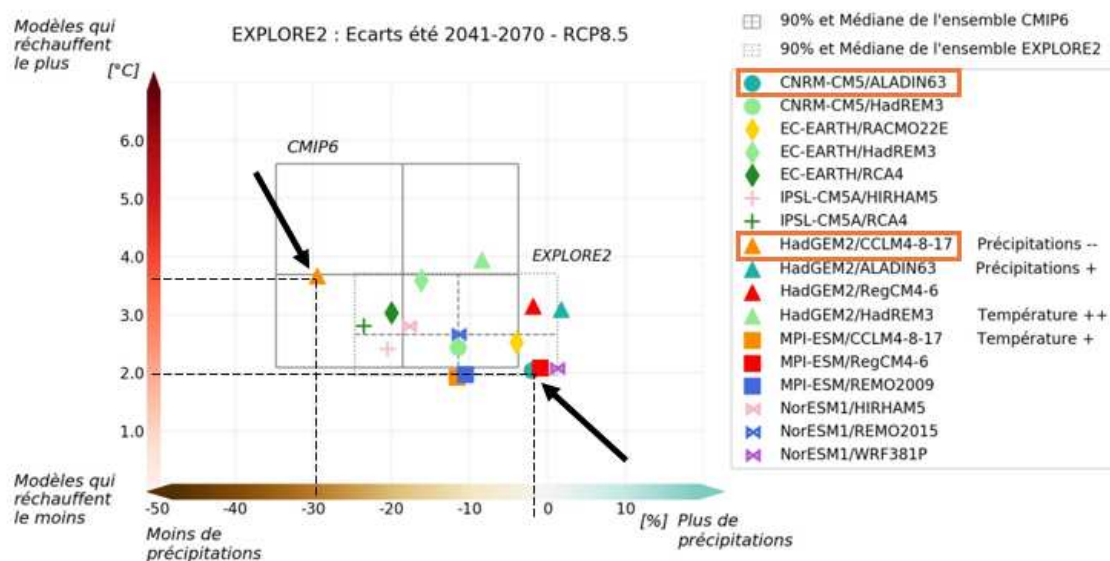


Figure 20: Ecarts de température moyenne et de pluie en été entre la situation actuelle et 2041-2070 ; Note « Aide à la sélection des modèles Scénario d'émission RCP8.5 à l'horizon 2041-2070 », DRIAS, Météo France

Les modèles peuvent simuler différents niveaux de forçage radiatif.

Le forçage radiatif est le bilan entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge émis. Un forçage négatif signifie que la planète se refroidit. Au contraire, un forçage positif signifie qu'elle se réchauffe. Le forçage radiatif est estimé au sommet de la troposphère (entre 10 et 16 km d'altitude) et exprimé en W/m^2 (Watts par m^2). Ce concept permet de quantifier de manière simple l'impact de très nombreux facteurs sur le réchauffement climatique. L'émission de GES dans l'atmosphère conduit à une augmentation du forçage radiatif. Au contraire, l'émission d'aérosols (industrie, éruption) conduit à une baisse du forçage radiatif.

Le forçage radiatif retenu dans le cadre de la présente étude est le forçage 8.5. Ce scénario le plus pessimiste est celui qui correspond à la poursuite des émissions au niveau actuel.

Pour information, la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique) est basée sur les simulations de 17 modèles avec le scénario de forçage radiatif 8.5.

L'image suivante présente les évolutions des précipitations, températures et évapotranspirations potentielles à l'horizon 2070-2099 en comparaison de la période 1975-2005, pour les deux narratifs retenus et pour le scénario RCP8.5 d'émission.

Violet		Jaune	
Température		Température	
année	+ 5,0 °C	année	+ 3,7 °C
hiver	+ 4,2 °C	hiver	+ 3,2 °C
été	+ 6,5 °C	été	+ 4,2 °C
Précipitations		Précipitations	
année	- 8 %	année	+ 6 %
hiver	+ 26 %	hiver	+ 18 %
été	- 45 %	été	- 10 %
Ressource en eau		Ressource en eau	
ETO	+ 26 %	ETO	+ 28 %

Scénario : émissions fortes
Horizon fin de siècle : (2070 – 2099) vs. (1976 - 2005)

Figure 21 : Evolution des températures, pluies et ETO à l'horizon 2070-2099 en comparaison de la période 1976-2005, pour les deux narratifs

En concertation avec le maître d'ouvrage et les membres du COTECH, il a été retenu :

- Les deux narratifs de projection climatique ;
- La période de projection à moyen terme 2041-2070 ;
- Le forçage radiatif 8.5 (scénario le plus pessimiste concernant les émissions de gaz à effet de serre ; scénario retenu pour la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique) par le ministère de la transition écologique.

2.3 METHODOLOGIE GENERALE

L'approche méthodologique générale est résumée sur le logigramme de la Figure 22 :

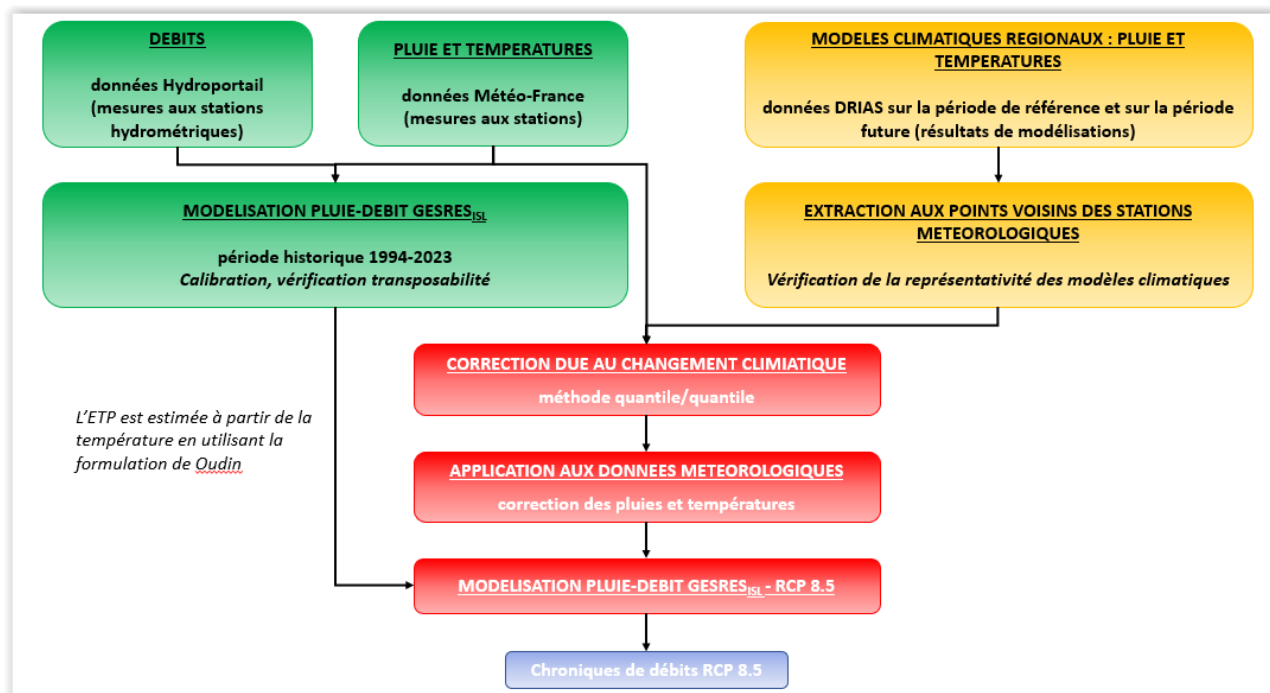


Figure 22 : Méthodologie de constitution de chroniques de débits modifiées par le changement climatique.

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 des températures. L'évapotranspiration 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 les 30 années de données (1994-2023), utilisées pour caler le modèle hydrologique et reconstituer les chroniques de débits observés – chronique appelée données historique ;
- Les pluies et températures issues des modèles climatiques régionaux dits de référence. Les données de référence du DRIAS se terminent en 2005, il a donc été retenu comme période de référence les 30 années précédant 2005, soit 1976-2005.

Dans un premier temps, les chroniques observées « historique » et les chroniques issues des modèles climatiques de « référence » sont comparées afin de vérifier dans quelle mesure ces chroniques se rapprochent des valeurs observées sur le bassin versant (cf. 2.3.1.2).

Par construction, les chroniques issues des modèles sont différentes de celles observées, parfois avec des écarts assez notables, en particulier sur les pluies. En conséquence, une évaluation des écarts entre les chroniques historiques observées et les chroniques de référence du DRIAS des modèles est réalisée par une approche statistique de type quantile/quantile (cf. 2.3.2.2) dans un premier temps.

Dans un second temps, 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 (cf.2.3.2.2). Ces chroniques du climat futur sont ensuite injectées dans le modèle hydrologique pour calculer les chroniques de débits futurs.

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

- **Les données de températures et de pluies des deux narratifs (cf 2.2) mises à disposition sur le site du DRIAS ;**
- **Le modèle hydrologique GESRES_{ISL}** développé pour la présente étude. 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.

Le site du DRIAS met également à disposition les débits journaliers en état désinfluencé pour différents narratifs, différents forçages radiatifs et différents horizons temporels. Les débits sont calculés par le DRIAS avec une modélisation pluie débit de type GR4 (modèle GRSD). Sur le bassin versant de la présente étude, les données de débit DRIAS sont disponibles aux stations de :

- L'Ognon à Servance,
- L'Ognon à Motessaux,
- L'Ognon à Vouhenans,
- L'Ognon à Chasse-les-Montbozon,
- L'Ognon à Beaumotte-Aubertans,
- L'Ognon à Pin,
- L'Ognon à Pesmes,
- Le Rahin au Val de Gouhenans,
- Le Scey à Beveuge.

Les données de débit ont été téléchargées pour le narratif violet RCP 8.5 et comparées aux résultats des simulations GESRES, afin de comparer les tendances.

2.3.1 TRAITEMENT DES DONNEES DES MODELES CLIMATIQUES REGIONAUX

2.3.1.1 Récupération des données

Les données des modèles sur la période de référence 1975-2005 et les données sur la période 2041-2070 sont téléchargées sur le site internet du DRIAS <http://www.drias-climat.fr/>.

Les données mises à disposition sont issues de la version Explore2.

Les données sont extraites aux points de grilles voisins des postes météorologiques utilisés pour la modélisation pluie-débit sous GESRES_{ISL}. Les points de grilles sont espacés tous les 8 km environ.

Les chroniques journalières sont utilisées.

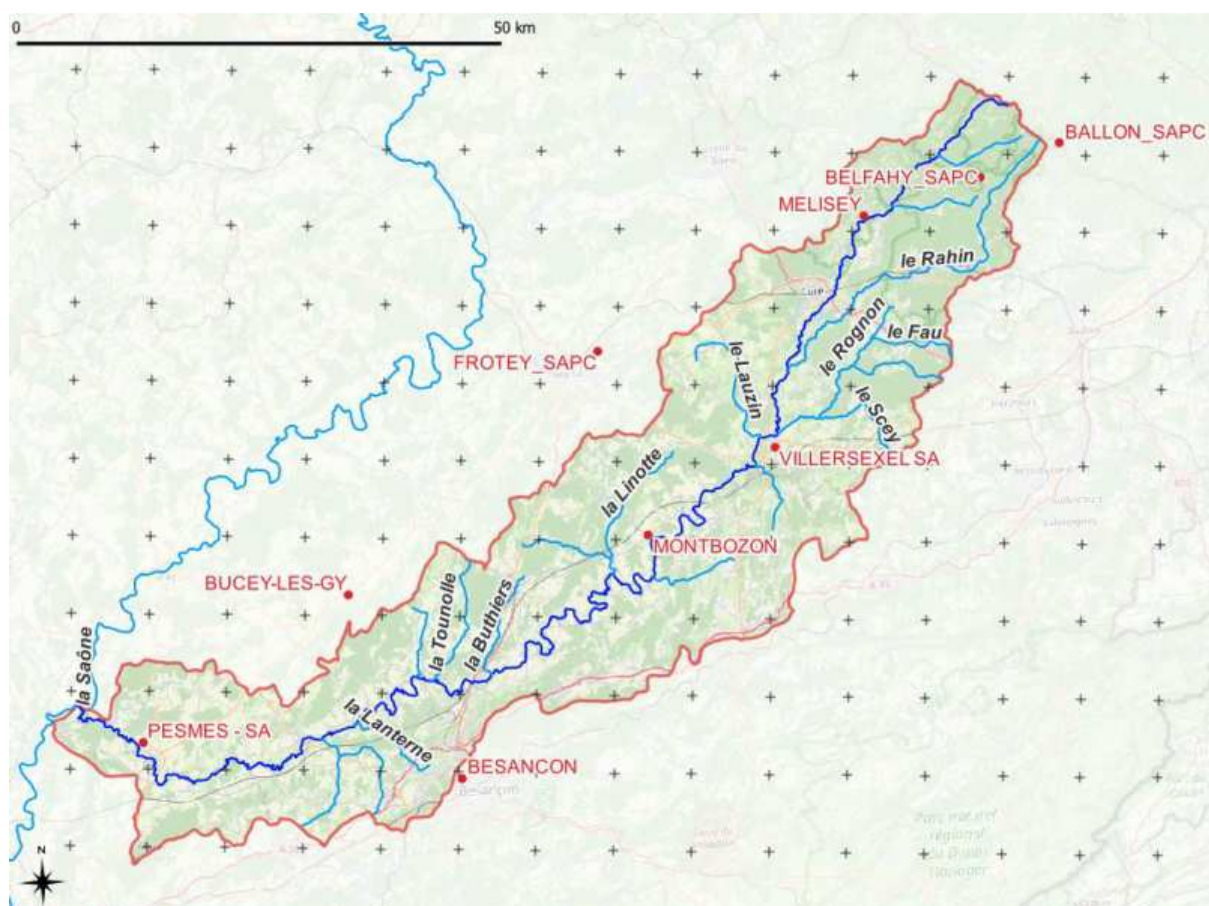


Figure 23 : Localisation des points de grille du DRIAS et des postes météorologiques pris en compte dans le modèle hydrologique GESRES_{ISL}.

2.3.1.2 Comparaison des données observées aux postes météorologiques et des données des modèles climatiques régionaux

Données de pluies

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

A titre d'illustration, les graphiques suivants présentent, au droit des stations pluviométriques de Montbozon et Melisey, pour le narratif violet³, les cumuls de pluie mensuels et les cumuls de pluie annuels.

³ Les comparaisons entre données observées et données des modèles a été réalisées sur l'ensemble des postes pluviométrique et de température utilisés pour la modélisation. Pour ne pas alourdir le rapport, les comparaisons sont présentées uniquement pour deux stations.

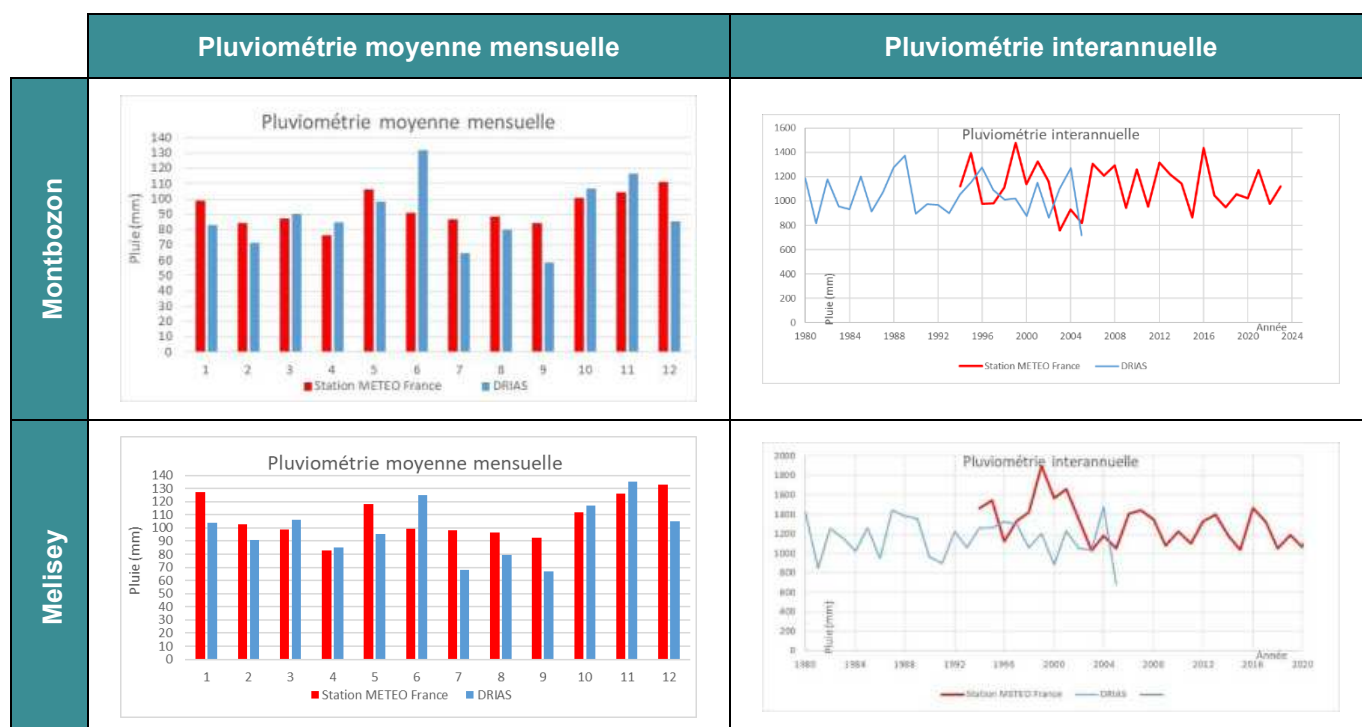


Tableau 11 : Comparaison des pluies « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux « de référence »

Le tableau suivant présente les moyennes et écart-types des pluies moyennes annuelles aux stations, pour la période de référence des différents scénarios.

Station	Grandeur	Observation historique (Météo-France)	Référence – Scénario violet	Référence – Scénario jaune
Ballon	Moyenne	2 273	1 915	1 949
	Ecart-type	385	310	314
Belfahy	Moyenne	1 914	1 915	1 949
	Ecart-type	270	310	314
Besancon	Moyenne	1 163	1 087	1 090
	Ecart-type	169	160	168
Bucey	Moyenne	1 028	922	927
	Ecart-type	161	136	149
Frotey	Moyenne	897	962	962
	Ecart-type	158	156	135
Montbozon	Moyenne	1 119	1 071	1 072
	Ecart-type	185	166	160

Station	Grandeur	Observation historique (Météo-France)	Référence – Scénario violet	Référence – Scénario jaune
Melisey	Moyenne	1 287	1 178	1 192
	Ecart-type	227	206	177
Pesmes	Moyenne	872	917	922
	Ecart-type	133	132	149
Villersexel	Moyenne	1 032	1 071	1 077
	Ecart-type	177	164	163

Tableau 12 : Valeurs moyennes des pluies annuelles (en mm)

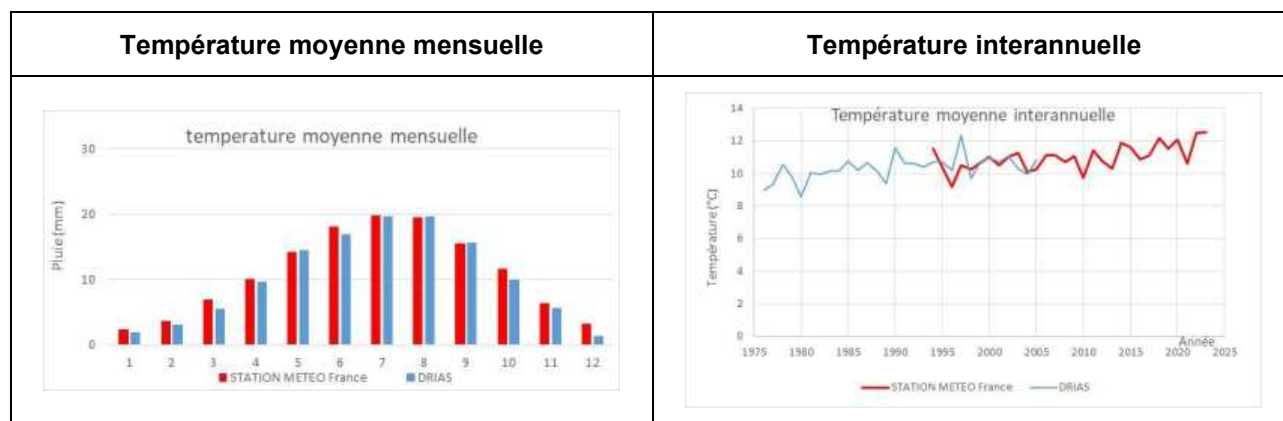
Les moyennes interannuelles de précipitations sont proches sur l'ensemble des stations, et les modèles semblent sous-estimer la pluviométrie.

Ces écarts peuvent s'expliquer par la différence de période d'observation, l'altitude, les points de grilles 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.

Données de températures

De la même manière que pour les pluies, les graphiques suivants présentent, au niveau de la station de Villersexel, pour le narratif violet :

- les températures moyennes annuelles ;
- les températures moyennes mensuelles.

**Tableau 13 : Comparaison des températures « historiques » observées et issues des modèles climatiques régionaux de « référence »**

Le tableau suivant présente les moyennes et écart-types des températures moyennes annuelles au droit de la station, pour la période de référence des différents scénarios.

Station	Grandeur	Observation historique (Météo-France)	Référence – Scénario violet	Référence – Scénario jaune
Villersexel	Moyenne	11,0	10,3	10,4
	Ecart-type	0,7	0,7	0,8

Tableau 14 : Valeurs moyennes des températures annuelles (en °C)

Les moyennes interannuelles de précipitations sont proches.

Les répartitions moyennes mensuelles de températures sont tout de même bien représentées par les modèles climatiques régionaux : ainsi, la saisonnalité des températures est bien reproduite.

Synthèse

Les chroniques de référence présentent des écarts parfois importants avec les chroniques observées ce qui est attendu (il est très difficile pour les modèles de reproduire les cumuls de précipitations au jour le jour). 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.

2.3.2 CONSTRUCTION DES CHRONIQUES D'ENTREE POUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE

2.3.2.1 Introduction

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

- Elles sont biaisées par rapport aux observations (cf. paragraphe précédent) ;
- Leur résolution spatiale est trop grossière (8 x 8 km²).

A cela s'ajoute le fait que le modèle hydrologique a été calé à partir des données de pluies et de températures historiques observées aux stations météorologiques et non sur les données de référence « DRIAS ».

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

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.

2.3.2.2 Correction des écarts par approche quantile-quantile

Compte tenu des écarts constatés entre les observations et les résultats des modèles climatiques régionaux, des méthodes de correction 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 quantile-quantile est appliquée :

- Pour chaque mois, les 200 quantiles (pas de 0,5 %) de la distribution des données journalières (pluies et températures) sont déterminés sur la période de 1994 à 2023 pour les données observées historiques et sur la période de référence 1975-2005 pour les modèles climatiques. L'opération est réalisée sur les données observées et sur les chroniques issues de chaque modèle climatique ;
- **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 de référence 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 de référence 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 201 centiles⁴, soit 2 412 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.

Les facteurs correctifs pour les percentiles de pluie les plus extrêmes sont plafonnés par le facteur correctif maximal des percentiles précédents afin d'éviter d'aggraver de manière démesurée les événements extrêmes et de garantir la variation mensuelle de la lame d'eau précipitée après correction de biais. Le quantile seuil est défini de manière à minimiser l'écart entre l'évolution projetée à la station (Valeur projetée – Valeur de référence) et l'évolution au point DRIAS des cumuls de pluie moyens mensuels. Ces corrections manuelles s'appliquent dans l'ensemble aux quantiles correspondant aux forts cumuls.

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 future 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 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 future 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 8.5 2050).

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.

⁴ : le centile 0 est utilisé.

Le tableau suivant présente les écarts avec le narratif violet RCP8.5 pour les températures à la station de Villersexel.

Mois	DRIAS référence (1975-2005)	Projection DRIAS (2041-2070)	Ecart DRIAS En °C	Station Météo- France (1994-2024)	Projection station (2041-2070)	Ecart à la station En °C
janvier	2,0	4,1	+2,1	2,4	4,5	+2,1
février	3,1	5,3	+2,3	3,7	5,9	+2,3
mars	5,5	7,4	+1,8	6,9	8,7	+1,8
avril	9,6	11,2	+1,6	10,1	11,7	+1,6
mai	14,5	17,2	+2,6	14,2	16,7	+2,6
juin	16,9	20,3	+3,3	18,1	21,4	+3,3
juillet	19,7	23,8	+4,1	19,9	24,0	+4,1
août	19,6	24,3	+4,6	19,5	24,2	+4,7
septembre	15,6	19,6	+4,0	15,6	19,5	+4,0
octobre	9,9	13,8	+3,9	11,6	15,6	+3,9
novembre	5,7	8,7	+3,0	6,4	9,4	+3,0
décembre	1,4	5,3	+3,9	3,2	7,2	+3,9

Tableau 15 : évolutions des températures à Villersexel par rapport à la période de référence – Narratif violet

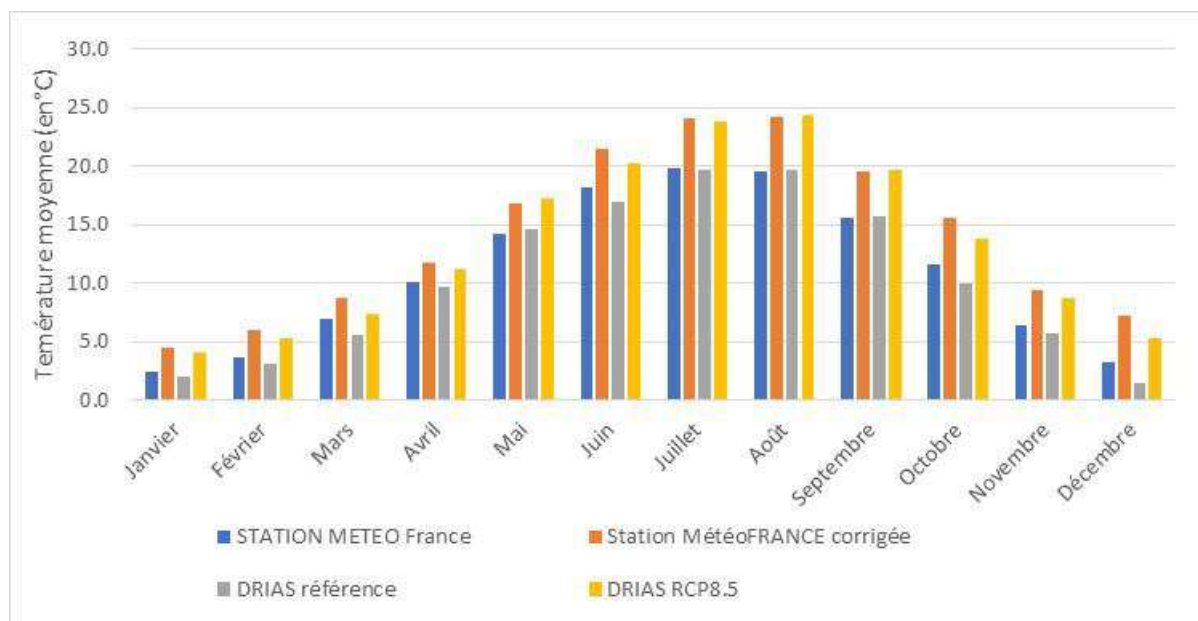


Figure 24 : évolutions des températures à Villersexel par rapport à la période de référence – Narratif violet

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.

Le Tableau 16 illustre le cas de la station de Montbozon : après corrections manuelles, l'évolution des pluies mensuelles est du même ordre de grandeur entre les chroniques d'entrées du modèle hydrologique et les chroniques issues des modèles climatiques régionaux (« chroniques DRIAS »).

Mois	DRIAS référence	Projection DRIAS	Ecart DRIAS (%)	Station Météo- France	Projection station	Ecart à la station (%)
janvier	83,0	106,1	28%	98,9	125,7	27%
février	71,5	100,5	41%	84,2	118,9	41%
mars	90,3	111,7	24%	87,1	107,7	24%
avril	84,5	92,0	9%	76,2	81,9	8%
mai	98,5	89,3	-9%	106,1	96,7	-9%
juin	132,0	95,9	-27%	90,8	68,0	-25%
juillet	64,3	50,6	-21%	86,5	67,6	-22%
août	79,6	39,9	-50%	88,4	43,0	-51%
septembre	58,6	46,6	-21%	84,2	65,3	-23%
octobre	106,7	83,0	-22%	100,8	77,4	-23%
novembre	116,6	131,9	13%	104,3	118,6	14%
décembre	85,7	99,6	16%	111,2	126,5	14%

Tableau 16 : Evolutions des précipitations par rapport à la période de référence – station de Montbozon – Narratif violet

2.3.3 APPLICATION A LA CHRONIQUE COMPLETE 1993-2022

Les coefficients de correction ainsi calculés et corrigés (pour ce qui concerne les pluies) sont ensuite appliqués à la chronique complète sur la période 1994-2023, toujours avec la même approche centile-centile.

Ainsi, pour les 9 postes pluviométriques et le poste de températures utilisés dans la modélisation hydrologique, les chroniques suivantes sont disponibles :

- Chronique de pluies et températures journalières du 01/01/1994 au 31/12/2023 (données Météo-France) ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 8.5 à moyen terme 2041-2070, modèle Aladin ;
- Chronique de pluies et températures journalières pour le scénario RCP 8.5 à moyen terme 2041-2070, modèle HadGEM.

2.3.4 COMPARAISON DES DEBITS SIMULES AUX DONNEES DRIAS

Le modèle GESRES (cf §2.5) est utilisé pour simuler les chroniques de températures et de pluviométries, corrigées avec la méthode quantile-quantile, sur la période 2041-2070 et comparer les débits ainsi calculés aux débits mis à disposition sur le site DRIAS-EAU aux stations de :

- L'Ognon à Servance,
- L'Ognon à Montessaux,
- L'Ognon à Vouhenans,
- L'Ognon à Chassey-les-Montbozon,
- L'Ognon à Beaumotte-Aubertans,
- L'Ognon à Pin,
- L'ognon à Pesmes,

- Le Rahin au Val de Gouhenans,
- Le Scey à Beveuge.

Ces stations sont localisées sur la cartographie suivante.

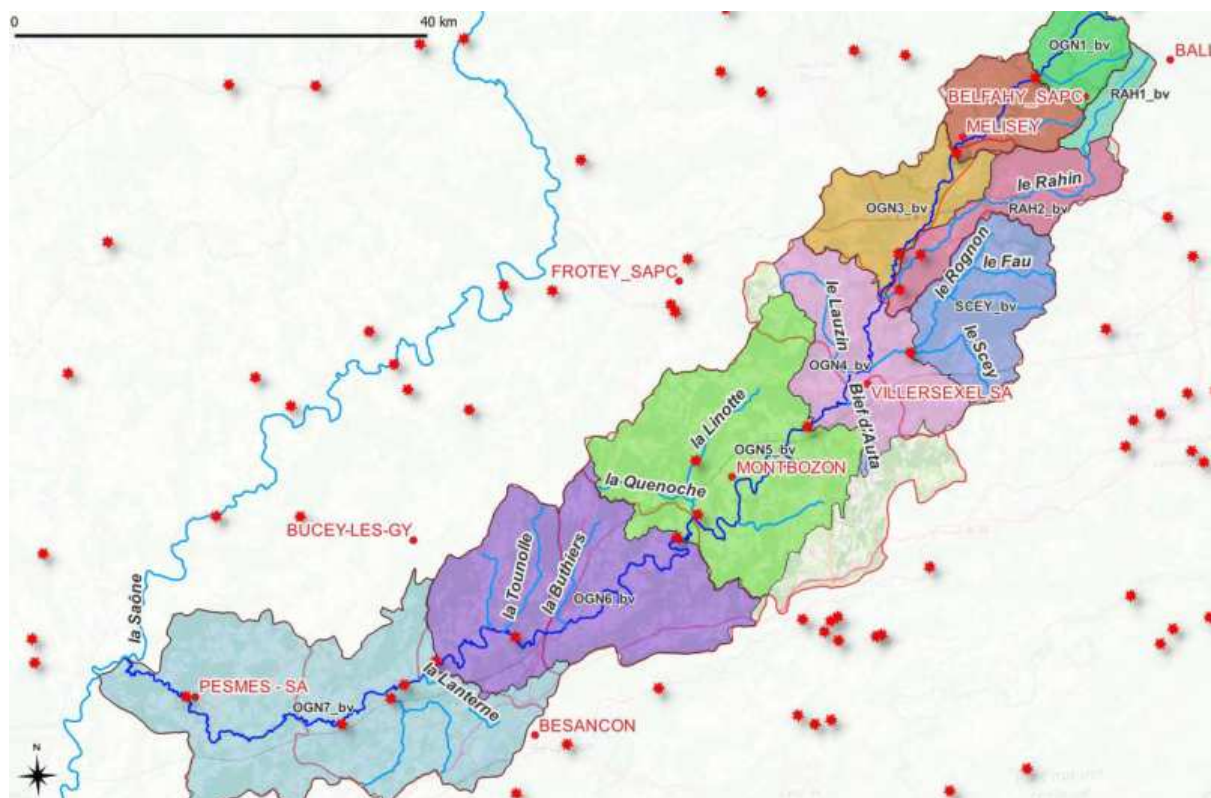


Figure 25 : Stations hydrométriques retenues - cartographie

Les données de débit sur le site DRIAS ont été calculées avec une modélisation pluie-débit de type GR4 (modèle GRSD). Les débits sont fournis dans un état désinfluencé (hydrologie naturelle).

La comparaison entre les données DRIAS et les valeurs calculées par le modèle GESRES est réalisée sur le narratif violet RCP8.5.

Le modèle GESRES est repris :

- Modification des chroniques de températures (intégration des chroniques du narratif violet) ;
- Modification des chroniques de pluies (intégration des chroniques du narratif violet) ;
- L'évapotranspiration sur les bassins est calculée à partir des chroniques de température et est donc modifiée automatiquement ;
- Il est fait l'hypothèse que les prélèvements et la ressource hydrogéologique sont identiques sous changement climatique.

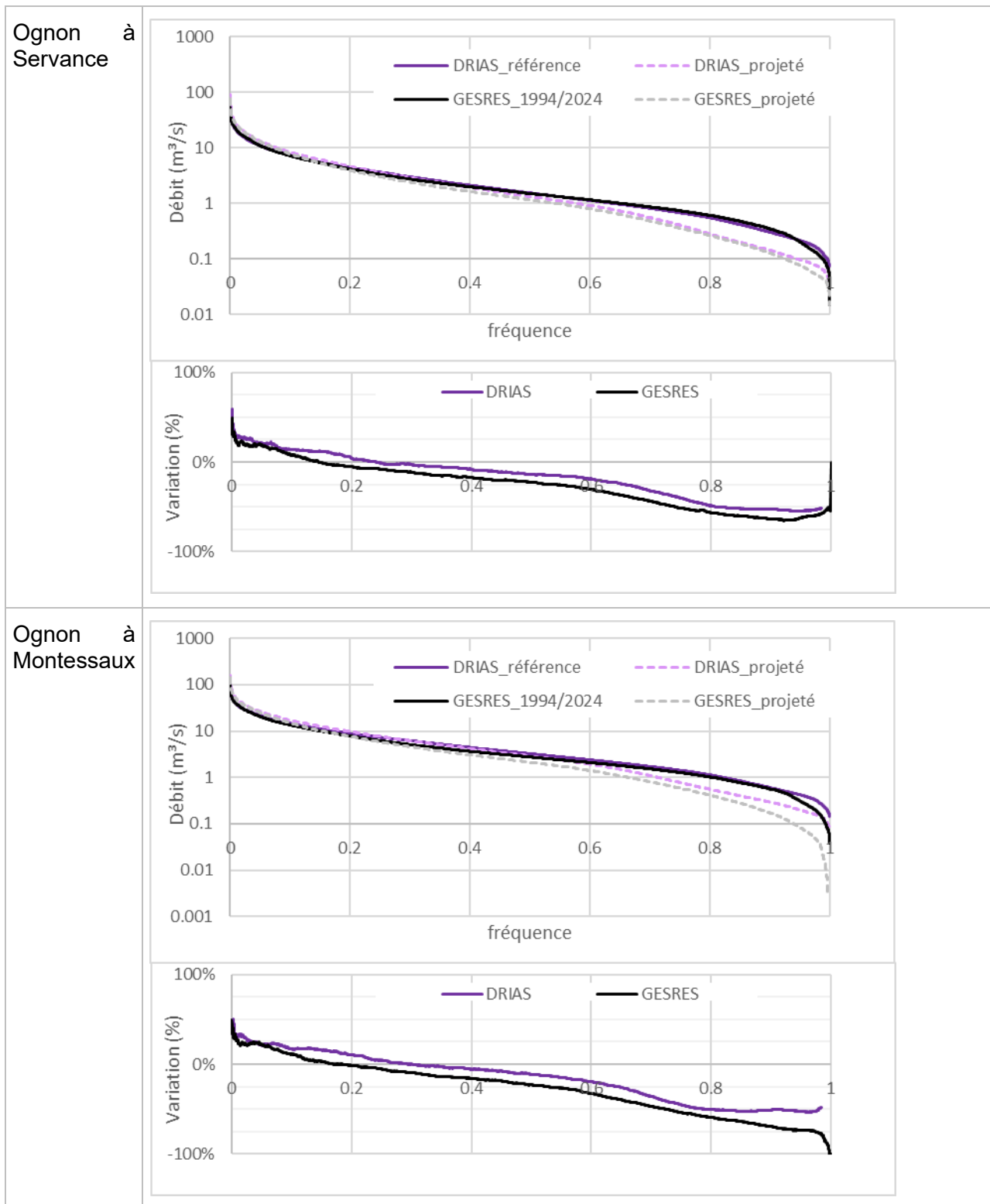
2.3.4.1 Débits classés

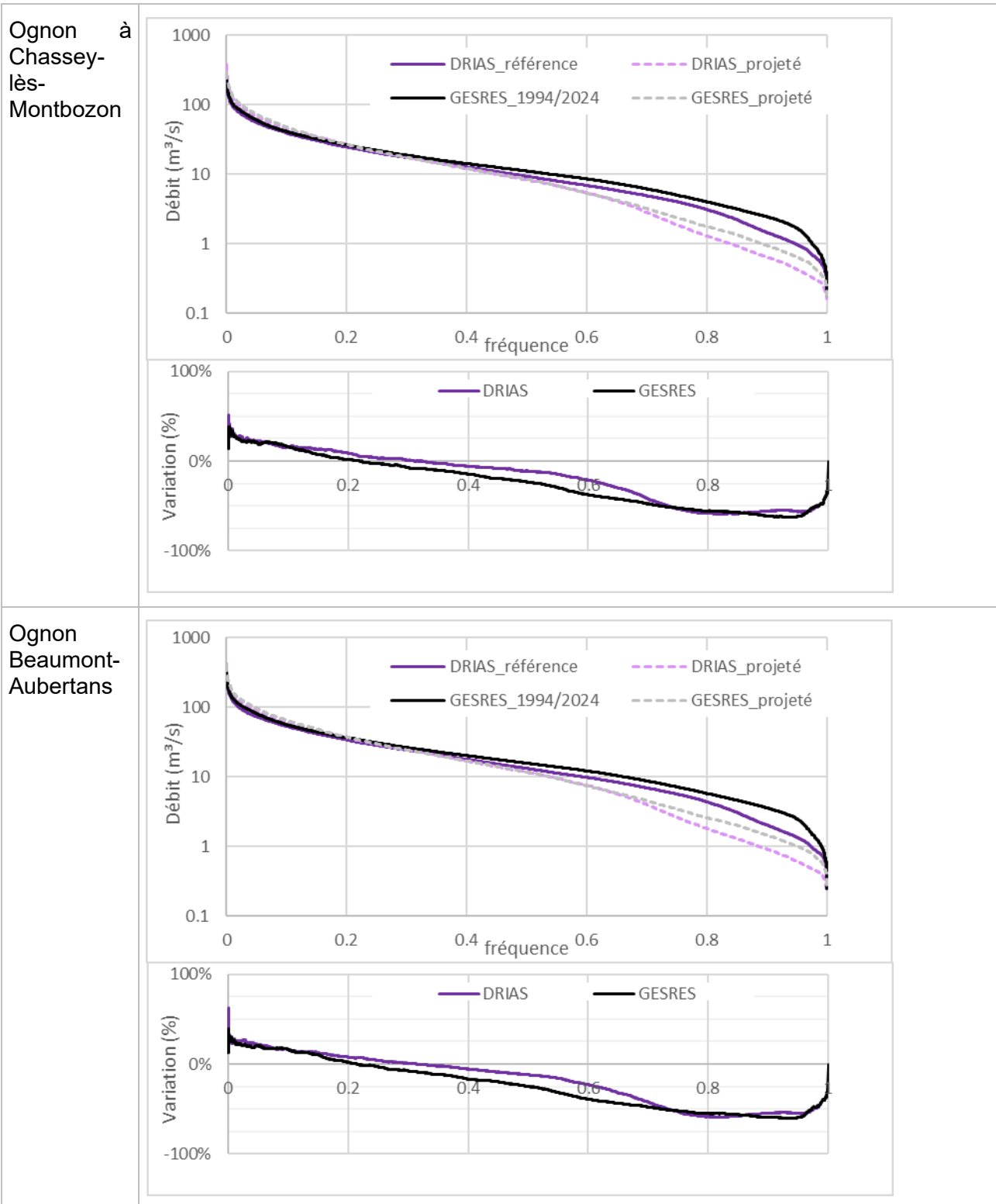
La figure suivante présente les débits classés et les débits mensuels aux stations choisies pour les chroniques suivantes :

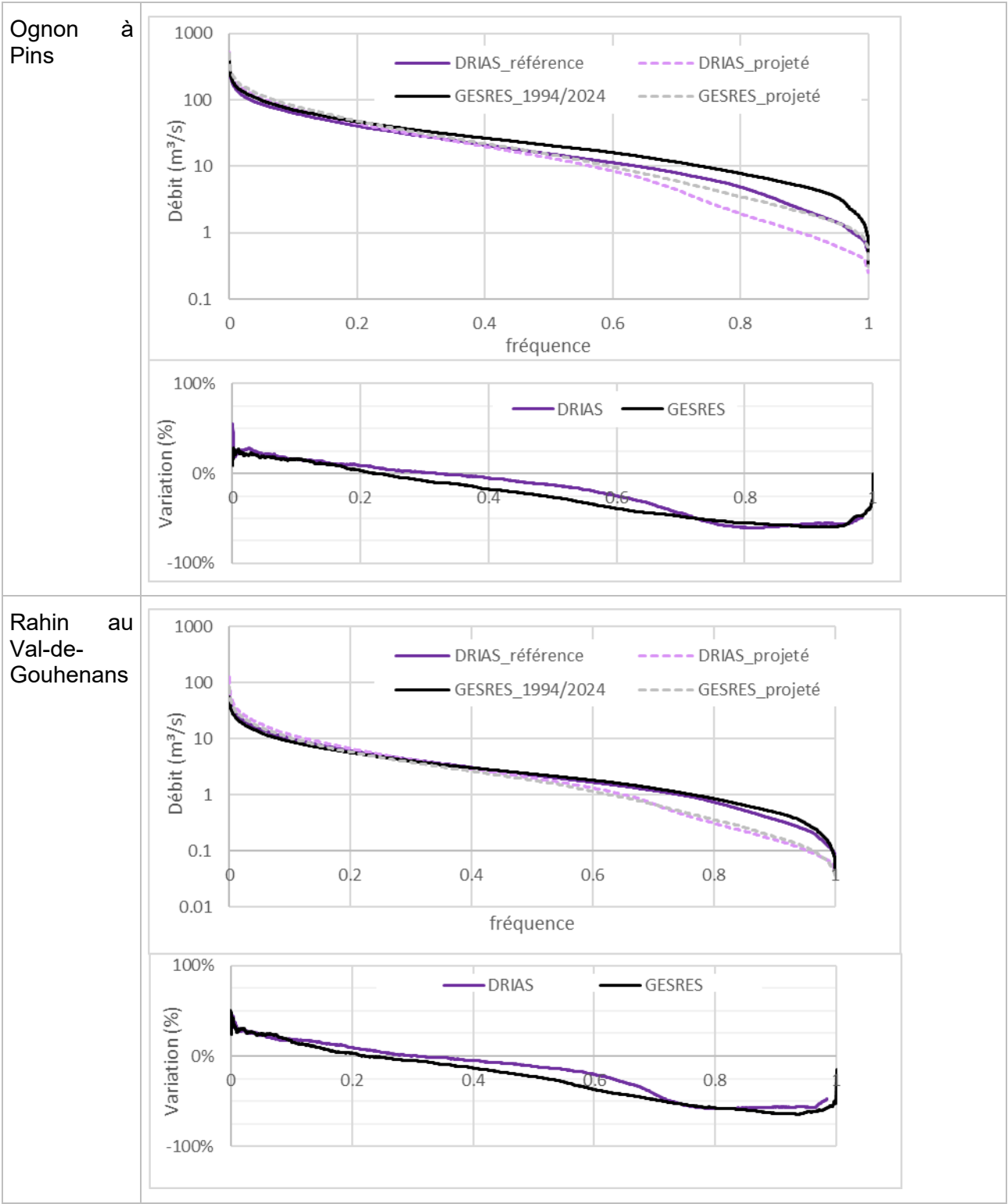
- DRIAS de référence (1975-2005),

- DRIAS projeté (2041-2070),
- GESRES historique (1994-2023) : résultats GESRES obtenus avec les chroniques de pluie et de température mesurées,
- GESRES projeté : résultats GESRES obtenus avec les chroniques de pluie et de température projetées selon la méthodologie présentée au 2.3.2.2.

Sont également calculées les variations entre période future et période de référence, pour les chroniques DRIAS et les chroniques GESRES.







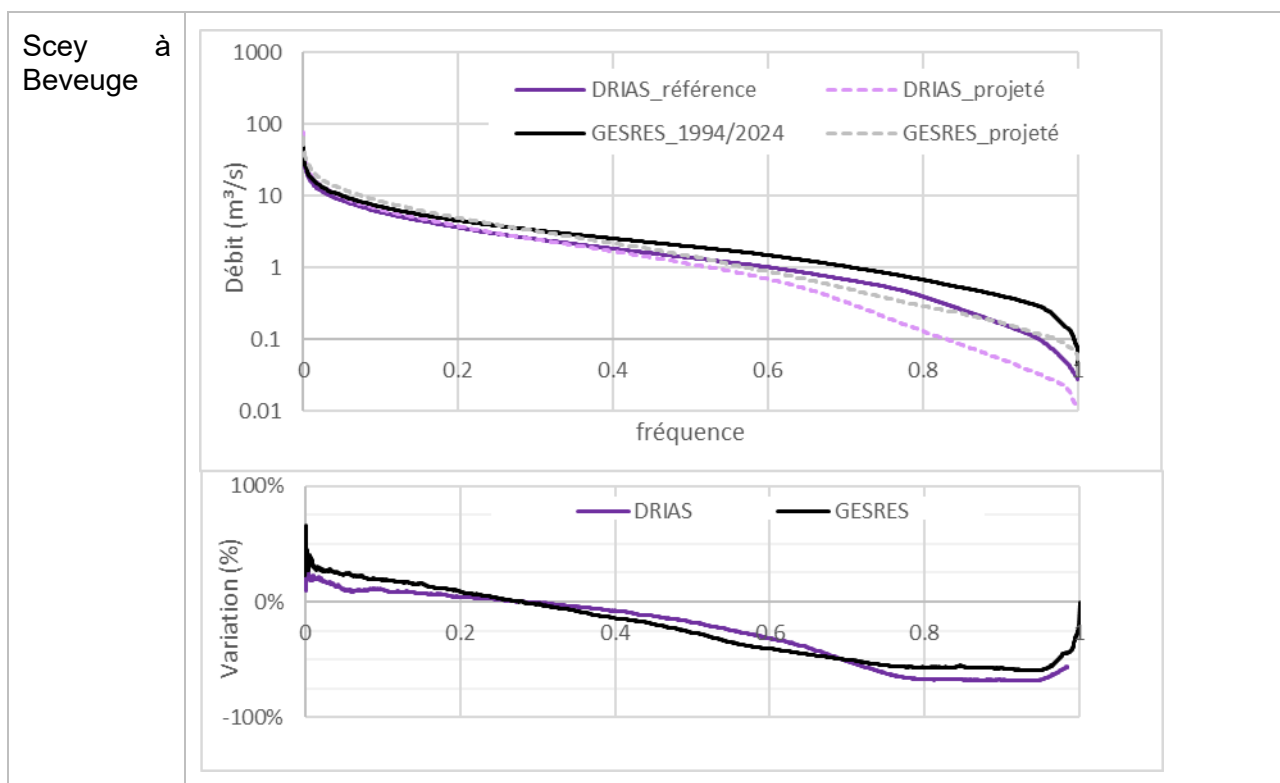


Figure 26 : Comparaison des courbes de débits classés obtenus en aval des bassins versants avec les données DRIAS

Les courbes de débits classés à chaque station présentent une forme similaire entre les données DRIAS et les résultats GESRES. Les variations entre les débits classés à la période de référence et à l'horizon futur sont relativement proches, ce qui permet de valider l'approche utilisée. Les différences de l'ordre de 20 %, ne sont pas surprenantes compte-tenu des différentes méthodes utilisées pour la modélisation, et des incertitudes sur les données climatiques aux horizons lointains.

2.3.4.2 Débits moyens mensuels

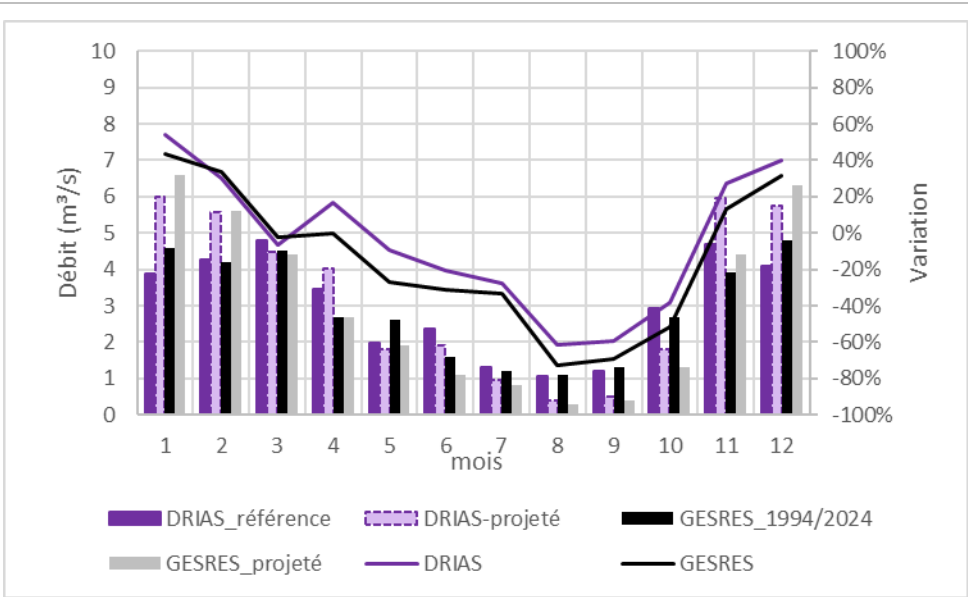
La figure suivante présente les débits moyens mensuels aux stations choisies pour les chroniques suivantes :

- DRIAS référence (1975-2005),
- DRIAS projeté (2041-2070),
- GESRES référence (1994-2023) : résultats GESRES obtenus avec les chroniques de pluie et de température mesurées,
- GESRES projeté : résultats GESRES obtenus avec les chroniques de pluie et de température projetées selon la méthodologie présentée au 2.3.2.2.

Sont également calculées les variations entre période future et période de référence, pour les chroniques DRIAS et les chroniques GESRES.

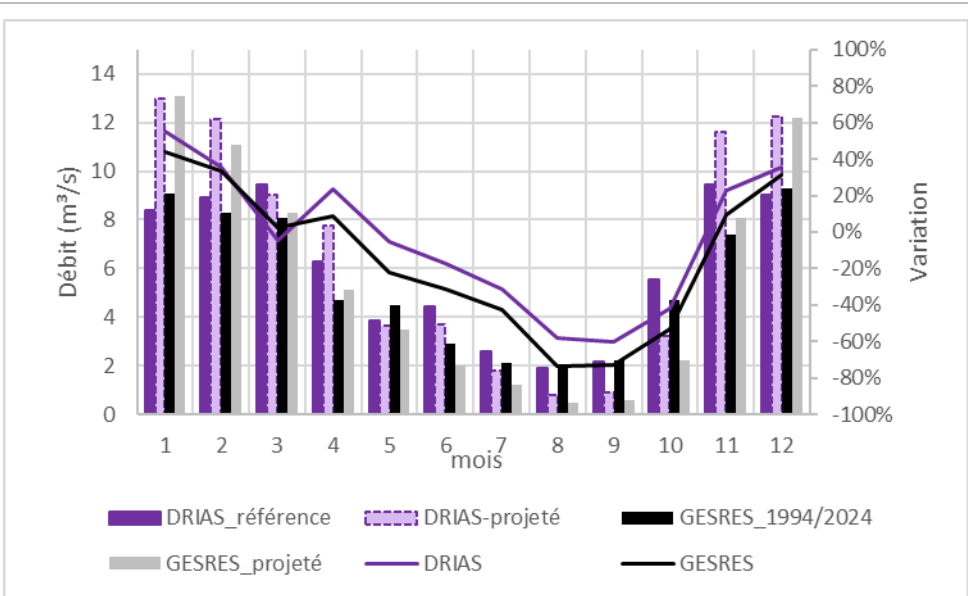
Ognon
Servance

à



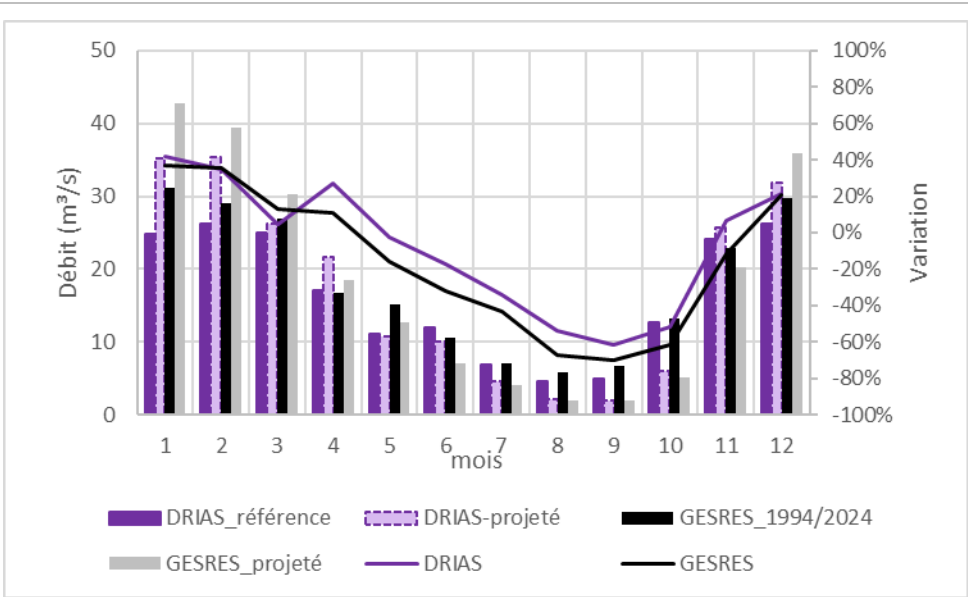
Ognon
Montessaux

à

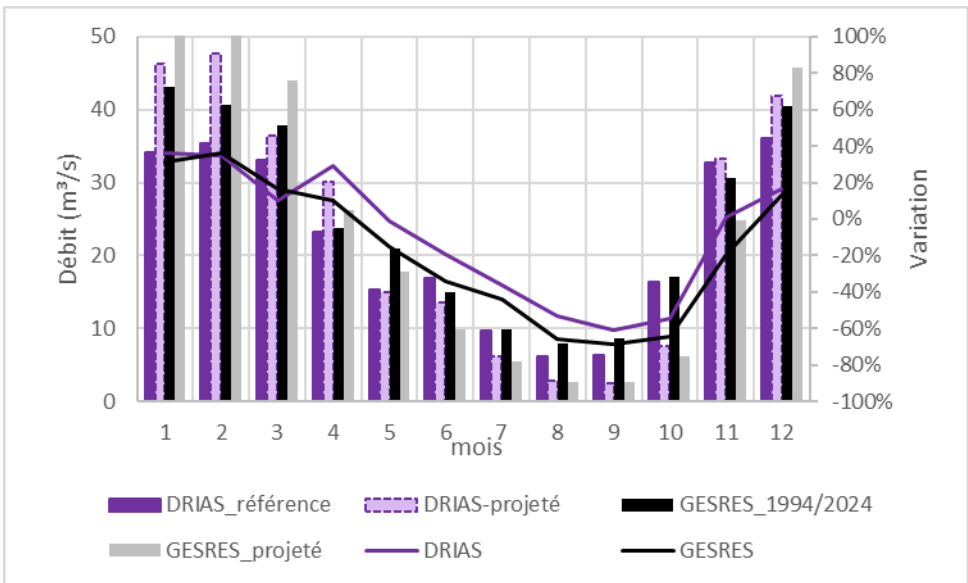


Ognon
Chassey-lès-
Montbozon

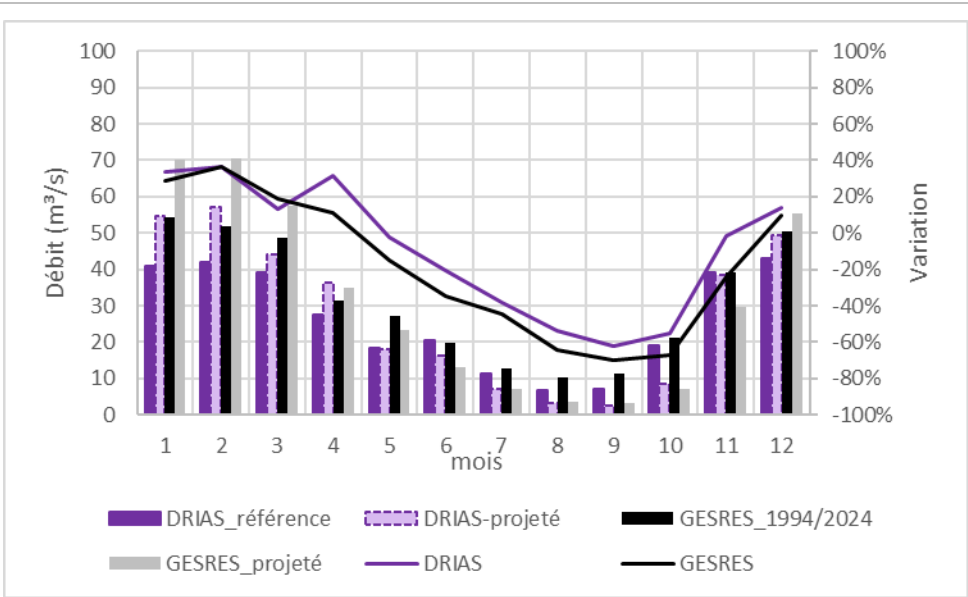
à



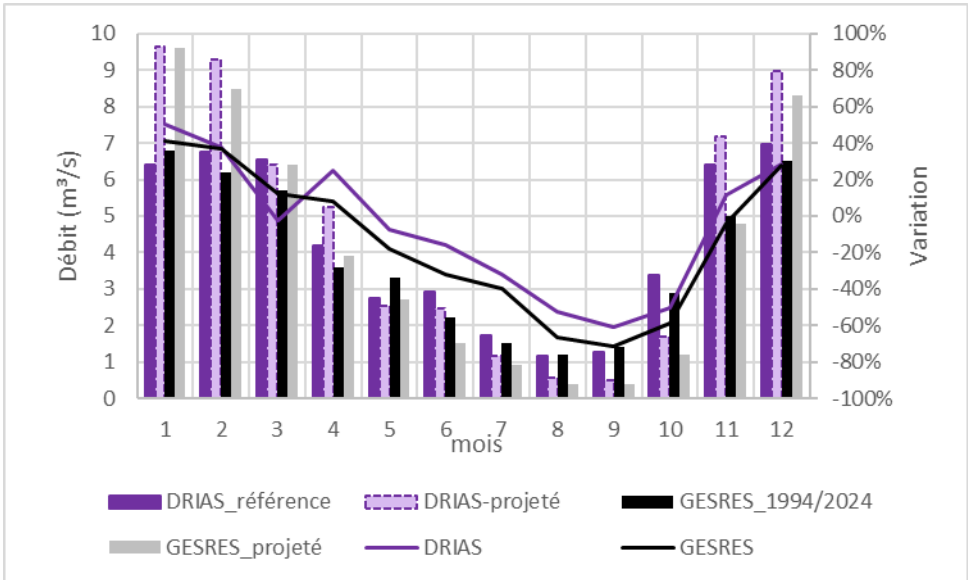
Ognon
Beaumont-
Aubertans



Ognon à Pins



Rahin au Val-de-Gouhenans



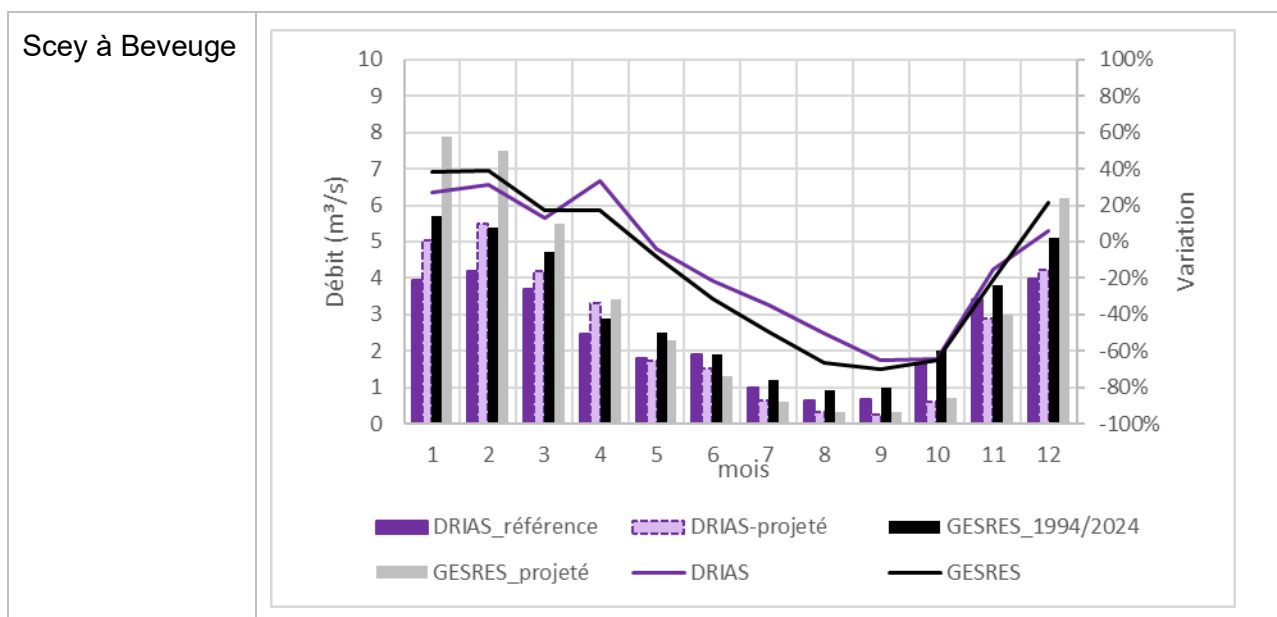


Figure 27: Comparaison des débits moyens mensuels obtenus en aval des bassins versants avec les données DRIAS et les résultats GESRES, à l'état actuel et à l'horizon 2100 – Narratif violet

Les résultats montrent une bonne cohérence entre les résultats GESRES et les données DRIAS en ce qui concerne l'évolution saisonnière des débits moyens mensuels.

Les résultats projettent une **augmentation relative des débits en hiver de l'ordre de +20%**, probablement liée à une augmentation des précipitations liquides et/ou à une fonte plus précoce du manteau neigeux. L'impact du changement climatique est bien représenté de manière similaire entre le DRIAS et GESRES, avec des écarts du même ordre de grandeur. En revanche, les données DRIAS eau semblent donner pour autant une plus faible augmentation des débits pendant le mois de mars, une tendance qui n'est pas particulièrement observée sur les résultats GESRES.

Pour les étiages, la période allant de mai à octobre est marquée par **une forte diminution des débits**, atteignant jusqu'à -70 % au maximum, ce qui souligne un renforcement de la sévérité des étiages à l'horizon 2077–2099. De ce point de vue les deux approches (données DRIAS et modélisation GESRES) sont cohérentes et les ordres de grandeurs proches.

Le modèle GESRES donne toutefois des résultats plus pessimistes.

2.4 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE FONCTIONNEMENT DES HYDROSYSTEMES (CPGF)

2.4.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre est présentée l'évolution de la recharge dans le temps selon les deux modèles précédemment présentés : le modèle Aladin et le modèle HadGem. Toutes les données utilisées sont les données fournies par ISL après traitement (voir partie précédente).

2.4.2 METHODOLOGIE

Pour le calcul du bilan hydrique, les résultats d'ISL ont été repris, à savoir les températures et les précipitations corrigées selon la méthodologie explicitée précédemment.

Afin de tenir compte de l'effet de l'altitude sur la température et d'améliorer la représentativité spatiale des données climatiques utilisées, une correction altitudinale des températures a été appliquée.

Il est bien établi en climatologie que la température de l'air diminue avec l'augmentation de l'altitude, en raison de la baisse de pression atmosphérique et de la raréfaction de l'air. En conditions moyennes dans la basse atmosphère, cette diminution est généralement estimée à environ 0,65 °C pour 100 m d'élévation, valeur couramment utilisée comme approximation du gradient thermique vertical moyen (Météo Suisse, 2026).

Ce gradient constitue une valeur de référence largement diffusée par les services météorologiques nationaux et dans la littérature climatique, tout en reconnaissant que celui-ci peut varier selon les conditions locales (humidité de l'air, saison, couverture nuageuse, topographie).

Les températures ont été corrigées de l'altitude suivant la formule :

$$T_{\text{corrigée}} = T_{\text{réf}} + (\Delta z / 100) \times (-0,65)$$

avec :

- $T_{\text{corrigée}}$: température moyenne corrigée à l'altitude du sous-bassin versant (°C),
- $T_{\text{réf}}$: température moyenne mesurée à la station météorologique de Villersexel (°C),
- Δz : différence d'altitude entre l'altitude moyenne du sous-bassin versant et celle de la station (m).

Cette approche repose sur une interpolation verticale simple.

L'Evapotranspiration Potentielle (ETP) est ensuite calculée avec la formule de Thornthwaite (1948).

L'ETP est l'eau qui peut potentiellement être évaporée par le sol ou transpirée par la végétation, sans prise en compte des ressources en eau disponibles. En résumé, l'ETP est la capacité de l'atmosphère à évaporer ou transpirer de l'eau lorsque celle-ci est en quantité illimitée.

Le calcul de la recharge a été fait en prenant une RFU (Réserve Facilement Utilisable par les plantes) de 50 mm. Les valeurs fournies dans les résultats sont à titre indicatif car la RFU prise est une valeur standard pour un sol moyen. En effet, en l'absence de carte des sols il n'est pas possible de déterminer une RFU précise. Ce sont donc les tendances qui sont à retenir et non les valeurs en elles-mêmes.

Pour obtenir l'Evapotranspiration Réelle (ETR) il faut confronter l'ETP à l'eau disponible à un moment t. L'ETR est toujours inférieure ou égale à l'ETP et dépend des précipitations et de l'eau stockée dans la RFU.

La pluie efficace a été calculée à partir des précipitations enregistrées annuellement dans chaque sous-bassin versant et en soustrayant l'évapotranspiration réelle (ETR) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Pour obtenir ensuite la part qui s'infiltre et recharge la nappe, il faut soustraire le ruissellement, qui est déterminé en fonction de la géologie majoritaire du sous-bassin versant et la pente moyenne. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre plus en détail les échanges nappe-sol.

L'analyse de la recharge sur la période 1961-1990, initialement prévue, n'a pas pu être faite car les données sur les stations météo choisies par ISL n'étaient pas disponibles sur cette période. En effet, bien que les données de précipitation étaient souvent disponibles sur le site data.gouv.fr, les données de température ou d'ETP en étaient très souvent absentes, rendant impossible toute analyse de la recharge. C'est donc la période moderne 1994-2023 qui a été choisie en remplacement.

Le travail a été fait pour chaque sous bassin à chaque période, à savoir :

- Période moderne : 1994-2023,
- Période future, modèle Aladin (narratif jaune) : 2041-2070,
- Période future, modèle HadGem (narratif violet) : 2041-2070.

Les sous-bassins versants les plus amont du bassin versant de l'Ognon n'ont quant à eux pas été étudiés car leur composition géologique ne permet pas la présence d'une ressource en eau exploitable en quantité significative. Ces sous bassins versants sont Rahin 1 (RAH1) et Ognon 1 (OGN1).

A noter que le calcul de la recharge ne prend pas en compte les précipitations solides (neige, grêle) mais considère toutes les précipitations comme liquides.

Le Tableau 17 montre les paramètres qui ont été pris en compte pour le calcul de la recharge.

Tableau 17 : Paramètres utilisés dans le calcul de la recharge pour chaque sous bassin versant

Sous BV	Géologie dominante	Pente moyenne (%)	RFU (mm)
OGN2	Calcaire	>7%	50
OGN3	Sable	>2% et <7%	50
OGN4	Argile (marne)	>2% et <7%	50
OGN5	Calcaire	>2% et <7%	50
OGN6	Calcaire	>2% et <7%	50
OGN7	Sable	>2% et <7%	50
RAH2	Sable	>2% et <7%	50
SCEY	Sable	>7%	50

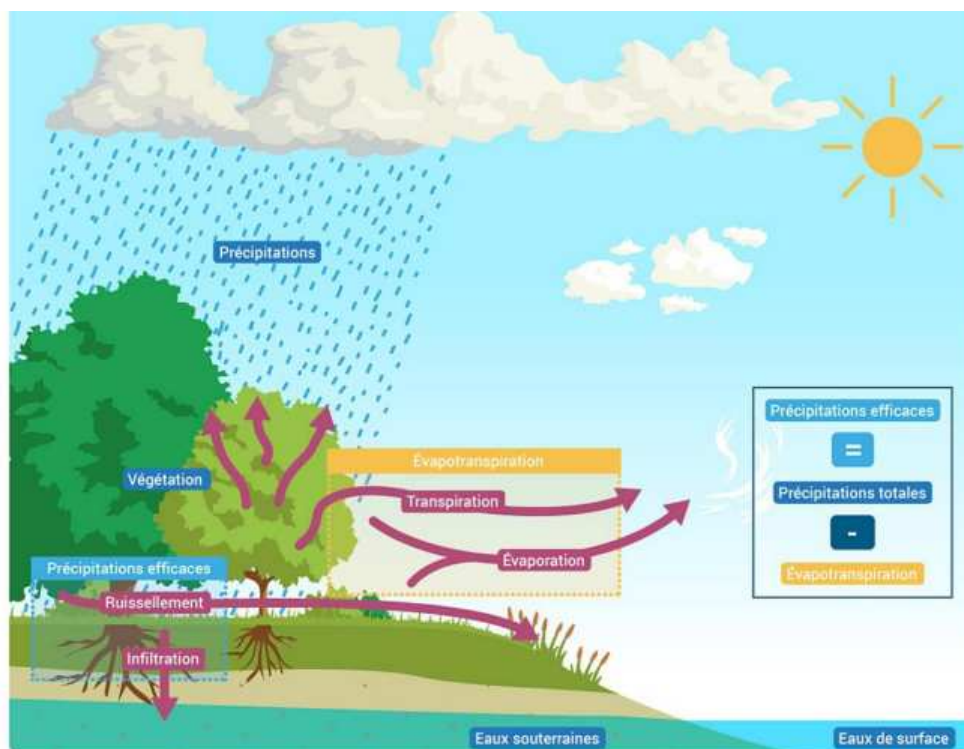


Figure 28: Cycle de l'eau (Eaufrance, 2024)

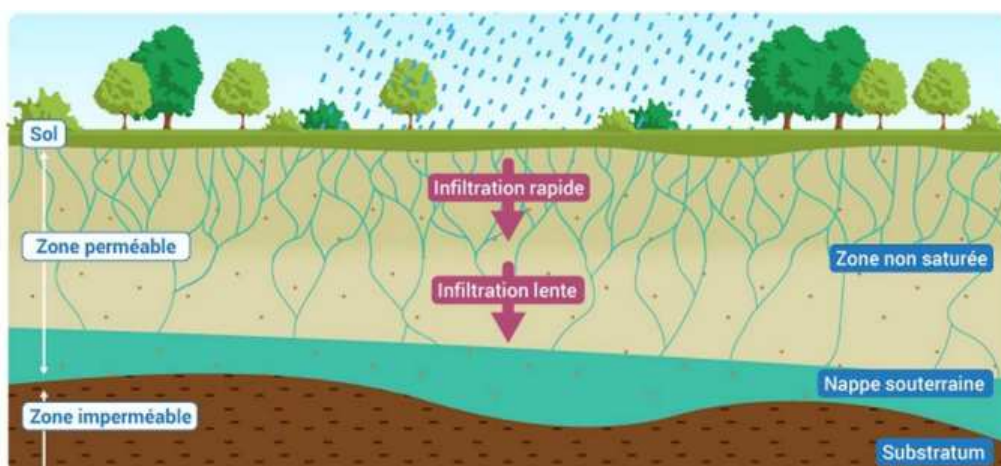


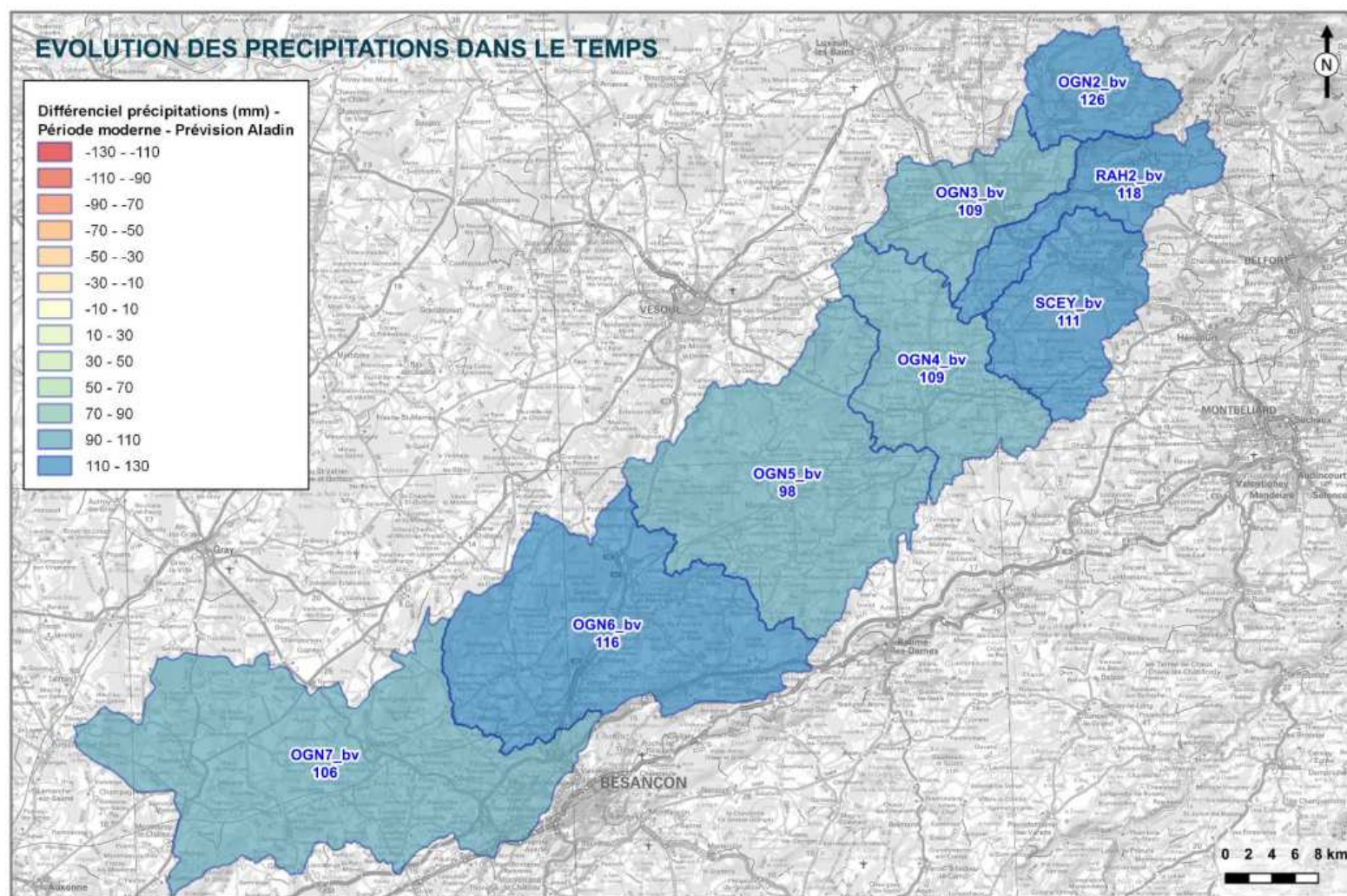
Figure 29: Echanges d'eau entre la nappe et le sol (OIEau,2018) (Eaufrance, 2026)

2.4.3 RESULTATS

La carte en Figure 30 montre le différentiel de précipitations en mm/an entre la période actuelle et la période 2041-2070 du modèle Aladin (narratif jaune) pour tous les sous bassins versants traités. La carte en Figure 31 montre le différentiel de recharge en mm entre la période actuelle et la période 2041-2070 du modèle Aladin pour ces mêmes sous bassins versants.

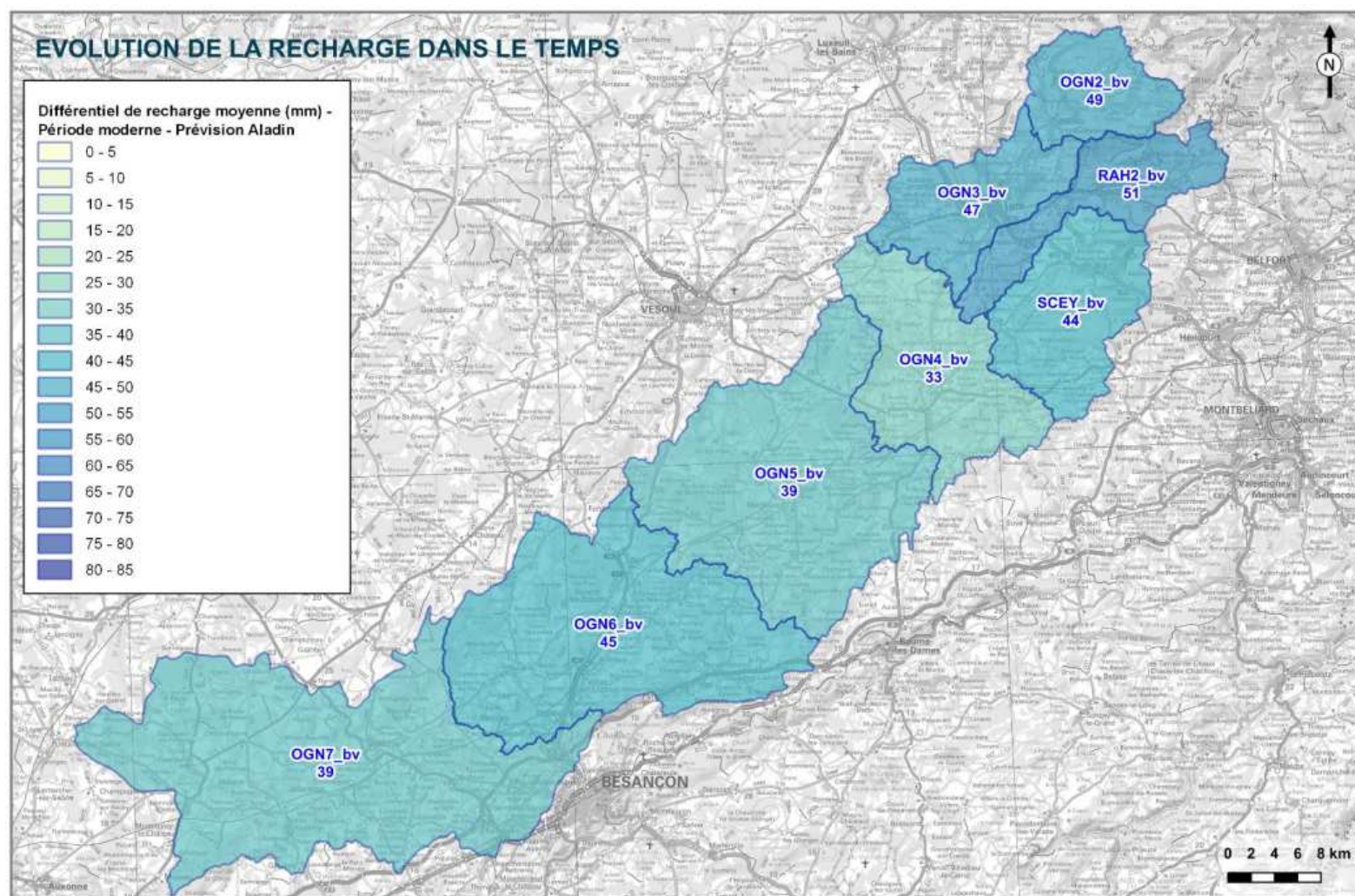
La corrélation précipitations-recharge est évidente sur ces cartes et c'est en effet le facteur qui joue principalement sur la recharge.

Au pas de temps annuel, les précipitations augmentent de manière relativement homogène sur tout le bassin versant avec le modèle Aladin (entre 8 et 10% d'augmentation). En découle une augmentation de la recharge moyenne annuelle assez homogène sur l'ensemble du bassin versant (entre 7 et 12%) (Figure 30, Figure 31).



CPGF-HORIZON 25-101/70

Figure 30: Evolution des précipitations du modèle Aladin par rapport à la période moderne 1994-2023



CPGF-HORIZON 25-101/70

Figure 31: Evolution de la recharge basée sur modèle Aladin par rapport à la période moderne 1994-2023

La carte en Figure 32 montre le différentiel de précipitations en mm/an entre la période actuelle et la période 2041-2070 du modèle HadGem (narratif violet) pour tous les sous bassins versants traités. La carte en Figure 33 montre le différentiel de recharge en mm entre la période actuelle et la période 2041-2070 du modèle HadGem pour ces mêmes sous bassins versants.

Les résultats sont plus hétérogènes avec une légère diminution des précipitations à partir d'OGN4 jusqu'au sous bassin versant le plus en aval (OGN7), constituant une diminution de 1 à 3% des précipitations par rapport à la période moderne 1994-2023. La partie amont du bassin versant voit ses précipitations moyennes annuelles augmenter légèrement. La partie amont (OGN2) subit la plus grande augmentation de précipitations avec +55 mm sur l'année (+4%).

Malgré les diminutions de précipitations sur certains sous bassins versants, la recharge augmente sur l'ensemble des sites, bien qu'à des degrés différents. Un découpage net est visible entre la partie la plus en amont où la recharge augmente d'environ 80 mm et la partie située entre OGN4 et l'aval du bassin versant où cette augmentation est plus minime.

Le fait que la recharge augmente même lorsque les précipitations baissent peut être expliqué par le fait que le modèle HadGem présente des variations intenses et une importante saisonnalité, avec une forte augmentation des précipitations en période de hautes eaux (entre +2 et +14% en automne selon les sous bassins et entre +21 et +32% en hiver). La diminution des précipitations en basses eaux est aussi très importante (entre -2 et -10% au printemps selon les sous bassins et entre -32 et -34% en été) mais ces changements impactent moins la recharge. En effet, lorsque la recharge est déjà nulle en période sèche, une diminution des précipitations n'entraîne pas de changement. Au contraire, lorsque la RFU est pleine en hiver, toute l'eau supplémentaire qui arrive dans le sol transite directement vers la nappe et augmente donc considérablement la recharge.

Les graphiques présentés en Figure 34 et Figure 35 présentent pour le sous bassin OGN2 les évolutions des précipitations, des températures et de la recharge de chaque sous bassin versant sur les différentes périodes et modèles étudiés. Ces paramètres ont été calculés au pas de temps annuel, puis au pas de temps mensuel en prenant la répartition moyenne du paramètre concerné sur une année-type, représentative de la période considérée. Les résultats montrés par les graphiques sur une année-type illustrent bien l'augmentation importante de la recharge en période de hautes eaux, qui contraste avec la légère baisse observée en basses eaux

Les résultats pour les autres sous bassins sont fournis en.

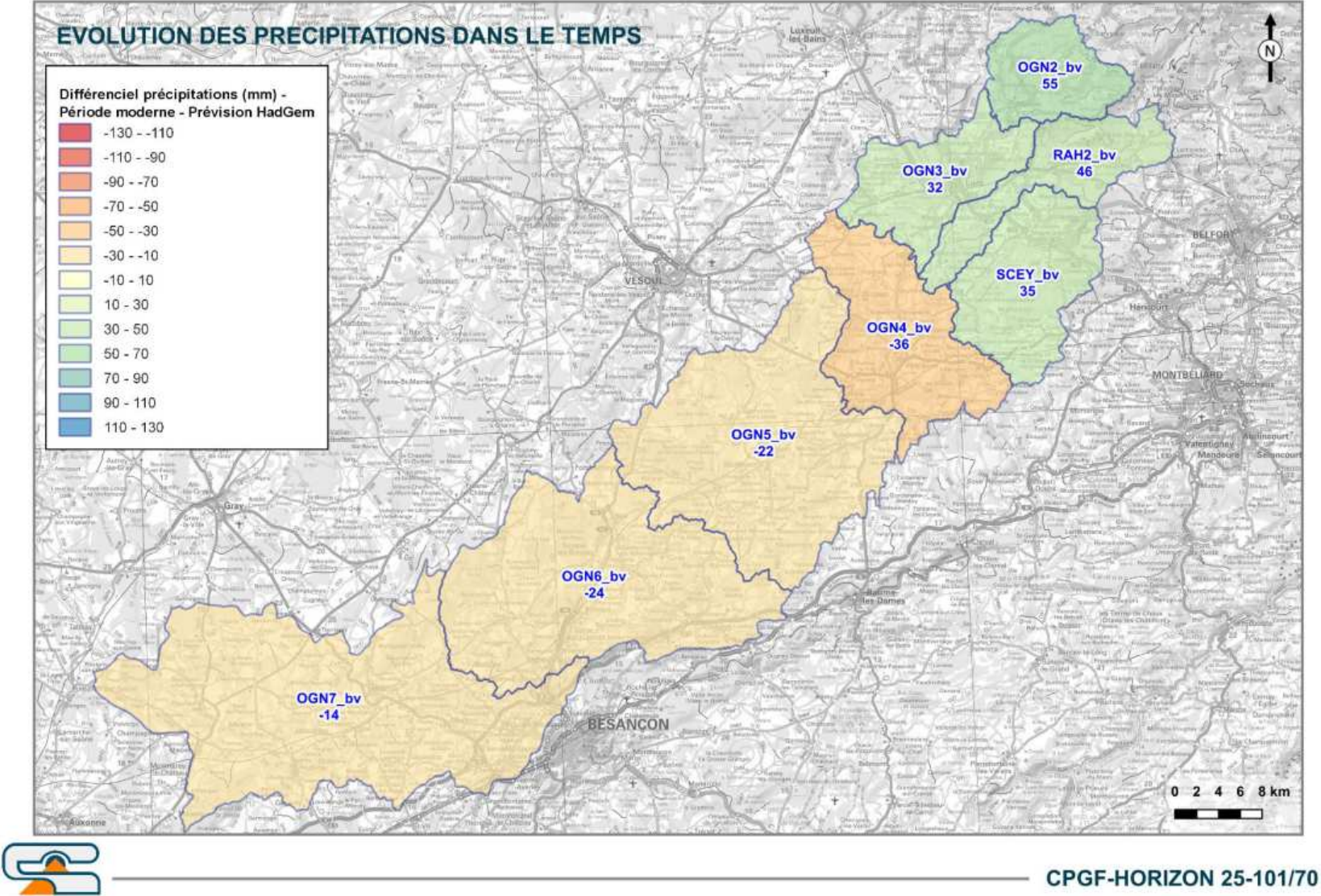
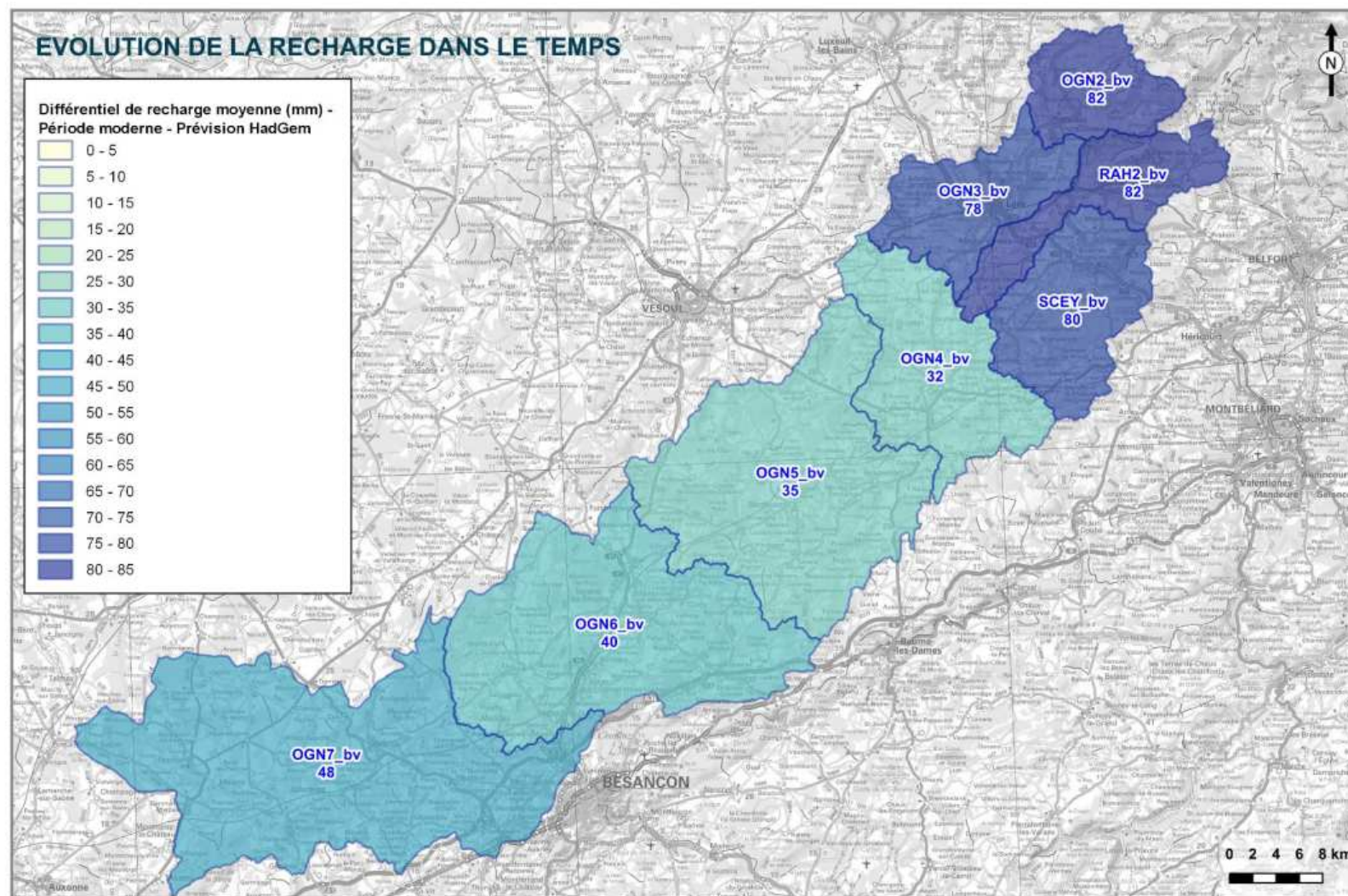


Figure 32: Evolution des précipitations du modèle HadGem par rapport à la période moderne 1994-2023



CPGF-HORIZON 25-101/70

Figure 33: Evolution de la recharge basée sur le modèle HadGem par rapport à la période moderne 1994-2023



Figure 34: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN2

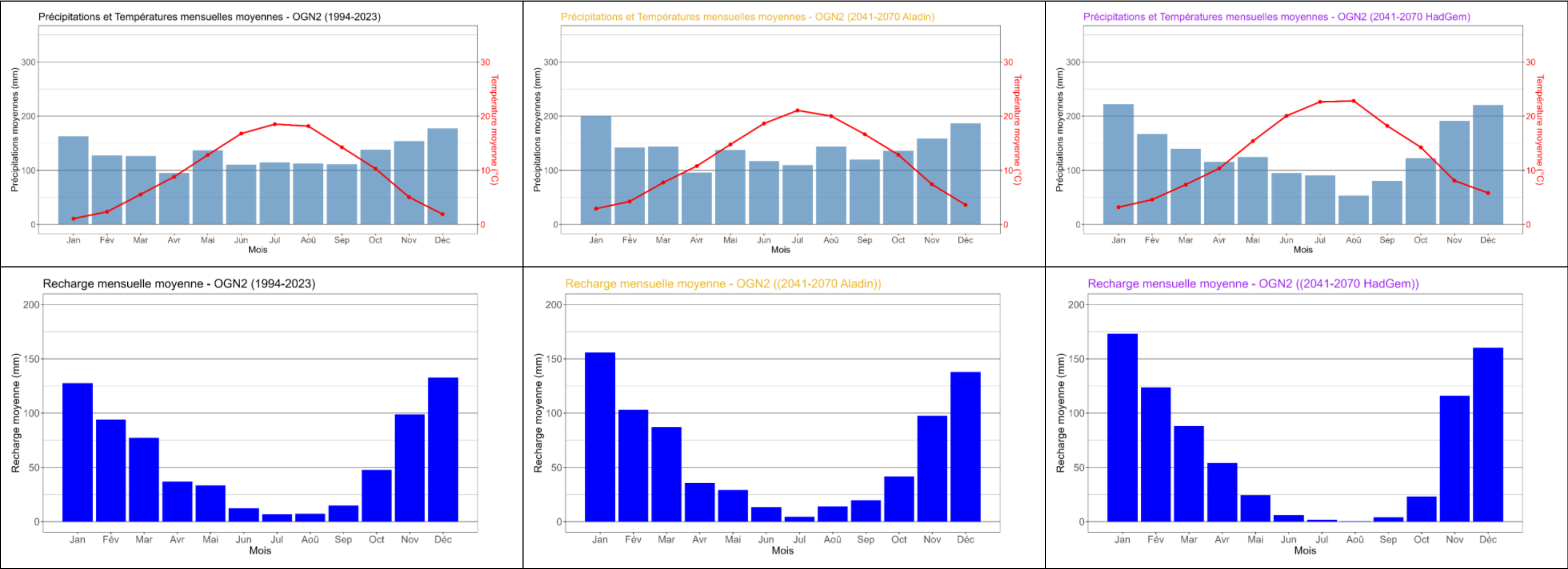


Figure 35: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN2

2.4.4 CONCLUSION

Les résultats mettent en évidence le rôle déterminant des précipitations dans la dynamique de recharge, tout en soulignant l'importance de leur répartition saisonnière et de l'état hydrique des sols.

Les simulations issues du modèle Aladin montrent une augmentation relativement homogène des précipitations annuelles sur l'ensemble du bassin versant, entraînant une hausse également homogène de la recharge moyenne annuelle. Cette cohérence spatiale traduit une relation directe et robuste entre les précipitations et la recharge, confirmant que, à l'échelle annuelle, l'évolution des apports pluviométriques constitue le principal facteur de contrôle de la recharge de la nappe.

À l'inverse, le modèle HadGEM propose une vision plus contrastée, avec une hétérogénéité spatiale marquée des précipitations, caractérisée par une légère diminution sur les sous-bassins aval et une augmentation modérée sur la partie amont. Malgré ces diminutions locales de précipitations annuelles, la recharge augmente sur l'ensemble des sous-bassins, bien que de manière différenciée. Cette apparente contradiction s'explique par une modification profonde de la saisonnalité des précipitations projetées par HadGEM, avec une intensification marquée des pluies en période de hautes eaux et une forte diminution en période estivale.

Ces résultats soulignent que la recharge est bien davantage contrôlée par les précipitations efficaces, survenant lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) des sols est saturée, que par le cumul annuel des précipitations. Les augmentations hivernales et automnales, lorsque les sols sont déjà humides, se traduisent directement par un accroissement des flux vers la nappe, tandis que les diminutions estivales ont un impact limité sur la recharge, celle-ci étant déjà quasi nulle durant les périodes sèches. Ainsi, la recharge future apparaît moins sensible aux déficits estivaux qu'à l'évolution des précipitations en saison humide.

2.5 MODELISATION HYDROLOGIQUE : GESRES

Les modèles créés et exploités en phase 1 et 2 pour étudier la situation actuelle sont repris et modifiés pour intégrer le changement climatique :

- Modification des chroniques de températures (chroniques Aladin et HadGem) ;
- Modification des chroniques de pluies (chroniques Aladin et HadGem) ;
- L'évapotranspiration sur les bassins est calculée à partir des chroniques de température et est donc modifiée automatiquement ;
- Pour les modélisations en état influencé, les chroniques de prélèvements historiques sont remplacées par les chroniques futures estimées précédemment (cf. §1.3) ;
- Il est fait l'hypothèse que la ressource hydrogéologique est identique sous changement climatique.

2.5.1 EVOLUTION DU CLIMAT FUTUR 2056-2068

Afin de comparer le climat futur au climat actuel sur la même durée (30 ans), le changement climatique est simulé sur la période 2041-2070.

Les chroniques 1994-2023 sont comparées aux chroniques 2041-2070.

2.5.1.1 Température

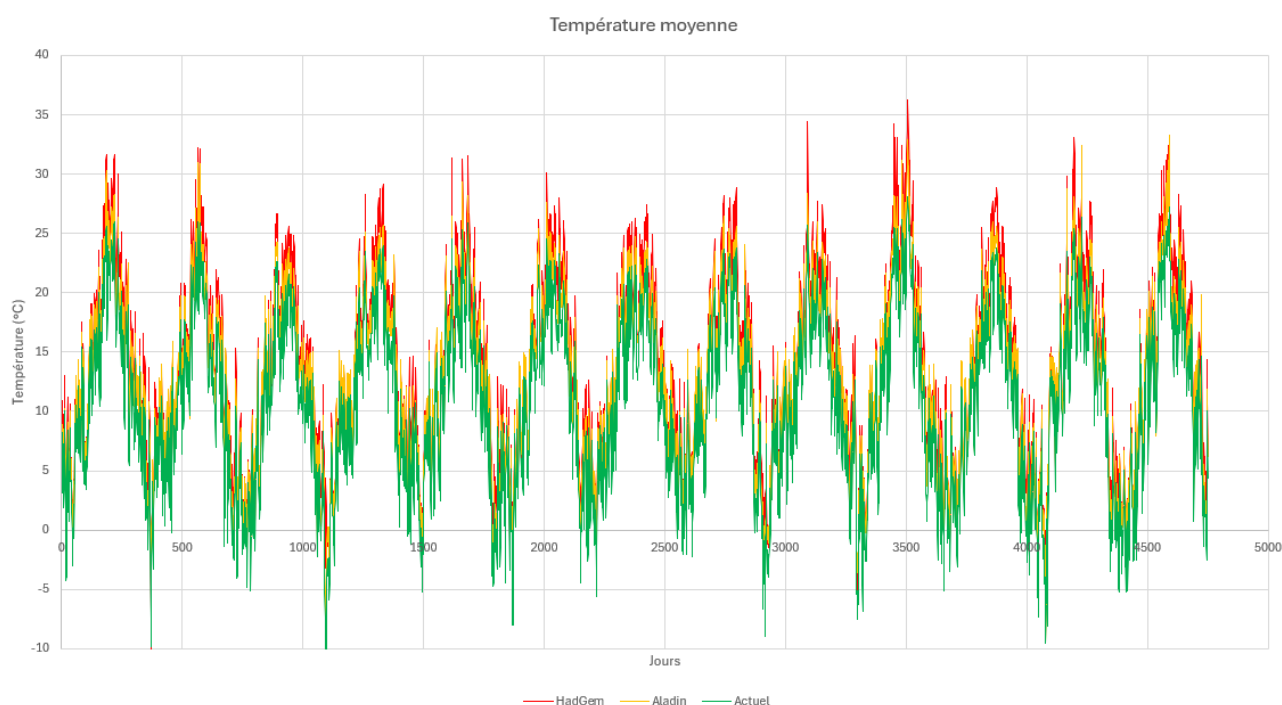


Figure 36: Chroniques de températures actuelle et futures (modèles climatiques Aladin et HadGem)

En moyenne annuelle, le scénario Aladin engendre une augmentation moyenne de la température de 2,1°C. Cette valeur augmente à 3,1°C pour le scénario HadGem.

L'évolution n'est cependant pas forcément homogène sur l'année selon le modèle utilisé : quand pour le modèle Aladin, l'augmentation est relativement homogène (environ 2°C d'augmentation quelle que soit la saison), le modèle HadGem présente de fortes variations et un fort réchauffement en été (+4,2°C en été et +3,6°C en automne).

2.5.1.2 Pluies

Les pluies générées par le modèle sur les bassins versants ont été extraites afin d'esquisser une tendance par rapport à l'état actuel.

- Pour le modèle Aladin :
 - ♦ La pluie moyenne annuelle est supérieure de 9 % à la pluie actuelle ;
 - ♦ La répartition de la pluie sur l'année est modifiée avec un contraste saisonnier : +21 % en hiver ; +4 % au printemps ; +11 % en été et +2 % en automne.
- Pour le modèle HadGem :
 - ♦ La pluie annuelle est identique à la pluie actuelle ;
 - ♦ La répartition de la pluie sur l'année est néanmoins fortement modifiée avec un fort contraste saisonnier : +29 % en hiver ; -6 % au printemps ; -33 % en été et +8 % en automne.

Les étiages seront ainsi très impactés dans la simulation HadGem : plus de 4°C en plus en été combiné à 33 % de pluie en moins. L'évolution sera plus modérée avec la modélisation Aladin qui présente une augmentation moyenne de température (+2°C) mais une légère augmentation de la pluie (+9 %).

2.5.1.3 Evapotranspiration réelle (ETR)

Les évapotranspirations réelles générées par le modèle sur tous les bassins versants ont été extraites afin d'esquisser une tendance par rapport à l'état actuel.

Pour rappel, l'évapotranspiration correspond à l'eau qui est évaporée via les plantes. Les plantes captent la majeure partie de la pluie et l'évacuent ensuite par transpiration. Dans le cas où il n'y a pas d'eau, les plantes sont en stress hydrique et n'évacuent plus d'eau.

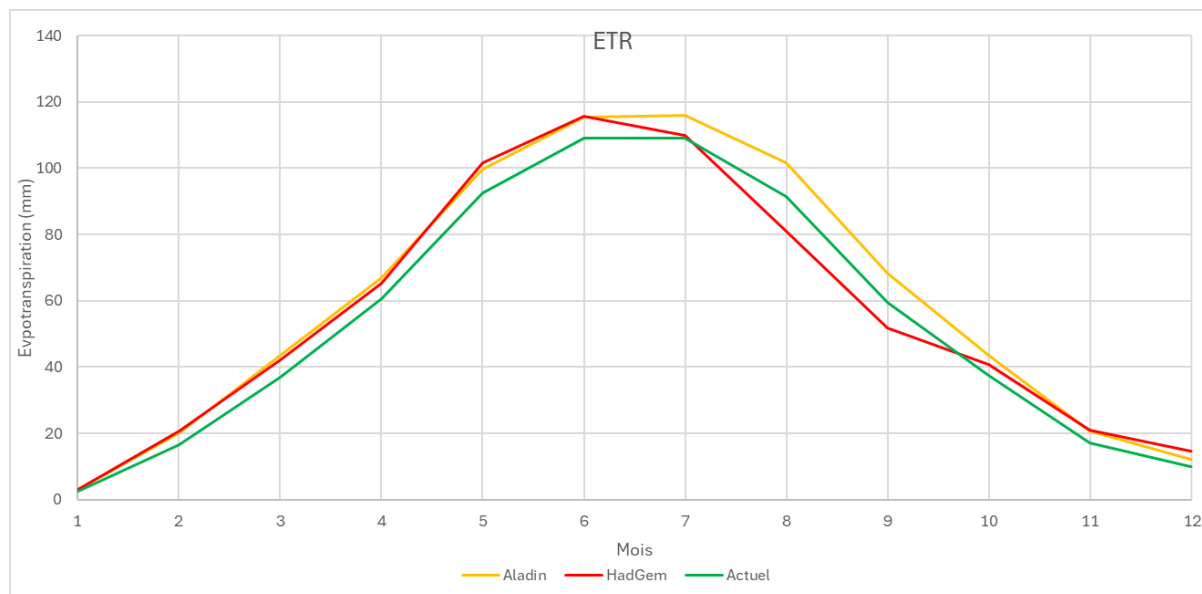


Figure 37: Evapotranspiration mensuelle moyenne actuelle et futures du sous bassin OGN1 (modèles climatiques Aladin et HadGem)

L'évapotranspiration réelle calculée par les deux modèles augmente en hiver et au printemps par rapport à l'état actuel (température plus élevée et plus d'eau à disposition). Notamment, l'évapotranspiration calculée avec les modèles Aladin et HadGem est supérieure à l'état actuel jusque courant de l'été. A partir du milieu de l'été et en automne, l'évapotranspiration calculée avec le modèle HadGem devient inférieure à l'évapotranspiration actuelle (température plus élevée mais moins d'eau à disposition des plantes) avant de revenir supérieure à partir de fin septembre. Pour le modèle Aladin, l'évapotranspiration reste supérieure à celle de l'état actuel toute l'année.

2.5.2 EVOLUTION DE L'HYDROLOGIE NATURELLE

Le modèle hydrologique GESRES développé dans les phases précédentes de l'étude est repris afin de simuler le changement climatique pour les deux narratifs (Aladin et HadGem).

Pour rappel, l'hydrologie naturelle est simulée en retirant tous les rejets et les prélèvements d'eau du modèle. Le modèle est dit désinfluencé.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de cartes. Les évolutions sont représentées selon des classes de couleur dans les cartes ; ces couleurs sont reprises dans les tableaux.

La représentation de l'information sur les cartes fait intervenir des « à plats » et des « pastilles ». Cette représentation est celle utilisée dans les rapports précédents. On rappelle l'explication :

Lorsque le nœud de calcul est à l'aval de plusieurs bassins versants, l'information est représentée par une pastille au droit du nœud de calcul. La valeur au nœud de calcul est la résultante de tout ce qui se passe en amont.

Lorsque le nœud de calcul est à l'exutoire d'un unique bassin versant (pas de nœud de calcul en amont), l'information est représentée par un à plat de couleur (exemple : Rahin 1, Ognon 1, Scey)

2.5.2.1 Module

Les tableaux suivants présentent le module (débit moyen) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070. La colonne « évolution » calcule l'évolution du débit naturel futur par rapport au débit naturel actuel.

Aladin

Nœud	Localisation	Module		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,97	3,14	6%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,46	5,83	7%
OGN3		7,63	8,21	8%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,95	19,40	8%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,68	26,64	8%
OGN6	Ognon à Pin	31,52	34,20	9%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,62	40,92	9%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,25	1,34	7%
RAH2		3,88	4,17	7%
SCEY	Scey à Beveuge	3,09	3,37	9%

Tableau 18 : Modules en état actuel et futur (modèle Aladin)

Dans le cas de la modélisation Aladin, les modules sont augmentés, jusqu'à 9 % au maximum, du fait de la hausse des précipitations annuelles (+9 % en moyenne).

La figure suivante présente les résultats de manière cartographiée :

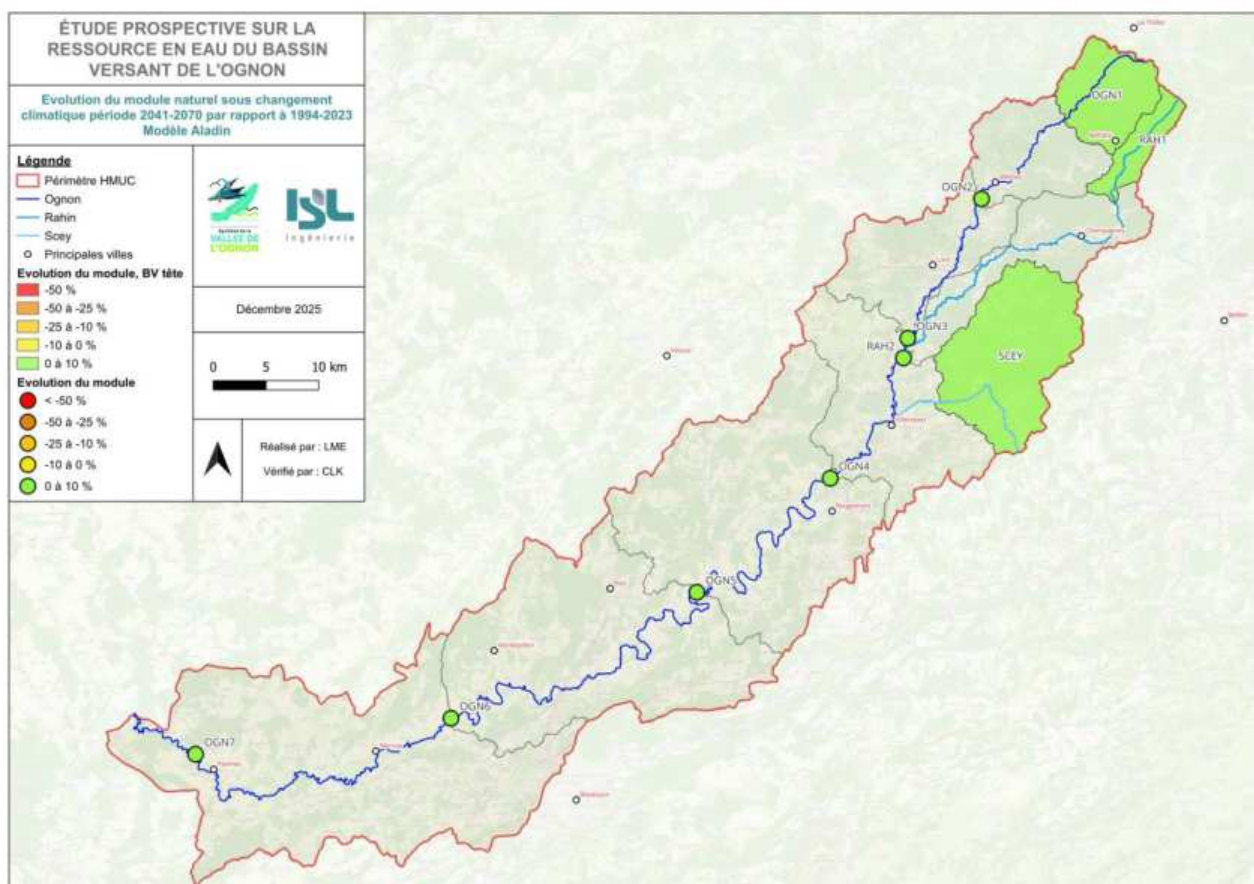


Figure 38: Evolution du module en état futur (modèle Aladin) par rapport au module en état actuel

HadGem

Nœud	Localisation	Module		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,97	2,98	1%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,46	5,63	3%
OGN3		7,63	7,88	3%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,95	18,24	2%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,68	24,65	0%
OGN6	Ognon à Pin	31,52	31,12	-1%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,62	36,99	-2%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,25	1,28	3%
RAH2		3,88	4,03	4%
SCEY	Scey à Beveuge	3,09	3,23	4%

Tableau 19 : Modules en état actuel et futur (modèle HadGem)

Dans le cas de la modélisation HadGem, les modules sont en légère hausse par rapport à l'état actuel sur la majorité des bassins versants.

Pour rappel, le narratif HadGem combine en moyenne sur l'année une augmentation des températures et une stagnation de la pluviométrie (avec une augmentation en hiver et une baisse en été).

La figure suivante présente les résultats de manière cartographiée :

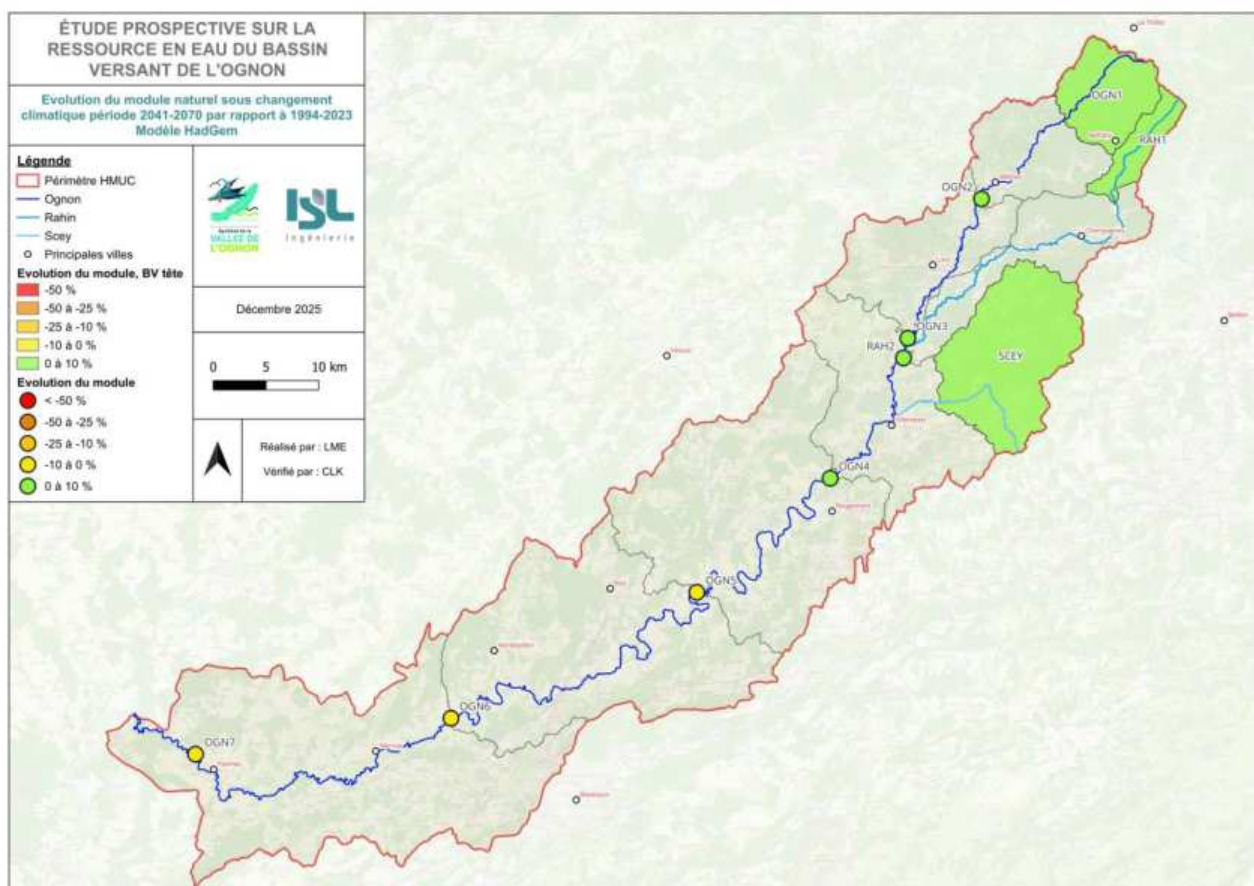


Figure 39: Evolution du module naturel en état futur (modèle HadGem) par rapport au module en état actuel

2.5.2.2 Débit quinquennal sec QMNA5

Les tableaux suivants présentent le débit quinquennal sec (QMNA5) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070.

La colonne « évolution » calcule l'évolution du débit naturel futur par rapport au débit naturel actuel.

Aladin

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	1%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,30	5%
OGN3		0,51	0,53	3%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,39	1,43	3%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,07	2,14	4%
OGN6	Ognon à Pin	2,86	2,98	4%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,29	3,39	3%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,08	0,07	-4%
RAH2		0,28	0,29	3%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	-1%

Tableau 20 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur (modèle Aladin)

Dans le cas de la modélisation Aladin, les QMNA5 sont majoritairement augmentés dans l'état futur par rapport à l'état actuel. Néanmoins, le QMNA5 du Rahin à Plancher-Bas diminue de 4% en état projeté par rapport à l'état actuel.

La figure suivante présente les résultats de manière cartographiée :

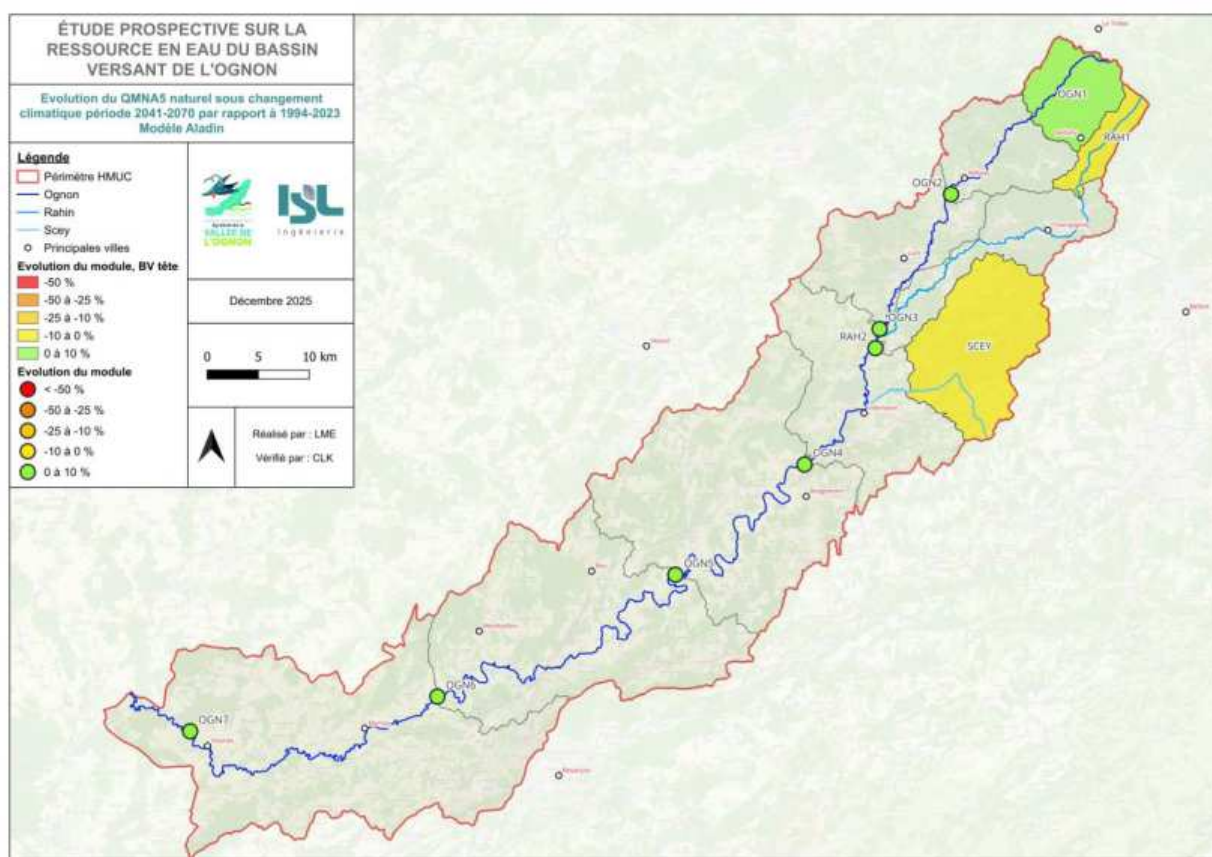


Figure 40: Evolution QMNA5 naturel en état futur (modèle Aladin) par rapport à l'état actuel

HadGem

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,07	-64%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,08	-74%
OGN3		0,51	0,18	-65%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,39	0,58	-58%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,07	0,90	-57%
OGN6	Ognon à Pin	2,86	1,26	-56%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,29	1,43	-57%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,08	0,03	-64%
RAH2		0,28	0,10	-63%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,11	-54%

Tableau 21 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur (modèle HadGem)

Dans le cas de la modélisation HadGem, les QMNA5 sont fortement réduits, d'environ 60% en moyenne sur l'entièreté du bassin versant.

Pour rappel, ce modèle combine, au global sur l'année, une augmentation des températures encore plus marquée en été (+4,2°C en été et +3,6°C en automne) combinée à une baisse de la pluviométrie très marquée en période d'étiage (+29% en hiver ; -6% au printemps ; -33% en été et +8% en automne). Le cumul de ces deux facteurs résulte donc à un fort impact négatif sur les débits observés durant cette période.

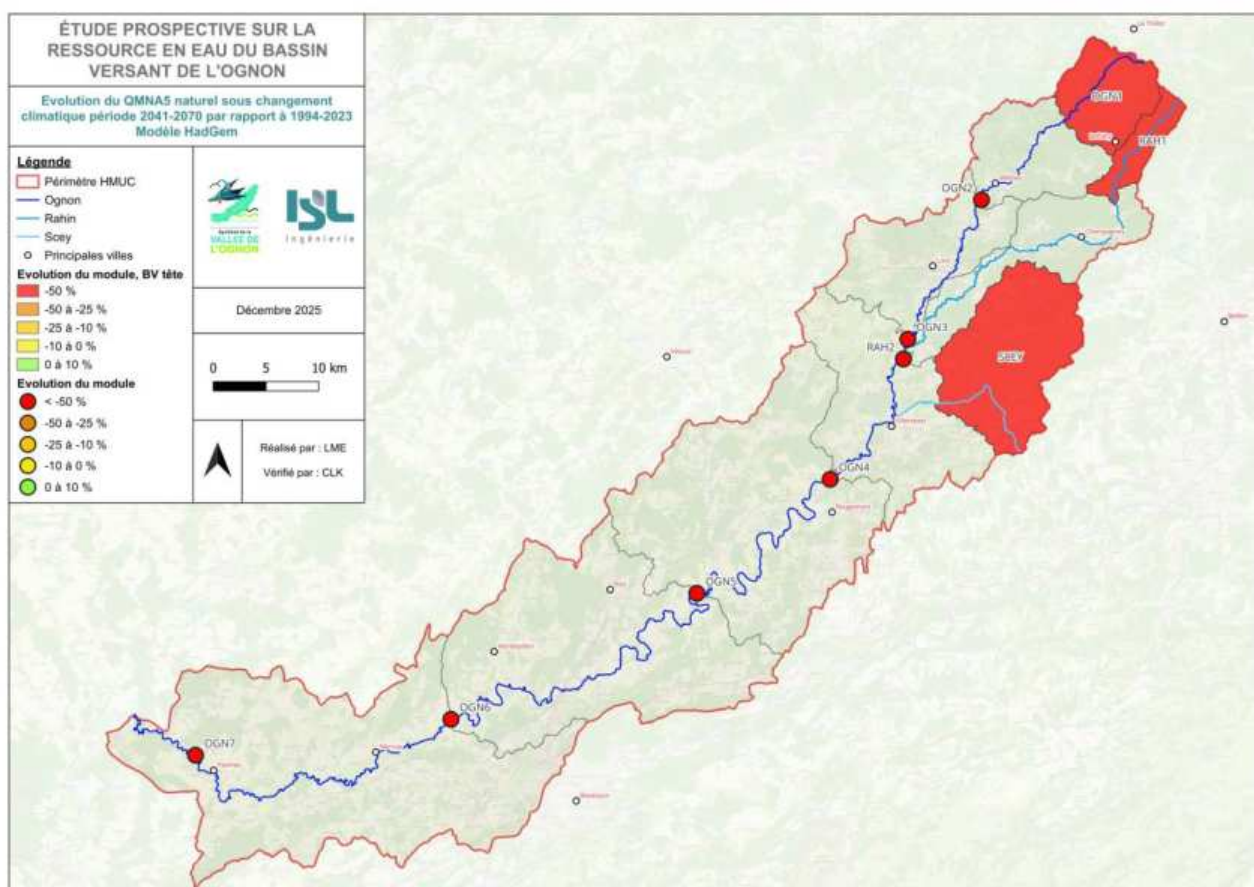


Figure 41: Evolution du QMNA5 naturel en état futur (modèle HadGem) par rapport à l'état actuel

Il apparaît que le fonctionnement de l'hydrologie naturelle, c'est-à-dire simulée sans prise en compte des prélèvements ni des rejets anthropiques, présente des comportements contrastés selon les narratifs climatiques étudiés.

Le narratif Aladin, correspondant à un scénario d'évolution modérée (augmentation de la température de l'ordre de +2 °C et hausse des précipitations d'environ +9 %), conduit à des réponses hydrologiques globalement proches de la situation actuelle.

À l'inverse, le narratif HadGem, associé à un scénario nettement plus contraignant (jusqu'à +4,2 °C en période estivale combiné à une diminution des précipitations pouvant atteindre -33 %), engendre une réponse hydrologique beaucoup plus marquée, se traduisant par une diminution très significative de la ressource en eau.

2.5.3 EVOLUTION DE L'HYDROLOGIE INFLUENCEE

Pour rappel, tous les rejets et les prélèvements d'eau sont pris en compte dans le modèle pour simuler l'hydrologie influencée.

Les trois scénarios d'usages (usages « tendanciels », « augmentation » et « baisse ») détaillés dans le §1.3 sont simulés. Les volumes de prélèvements sont des volumes théoriques imposés dans le modèle. Le modèle limite les volumes des usages à la ressource disponible. Lorsque la ressource n'est pas suffisante, les usages sont satisfaits partiellement ou non satisfaits. Les rejets de STEU sont adaptés à la non-satisfaction des usages (lorsque les volumes de prélèvements fournis sont inférieurs aux volumes de prélèvement demandés, la différence de débit est retranchée aux rejets de STEU).

De la même manière que pour l'hydrologie naturelle, les résultats sont présentés sous forme de tableau et de cartes. Les évolutions sont représentées selon des classes de couleur dans les cartes ; ces couleurs sont reprises dans les tableaux.

La représentation de l'information sur les cartes fait intervenir des « à plats » et des « pastilles ». Cette représentation est celle utilisée dans les rapports précédents. On rappelle l'explication :

Lorsque le nœud de calcul est à l'aval de plusieurs bassins versants, l'information est représentée par une pastille au droit du nœud de calcul. La valeur au nœud de calcul est la résultante de tout ce qui se passe en amont.

Lorsque le nœud de calcul est à l'exutoire d'un unique bassin versant (pas de nœud de calcul en amont), l'information est représentée par un à plat de couleur (exemple : Rahin 1, Ognon 1, Scey)

2.5.3.1 Narratif de réchauffement climatique Aladin

Module

Les tableaux suivants présentent le module (débit moyen) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070.

Les colonnes « évolution » calculent les évolutions du débit influencé futur par rapport au débit influencé actuel selon le scénario.

Analyse des résultats du scénario tendanciel

Nœud	Tendanciel	Module		
	Localisation	1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,96	3,14	6%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,82	7%
OGN3		7,63	8,21	8%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	19,15	8%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	26,34	8%
OGN6	Ognon à Pin	31,24	33,87	8%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	40,57	9%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,30	7%
RAH2		3,66	3,95	8%
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,35	9%

Tableau 22 : Modules en état actuel et futur pour Aladin tendanciel

Dans le cas de la modélisation Aladin avec une hydrologie influencée par le scénario dit « tendanciel », les valeurs de modules sont augmentées par rapport à la situation actuelle (+8% en moyenne). Ces évolutions sont comparables à l'hydrologie naturelle pour laquelle le modèle Aladin estimait également une augmentation du module.

La figure suivante présente les résultats de manière cartographiée :

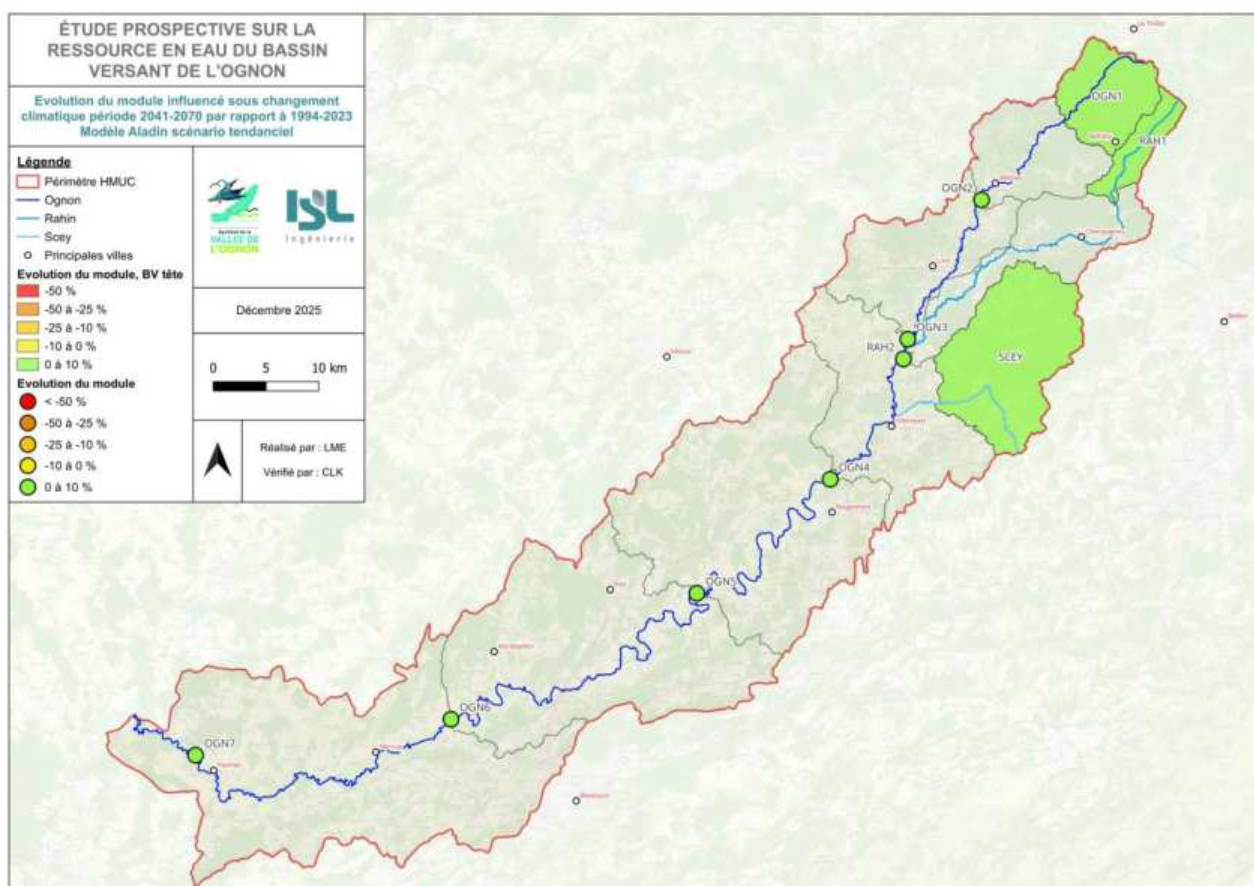


Figure 42: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin tendanciel) par rapport à état actuel

Analyse des résultats du scénario d'augmentation

Nœud	Augmentation	Module		
	Localisation	1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,96	3,14	6%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,82	7%
OGN3		7,63	8,20	8%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	19,06	8%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	26,21	7%
OGN6	Ognon à Pin	31,24	33,69	8%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	40,32	8%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,30	6%
RAH2		3,66	3,90	7%
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,34	9%

Tableau 23 : Modules en état actuel et futur pour Aladin augmentation

Tout comme pour le scénario Aladin tendanciel, les valeurs de modules subissent une augmentation moyenne de 7% sur l'ensemble du bassin versant. Les résultats sont sensiblement identiques à ceux du scénario tendanciel.

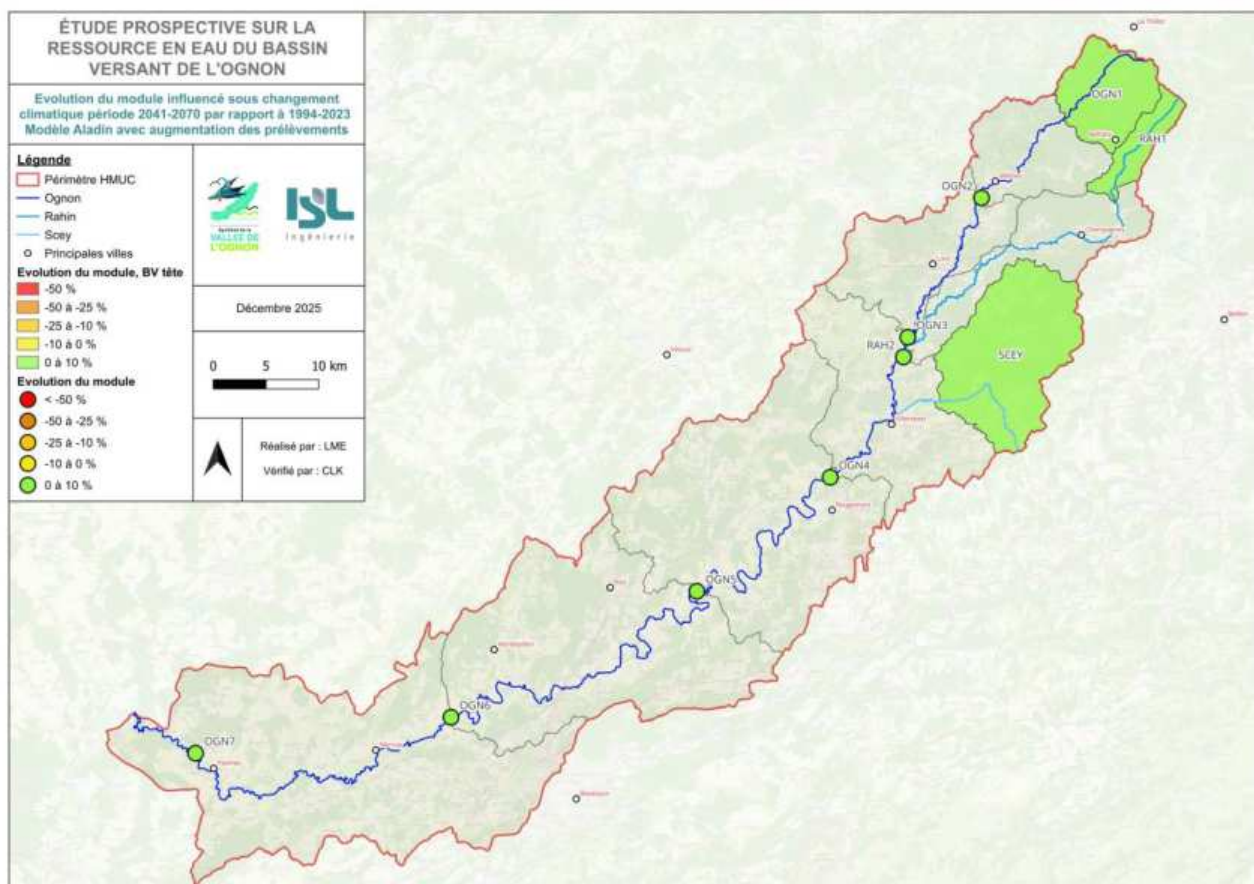


Figure 43: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin augmentation) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario de baisse

Nœud	Baisse	Module		
	Localisation	1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,96	3,14	6%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,83	7%
OGN3		7,63	8,21	8%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	19,22	9%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	26,44	8%
OGN6	Ognon à Pin	31,24	33,99	9%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	40,71	9%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,31	8%
RAH2		3,66	4,01	10%
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,36	9%

Tableau 24 : Modules en état actuel et futur pour Aladin baisse

Tout comme pour les deux autres scénarios d'usages, les modules en état futur sont augmentés en moyenne de 8%. Cette augmentation est 1% supérieur à celle du scénario « augmentation » et identique au scénario « tendanciel ».

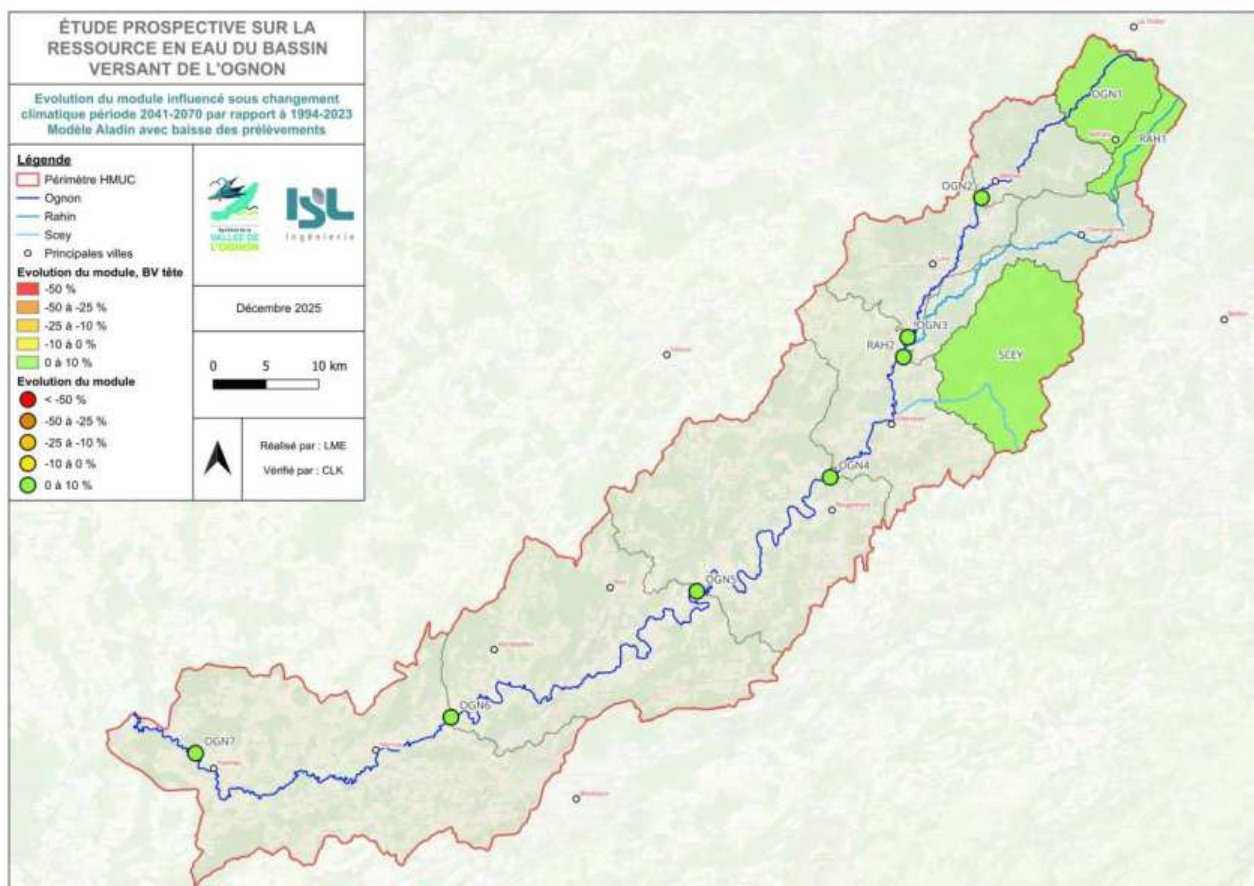


Figure 44: Evolution du module influencé en état futur (modèle Aladin baisse) par rapport à l'état actuel

Débit quinquennal sec QMNA5

Les tableaux suivants présentent le débit quinquennal sec (QMNA5) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070. Les colonnes « évolution » calculent les évolutions du débit influencé futur par rapport au débit influencé actuel selon le scénario.

Analyse des résultats du scénario tendanciel

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	2%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,30	5%
OGN3		0,51	0,53	4%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	1,41	3%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	2,09	3%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	2,90	3%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	3,30	2%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,07	-3%
RAH2		0,27	0,28	3%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	-1%

Tableau 25 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin tendanciel

Concernant les QMNA5, ces derniers sont légèrement augmentés par rapport à la période actuelle sur la majorité des bassins versants (+3 % en moyenne). Cependant, cette augmentation n'est pas observée sur tous les bassins versants, par exemple RAH1 voit son QMNA5 baisser de 3 % par rapport à l'état actuel.

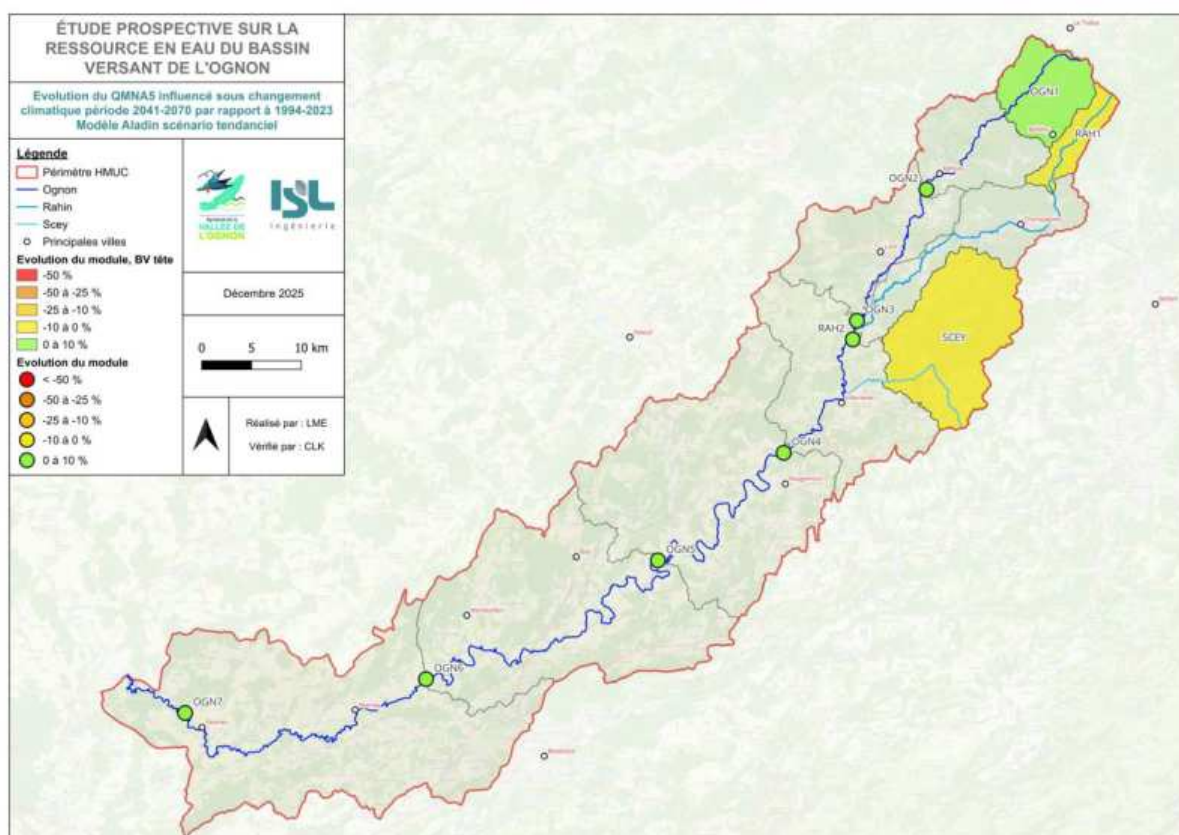


Figure 45: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin tendanciel) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario d'augmentation

Nœud	Augmentation Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	1%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,30	5%
OGN3		0,51	0,53	4%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	1,40	2%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	2,06	1%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	2,85	1%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	3,23	0%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,07	-4%
RAH2		0,27	0,27	2%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,23	-3%

Tableau 26 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin augmentation

L'évolution des QMNA5 du scénario « augmentation » est quasiment identique à celui du scénario « tendanciel » (1% de baisse par rapport au scénario tendanciel en moyenne).

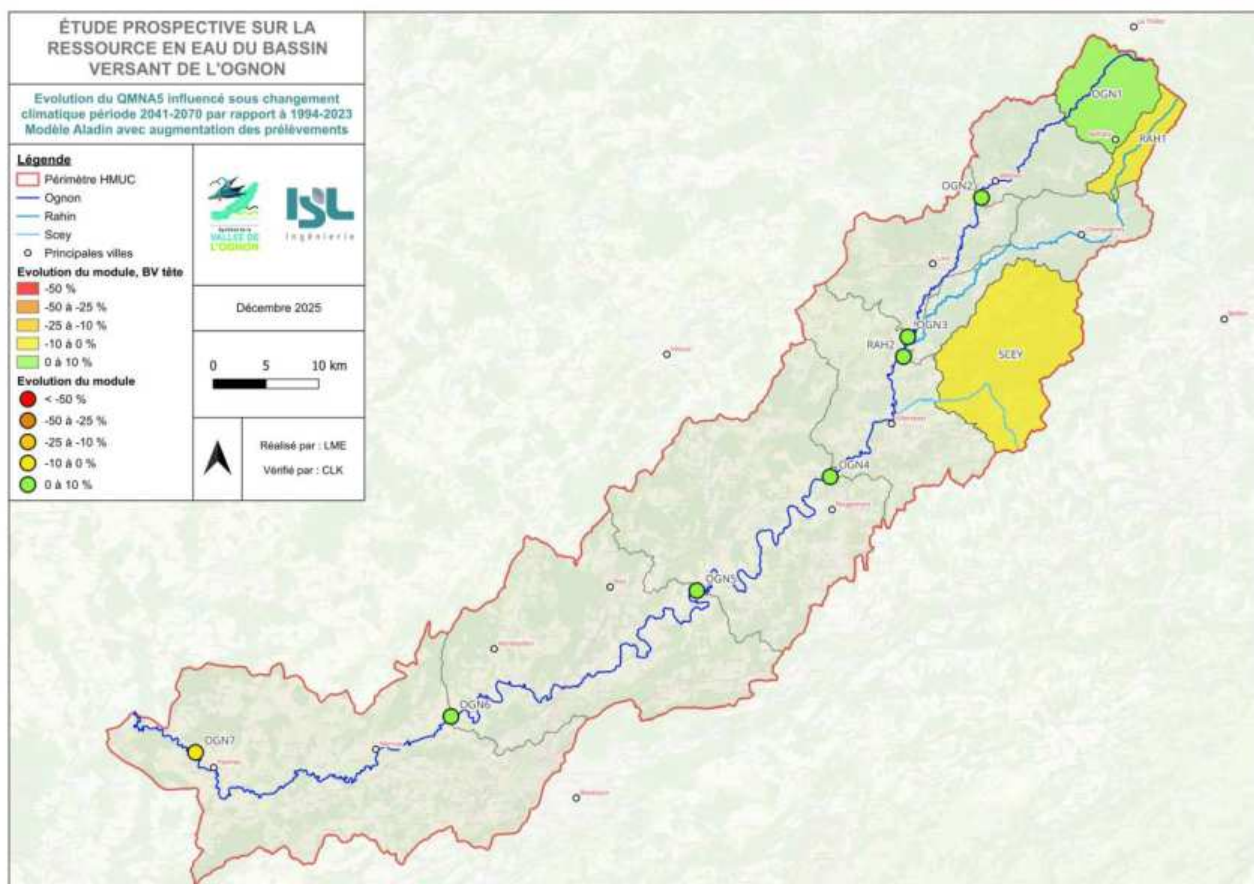


Figure 46 : Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin augmentation) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario de baisse

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	2%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,30	5%
OGN3		0,51	0,53	3%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	1,42	4%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	2,12	4%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	2,94	4%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	3,34	3%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,07	-3%
RAH2		0,27	0,28	3%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	0%

Tableau 27 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour Aladin baisse

L'évolution des QMNA5 du scénario « augmentation » est quasiment identique à celui du scénario « tendanciel » (1% d'augmentation par rapport au scénario tendanciel en moyenne).

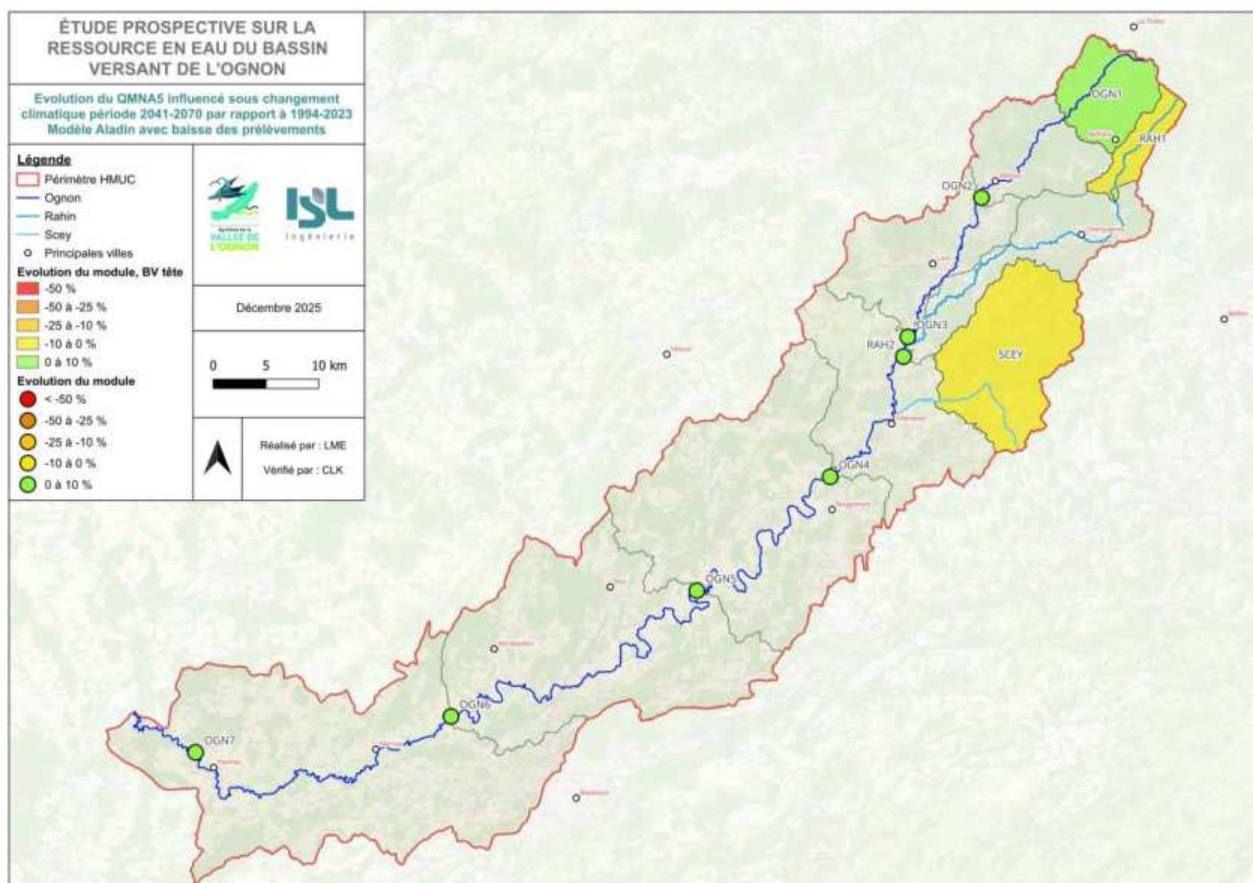


Figure 47 : Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle Aladin baisse) par rapport à l'état actuel

2.5.3.2 Narratif de réchauffement climatique HadGem

Module

Les tableaux suivants présentent le module (débit moyen) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070. Les colonnes « évolution » calculent les évolutions du débit influencé futur par rapport au débit influencé actuel selon le scénario.

Analyse des résultats du scénario tendanciel

Nœud	Localisation	Module		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,96	2,98	1%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,62	3%
OGN3		7,63	7,89	4%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	18,03	2%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	24,40	0%
OGN6	Ognon à Pin	31,24	30,84	-1%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	36,70	-2%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,25	3%
RAH2		3,66	3,84	5%
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,21	4%

Tableau 28 : Modules en état actuel et futur pour HadGem tendanciel

Dans le cas de la modélisation HadGem avec une hydrologie influencée par le scénario dit « tendanciel », les valeurs de modules sont très similaires (+2 %) à ceux obtenus pour la situation actuelle. Ces évolutions sont comparables à l'hydrologie naturelle pour laquelle le modèle HadGem estimait également une augmentation du module.

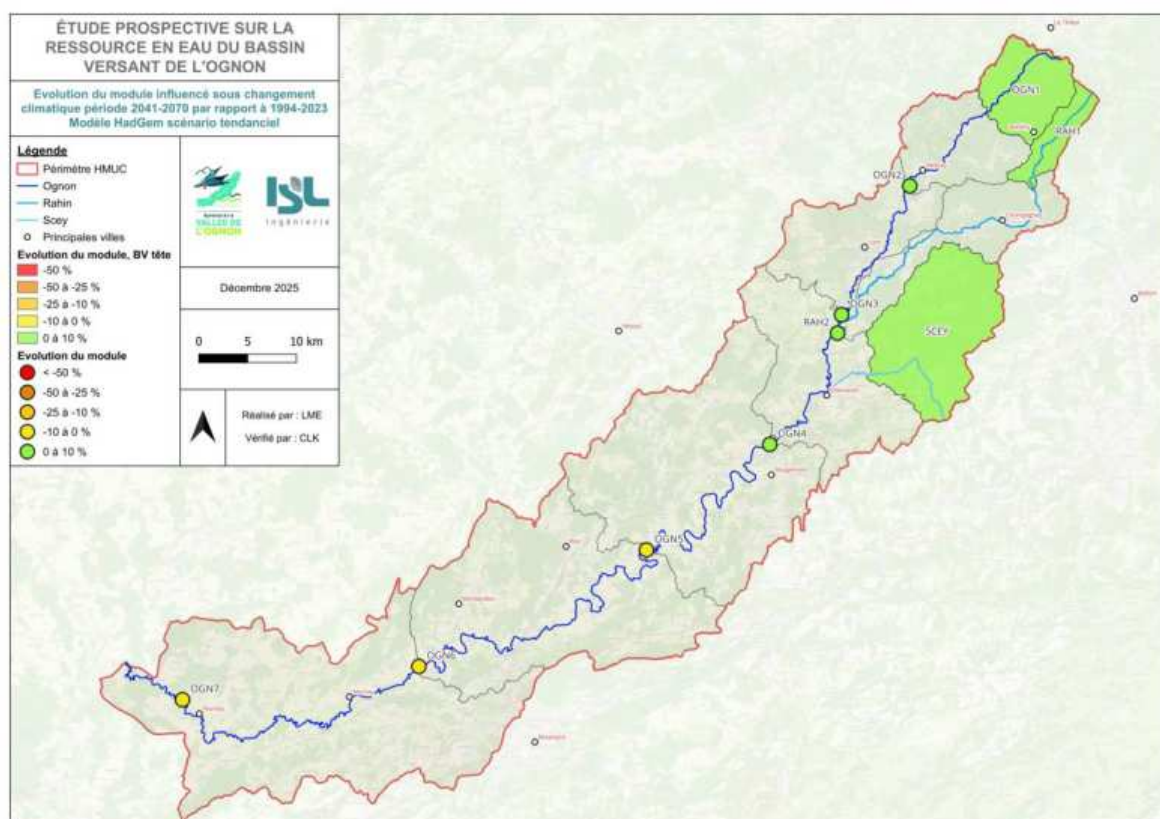


Figure 48: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem tendanciel) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario d'augmentation

Nœud	Augmentation	Module		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,96	2,98	1%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,61	3%
OGN3		7,63	7,89	3%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	17,94	1%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	24,27	-1%
OGN6	Ognon à Pin	31,24	30,66	-2%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	36,45	-2%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,25	2%
RAH2		3,66	3,79	4%
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,20	4%

Tableau 29 : Modules en état actuel et futur pour HadGem augmentation

Les résultats sont sensiblement identiques à ceux du scénario tendanciel (1% de baisse en moyenne).

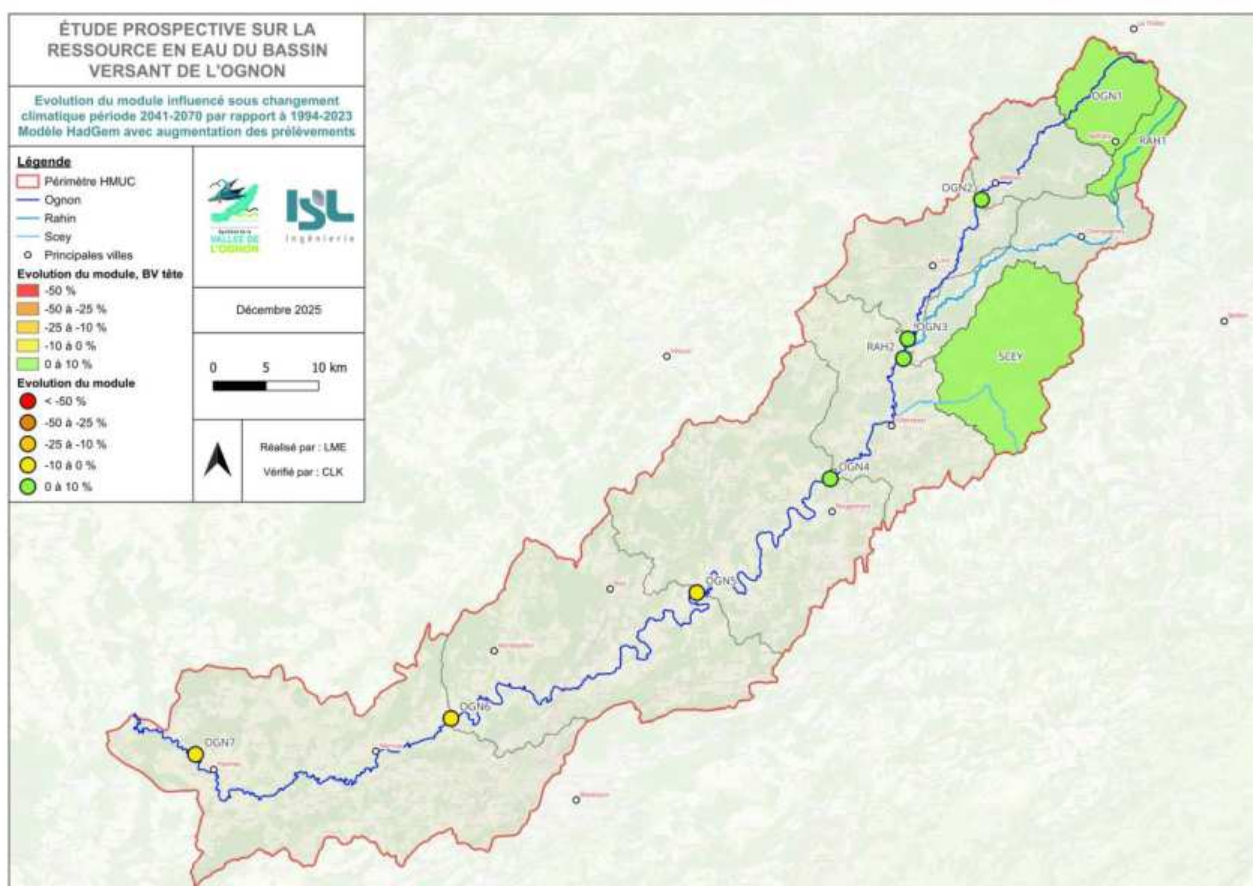


Figure 49: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem augmentation) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario de baisse

Nœud	Localisation	Module		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	2,97	2,98	0%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,47	5,62	3%
OGN3		7,68	7,90	3%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,73	18,10	2%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,45	24,49	0%
OGN6	Ognon à Pin	31,31	30,95	-1%
OGN7	Ognon à Pesmes	37,41	36,83	-2%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,25	1,26	1%
RAH2		3,89	3,89	0%
SCEY	Scey à Beveuge	3,09	3,22	4%

Tableau 30 : Modules en état actuel et futur pour HadGem baisse

Les résultats sont sensiblement identiques à ceux du scénario tendanciel.

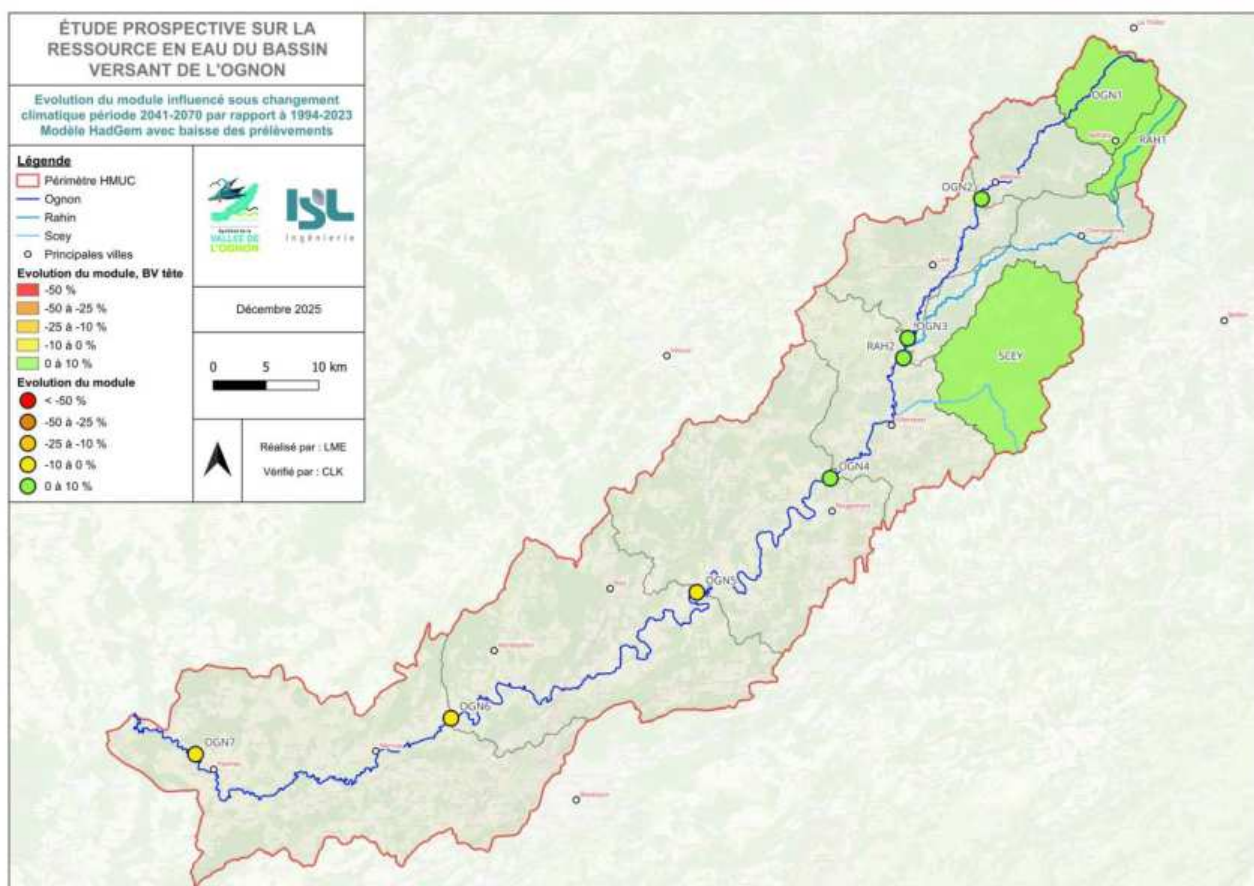


Figure 50: Evolution du module influencé en état futur (modèle HadGem baisse) par rapport à l'état actuel

Débit quinquennal sec QMNA5

Les tableaux suivants présentent le débit quinquennal sec (QMNA5) sur les périodes 1994-2023 et 2041-2070. Les colonnes « évolution » calculent les évolutions du débit influencé futur par rapport au débit influencé actuel selon le scénario.

Analyse des résultats du scénario tendanciel

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,07	-64%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,08	-73%
OGN3		0,51	0,18	-65%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	0,58	-58%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	0,90	-56%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	1,26	-55%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	1,43	-56%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,03	-63%
RAH2		0,27	0,11	-61%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,11	-53%

Tableau 31 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem tendanciel

Les valeurs de QMNA5 ont tendance à nettement diminuer à l'avenir en comparaison de l'état actuel. Cette diminution, d'une valeur de -60 % en moyenne, résulte des deux facteurs principaux de ce scénario à savoir : une forte augmentation de la température l'été couplé à une baisse des précipitations.

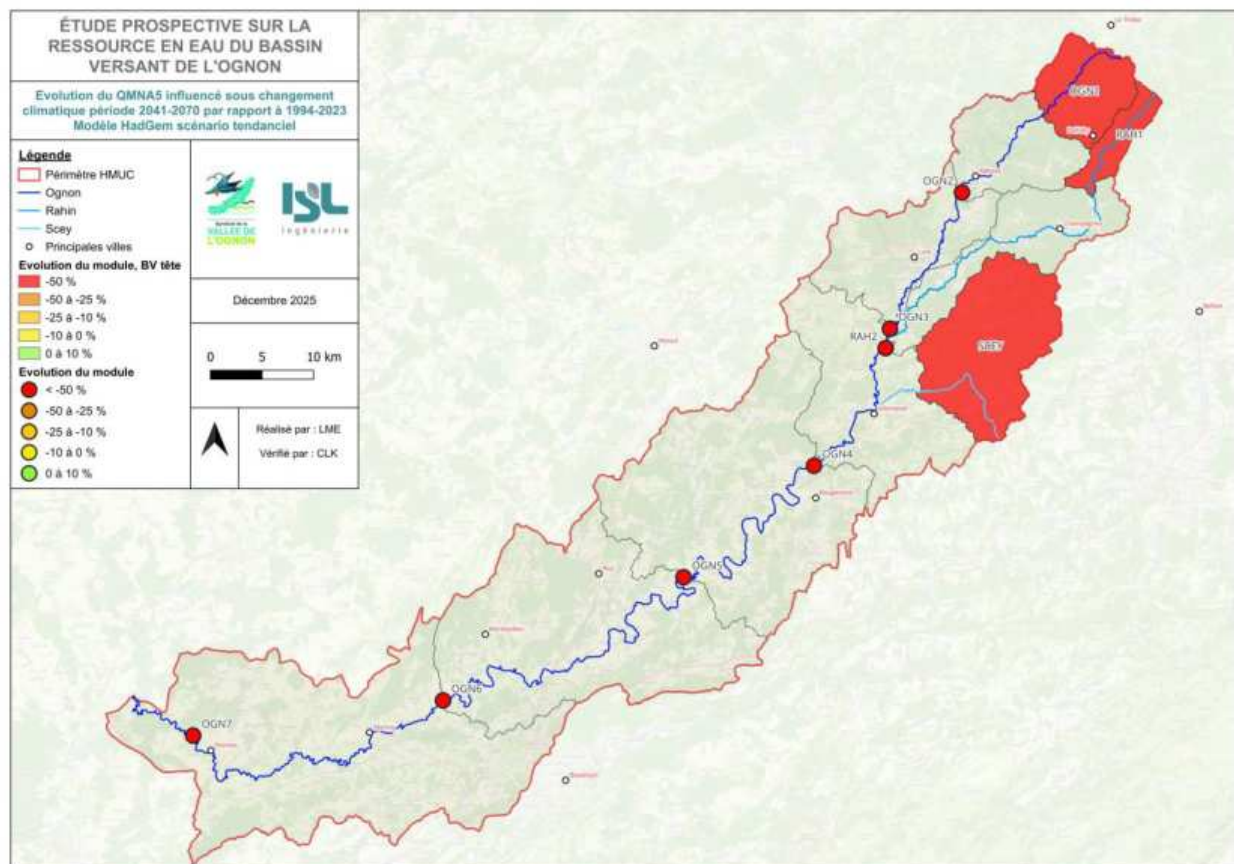


Figure 51: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem tendanciel) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario d'augmentation

Nœud	Augmentation Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,07	-64%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,08	-73%
OGN3		0,51	0,18	-65%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	0,58	-58%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	0,90	-56%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	1,26	-55%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	1,43	-56%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,03	-63%
RAH2		0,27	0,11	-61%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,11	-53%

Tableau 32 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem augmentation

Pour le scénario « augmentation » du narratif HadGem, les QMNA5 restent fortement négatifs (-60 %) en moyenne, de manière très similaire aux résultats du scénario tendanciel.

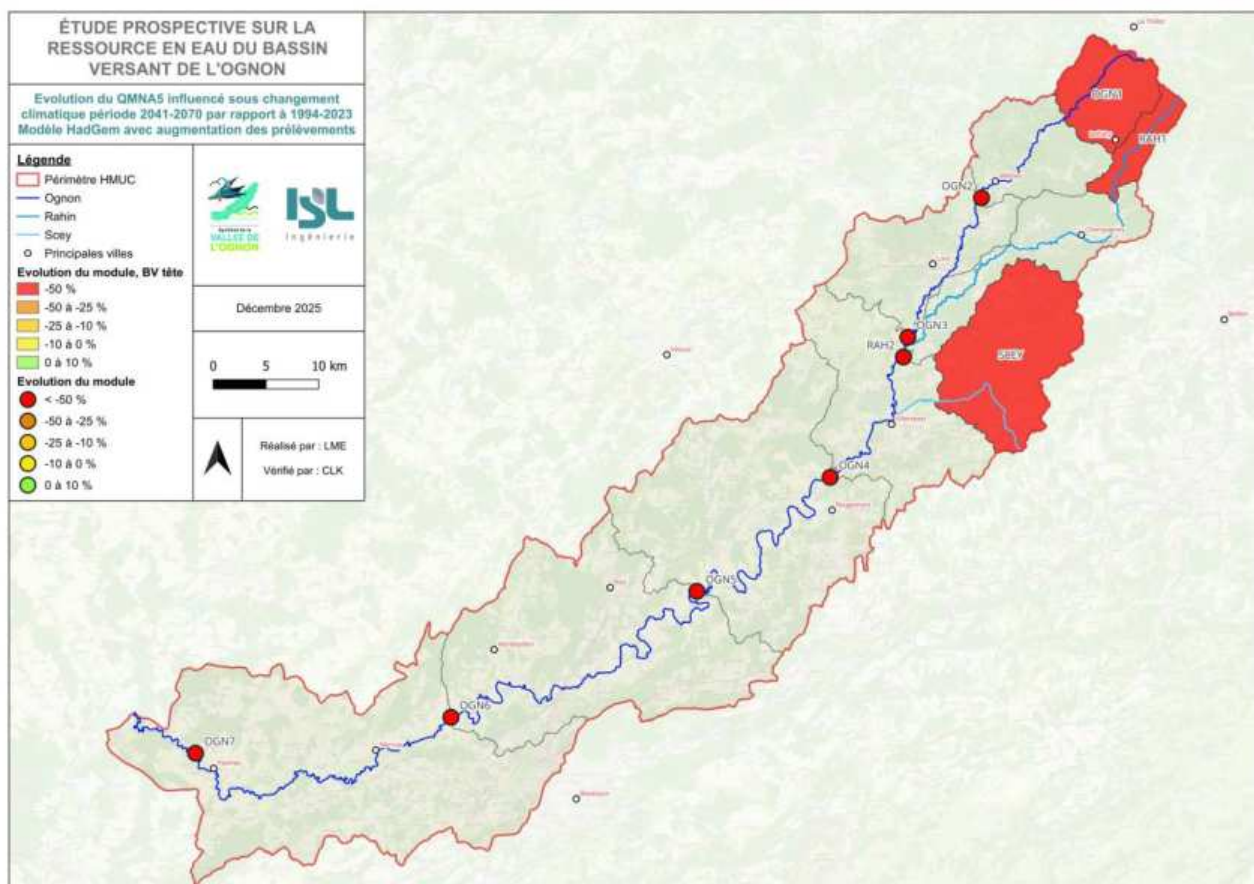


Figure 52: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem augmentation) par rapport à l'état actuel

Analyse des résultats du scénario de baisse

Nœud	Localisation	QMNA5		
		1994-2023	2041-2070	évolution
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,07	-64%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,08	-73%
OGN3		0,51	0,18	-65%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	0,58	-58%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	0,90	-56%
OGN6	Ognon à Pin	2,82	1,26	-55%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	1,43	-56%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,03	-63%
RAH2		0,27	0,11	-61%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,11	-53%

Tableau 33 : Débit quinquennal sec (QMNA5) en état actuel et futur pour HadGem baisse

Pour le scénario « baisse » du narratif HadGem, les QMNA5 restent fortement négatifs (-60 %) en moyenne, de manière très similaire aux résultats du scénario tendanciel.

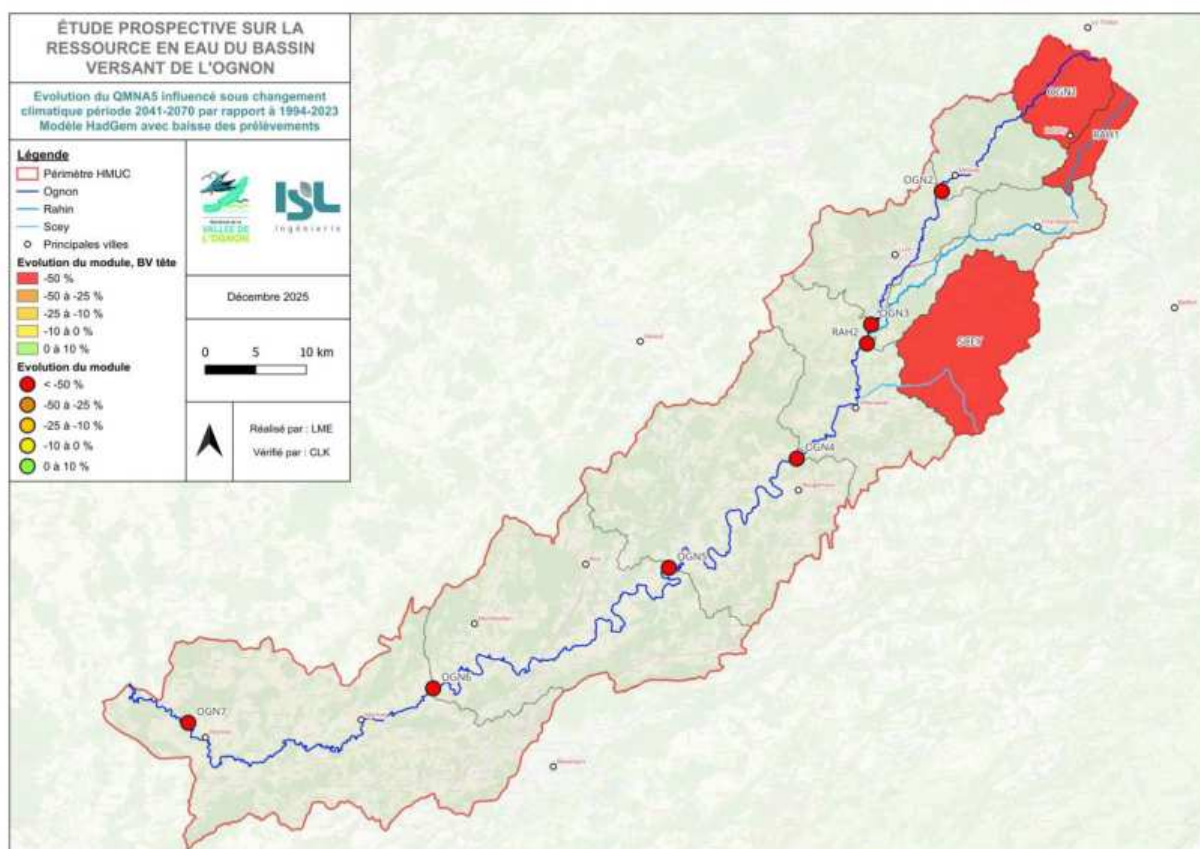


Figure 53: Evolution du QMNA5 influencé en état futur (modèle HadGem baisse) par rapport à l'état actuel

2.5.4 EVOLUTION DES IMPACTS DES USAGES

2.5.4.1 Préambule

Les paragraphes suivants présentent les écarts entre état influencé et état naturel pour le module et le QMNA5 sur la période 2041-2070 sous changement climatique, avec les modélisations Aladin et HadGem.

2.5.4.2 Module

Les tableaux suivants présentent l'impact de la pression des usages sur le module :

- Dans l'état actuel sur la période 1994-2023 ;
- Dans l'état futur sur la période 2041-2070 pour les narratifs Aladin et HadGem et les trois scénarios de changement climatique (tendanciel, augmentation, baisse).

Cet impact est calculé comme l'écart entre le module en état influencé et le module en état naturel [(module influencé – module naturel) / module naturel].

Nœud	Localisation	Module			
		influencé m3/s	naturel m3/s	écart %	écart m3/s
OGN1	Ognon à Servance	2,96	2,97	0%	0,00
OGN2	Ognon à Montessaux	5,45	5,46	0%	-0,01
OGN3		7,63	7,63	0%	0,00
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	17,70	17,95	-1%	-0,25
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	24,41	24,68	-1%	-0,26
OGN6	Ognon à Pin	31,24	31,52	-1%	-0,28
OGN7	Ognon à Pesmes	37,35	37,62	-1%	-0,28
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,22	1,25	-2%	-0,03
RAH2		3,66	3,88	-6%	-0,22
SCEY	Scey à Beveuge	3,08	3,09	0%	-0,01

Figure 54 : Impact de la pression des usages sur le module –état actuel

		Module (m³/s)													
		Aladin				Evolution Aladin			HadGem				Evolution HadGem		
Nœud	Localisation	Naturel	Tend.	Augm.	Baisse	Tend.	Augm.	Baisse	Naturel	Tend.	Augm.	Baisse	Tend.	Augm.	Baisse
OGN1	Ognon à Servance	3,14	3,14	3,14	3,14	0%	0%	0%	2,98	2,98	2,98	2,98	0%	0%	0%
OGN2	Ognon à Montessaux	5,83	5,82	5,82	5,83	0%	0%	0%	5,63	5,62	5,61	5,62	0%	0%	0%
OGN3		8,21	8,21	8,20	8,21	0%	0%	0%	7,88	7,89	7,89	7,89	0%	0%	0%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	19,40	19,15	19,06	19,22	-1%	-2%	-1%	18,24	18,03	17,94	18,08	-1%	-2%	-1%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	26,64	26,34	26,21	26,44	-1%	-2%	-1%	24,65	24,40	24,27	24,48	-1%	-2%	-1%
OGN6	Ognon à Pin	34,20	33,87	33,69	33,99	-1%	-1%	-1%	31,12	30,84	30,66	30,93	-1%	-1%	-1%
OGN7	Ognon à Pesmes	40,92	40,57	40,32	40,71	-1%	-1%	-1%	36,99	36,70	36,45	36,81	-1%	-1%	0%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	1,34	1,30	1,30	1,31	-3%	-3%	-2%	1,28	1,25	1,25	1,26	-2%	-3%	-1%
RAH2		4,17	3,95	3,90	4,01	-5%	-6%	-4%	4,03	3,84	3,79	3,89	-5%	-6%	-4%
SCEY	Scey à Beveuge	3,37	3,35	3,34	3,36	0%	-1%	0%	3,23	3,21	3,20	3,22	0%	-1%	0%

Tableau 34 : Impact de la pression des usages sur le module –états futurs

Pour le narratif Aladin, les variations entre la situation naturelle et influencée sont similaires à celles observées en situation actuelle et ce pour l'ensemble des trois scénarios de changement climatique analysés. Les impacts des usages sur le module sont donc modérés aussi bien en situation actuelle qu'en situation future en considérant le narratif Aladin.

Les résultats sont les mêmes pour le narratif HadGem.

2.5.4.3 QMNA5

Les tableaux suivants présentent l'impact de la pression des usages sur le QMNA5 :

- Dans l'état actuel sur la période 1994-2023 ;
- Dans l'état futur sur la période 2041-2070 pour les narratifs Aladin et HadGem et les trois scénarios de changement climatique (tendanciel, augmentation, baisse).

Cet impact est calculé comme l'écart entre le QMNA5 en état influencé et le QMNA5 en état naturel $[(QMNA5 \text{ influencé} - QMNA5 \text{ naturel}) / QMNA5 \text{ naturel}]$.

Nœud	Localisation	QMNA5			
		influencé m3/s	naturel m3/s	écart %	écart m3/s
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	-1%	0,00
OGN2	Ognon à Montessaux	0,29	0,29	0%	0,00
OGN3		0,51	0,51	0%	0,00
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,37	1,39	-1%	-0,02
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,04	2,07	-1%	-0,03
OGN6	Ognon à Pin	2,82	2,86	-1%	-0,04
OGN7	Ognon à Pesmes	3,24	3,29	-1%	-0,05
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,08	-4%	0,00
RAH2		0,27	0,28	-4%	-0,01
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	-2%	-0,01

Tableau 35 : Impact de la pression des usages sur le QMNA5 –état actuel

		QMNA5 (m³/s)													
		Aladin				Evolution Aladin			HadGem				Evolution HadGem		
Nœud	Localisation	Naturel	Tend.	Augm.	Baisse	Tend.	Augm.	Baisse	Naturel	Tend.	Augm.	Baisse	Tend.	Augm.	Baisse
OGN1	Ognon à Servance	0,20	0,20	0,20	0,20	0%	-1%	0%	0,07	0,07	0,07	0,07	0%	0%	0%
OGN2	Ognon à Montessaux	0,30	0,30	0,30	0,30	0%	0%	0%	0,08	0,08	0,08	0,08	1%	1%	1%
OGN3		0,53	0,53	0,53	0,53	1%	1%	0%	0,18	0,18	0,18	0,18	1%	1%	1%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	1,43	1,41	1,40	1,42	-2%	-3%	-1%	0,58	0,58	0,58	0,58	0%	0%	0%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	2,14	2,09	2,06	2,12	-2%	-4%	-1%	0,90	0,90	0,90	0,90	0%	0%	0%
OGN6	Ognon à Pin	2,98	2,90	2,85	2,94	-3%	-4%	-1%	1,26	1,26	1,26	1,26	0%	0%	0%
OGN7	Ognon à Pesmes	3,39	3,30	3,23	3,34	-3%	-5%	-1%	1,43	1,43	1,43	1,43	0%	0%	0%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	0,07	0,07	0,07	0,07	-3%	-4%	-3%	0,03	0,03	0,03	0,03	0%	0%	0%
RAH2		0,29	0,28	0,27	0,28	-4%	-5%	-3%	0,10	0,11	0,11	0,11	1%	1%	1%
SCEY	Scey à Beveuge	0,24	0,24	0,23	0,24	-2%	-4%	-1%	0,11	0,11	0,11	0,11	-1%	-1%	-1%

Tableau 36 : Impact de la pression des usages sur le QMNA5 –états futurs

Pour le narratif Aladin, les variations entre la situation naturelle et influencée sont similaires à celles observées en situation actuelle et ce pour l'ensemble des trois scénarios de changement climatique analysés. Les impacts des usages sur le module sont donc modérés aussi bien en situation actuelle qu'en situation future en considérant le narratif Aladin.

Pour la narratif HadGem, l'écart entre le QMNA5 naturel et influencé apparaît souvent nul. La ressource étant très limitée, les prélèvements ne peuvent pas être réalisés une bonne partie de la saison d'été. Il n'y a donc pas de prélèvements réalisés ces mois-ci et donc la situation est équivalente à la situation naturelle sans prélèvements. Le paragraphe suivant permet d'apporter des éléments complémentaires aux présents résultats.

2.5.5 SATISFACTION DES USAGES

Afin de mieux appréhender l'impact des usages sur la ressource en eau, une analyse du nombre annuel de jours de satisfaction et de non-satisfaction des demandes a été menée.

Cette analyse repose sur la comparaison, jour par jour, entre le débit requis par les usages et le débit effectivement disponible. Lorsque le débit disponible est inférieur au débit demandé, la demande est considérée comme non satisfaite. Le nombre de jours de non-satisfaction est ensuite cumulé, puis rapporté à une année en divisant le total par 30.

Similairement aux analyses réalisées pour les modules et les QMNA5, l'évolution est exprimée comme la différence entre le nombre de jours de non-satisfaction et le nombre total de jours, rapportée à une année.

Cette méthode est appliquée à l'état actuel ainsi qu'aux narratifs de changement climatique Aladin et HadGem, afin de permettre une comparaison cohérente entre les différentes situations étudiées. En effet, la valeur brute du nombre de jours est à considérer avec précautions :

- dans le modèle, un débit réservé est imposé pour respecter la réglementation (10% du module à chaque nœud du modèle). Les prélèvements sont ensuite faits si la quantité d'eau est suffisante seulement ;
- le bilan de volume est réalisé au pas de temps journalier sans prendre en compte les dynamiques infrajournalières. Les prélèvements pour l'eau potable ne sont par exemple pas forcément réalisés en continu, tout comme les barrages au fil de l'eau créent des retenues d'eau mais aussi une remontée de nappe et donc du stockage supplémentaire mais difficilement quantifiable.

Compte tenu des écarts très faibles entre les différents scénarios de changement climatique, il a été décidé de poursuivre l'analyse uniquement avec les scénarios « tendanciels » des narratifs Aladin et HadGem.

2.5.5.1 Situation actuelle

Le tableau suivant présente le nombre de jours par an où les usages sont non satisfaits d'après le modèle. Pour rappel, l'usage « irrigation » n'avait pas été étudié pour l'état naturel (absence de données suffisantes, il est considéré que ces prélèvements sont compris dans le calage du modèle).

Nœud	Localisation	Nombre de jours non satisfaits par an					Pourcentage de jours non satisfaits				
		AEP	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé	AEP	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé
OGN1	Ognon à Servance	29	28	29	NA	29	8%	8%	8%	NA	8%
OGN2	Ognon à Montessaux	35	33	35	NA	34	10%	9%	10%	NA	9%
OGN3		27	26	28	NA	25	7%	7%	8%	NA	7%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	20	19	20	NA	20	5%	5%	5%	NA	5%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	19	17	19	NA	18	5%	5%	5%	NA	5%
OGN6	Ognon à Pin	15	14	15	NA	15	4%	4%	4%	NA	4%
OGN7	Ognon à Pesmes	17	16	17	NA	17	5%	4%	5%	NA	5%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	40	38	40	NA	33	11%	10%	11%	NA	9%
RAH2		26	30	33	0	23	7%	8%	9%	0%	6%
SCEY	Scey à Beveuge	14	13	14	NA	13	4%	3%	4%	NA	4%

Tableau 37 : Tableau de satisfaction des usages pour l'état actuel

Ce tableau permet de voir que déjà actuellement, un certain nombre d'usage n'ont pas la capacité d'être satisfait tout au long de l'année. En moyenne sur la totalité du bassin versant et par an, il est observé une non-satisfaction de l'usage durant :

- 24 jours pour l'AEP ;
- 23 jours pour l'agriculture ;
- 25 jours pour l'industrie ;
- 0 jour pour la prise d'eau du Rahin ;
- 23 jours pour le débit réservé.

En d'autres termes, ces résultats représentent en moyenne 6 % de non-satisfaction, allant de 3 % pour l'agriculture du bassin versant du Scey jusqu'à 11 % pour l'AEP et l'industrie du bassin versant du RAH2.

2.5.5.2 Aladin

Le tableau suivant présente les résultats de satisfaction des usages en jours par an pour le narratif Aladin et le scénario tendanciel :

Nœud	Localisation	Nombre de jours non satisfaits par an						Pourcentage de jours non satisfaits					
		AEP	Irrigation	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé	AEP	Irrigation	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé
OGN1	Ognon à Servance	31	NA	29	31	NA	30	8%	NA	8%	8%	NA	8%
OGN2	Ognon à Montessaux	38	NA	36	38	NA	36	10%	NA	10%	10%	NA	10%
OGN3		28	24	27	28	NA	25	8%	7%	7%	8%	NA	7%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	20	16	19	20	NA	19	5%	4%	5%	5%	NA	5%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	19	16	18	19	NA	18	5%	4%	5%	5%	NA	5%
OGN6	Ognon à Pin	15	12	14	15	NA	14	4%	3%	4%	4%	NA	4%
OGN7	Ognon à Pesmes	18	15	17	18	NA	17	5%	4%	5%	5%	NA	5%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	51	NA	48	51	NA	38	14%	NA	13%	14%	NA	10%
RAH2		26	NA	37	40	31	23	7%	NA	10%	11%	8%	6%
SCEY	Scey à Beveuge	15	11	14	15	NA	13	4%	3%	4%	4%	NA	4%

Tableau 38 : Tableau de satisfaction des usages pour Aladin tendanciel

Comparaison à la situation actuelle

Le tableau suivant compare les résultats du narratif Aladin avec l'état actuel, en soustrayant le nombre de jours non satisfaits par an du narratif Aladin à celui en état actuel :

Nœud	Localisation	Comparaison Aladin tendanciel - Etat actuel											
		Nombre de jours supplémentaires non satisfaits par an (Aladin tendanciel - Etat actuel)						Evolution de jours non satisfaits					
		AEP	Irrigation*	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé	AEP	Irrigation*	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé
OGN1	Ognon à Servance	2	NA	1	2	NA	1	0%	NA	0%	0%	NA	0%
OGN2	Ognon à Montessaux	3	NA	2	3	NA	2	1%	NA	1%	1%	NA	1%
OGN3		1	24	1	1	NA	0	0%	7%	0%	0%	NA	0%
OGN4	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	0	16	0	0	NA	0	0%	4%	0%	0%	NA	0%
OGN5	Ognon à Beaumotte-Aubertans	0	16	0	0	NA	0	0%	4%	0%	0%	NA	0%
OGN6	Ognon à Pin	0	12	0	0	NA	0	0%	3%	0%	0%	NA	0%
OGN7	Ognon à Pesmes	0	15	0	0	NA	0	0%	4%	0%	0%	NA	0%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	11	NA	10	11	NA	5	3%	NA	3%	3%	NA	1%
RAH2		1	NA	6	7	23	0	0%	NA	2%	2%	6%	0%
SCEY	Scey à Beveuge	1	11	1	1	NA	0	0%	3%	0%	0%	NA	0%

Tableau 39 : Comparaison de la satisfaction des usages entre Aladin et l'état actuel

Hormis sur le Rahin et pour l'usage irrigation (classé dernier en termes de priorité), le nombre de jours de non-satisfaction des usages induit par le narratif Aladin demeure très limité. Cette faible occurrence se reflète logiquement dans les taux d'évolution, qui n'excèdent pas +3 % sur le sous-bassin RAH1. Ces résultats sont cohérents avec ceux issus de l'analyse de l'évolution de l'hydrologie naturelle et influencée : le narratif Aladin apparaît comme ayant un impact limité sur la ressource en eau future.

Le tableau suivant présente les volumes supplémentaires non satisfaits correspondants (écart entre le débit demandé et le débit fournis d'après le modèle) par rapport à la situation actuelle :

	Volume supplémentaire mensuel moyen non satisfait (m3)					
	Total	AEP	Industrie	Irrigation	Abreuvement	Champagne
janvier	-	-	-	-	-	-
février	-	-	-	-	-	-
mars	-	-	-	-	-	-
avril	7 443	7 290	137	-	16	-
mai	10 858	8 202	794	915	141	807
juin	23 641	19 111	1 405	1 357	109	1 660
juillet	112 719	48 706	5 480	19 930	353	38 251
août	67 988	32 331	- 174	37 541	- 1 710	0
septembre	75 756	- 778	- 2 305	46 265	- 3 008	35 582
octobre	101 157	14 187	997	-	- 454	86 427
novembre	81 648	7 391	689	-	- 1	73 569
décembre	844	73	96	-	0	676
Total	482 056	136 513	7 119	106 007	- 4 555	236 972

Tableau 40 : Volumes supplémentaires non satisfaits par rapport à la situation actuelle, modèle Aladin avec évolution des usages tendancielle

2.5.5.3 HadGem

Le tableau suivant présente les résultats de satisfaction des usages en jours par an pour le narratif HadGem et le scénario tendanciel :

Nœud	Localisation	Nombre de jours non satisfaits par an						Pourcentage de jours non satisfaits					
		AEP	Irrigation	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé	AEP	Irrigation	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé
OGN1	Ognon à Servance	80	NA	76	80	NA	79	22%	NA	21%	22%	NA	22%
OGN2	Ognon à Montessaux	88	NA	84	88	NA	86	24%	NA	23%	24%	NA	24%
OGN3	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	81	64	77	81	NA	77	22%	17%	21%	22%	NA	21%
OGN4		73	55	69	74	NA	73	20%	15%	19%	20%	NA	20%
OGN5		72	52	67	72	NA	70	20%	14%	18%	20%	NA	19%
OGN6		64	45	59	64	NA	63	18%	12%	16%	18%	NA	17%
OGN7	Ognon à Pesmes	71	51	66	71	NA	70	19%	14%	18%	19%	NA	19%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	100	NA	96	100	NA	87	27%	NA	26%	27%	NA	24%
RAH2	Scey à Beveuge	79	NA	84	90	68	76	22%	NA	23%	25%	19%	21%
SCEY		61	42	57	61	NA	58	17%	12%	16%	17%	NA	16%

Tableau 41 : Tableau de satisfaction des usages pour HadGem tendanciel

Le narratif HadGem, réputé pour être bien plus sévère en termes de réchauffement climatique, induit une non-satisfaction des usages plus marquée.

Comparaison à la situation actuelle

Le tableau suivant compare les résultats du narratif HadGem avec l'état actuel, en soustrayant le nombre de jours non satisfaits par an du narratif Aladin à l'état actuel :

Nœud	Localisation	Comparaison HadGem tendanciel - Etat actuel											
		Nombre de jours supplémentaires non satisfaits par an (HadGem tendanciel - Etat actuel)						Evolution de jours non satisfaits					
		AEP	Irrigation*	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé	AEP	Irrigation*	Agriculture	Industrie	Prise d'eau Rahin	Débit réservé
OGN1	Ognon à Servance	51	NA	49	51	NA	50	14%	NA	13%	14%	NA	14%
OGN2	Ognon à Montessaux	53	NA	51	53	NA	52	14%	NA	14%	14%	NA	14%
OGN3	Ognon à Chassey-lès-Montbozon	53	64	51	54	NA	52	15%	17%	14%	15%	NA	14%
OGN4		53	55	51	54	NA	53	15%	15%	14%	15%	NA	15%
OGN5		53	52	50	53	NA	52	15%	14%	14%	15%	NA	14%
OGN6		49	45	45	49	NA	48	13%	12%	12%	13%	NA	13%
OGN7	Ognon à Pesmes	54	51	50	54	NA	53	15%	14%	14%	15%	NA	14%
RAH1	Rahin à Plancher-Bas	59	NA	58	60	NA	54	16%	NA	16%	16%	NA	15%
RAH2	Scey à Beveuge	53	NA	54	57	59	53	15%	NA	15%	16%	16%	14%
SCEY		47	42	45	47	NA	45	13%	12%	12%	13%	NA	12%

Tableau 42 : Comparaison de la satisfaction des usages entre HadGem et l'état actuel

Au total, ces résultats traduisent une augmentation moyenne de 14 % du nombre de jours de non-satisfaction par rapport à l'état actuel (de l'ordre de 50 jours supplémentaires par an).

Ces valeurs sont cohérentes avec celles issues des analyses de l'évolution des hydrologies naturelles et influencées : le narratif HadGem, caractérisé par une hausse marquée des températures estivales associée à une diminution significative des précipitations, entraîne un impact majeur sur la ressource en eau, se traduisant par une réduction notable de sa disponibilité.

Le tableau suivant présente les volumes supplémentaires non satisfaits correspondants (écart entre le débit demandé et le débit fournis d'après le modèle) par rapport à la situation actuelle :

	Volume supplémentaire mensuel moyen non satisfait (m3)					
	Total	AEP	Industrie	Irrigation	Abreuvement	Champagne
janvier	-	-	-	-	-	-
février	-	-	-	-	-	-
mars	-	-	-	-	-	-
avril	6 414	6 312	92	-	10	-
mai	14 147	11 222	820	1 184	171	749
juin	90 823	66 977	5 392	13 096	1 971	3 387
juillet	394 539	212 234	23 997	72 582	9 689	76 038
août	541 392	378 257	37 500	108 391	17 244	-
septembre	792 505	445 516	43 410	182 709	16 075	104 796
octobre	822 162	338 406	35 510	-	9 421	438 825
novembre	313 474	85 953	8 843	-	- 1	218 679
décembre	5 139	2 763	294	-	- 0	2 082
Total	2 980 596	1 547 642	155 858	377 962	54 579	844 555

Tableau 43 : Volumes supplémentaires non satisfaits par rapport à la situation actuelle, modèle HadGem avec évolution des usages tendancielle

2.6 CONCLUSION DES MODELISATIONS

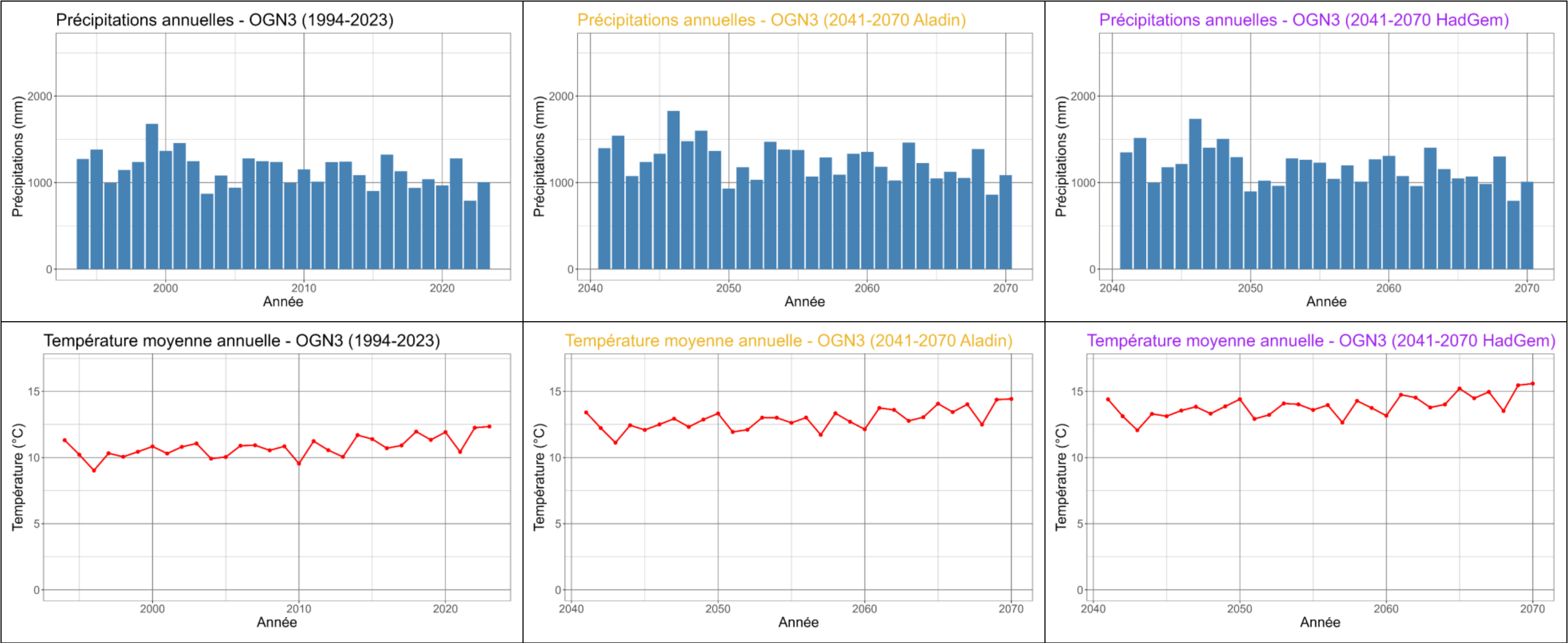
Concernant l'analyse des écoulements de surface, les modélisations indiquent que :

- En situation naturelle (sans les usages anthropiques), le scénario Aladin induit une augmentation du module de l'ordre de 8% sur le bassin versant et de quelques pourcents du QMNA5 tandis que le scénario HadGem induit une très faible augmentation du module (2-3%) mais des étiages bien plus sévères (-66% pour le QMNA5 par rapport à la situation actuelle).
- En situation influencée (avec les usages anthropiques), les résultats sont quasiment identiques quel que soit le scénario d'usage testé.
- Les prélèvements induisent une baisse du module entre 0 et 5% selon les sous bassins pour les deux modèles climatiques.
- Pour la modélisation Aladin, en étiage sévère, l'impact des prélèvements est compris entre 0 et 5% par rapport à la situation naturelle. L'impact est similaire à ce qui est observé sur la période actuelle, le nombre de jours d'insatisfaction des usages augmente mais de façon très limitée (+1 à +3% d'insatisfaction des usages)
- Pour la modélisation HadGem, en étiage sévère, l'impact des prélèvements apparaît nul. En réalité, la ressource en eau étant peu abondante, les prélèvements ne peuvent pas être effectués sur une partie de la saison d'étiage (priorité au débit réservé pour préserver les milieux). La situation est donc équivalente à la situation naturelle.
En lien avec cette observation, le nombre de jours d'insatisfaction des usages augmente de façon non négligeable (de l'ordre de 50 jours par an).

Concernant l'analyse de l'hydrogéologie, les résultats mettent en évidence le rôle déterminant des précipitations dans la dynamique de recharge, tout en soulignant l'importance de leur répartition saisonnière et de l'état hydrique des sols. Les résultats soulignent que la recharge est bien davantage contrôlée par les précipitations efficaces, survenant lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) des sols est saturée, que par le cumul annuel des précipitations. Les augmentations hivernales et automnales, lorsque les sols sont déjà humides, se traduisent directement par un accroissement des flux vers la nappe, tandis que les diminutions estivales ont un impact limité sur la recharge, celle-ci étant déjà quasi nulle durant les périodes sèches. Ainsi, la recharge future apparaît moins sensible aux déficits estivaux qu'à l'évolution des précipitations en saison humide.

ANNEXE 1 CARTES ETUDE PROSPECTIVE DU BASSIN VERSANT

ANNEXE 2 EVOLUTIONS DES PRECIPITATIONS, DES TEMPERATURES ET DE LA RECHARGE DE CHAQUE SOUS BASSIN
VERSANT SUR LES DIFFERENTES PERIODES ET MODELES ETUDIES



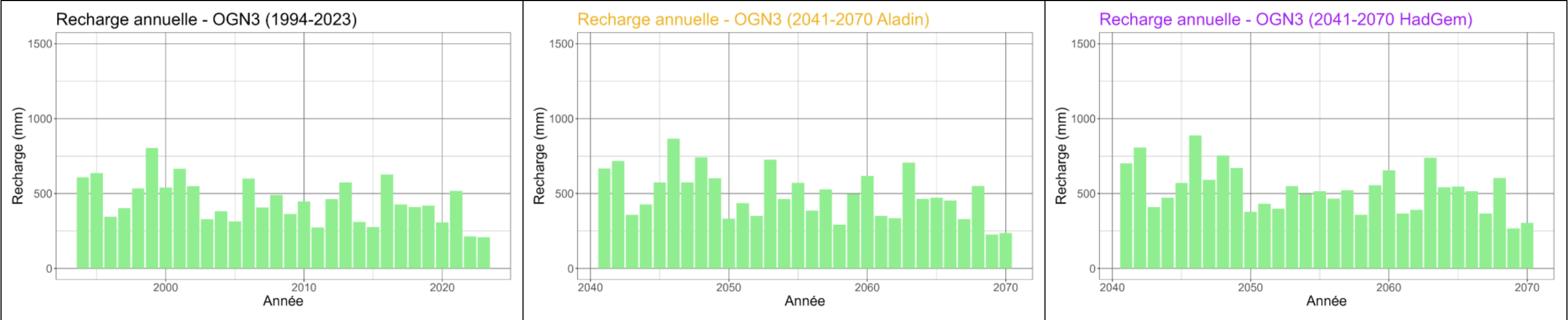


Figure 55: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN3

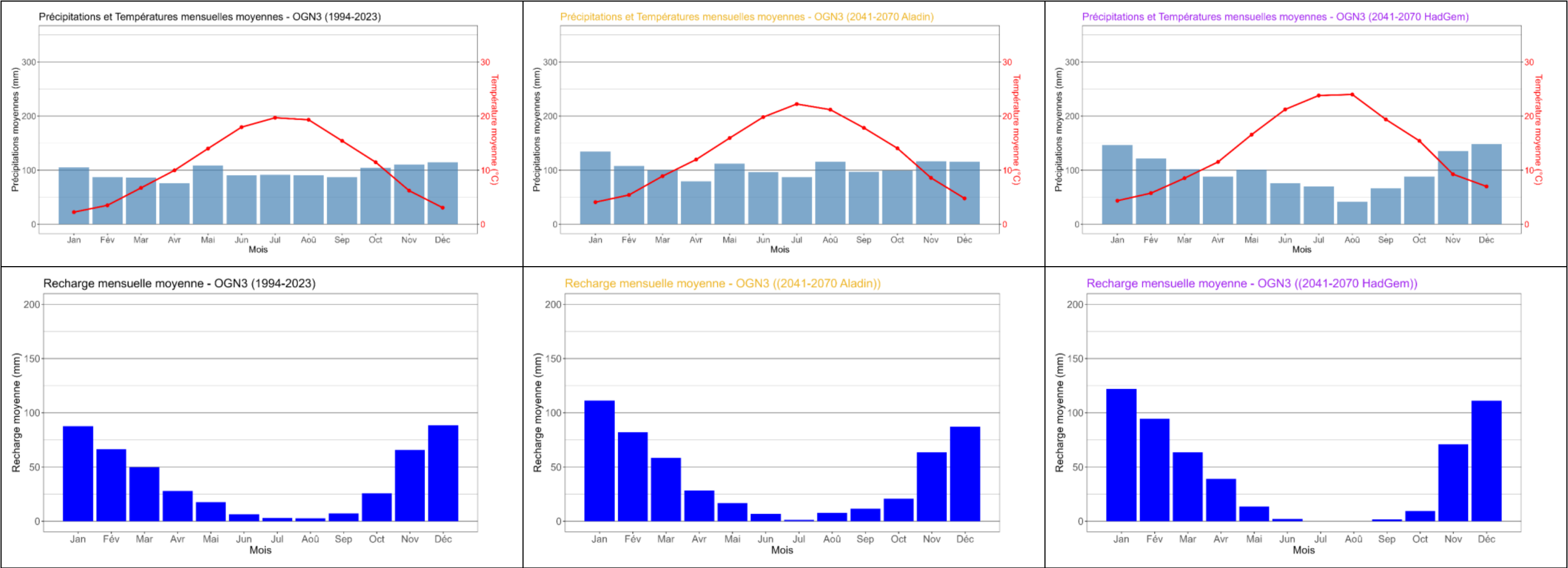


Figure 56: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN3



Figure 57: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN4

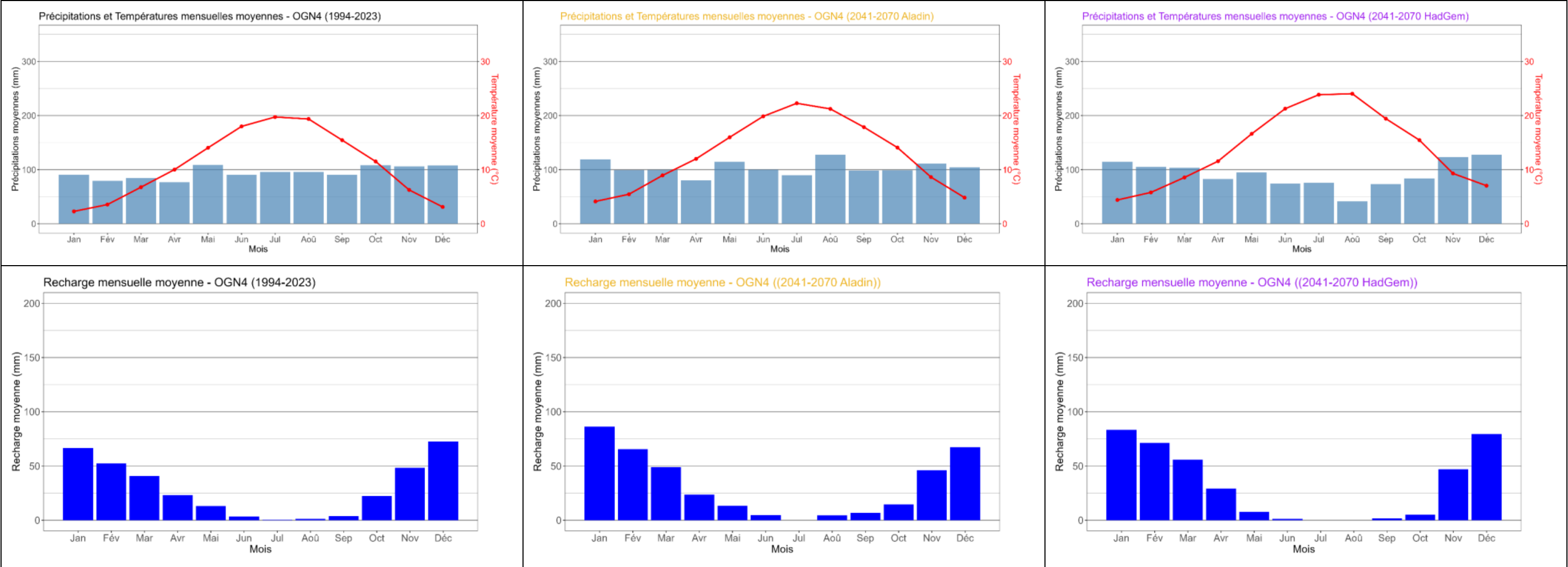


Figure 58: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN4



Figure 59: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN5

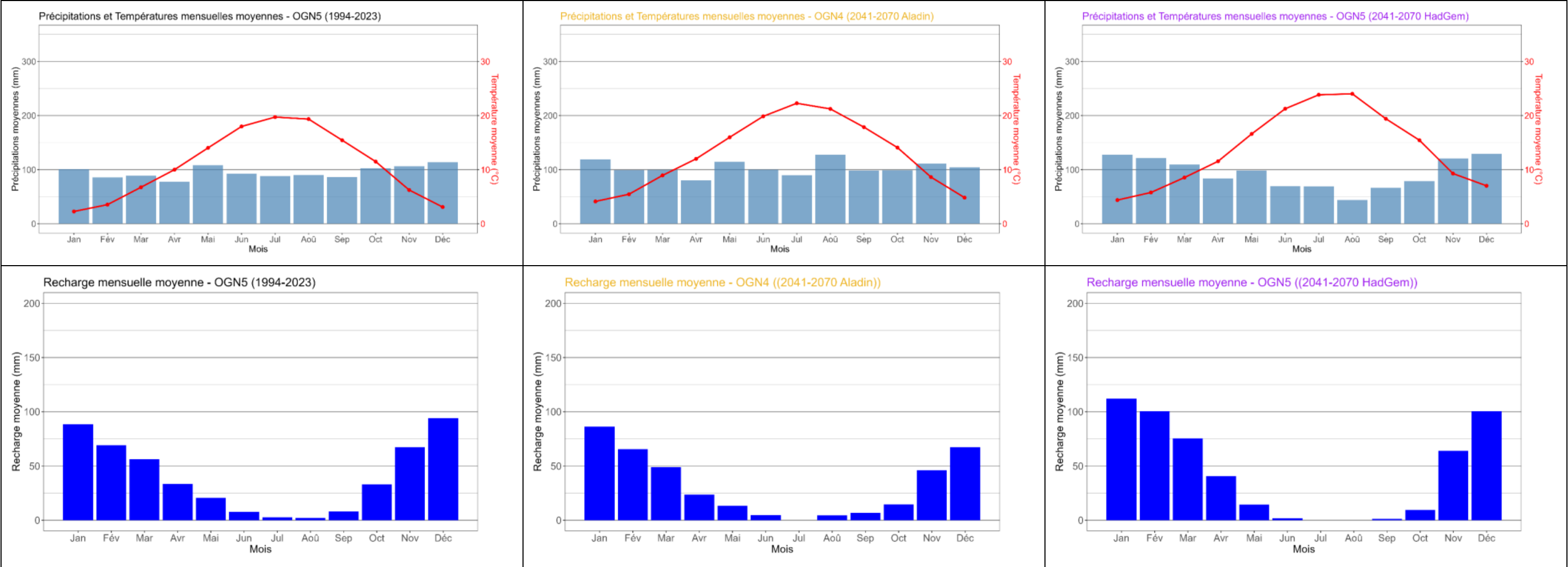


Figure 60: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN5

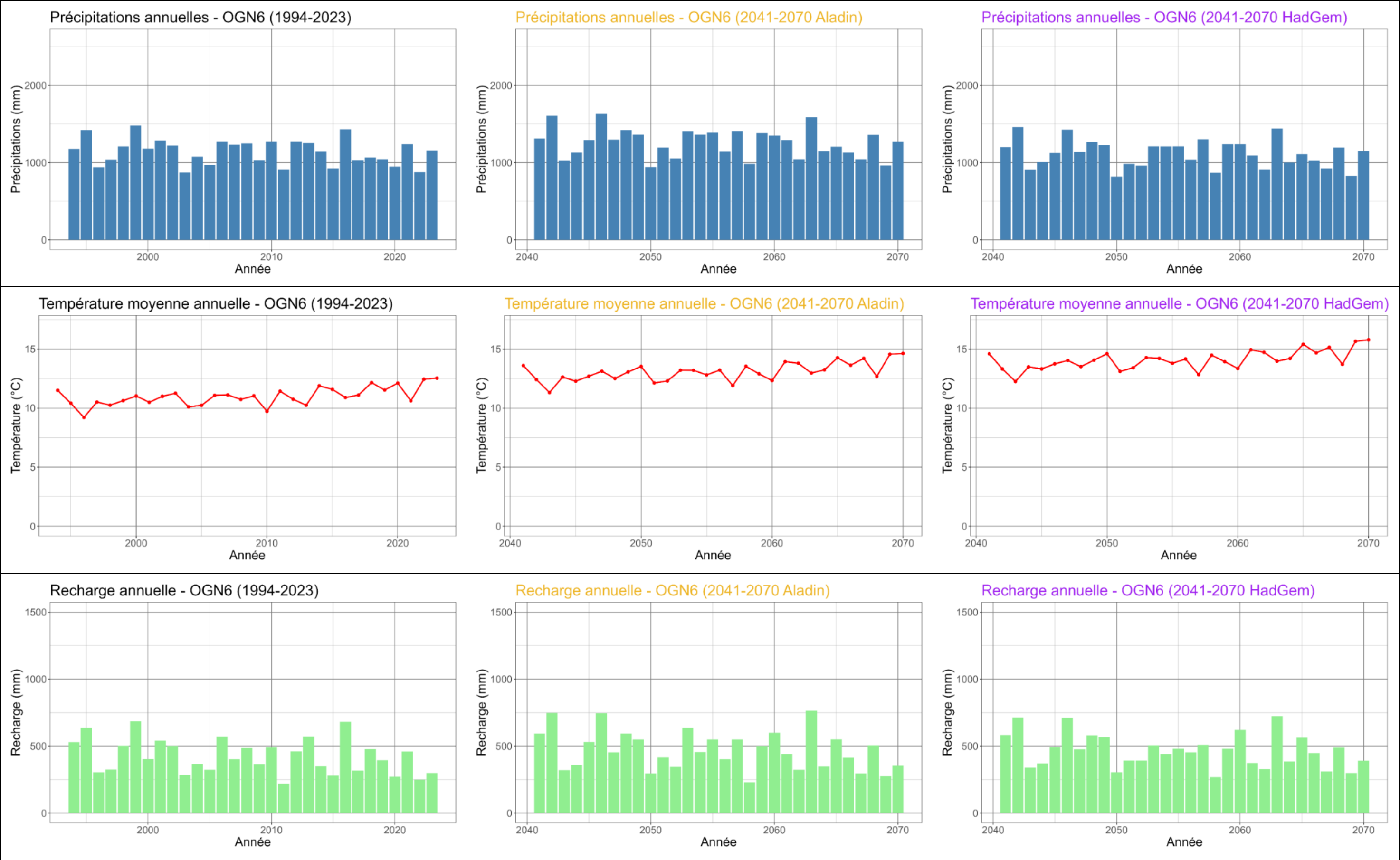


Figure 61: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN6

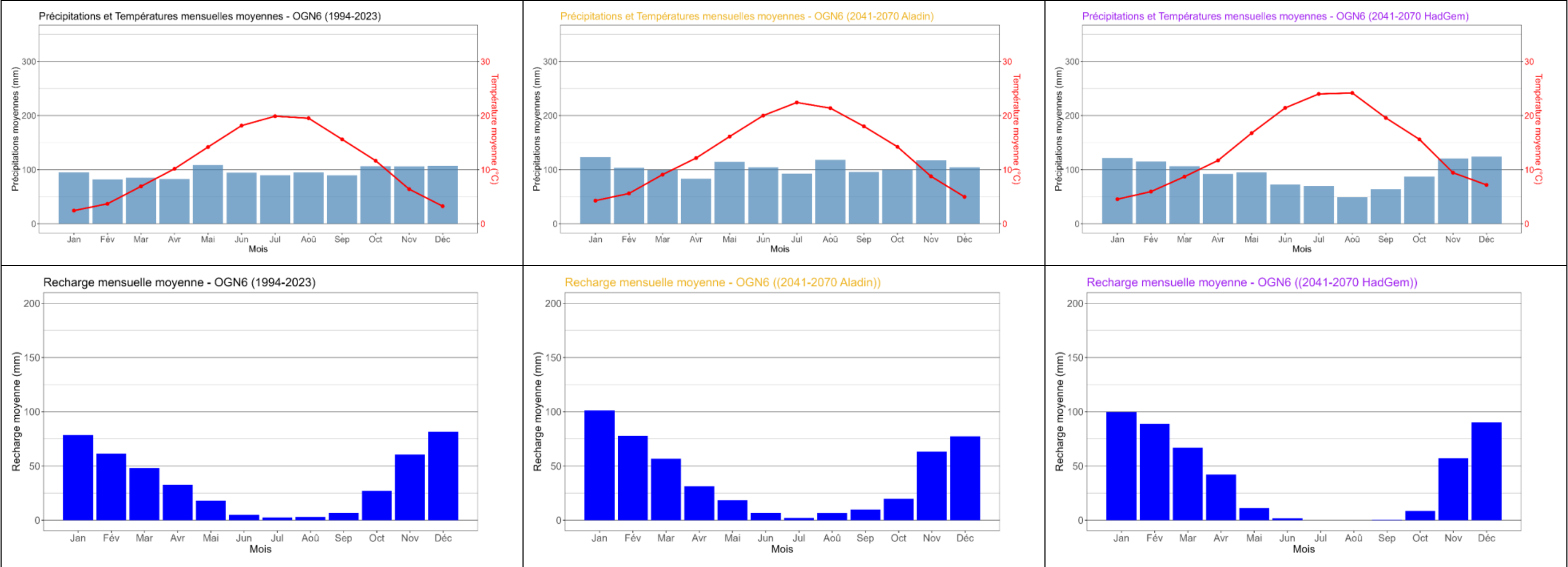


Figure 62: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN6

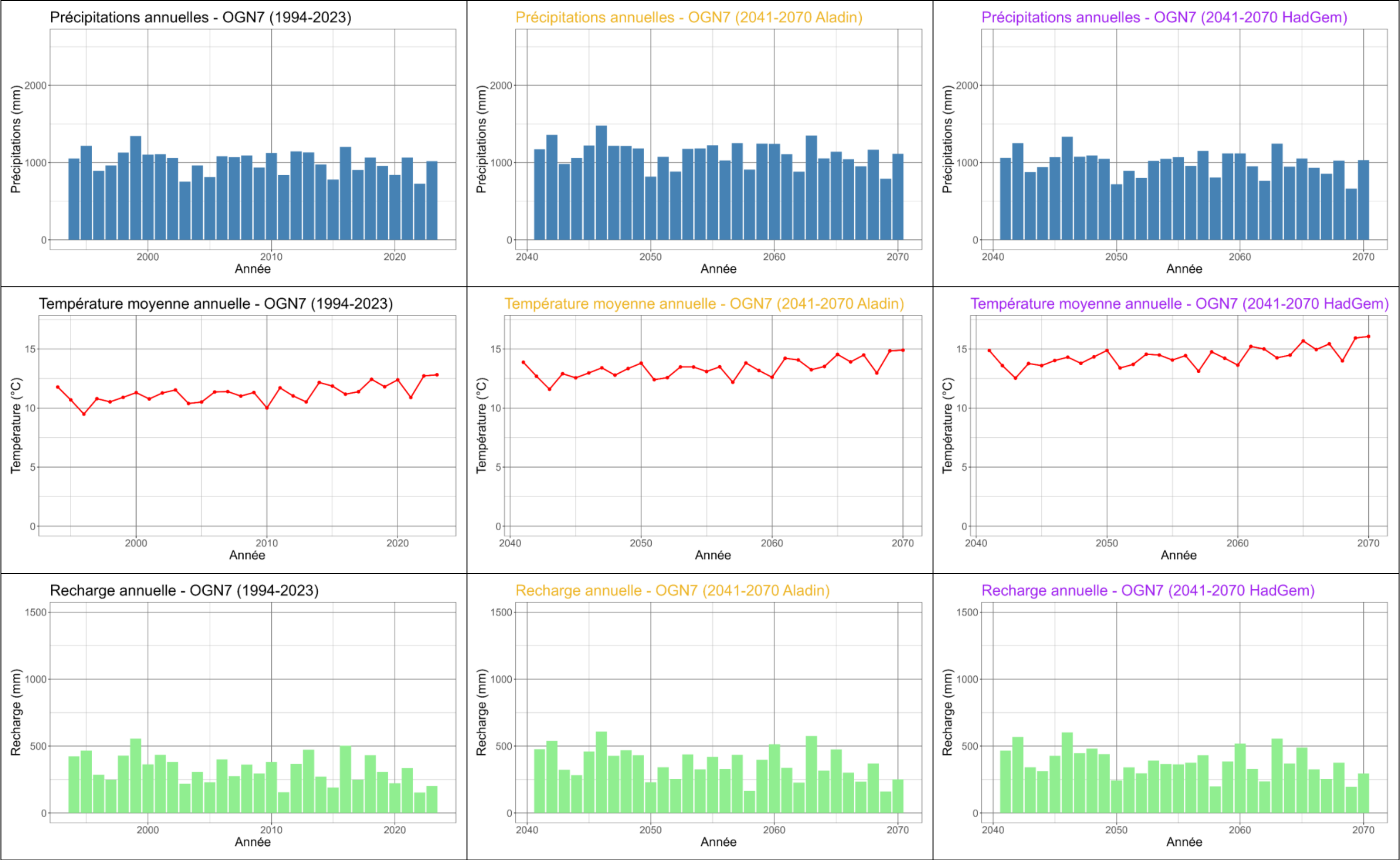


Figure 63: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour OGN7

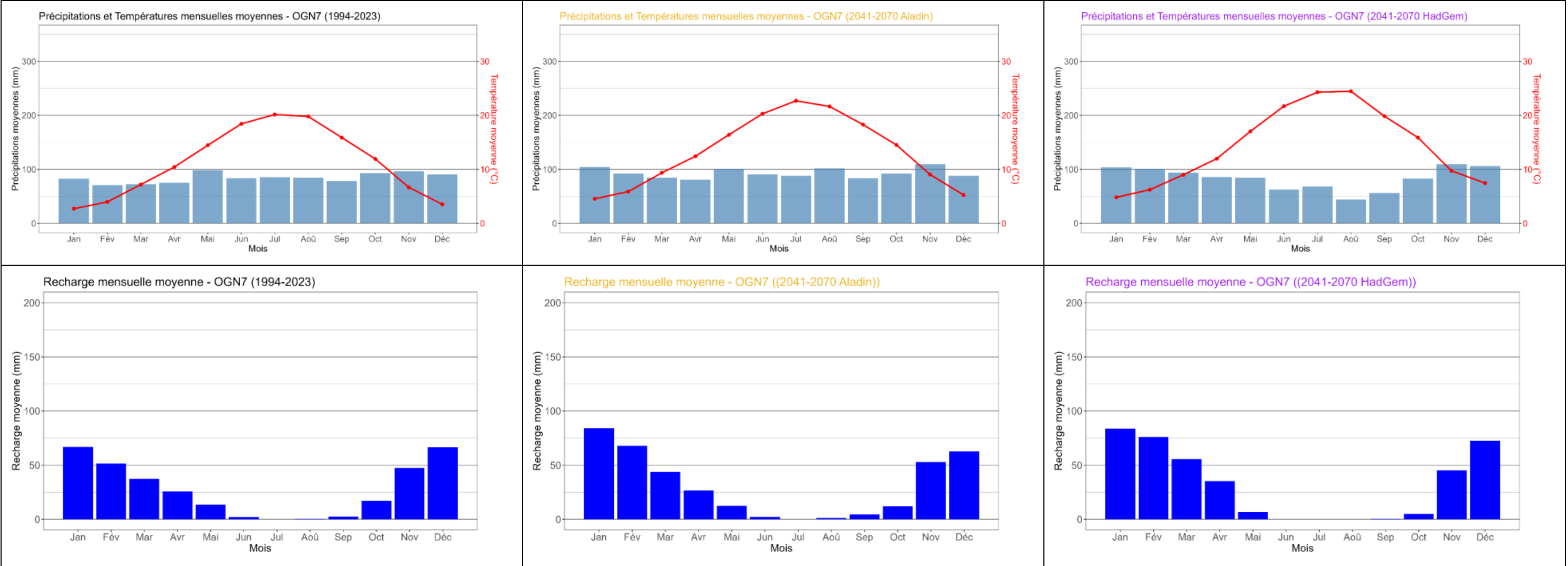


Figure 64: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour OGN7

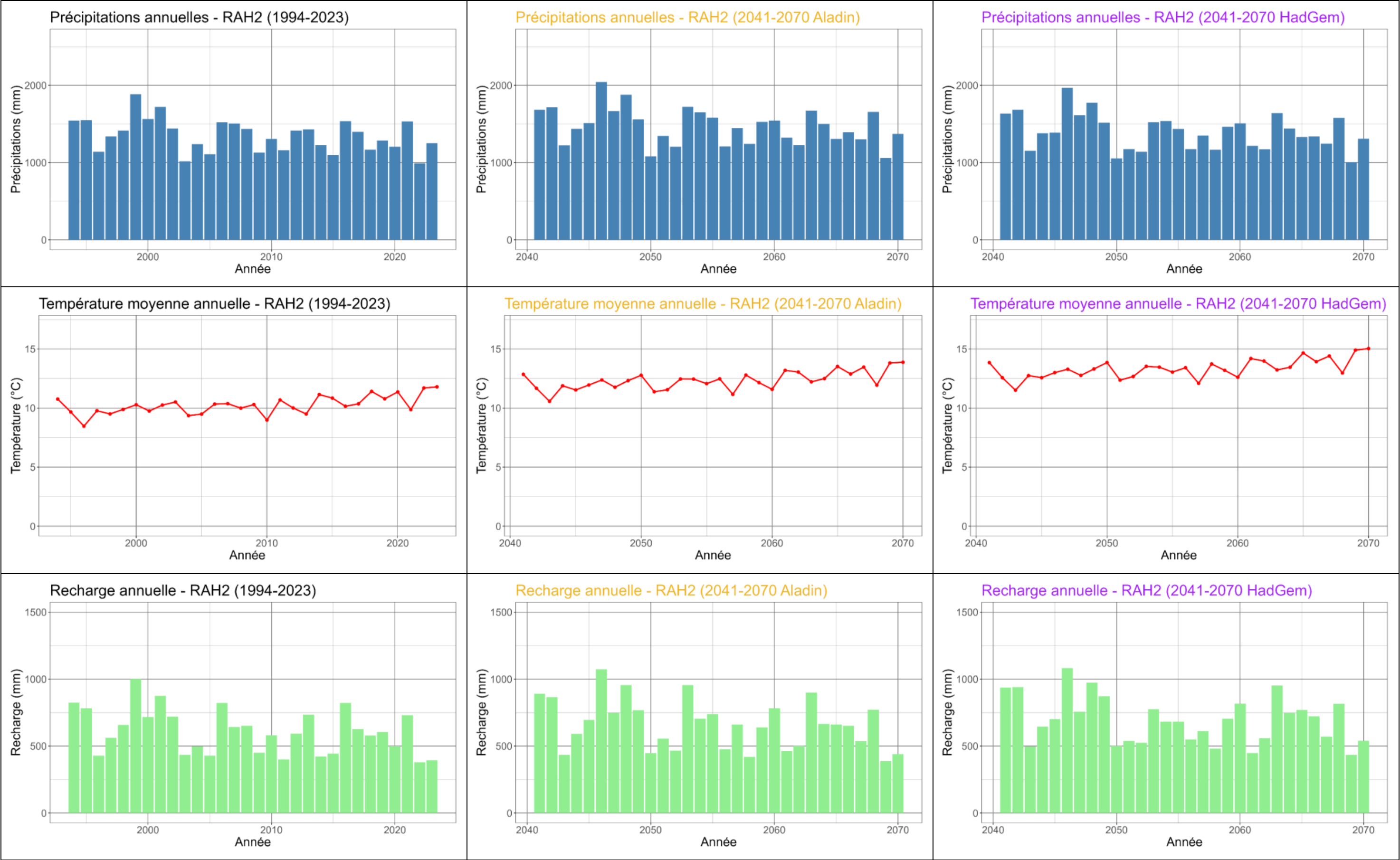


Figure 65: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour RAH2

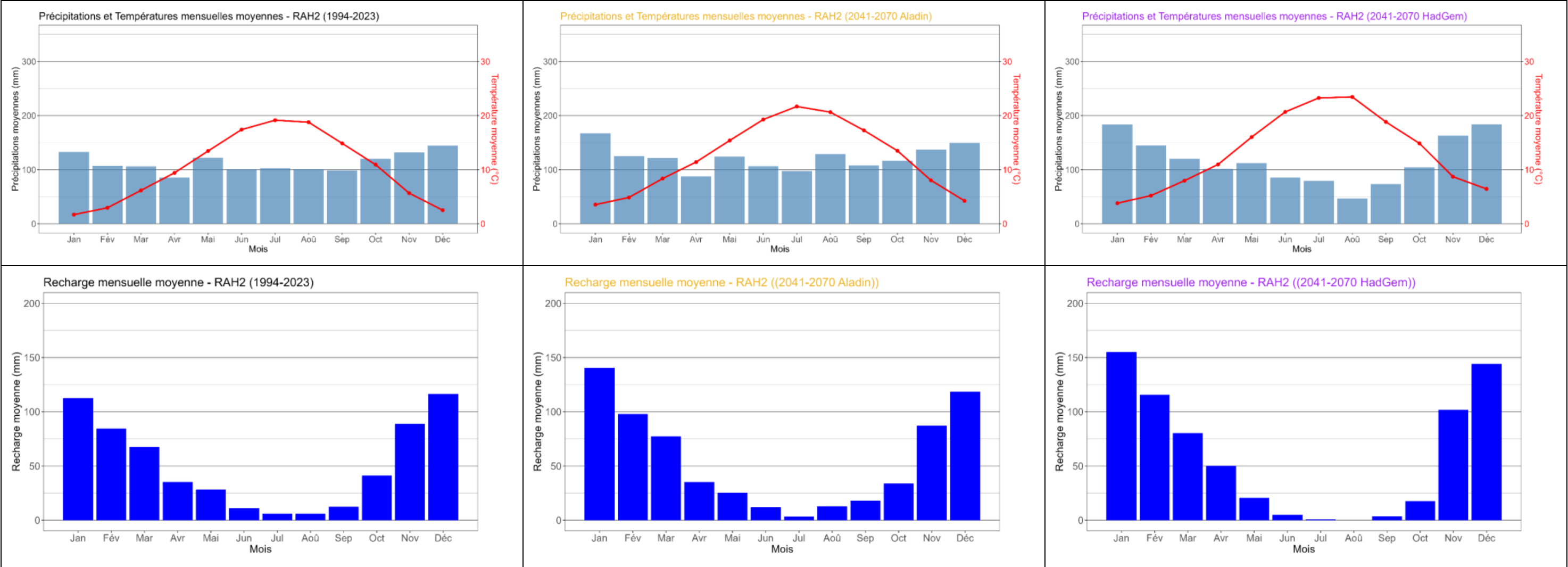


Figure 66: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour RAH2

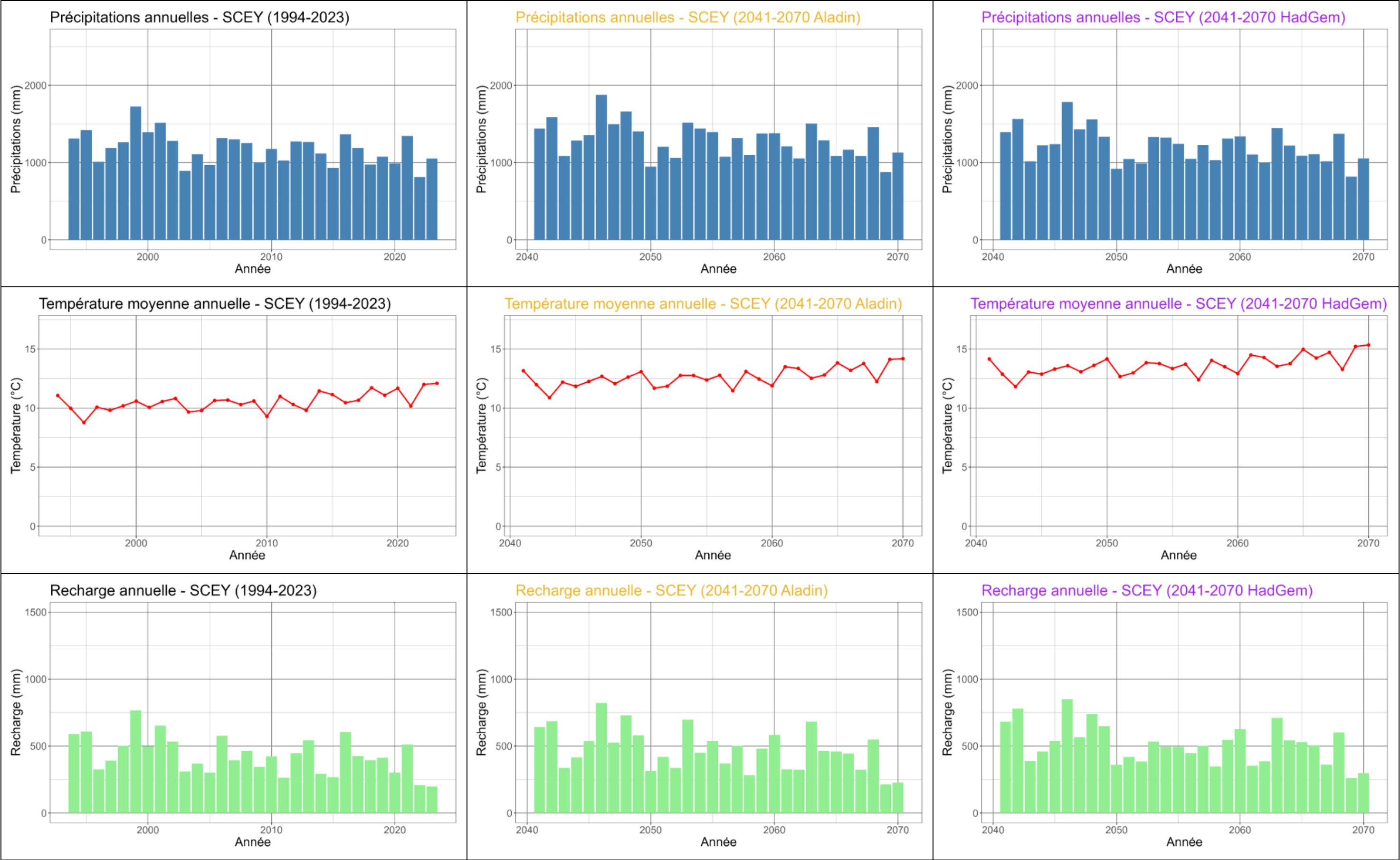


Figure 67: Evolution des précipitations, températures et recharge au pas de temps annuel selon la période et le modèle pour SCEY

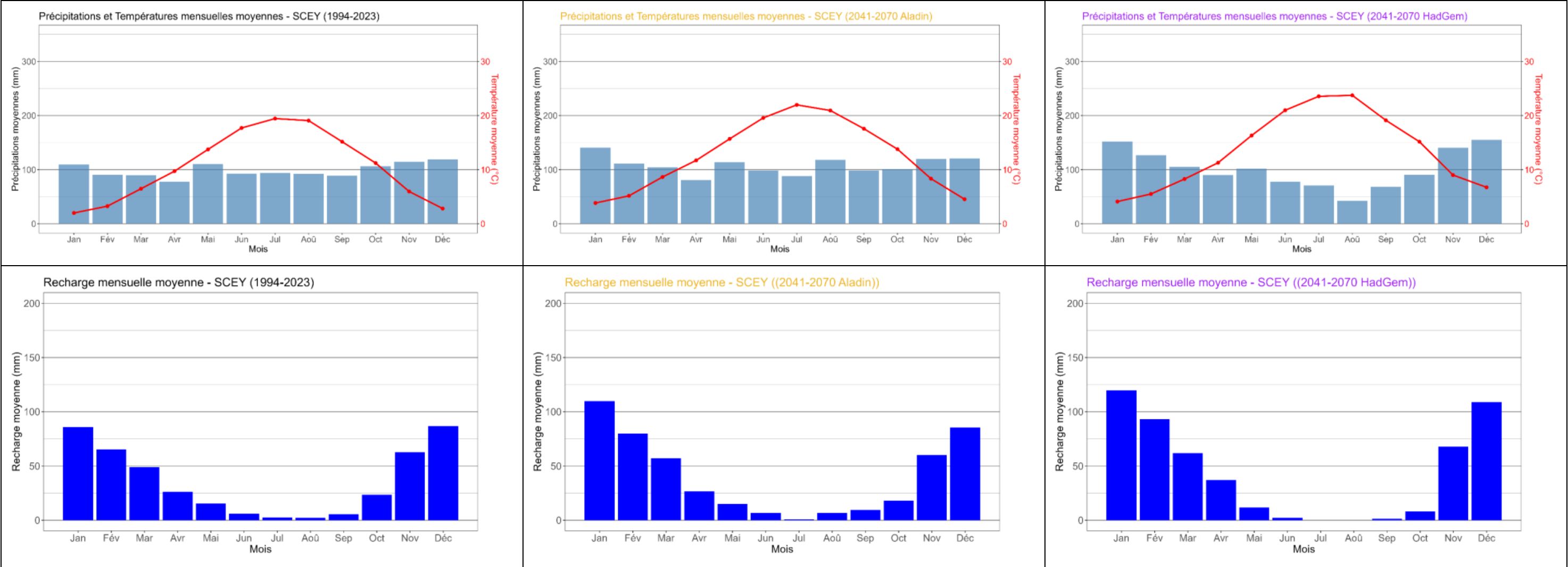


Figure 68: Evolution des précipitations, températures et recharge sur une année-type selon la période et le modèle pour SCEY