20NHF001

Septembre 2022

Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est Evaluation prospective à milieu et fin de siècle et proposition d'actions

Etape 1 – Analyse régionale

Rapport de l'étape 1.2 : Adéquation entre ressources et besoins

CONSULTING

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'Ile - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

Direction France

Version : 05

Date : 15 septembre 2022

Vérification des documents IMP411

Numéro du projet : 19S0852N

Intitulé du projet : Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est - Evaluation prospective 2030-2050 et proposition d'actions

Intitulé du document : Etape 1 – Analyse Régionale - Rapport de l'étape 1.2 : Adéquation entre ressources et besoins

Version	**Rédacteur** NOM / Prénom	**Vérificateur** NOM / Prénom	**Date d'envoi** JJ/MM/AA	**COMMENTAIRES** Documents de référence / Description des modifications essentielles
1	DEVICQUE Marine CHEVALIER Anne NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	29/06/2020	Note d'hypothèse
2	DEVICQUE Marine CHEVALIER Anne NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	02/07/2020	Version amendée de la note d'hypothèse suite au COPIL du 30/06/2020
3	DEVICQUE Marine NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	02/12/2020	Version du rapport 1.2 assemblée (Note d'hypothèses + adaptations méthodologiques + Analyse des résultats) - Version amendée suite au COPIL du 24/09/2020
4	DEVICQUE Marine NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	12/02/2021	Version corrigée du document
5	DEVICQUE Marine CHEVALIER Anne NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	15/09/2022	Version finale du document

Sommaire

1. INTRODUCTION 11

1.1 Contexte et objectifs de l'étude 11

1.2 Identification et organisation du présent rapport 12

PARTIE 1 Note d'hypothèses : principales hypothèses proposées avant lancement des calculs 13

2. INTRODUCTION DE LA NOTE D'HYPOTHESES 15

3. LES INDICATEURS PROPOSES POUR CARACTERISER LA TENSION SUR L'UTILISATION DE LA RESSOURCE 16

3.1 Cadre général 16

3.2 Présentation détaillée des neuf indicateurs 18

4. CONTENU DES FICHES RELATIVES A CHAQUE SECTEUR HOMOGENE ET HYPOTHESES REALISEES POUR L'ENSEMBLE DES CALCULS 25

4.1 Introduction 25

4.2 Informations générales 25

4.3 Données météorologiques, hydrométriques, piézométriques et tendances constatées. 26

4.3.1 Rappel sur le calcul de la pluviométrie et de l'ETP sur chaque secteur homogène à partir des données observées 26

4.3.2 Synthèse des données hydro-piézo-climatiques pour la période actuelle 28

4.4 Relation nappe rivière 34

4.4.1 Principe du calcul 34

4.4.2 Eléments graphiques fournis dans les fiches 35

4.5 Prélèvements 37

4.5.1 Hypothèses relatives à l'AEP 38

4.5.2 Hypothèses relatives à l'Industrie 38

4.5.3 Hypothèses relatives à l'irrigation 38

4.5.4 Hypothèses relatives à l'abreuvement : 39

4.5.5 Prélèvements Energie : rubrique « hydroélectricité » 40

4.5.6 Prélèvements Energie : rubrique « refroidissement » 40

4.5.7 Calcul de la sur-évaporation des plans d'eau et canaux 40

4.5.8 Synthèse sur les prélèvements : bilans annuels et chroniques mensuelles 41

4.6 Rejets 44

4.6.1 Hypothèses relatives à l'Assainissement Collectif 45

4.6.2 Hypothèses relatives à l'Assainissement non collectif (ANC) 45

4.6.3 Hypothèses relatives aux pertes AEP 46

4.6.4 Hypothèses relatives aux rejets industriels 46

4.6.5 Hypothèses relatives aux pertes par percolation dans les canaux 47

4.6.6 Synthèse : bilans annuels et chroniques mensuelles 47

4.7 Cas particuliers des canaux & barrages… 50
4.7.1 Les barrages structurants 50
4.7.2 L'alimentation en eau des canaux 51

4.8 Prélèvements nets et première approche des volumes prélevables 52
4.8.1 Prélèvements nets 52
4.8.2 Première approche des volumes prélevables 54

4.9 Calcul de la recharge 57
4.9.1 Données utilisées 57
4.9.2 Méthodologie de calcul de la recharge 57
4.9.3 Détermination des paramètres d'analyse 60
4.9.4 Synthèse du calcul de la recharge et de la pluie efficace 66

4.10 Synthèse des indicateurs globaux 69

4.11 Projections aux horizons 2030 et 2050 69
4.11.1 Données générales 69
4.11.2 Extractions des données DRIAS Températures et Précipitations 69
4.11.3 Projection des variables climatiques 75
4.11.4 Mise à jour de la recharge 76
4.11.5 Mise à jour des usages à l'aide de l'étude socio-économique 80
4.11.6 Mise à jour des indicateurs pour les différents horizons et scénarios 80

5. LES SCENARIOS D'EVOLUTION DES USAGES 81

5.1 Hypothèses par usage 81
5.1.1 La consommation domestique d'eau potable 81
5.1.2 L'agriculture 90
5.1.3 L'énergie 100
5.1.4 L'industrie 102
5.1.5 Les canaux 109

5.2 Synthèse des scénarios d'évolution des usages 111

PARTIE 2 Analyse critique de la note d'hypothèse – Adaptation des calculs – Incertitudes et sensibilités aux entrées et aux différents paramètres 113

6. QUELQUES PRECISIONS SUR LES ASPECTS METHODOLOGIQUES MIS EN ŒUVRE 114

6.1 Préambule 114

6.2 L'équilibrage du bilan hydrique 114
6.2.1 Révision des coefficients culturaux 114
6.2.2 Révision des coefficients de ruissellement Cr et des BFi 117

7. QUELQUES ELEMENTS SUR LES INCERTITUDES DES ENTREES ET DES CALCULS 125

7.1 L'échelle de réflexion 125

7.2 Passage en revue des principales entrées du bilan hydrique 126

7.3 Eléments de la sensibilité des calculs aux principaux paramètres 129

7.4 Test sur la variation du coefficient de ruissellement dans l'année 131

7.5 Discussion sur les projections climatiques 132
7.5.1 Choix de la méthode de projection 133
7.5.2 Incertitudes liées à la méthode retenue 136

7.6 Conclusion sur les incertitudes 136

PARTIE 3 Analyse des résultats – Mise en évidence de secteurs en tension 137

8. PREAMBULE DE LA PARTIE 3 139

9. CATALOGUE DE FICHES DETAILLANT L'ENSEMBLE DES INFORMATIONS LOCALES (SITUATION ACTUELLE ET SCENARIOS) 141

10. LES PRELEVEMENTS : VISION GLOBALE DE LA REPARTITION ANNUELLE ET EVOLUTIONS PREVUES 143

10.1 Présentation des éléments illustratifs 143

10.2 Analyse 144

10.3 Synthèse 147

11. LE CALCUL DES DIFFERENTS INDICATEURS : VISION GLOBALE ET EVOLUTIONS PREVUES 148

11.1 Présentation des éléments illustratifs 148

11.2 Analyse 149

11.3 Synthèse 153

12. PRELEVEMENTS, REJETS, VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES : VALEURS MOYENNES ANNUELLES ACTUELLES ET EVOLUTIONS PREVUES 154

12.1 Présentation des documents illustratifs 154

12.2 Analyse 155

12.3 Synthèse 157

13. VARIATIONS SAISONNIERES PREVUES POUR LES VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES 158

13.1 Présentation des documents illustratifs 158

13.2 Analyse 159

13.3 Synthèse 160

13.4 Retour sur le calcul de l'indicateur 7 167

14. ANALYSE DE LA PRE-ESTIMATION DES VOLUMES PRELEVABLES POUR LA SITUATION ACTUELLE 168

14.1 Objectifs de la démarche 168

14.2 Présentation des éléments illustratifs 168

14.3 Analyse 170

14.3.1 Illustrations sur deux situations spécifiques 170
14.3.2 Analyse générale 172

15. SYNTHESE ET HIERARCHISATION 174

15.1 Comparaison des indicateurs 174

15.2 Analyse et première hiérarchisation des zones homogènes 176

15.3 Synthèse et conclusion 178

15.4 Eléments de choix des zones à étudier issus des concertations conduites à l'issue du COPIL du 06.01.2021 181

Table des illustrations

Figure 1 : Les 35 secteurs homogènes 15
Figure 2 : Schématisation du système 16
Figure 3 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la recharge annuelle en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187) 19
Figure 4 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la lame d'eau annuelle écoulée dans les rivières en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187) 21
Figure 5 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la lame d'eau écoulée à l'étiage dans les rivières en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187) 22
Figure 6 : Postes pluviométriques et découpage proposé 27
Figure 7 : Postes ETP et découpage proposé 27
Figure 8 : Exemple de chronique annuelle des pluviométries de 2000 à 2019 sur le secteur homogène 6 et courbe de tendance 28
Figure 9 : Exemple de moyennes mensuelles de l'ETP recalculée par la formule de Thornthwaite sur la période 2000-2019 pour le secteur 6 29
Figure 10 : Exemple de chronique de l'ETP annuelle moyenne recalculée sur la période 2000-2019 pour le secteur 6 et courbe de tendance 29
Figure 11 : Chronique des débits mensuels en sortie du secteur 7 et comparaison avec les débits caractéristiques des étiages 32
Figure 12 : Chronique des niveaux piézométriques de la nappe les grès du Trias inférieur. Le piézomètre choisi est 02697X0005/F. 33
Figure 13 : Localisation des piézomètres sélectionnés pour le suivi du niveau d'eau des nappes affleurantes de la région Grand Est 33
Figure 14 : Localisation des piézomètres sélectionnés pour le suivi du niveau d'eau des nappes profondes de la région Grand Est 34
Figure 15 : Principe de la méthode du filtre de Chapman pour quantifier les relations nappe/rivière 34
Figure 16 : Graphique de décomposition du débit du cours d'eau en un débit de base et un débit de ruissellement (ZH 26). 36
Figure 17 : distribution du BFi sur la zone homogène 26 36
Figure 18 : Graphiques des prélèvements annuels bruts par usage et par type de milieu 42
Figure 19 : Bilans mensuels interannuels sur la période 2008-2017 des prélèvements bruts par usage sur le secteur 26 43
Figure 20 : Chronique mensuelle des prélèvements par usage sur le secteur 26 43
Figure 21 : Chronique mensuelle des prélèvements par usage sur la période 2008-2017 (graphique cumulé) 43
Figure 22 : Chroniques des prélèvements moyens interannuels sur la période 2008-2017 sur le secteur 26 (vue non cumulée / cumulée) 44
Figure 23 : Analyse des rejets mensuels pour quelques STEP de typologies variées (Extrait du rapport d'étape 1.1) .. 45
Figure 24 : Rejets moyens annuels sur la zone homogène 26 pour la période 2008-2017 48
Figure 25 : Chroniques mensuelles rejets par usage sur la période 2008-2017 sur le secteur 26 49
Figure 26 : Chroniques mensuelles des rejets sur la période 2008-2017 sur le secteur 26 (version empilée) 49

Figure 27 : Moyennes mensuelles interannuelles des rejets bruts actuels sur le secteur 26 (version non empilée / empilée) ... 49
Figure 28 : Chroniques mensuelles de prélèvements et de rejets obtenues sur le secteur 34 ... 51
Figure 29 : Bilans des prélèvements et rejets bruts annuels et des prélèvements nets sur la période 2008-2017 (secteur 26) ... 53
Figure 30 : Chronique mensuelle des prélèvements nets sur la période 2008-2017 (Secteur 26) ... 53
Figure 31 : Moyenne des prélèvements nets mensuels sur la période 2008-2017 (secteur 26) ... 53
Figure 32 : Graphique illustrant la pré-estimation des volumes prélevables sur le secteur 26 ... 56
Figure 33 : Le modèle de Thornthwaite (1948) : production de la Pluie Efficace (Source : Vittecoq et Al, 2010) ... 58
Figure 34 : Schéma explicatif du calcul de la pluie efficace et de la recharge ... 59
Figure 35 : Carte des réserves en eau utile de la France métropolitaine à l'échelle 1/1 000 000 (Source : Gis Sol) ... 61
Figure 36 : Triangle de texture de l'Aisne ... 64
Figure 37 : Classes texturales et leur sensibilité à la battance (INRA Orléans) ... 64
Figure 38 : Moyennes mensuelles interannuelles des différents termes du bilan hydrique (2000-2019) ... 67
Figure 39 : Sorties graphiques illustrant le bilan hydrique à l'échelle annuelle et mensuelle sur le secteur 26 ... 68
Figure 40 : Comparaison des précipitations et températures moyennes mensuelles sur la région Grand Est pour les modèles CNRM et IPSL sur la période 1995-2005 ... 72
Figure 41 : Comparaison de l'ETP Penman fournie par Météo France à Reims-Courcy et de l'ETP recalculée à la même station par la formule Thornthwaite à partir des températures moyennes ... 75
Figure 42 : Graphes illustrant la projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26 ... 79
Figure 43 : Evolution de la consommation domestique des français ... 82
Figure 44 : Diminution de la consommation de viande entre 1998 et 2018 (Source : FranceAgrimer) ... 90
Figure 45 : Puissance installée, en KWe, pour les installations à la ferme en 2019 (Source : SINOE) ... 96
Figure 46 : Evolution des superficies destinées à la culture du maïs fourrage et ensilage sur la Région Grand-Est ... 98
Figure 47 : Part des superficies irriguées pour le maïs fourrage et ensilage par département ... 98
Figure 48 : Evolution des volumes agricoles ... 112
Figure 49 : Evolution des volumes domestiques, agricoles et industriels ... 112
Figure 50 : Evolution des volumes prélevés pour l'usage énergie et les canaux ... 112
Figure 51 : Comparaison des coefficients culturaux issus des différentes sources exploitées sur les terres arables pour la ZH26 ... 116
Figure 52 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par Météo France sur la période 1981-2010 ... 122
Figure 53 : Le ruissellement mis à jour vs. le ruissellement version antérieure ... 122
Figure 54 : Le recharge mise à jour vs. la recharge version antérieure ... 122
Figure 55 : Les ratios R/Peff et Rui/Peff vs IDPR ... 123
Figure 56 : Les Recharges calculées R vs. Les recharges calculées par le BRGM sur Rhin Meuse ... 123
Figure 57 : Les Recharges R vs. Le ruissellement Ru ... 123
Figure 58 : BFi * Q vs. R ... 124
Figure 59 : Peff vs. Q ... 124
Figure 60 : Ratio des coefficients de ruissellement Cr proposés / Cr version antérieure ... 124
Figure 61 : Ratio des BFi proposés / BFi version antérieure ... 125
Figure 62 : Zoom de la carte des postes pluviométriques et des polygones de Thiessen sur les Vosges ... 126
Figure 63 : Postes météo utilisés pour l'estimation de l'ETP via la température et découpage en polygones de Thiessen (en fond : température moyenne de la situation de référence du CNRM) ... 127
Figure 64 : Comparaison des Recharges Moyennes mensuelles et des ruissellements moyens mensuels sans et avec la correction étudiée ... 131
Figure 65 : Ruissellement moyens mensuels, pluies efficaces moyennes mensuelles, ratios Ru/Peff et débits mensuels moyens de la Moselle à Toul (Qm) sans et avec la correction étudiée ... 132
Figure 66 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Précipitation, températures, ETP) ... 134
Figure 67 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Pluie efficace, recharge) ... 135
Figure 68 : Les 35 zones homogènes (rappel) ... 139
Figure 69 : Corrélation Pluie Efficace et Module en valeurs annuelles su les zones 2 et 18 ... 156
Figure 70 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 161
Figure 71 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 162

Figure 72 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) 163
Figure 73 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)....164
Figure 74 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) 165
Figure 75 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)....166
Figure 76 : Graphe de synthèse « volumes prélevables » sur le secteur 26. 170
Figure 77 : Résultats des volumes prélevables sur le secteur 17 171
Figure 78 : Résultats des volumes prélevables pour le secteur 35. 171
Figure 79 : Représentation graphique globale simplifiée des indicateurs....175
Figure 80 : évolution de l'indice pluviométrique en milieu de siècle (2055) et fin de siècle (2085) sur la région Grand-Est pour les scénarios 4.5 IPSL et 8.5 CNRM (source : DRIAS)....180
Figure 81 : Vue générale des niveaux de pression sur les 35 zones homogènes 182
Figure 82 : Localisation des 13 zones Homogènes retenues pour la suite du projet....183

Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des indicateurs utilisés pour estimer l'impact des prélèvements sur la ressource en eau 17
Tableau 2 : Débits mensuels statistiques calculés à partir de la chronique des débits mensuels en sortie du secteur 7 30
Tableau 3 : Débits annuels statistiques calculés partir de la chronique des débits constitués en sortie du secteur 7.... 31
Tableau 4 : Valeurs caractéristiques des étiages pour le secteur 7. 31
Tableau 5 : Provenance et disponibilité des données mobilisées pour le calcul des prélèvements bruts mensuels et annuels 37
Tableau 6 : Coefficients de répartition mensuelle des prélèvements pour l'alimentation en eau potable..... 38
Tableau 7 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements industriels 38
Tableau 8 : Coefficient mensuels de répartition des prélèvements agricoles liés à l'irrigation (Source : Stollsteiner, 2013, BRGM/RP-61371-FR) 38
Tableau 9 : Calcul des prélèvements agricoles pour l'abreuvement du bétail 39
Tableau 10 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements agricoles liés à l'abreuvement du bétail 40
Tableau 11 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements liés au refroidissement des centrales électriques 40
Tableau 12 : Classes de largeur des segments du DPF et valeurs moyennes retenues..... 41
Tableau 13 : Extrait du tableau des bilans annuels sur le secteur 26 42
Tableau 14 : Provenance et disponibilité des données utilisées pour l'estimation des rejets bruts mensuels et annuels44
Tableau 15 : Coefficients mensuels de répartition des rejets via l'assainissement collectif 45
Tableau 16 : Bilans annuels des rejets sur le secteur 26..... 48
Tableau 17 : Rejets bruts moyens interannuels sur la période 2008-2017 par usage (secteur 26) 49
Tableau 18 : Calcul des volumes prélevables (secteur 26)..... 56
Tableau 19 : Coefficients culturaux par classe d'occupation des sols (source : Nistor et al, 2018) et calcul des coefficients culturaux moyens sur la zone homogène n°2 60
Tableau 20 : Valeur de RU retenue par classe de la carte utilisée..... 62
Tableau 21 : Classification en trois classes de l'occupation des sols (Corine land Cover 2018) 63
Tableau 22 : Coefficients de ruissellement adaptés à partir de la méthode Bussard 65
Tableau 23 : Calcul de la recharge sur la zone homogène 2, extrait du tableur..... 65
Tableau 24 : Calcul annuel des différents termes du bilan hydrique (2000-2019)..... 67
Tableau 25 : Tableaux de projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26 78
Tableau 26 : Liste des personnes interrogées..... 81
Tableau 27 : Evolution de la population de la région Grand-Est à horizon 2030 et 2050 (Source : Insee) 81
Tableau 28 : Consommation par an et par habitant par département (Source : SISPEA 2013 – ONEMA 2016)..... 83
Tableau 29 : Répartition des volumes domestiques estimés par département pour l'année 2017 83
Tableau 30 : Evolution des volumes consommés pour la vaisselle..... 86
Tableau 31 : Evolution des volumes consommés pour le linge..... 86
Tableau 32 : Estimation des volumes dédiés au remplissage des piscines par type de piscine..... 88
Tableau 33 : Estimation des volumes dédiés au remplissage des piscines par département..... 88
Tableau 34 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario IPSL 2030 88

Tableau 35 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario CNRM 2030 89
Tableau 36 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario IPSL 2050 89
Tableau 37 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario CNRM 2050 89
Tableau 38 : Evolution de la consommation indigène brute nationale (en tonne équivalent carcasse) 90
Tableau 39 : Evolution du nombre d'animaux sur la région Grand-Est 91
Tableau 40 : Répartition des volumes par type d'alimentation pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE) 92
Tableau 41 : Répartition des volumes mensuels pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE) 92
Tableau 42 : Synthèse des hypothèses sur l'évolution de la consommation d'eau 92
Tableau 43 : Evolution de la consommation en eau du bétail par zone homogène 93
Tableau 44 : Volumes prélevés pour les besoins agricoles sur la région Grand-Est, en m^3 94
Tableau 45 : Répartition des unités de méthanisation sur la région Grand-Est en 2019 (Source : SINOE) 96
Tableau 46 : synthèse des hypothèses d'évolution pour les scénarios climatiques par rapport à 2017 99
Tableau 47 : Evolution des volumes pour l'irrigation par zone homogène 100
Tableau 48 : Evolution des volumes pour l'énergie par zone homogène 101
Tableau 49 : Répartition du nombre d'établissements par département au 01/01/2012 102
Tableau 50 : Répartition du nombre d'établissements par département au 01/01/2018 102
Tableau 51 : Evolution du nombre d'établissements par secteur d'activité 103
Tableau 52 : Poids du nombre d'établissements et des emplois associés au 01/01/2018 103
Tableau 53 : Volumes prélevés (en m^3) pour l'industrie 104
Tableau 54 : synthèse des hypothèses des scénarios climatiques 107
Tableau 55 : Volumes prélevés pour les besoins industriels 108
Tableau 56 : Volumes prélevés(m^3) pour l'alimentation des canaux 109
Tableau 57 : Synthèse des hypothèses pour les scénarios climatiques 110
Tableau 58 : Volumes prélevés à horizon 2030 et 2050 111
Tableau 59 : Volumes estimés selon les usages aux horizons 2030 et 2050 111
Tableau 60 : Coefficients culturaux – Version antérieure (et son application sur la ZH26 Moselle amont) 115
Tableau 61 : Coefficients culturaux – Version modifiée (et son application sur la ZH26 Moselle amont) 115
Tableau 62 : comparaison de l'ETR avant et après actualisation des calculs 116
Tableau 63 : Répartition Ruissellement/ Recharge en fonction de l'IDPR (Source : BRGM) 117
Tableau 64 : Evaluation du RIPE en fonction de l'IDPR (Source : BRGM) 117
Tableau 65 : Comparaison des coefficients Cr et BFi initiaux proposés et ratios caractéristiques issus des coefficients finaux 119
Tableau 66 : Mise à jour des principaux termes du bilan hydrique 120
Tableau 67 : Comparaison des recharges avant et après actualisation des calculs 121
Tableau 68 : Comparaison des pluies efficaces avant et après actualisation des calculs 121
Tableau 69 : Ordres de grandeurs de surfaces des zones homogènes 125
Tableau 70 : Sensibilité au coefficient de ruissellement 129
Tableau 71 : Sensibilité à la RFU 130
Tableau 72 : Sensibilité aux coefficients culturaux 130
Tableau 73 : Sensibilité à la valeur de l'ETP 130
Tableau 74 : Sensibilité à la valeur de la pluviométrie 131
Tableau 75 : Modulations mensuelles testées pour le coefficient de ruissellement 131
Tableau 76 : Sensibilité à la variation du coefficient de ruissellement dans l'année sur les variables principales en moyennes annuelle 132
Tableau 77 : présentation des résultats par secteurs hydrographique 140
Tableau 78 : Extrait du tableau de calcul des volumes prélevables moyens mensuels sur une année moyenne de la période 2008-2017 pour le secteur 26. 169
Tableau 79 : Vue globale des taux de sollicitation moyens mensuels des QMN5 des durées pendant lesquelles une limitation des prélèvements serait nécessaire 173
Tableau 80 : Première liste de zones homogènes éligibles à une analyse quantitative complémentaire 177
Tableau 81 : Sélection des zones homogènes étudiées dans la deuxième phase de l'étude 184

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

La région Grand-Est couvre une superficie de plus de 57000 km^2, et intègre de nombreuses ressources en eau à enjeux majeurs, tant superficielles (Rhin, Meuse, Moselle, Seine, Marne) que souterraines (nappe phréatique rhénane, nappe de la craie, Grès du Trias inférieur, …).

Sur ce territoire, la thématique « gestion quantitative » n'a pas été historiquement un objectif stratégique – malgré les nombreux usages utilisateurs – du fait d'une ressource relativement abondante en comparaison d'autres secteurs du territoire national (sud de la France, zones de socles de l'ouest de la France, …). Néanmoins, les sécheresses constatées ces dernières années, notamment en 2018 et 2019, et les nombreuses restrictions d'usages qu'elles ont entraînées, ont replacé la thématique quantitative au cœur des politiques de gestion de l'eau.

Par ailleurs, il est attendu que les épisodes de tension sur la ressource constatés ces dernières années soient amenés à se poursuivre, voire s'intensifier, dans les prochaines années/décennies du fait des changements climatiques.

Dans ce cadre, la Région Grand Est, de par sa compétence « animation et concertation dans le domaine de la gestion et la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques », mais aussi de son rôle dans le pilotage du Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), souhaite anticiper les risques de déséquilibres futurs par le lancement d'une étude prospective dédiée à la thématique quantitative sur son territoire.

L'objectif transversal de cette étude est d'anticiper les déséquilibres quantitatifs sur le territoire régional, de manière à permettre l'adaptation des usages et ainsi limiter les impacts des épisodes de sécheresse actuels et futurs. Pour ce faire, l'étude, qui a vocation à alimenter les SDAGE Rhin Meuse et Seine Normandie, doit :

- **Identifier et caractériser les ressources superficielles et souterraines disponibles**,
- **Prendre en compte l'ensemble des besoins en eau** (AEP, industrie et artisanat, hydroélectricité, agriculture et aquaculture, navigation, loisirs…),
- **Découper le territoire en secteurs homogènes du point de vue des bilans Besoins – Ressources**, de manière à identifier clairement :
  - Les secteurs dont les ressources hydriques sont déficitaires et/ou le seront aux horizons 2030 et 2050,
  - Les enjeux économiques induits par le manque d'eau,
  - Les risques de concurrence pouvant exister entre ces usages et les nécessités d'arbitrage.
  - **Proposer, sur une dizaine de secteurs prioritaires représentatifs**, des stratégies argumentées sur les aspects techniques, économiques, environnementaux permettant de répondre aux situations critiques mise en évidence

Pour répondre à ces objectifs, l'étude s'organise en deux étapes successives, dont le contenu est décrit ci-dessous :

- **Etape 1 – Etat des lieux**
  - Synthèse de la bibliographie et des bases de données existantes,
  - Définition de zones homogènes du point de vue de la ressource,
  - Analyse de l'adéquation entre ressources et besoins,
  - Identification de 10 zones critiques étudiées plus en détail à l'étape 2.

- **Etape 2 – Analyse de 10 zones à risque ou déficitaires et définition d'un plan d'action :**
  - Estimation des économies d'eau à réaliser pour satisfaire l'ensemble des besoins,
  - Evaluation de la vulnérabilité des territoires / entreprises / filières agricoles
  - Proposition de solutions pour adapter les usages aux évolutions probables de la disponibilité des ressources :
    - Proposition de mesures de restauration de la fonctionnalité des écosystèmes
    - Evaluation des possibilités d'optimisation des systèmes existant (stockage, réalimentation de cours d'eau, recharge de nappe, ...)
    - Pistes de répartition des ressources entre les usagers,
    - Identification de nouvelles ressources pouvant être mobilisées,
  - Définition des indicateurs de suivi des ressources et des besoins.

1.2 Identification et organisation du présent rapport

Le présent document constitue le **rapport de l'étape 1.2 « Adéquation entre ressources et besoins »**. Ce rapport permet de tracer le cheminement méthodologique qui a conduit aux résultats présentés dans la dernière partie.

Il s'organise en trois parties.

- **La <u>Partie 1</u>** détaille les principales hypothèses réalisées – a priori - avant toute mise en œuvre des calculs. Ces hypothèses portent sur :
  - La méthodologie de calcul du bilan hydrique et les principaux paramètres qui lui sont associés,
  - L'agrégation des prélèvements et des rejets au niveau des zones homogènes ainsi que l'obtention de séries annuelles et mensuelles,
  - Les évolutions des usages aux horizons 2030 et 2050, ainsi que la projection des calculs pour ces deux horizons.

- **La <u>partie 2</u>** porte sur un retour critique sur les hypothèses après mise en œuvre de la première version des calculs de bilans hydriques. Elle propose ainsi des adaptations méthodologiques et des adaptations d'hypothèses permettant d'obtenir des calculs plus équilibrés.
  Une fois ce travail réalisé, une analyse des incertitudes des résultats est conduite, en distinguant les incertitudes liées aux données d'entrée et les incertitudes liées aux paramètres utilisés dans les différentes formulations mises en œuvre.

- **La <u>partie 3</u>** présente l'ensemble des résultats de la phase 1.2, obtenus après mise en œuvre des calculs finalisés. Y sont présentés :
  - Les prélèvements et leurs évolutions,
  - Les indicateurs de tension sur la ressource et leur projection,
  - Les variables climatiques et leurs projections, ce qui permet de faire un retour sur les principales évolutions constatées au niveau des indicateurs. Pour finir, cette partie propose une hiérarchisation des secteurs en tension du point de vue de la ressource à l'échelle de la région Grand Est.

PARTIE 1

NOTE D'HYPOTHESES : PRINCIPALES HYPOTHESES PROPOSEES AVANT LANCEMENT DES CALCULS

2. INTRODUCTION DE LA NOTE D'HYPOTHESES

Dans cette partie du rapport sont explicitées les différentes hypothèses définies avant toute mise en œuvre des calculs. Certaines de ces hypothèses ou méthodologies sont modifiées dans le cadre de la seconde partie du rapport. Afin de restituer l'ensemble de la démarche effectuée, il nous a semblé important de restituer ces éléments.

En préambule à l'étape 1.2 de l'étude, « Adéquation entre ressources et besoins », il apparaît nécessaire de présenter **les différents indicateurs qui sont proposés pour caractériser la tension sur la ressource en eau** sur chacune des 35 zones homogènes identifiées lors de l'étape précédente et rappelés sur la figure ci-dessous. Ces indicateurs sont explicités au chapitre 3.

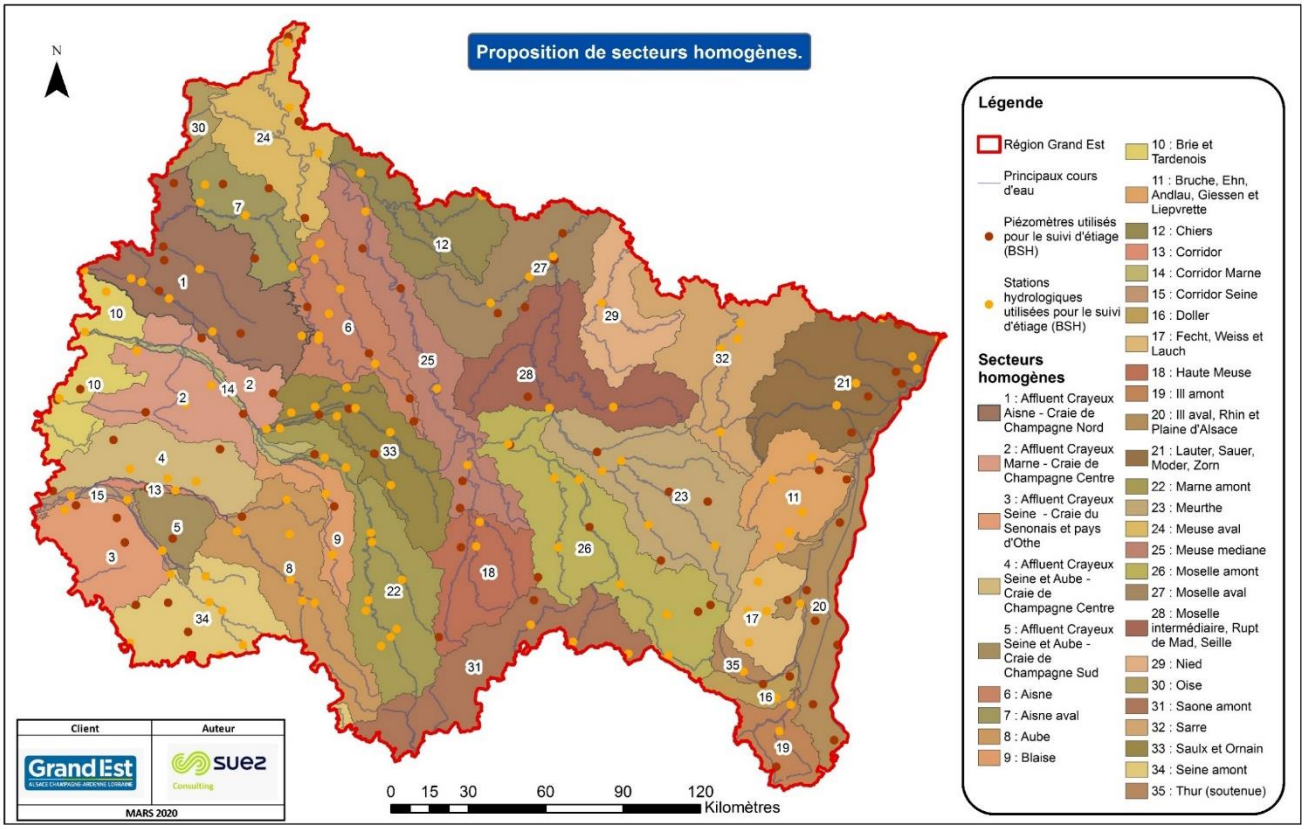
Le calcul de ces indicateurs sous-tend par ailleurs de très nombreuses hypothèses nécessaires à leur détermination.

Ces hypothèses portent notamment sur la territorialisation des prélèvements et des rejets et sur leur distribution dans l'année. L'ensemble des hypothèses proposées est récapitulé dans le chapitre 4.

Ce chapitre fait également référence aux fiches de calcul correspondantes réalisées sur les secteurs homogènes 2 (« Affluents crayeux de la Marne – Craie de Champagne sud ») et 18 (« Haute Meuse ») à titre d'exemple de mise en œuvre (voir localisation en figure 1).

Enfin, le chapitre 5 synthétise **les principales hypothèses faites et les principales tendances identifiées** pour l'évaluation de l'évolution socio-économique des usages et besoins en eau.

Figure 1 : Les 35 secteurs homogènes



3. LES INDICATEURS PROPOSES POUR CARACTERISER LA TENSION SUR L'UTILISATION DE LA RESSOURCE

Afin d'analyser les impacts des prélèvements et rejets, des critères d'évaluation de la pression anthropique de prélèvement par secteur homogène sont proposés dans ce chapitre. Rappelons avant tout que les indicateurs recherchés doivent :

- **Être calculés de manière « globale » sur chacun des 35 secteurs homogènes** pré-identifiés,
- **Permettre une comparaison simple sur l'ensemble des secteurs, en privilégiant une approche macroscopique et cartographique,** de manière à hiérarchiser rapidement les tensions sur l'utilisation de la ressource à l'échelle de la région Grand Est.

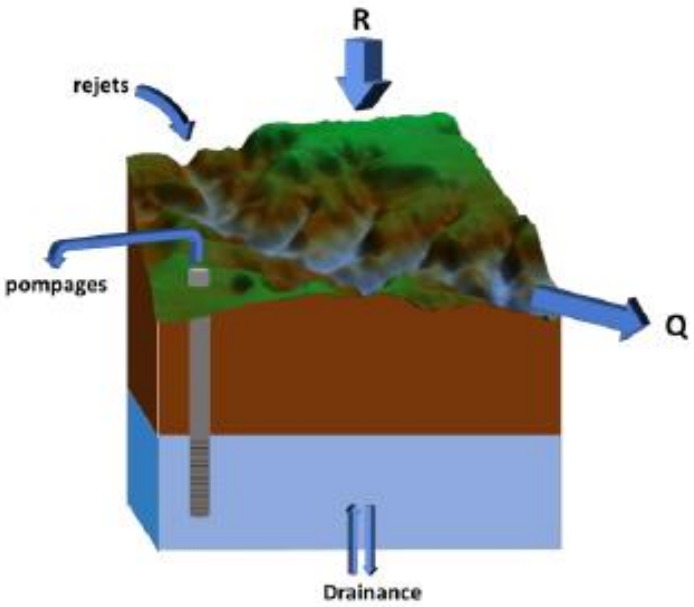
La méthodologie présentée dans ce chapitre s'inspire largement de celle appliquée sur le territoire Bretagne par le BRGM Bretagne (*source : Géologues n°187*).

3.1 Cadre général

L'estimation de l'impact des prélèvements repose sur la prise en compte des entrées et des sorties de l'hydrosystème (Figure 2), à savoir :

- **La recharge de la nappe « R »** dont le calcul est présenté en détail dans le chapitre 3,
- **Les rejets « r »** (assainissement collectif, non collectif et rejets industriels, pertes du réseau de distribution d'eau potable…),
- **Les prélèvements « P »** (eau potable, eau agricole, eau industrielle, prélèvements domestiques…),
- **Les débits « Q »** associés aux cours d'eau aux exutoires des bassins versants considérés.

Figure 2 : Schématisation du système



Sous une forme simplifiée, le bilan hydrique d'un système s'écrit classiquement comme suit :

$$Pr = (R + Ru) + ETR = PL_{eff} + ETR.$$

Avec :

- Pr les précipitations moyennes (mm)
- R la recharge des nappes (mm)
- Ru le ruissellement superficiel (mm) = précipitation * coefficient de ruissellement
- $PLeff = R + Ru$, la pluie efficace (mm), assimilable à la recharge globale du système
- ETR l'évapotranspiration réelle (mm)

On notera d'autre part :

- Les prélèvements et les rejets dans le milieu souterrain, respectivement $\mathbf{P_{sout}}$ et $\mathbf{r_{sout}}$
- Les prélèvements et les rejets globaux (dans les eaux superficielles et souterraines indistinctement), respectivement **P** et **r**,
- Bfi le Base Flow Index médian, part du débit des cours d'eau due l'alimentation par la nappe,

Afin de caractériser les impacts des prélèvements et rejets sur la ressource en eau, nous proposons de calculer **neufs indicateurs** sur chacun des 35 secteurs homogènes, puis de cartographier ces indicateurs à l'échelle de la région. Ces indicateurs sont identifiés ci-dessous et détaillés dans la suite du rapport.

Tableau 1 : Synthèse des indicateurs utilisés pour estimer l'impact des prélèvements sur la ressource en eau

Indicateur	Définition	Objectif
Indicateur 1	$\Delta_1 = R / Q$	Comparer la recharge de la nappe et le débit des cours d'eau sans tenir compte des prélèvements ni des rejets.
Indicateur 2	$\Delta_2 = P_{sout} / R$	Estimer la pression des prélèvements souterrains au regard de la recharge de la nappe
Indicateur 3	$\Delta_3 = P_{sout} / (R + r_{sout})$	Estimer la pression des prélèvements souterrains au regard de la recharge de la nappe en intégrant les rejets souterrains
Indicateur 4	$\Delta_4 = P / PL_{eff}$	Estimer la pression des prélèvements globaux au regard de la recharge globale du système (pluie efficace)
Indicateur 5	$\Delta_5 = P / (PL_{eff} + r)$	Estimer la pression des prélèvements globaux au regard de la recharge du système en intégrant les rejets
Indicateur 6	$\Delta_6 = P / Q$	Estimer la pression des prélèvements globaux au regard du débit des eaux superficielles
Indicateur 7	$\Delta_7 = P_{estival} / Q_{étiage}$	Estimer la pression des prélèvements estivaux au cours de la période d'étiage
Indicateur 8	$\Delta_8 = P_{sout} / (R + r_{sout} - Bfi*\Delta Q)$	Estimer la pression des prélèvements souterrains au regard de la recharge nette de la nappe
Indicateur 9	$\Delta_9 = P / (PL_{eff} + r - \Delta Q)$	Estimer la pression des prélèvements globaux au regard de la recharge nette du système

Remarque : le **ΔQ** correspond à la variation du débit au sein d'un secteur homogène. Cette formulation est adaptée aux zones homogènes se situant en position médiane ou aval dans un bassin versant, le terme **ΔQ** étant alors calculé comme la différence $Q_{sortant}$-$Q_{entrant}$. Pour les zones homogènes situées en tête de bassin versant, **ΔQ** représente simplement le débit sortant de la zone homogène.

3.2 Présentation détaillée des neuf indicateurs

3.2.1.1 Indicateur 1 : cohérence entre les entrées et les sorties

Ce premier indicateur correspond au ratio de la recharge annuelle de l'aquifère et du débit moyen interannuel du cours d'eau, sans tenir compte de l'influence des prélèvements ni des rejets. Il permet une première évaluation de la cohérence des entrées et des sorties du système.

La formule est la suivante :

$$\Delta_1 = R / Q$$

R = recharge annuelle du système (m^3)

Q = débit moyen interannuel du cours d'eau

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors la recharge interannuelle moyenne et le module interannuel,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible recharge** sur la période 2008-2017 : on considère alors la recharge annuelle et le débit moyen du cours d'eau correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.2 Indicateur 2 : impact des prélèvements souterrains au regard de la recharge de la nappe

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels sur la capacité de recharge annuelle de la nappe, sans prendre en compte les rejets.

$$\Delta_2 = P_{sout} / R$$

Avec :

Δ_2 = valeur d'impact du prélèvement (%)

R = recharge annuelle de la nappe (m^3)

P_{sout} = prélèvements souterrains (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 2 en pourcentage. Un exemple est donné ci-dessous.

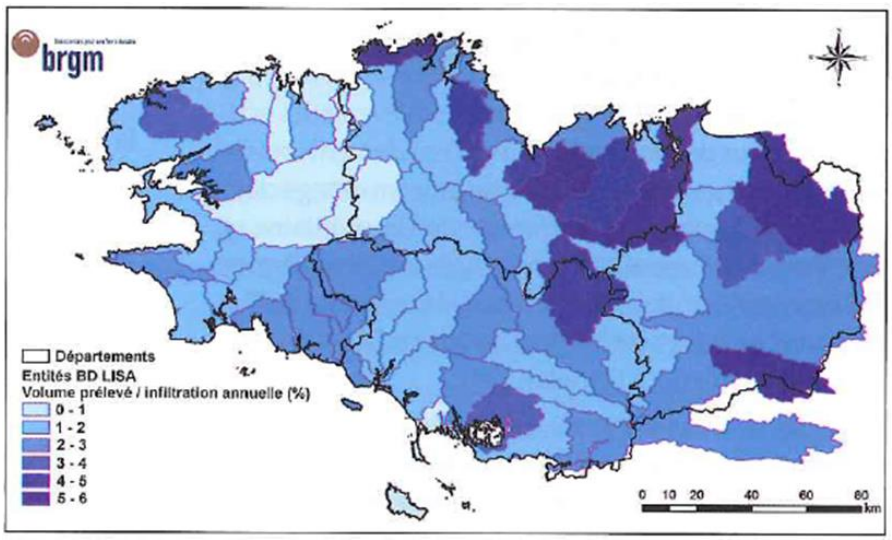


Figure 3 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la recharge annuelle en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187)

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement moyen interannuel et la recharge moyenne interannuelle de la nappe,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible recharge** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement annuel et la recharge annuelle correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.3 Indicateur 3 : impact des prélèvements souterrains au regard de la recharge de la nappe en intégrant les rejets

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels sur la capacité de recharge annuelle de la nappe, en tenant compte du fait qu'une partie des prélèvements retourne au système. Le terme r_{sout} représente ici la part anthropique de la recharge de la nappe sous la forme de rejets souterrains.

$$\Delta_3 = P_{sout} / (R + r_{sout})$$

Avec :

Δ_3 = valeur d'impact du prélèvement (%)

R = recharge annuelle de la nappe (m^3)

P_{sout} = prélèvements souterrains (m^3)

r_{sout} = rejets souterrains (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 3 en pourcentage.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement et le rejet moyens interannuels, la recharge moyenne interannuelle de la nappe,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible recharge** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le rejet annuels et la recharge annuelle correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.4 Indicateur 4 : impact des prélèvements globaux au regard de la recharge du système

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels globaux sur la capacité de recharge annuelle du système, sans prendre en compte les rejets.

$$\Delta_4 = P / PL_{eff}$$

Avec :

Δ_4 = valeur d'impact du prélèvement (%)

PL_{eff} = pluie efficace moyenne (m^3)

P = prélèvements globaux (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 4 en pourcentage.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement moyen interannuel et la pluie efficace moyenne interannuelle de la nappe,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible pluie efficace** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement annuel et la pluie efficace annuelle correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.5 Indicateur 5 : impact brut des prélèvements au regard de la recharge de la nappe

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels globaux sur la capacité de recharge annuelle du système, tout en prenant en compte les rejets. Le terme r représente ici la part anthropique de la recharge du système sous la forme de rejets.

$$\Delta_5 = P / (PL_{eff} + r)$$

Avec :

Δ_5 = valeur d'impact du prélèvement (%)

PL_{eff} = pluie efficace moyenne (m^3)

P = prélèvements globaux (m^3)

r = rejets globaux (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 5 en pourcentage.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement et le rejet moyens interannuels et la pluie efficace moyenne interannuelle de la nappe,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible pluie efficace** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le rejet annuels et la pluie efficace annuelle correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.6 Indicateur 6 : l'impact du prélèvement par rapport au débit du cours d'eau

Les eaux souterraines contribuent fortement à l'alimentation des rivières, notamment en période d'étiage. C'est pourquoi nous proposons de comparer les prélèvements à l'écoulement des rivières.

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels par rapport au débit moyen interannuel des cours d'eau. Une station hydrométrique de référence sera choisie à la sortie de chaque zone

homogène considérée. Si plusieurs cours d'eau sortent de la zone homogène considérée, le débit pris en compte correspondra à la somme des sorties globalisées.

La part des prélèvement annuels sur le volume d'eau disponible annuellement dans les cours d'eau (quantité d'eau écoulée) sera estimée par la formule d'application suivante :

$$\Delta_6 = P / Q$$

Avec :

Δ_6 = valeur d'impact du prélèvement (%)

P = prélèvements dans le milieu (m^3)

Q = débit moyen interannuel du cours d'eau

La restitution est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 6 en pourcentage (exemple ci-après).

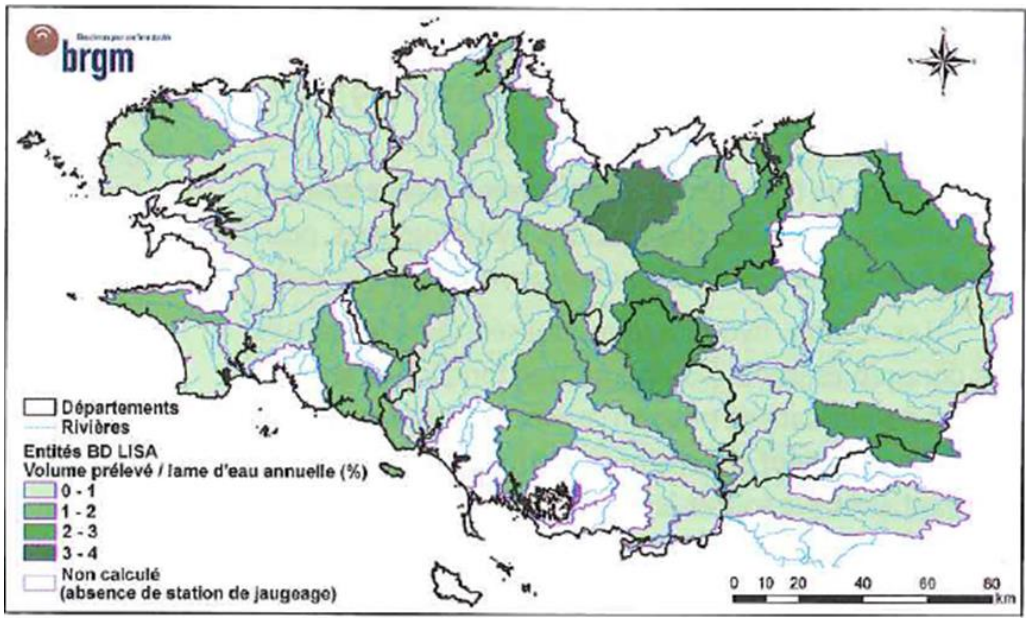


Figure 4 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la lame d'eau annuelle écoulée dans les rivières en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187)

Cet indicateur 6 permet une comparaison à grande masse. L'indicateur 7 permet de cibler les périodes les plus sensibles.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement moyen annuel et le module interannuel,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu le plus faible débit annuel** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le débit moyen correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.7 Indicateur 7 : impact du prélèvement estival par rapport au débit des cours d'eau en période d'étiage

Les prélèvements, majoritairement effectués en nappe, constituent un manque à gagner pour les eaux de surface dont un débit minimum biologique doit être assuré pour garantir la bonne qualité

des habitats et la survie de la faune piscicole notamment. Il est donc pertinent de comparer ces prélèvements avec les débits transitant dans les cours d'eau en période d'étiage.

Cet indicateur permet de recentrer le précédent sur la période la plus critique de l'année. Le calcul de l'indicateur 6 est ainsi recentré sur un pas mensuel en considérant le ratio entre un prélèvement estival et le débit d'étiage du cours d'eau (QMNA5) (ou pour un QMNA5 « globalisé » si plusieurs cours d'eau sortent du secteur homogène considéré).

La formule appliquée permet d'estimer la part des prélèvements estivaux sur le volume d'eau disponible dans la rivière en période d'étiage.

$$\Delta_7 = P_{estival} / Q_{étiage}$$

Remarque : le prélèvement estival $P_{estival}$ est identifié sur un secteur donné comme étant le prélèvement moyen mensuel maximal constaté sur la période mai-septembre. En alternative, on peut également définir $P_{estival}$ comme la valeur maximale du prélèvement moyen sur 3 mois consécutifs obtenue sur la période mai-septembre.

La restitution est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par secteur homogène la pression de prélèvement estivale au cours de la période d'étiage selon l'indicateur 7 en pourcentage (voir exemple ci-après).

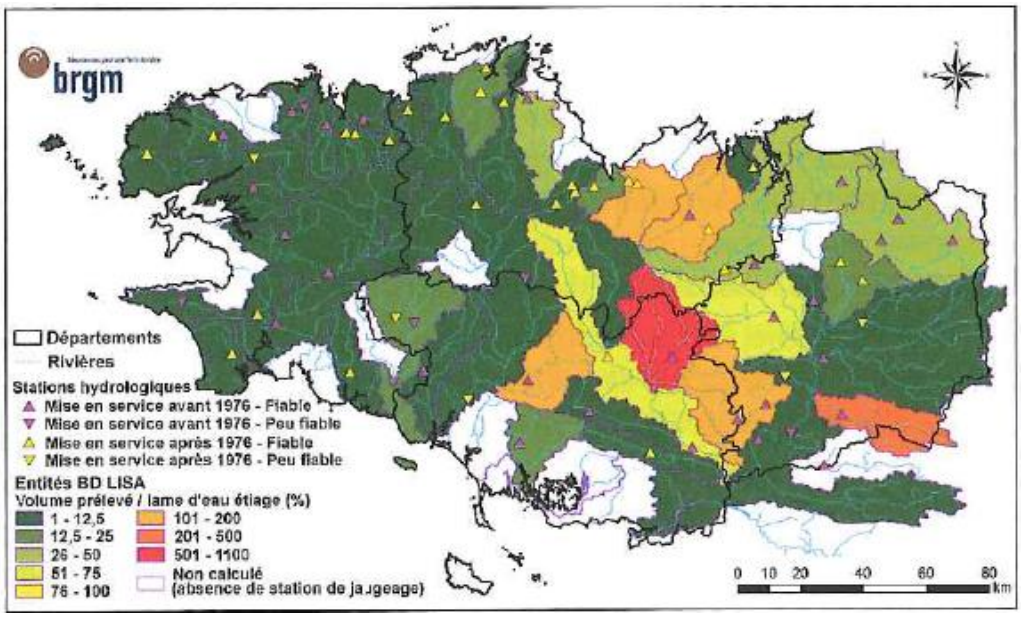


Figure 5 : Part des prélèvements d'eau souterraine sur la lame d'eau écoulée à l'étiage dans les rivières en Bretagne (source : BRGM Bretagne, Géologues N°187)

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement moyen estival et le QMNA5,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu le plus faible débit mensuel** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le débit d'étiage correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.8 Indicateur 8 : impact des prélèvements souterrains au regard de la recharge nette de la nappe

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements souterrains annuels sur la capacité de recharge nette annuelle de la nappe.

$$\Delta_8 = P_{sout} / (R + r_{sout} + Bfi * \Delta Q)$$

Avec :

Δ_8 = valeur d'impact du prélèvement (%)

R = recharge annuelle de la nappe (m^3)

P_{sout} = prélèvements souterrains (m^3)

r_{sout} = rejets souterrains (m^3)

Bfi = Base Flow Index (sans dimension)

Q = débit moyen (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 8 en pourcentage.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement et le rejet moyens interannuels, la recharge moyenne interannuelle de la nappe, le Base flow Index moyen interannuel et le module interannuel du cours d'eau,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible recharge** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le rejet annuels, la recharge annuelle, le Base flow Index moyen et le débit moyen du cours d'eau correspondant à l'année sélectionnée.

3.2.1.9 Indicateur 9 : impact brut des prélèvements globaux au regard de la recharge nette du système

Il s'agit ici de préciser la part des prélèvements annuels globaux sur la capacité de recharge annuelle nette du système. Le terme r représente ici la part anthropique de la recharge du système sous la forme de rejets.

$$\Delta_9 = P / (PL_{eff} + r - Q)$$

Avec :

Δ_9 = valeur d'impact du prélèvement (%)

R = recharge annuelle de la nappe (m^3)

P = prélèvements globaux (m^3)

PL_{eff} = pluie efficace moyenne (m^3)

r = rejets globaux (m^3)

Q = débit moyen (m^3)

La restitution de cet indicateur est représentée sous la forme d'un dégradé de couleurs indiquant par zone homogène la pression de prélèvement selon l'indicateur 9 en pourcentage.

Dans la pratique, nous proposons de calculer systématiquement cet indicateur :

- **En année moyenne :** on considère alors le prélèvement et le rejet moyens interannuels, la pluie efficace moyenne interannuelle de la nappe et le débit moyen interannuel,
- **Pour une année « en tension »,** caractérisée sur un secteur donné comme **l'année ayant connu la plus faible pluie efficace** sur la période 2008-2017 : on considère alors le prélèvement et le rejet annuels, la pluie efficace annuelle et le débit moyen annuel correspondant à l'année sélectionnée.

4. CONTENU DES FICHES RELATIVES A CHAQUE SECTEUR HOMOGENE ET HYPOTHESES REALISEES POUR L'ENSEMBLE DES CALCULS

4.1 Introduction

Ce chapitre détaille l'ensemble des hypothèses mises en œuvre pour conduire les calculs de bilans hydrologiques simplifiés et d'indicateurs présentés au chapitre précédent. Il est illustré par les fiches fournies à titre d'exemples sur les secteurs homogènes 2, 18 et 26 en Annexe 5.

Voir page « XXX » : ce cadre renvoie aux fiches « Zone homogène » fournies en annexe 5 du rapport

Ces fiches contiennent, pour la situation actuelle :

- Des informations générales sur le secteur homogène considéré,
- Une synthèse sur les données météorologiques, hydrologiques et piézométriques,
- Une analyse de la relation nappe rivière au niveau d'un poste hydrologique représentatif,
- Une analyse territorialisée des prélèvements,
- Une analyse territorialisée des rejets,
- Un calcul de la recharge de la nappe,
- Une préanalyse sommaire de type « volumes prélevables »,
- Une synthèse de l'ensemble des indicateurs.

A partir d'extractions de scénarios climatiques sur la plateforme DRIAS (pluies et températures) et d'hypothèses faites parallèlement sur l'évolution des usages, ces fiches peuvent être mises à jour dans un second temps pour recalculer l'ensemble des indicateurs aux horizons 2030 et 2050 pour les deux scénarios climatiques retenus dans le cadre du projet, pour rappel :

- Le **scénario CNRM RCP 8.5**, au titre de scénario pessimiste,
- Le **scénario IPSL RCP 4.5**, qui se situe dans la médiane de l'évolution de températures et des précipitations.

4.2 Informations générales

Voir page « Informations et paramètres généraux de la zone homogène »

Cette première page a vocation à présenter les informations principales concernant la zone homogène. Elle renseigne ainsi :

- Le **nom** de la zone homogène ainsi que son **numéro** ;
- Sa **localisation générale** : le (ou les) bassin(s) dont elle dépend ains que le (ou les) département(s) qu'elle couvre,
- Des informations générales :
  - La **population**, estimée à partir des données communales du recensement de l'INSEE de 2017. Pour les communes chevauchant des secteurs homogènes, la population prise

en compte est proportionnelle à la part de la surface de la commune comprise dans la zone homogène,
  - La **surface** en km²,
  - L'**altitude moyenne**, estimée à partir de la modélisation numérique de terrain (MNT) de la BD ALTI au pas de 75 m de l'IGN,
- Une vue globale de l'**hydrologie** obtenue à partir de la BD Carthage (2016) et de la banque HYDRO :
  - Les noms des cours d'eau principaux,
  - Le linéaire et le nombre de masses d'eau superficielles « cours d'eau »,
  - La (ou les) station(s) hydrométrique(s) de contrôle située(s) sur la zone homogène,
  - Le nombre de plans d'eau et leur surface,
  - La surface estimée des canaux (le calcul de cette dernière sera explicité par la suite),
- Une vue globale de la **piézométrie** obtenue à partir la BD LISA et de la base ADES :
  - Le nombre de masses d'eau souterraines affleurantes (référentiel 2019),
  - Le nombre de masses d'eau souterraine profondes (référentiel 2019)
  - Le(s) piézomètre(s) de contrôle situé(s) sur la zone homogène,
- Les noms et codes des stations météorologiques de Météo-France dont les données de **pluviométrie** et d'**évapotranspiration** seront utilisées par la suite,
- Des données générales d'**occupation des sols** (premier niveau de la nomenclature) obtenues à partir des données de Corine Land Cover 2018,
- Une vue générale de l'agriculture sur la zone homogène, d'après les données du RGA 2010 :
  - Les **cultures présentes** (surfaces en ha),
  - Le **cheptel** (nombre de têtes).

Ces données pourront être mobilisées dans les calculs ultérieurs.

4.3 Données météorologiques, hydrométriques, piézométriques et tendances constatées

4.3.1 Rappel sur le calcul de la pluviométrie et de l'ETP sur chaque secteur homogène à partir des données observées

Le principe d'acquisition de données météorologiques (Pluie et ETP) sur la période 2000-2019 a été proposé dans le rapport d'étape 1.1. Il repose sur l'acquisition de **données mensuelles pour 50 postes pluviométriques et 10 stations de mesures de l'ETP.** Ces stations ont été équiréparties sur le territoire, puis un découpage en polygone de Thiessen a été proposé pour chaque variable pluie (Figure 6Figure 6 :) et ETP (Figure 7).

Remarque : nous verrons dans la suite que les données d'ETP n'ont finalement pas été acquises. Elles ont été remplacées par des données de températures permettant de recalculer l'ETP. Ce point est évoqué plus loin.

Figure 6 : Postes pluviométriques et découpage proposé

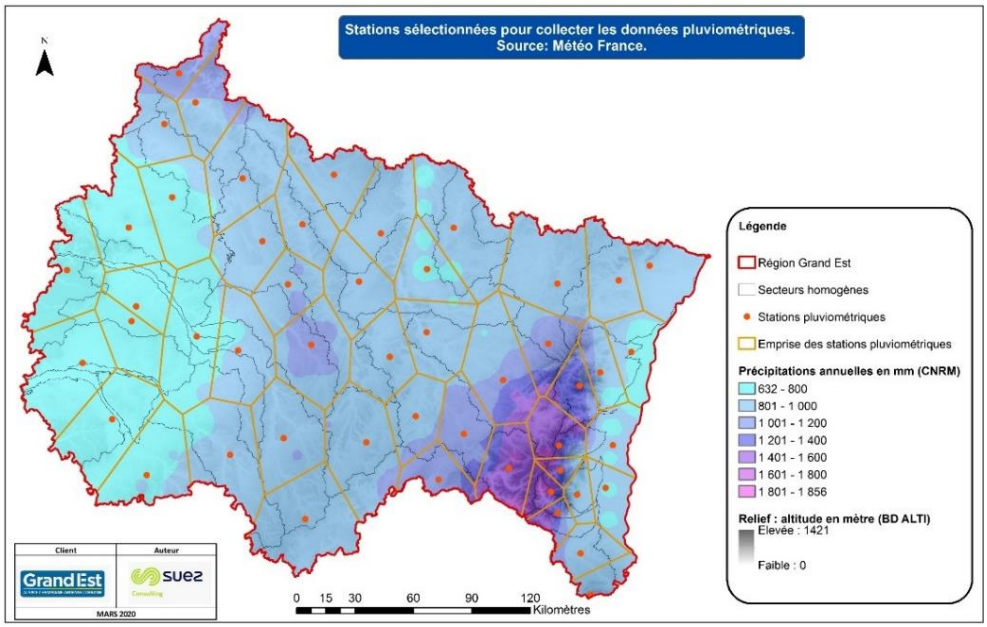
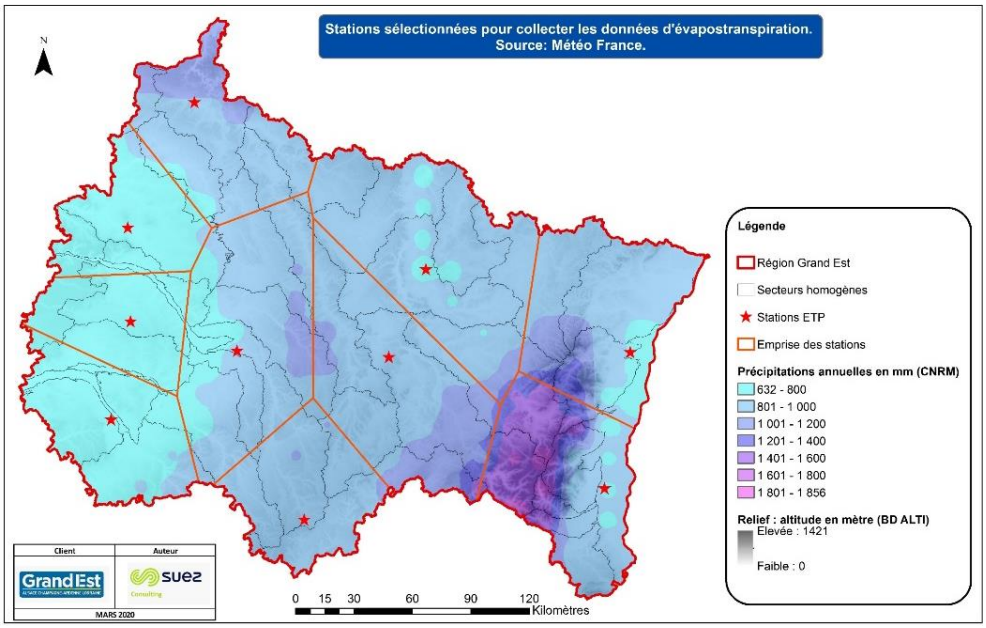


Figure 7 : Postes ETP et découpage proposé



Le principe de calcul des pluies mensuelles et de l'ETP mensuelle sur une zone homogène à partir des observations donnée repose sur une pondération des données ponctuelles (pluies ou ETP mensuelles observées aux postes sélectionnés) à l'intérieur et au voisinage du secteur à l'aide des polygones de Thiessen prédéfinis. Ceci permet d'obtenir pour chaque zone homogène une chronique mensuelle de pluie et d'ETP « observées » sur la période 2000-2019.

4.3.2 Synthèse des données hydro-piézo-climatiques pour la période actuelle

Voir page « La pluviométrie »

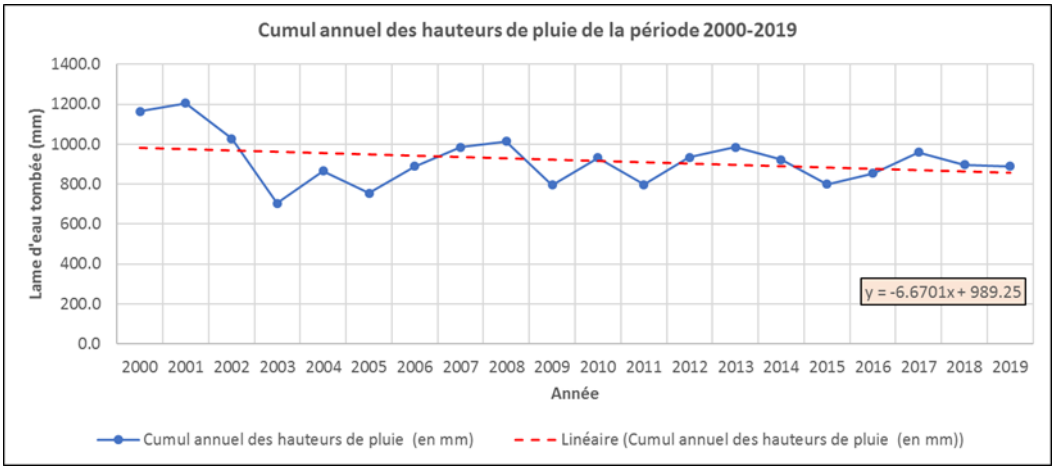
Cette page fournit :

- Un tableau récapitulatif des pluies moyennes mensuelles interannuelles calculées sur la période 2000-2019 (Figure 8). Ces valeurs sont calculées à partir de la chronique mensuelle des pluies sur la période 2000-2019.
- Un tableau représentant le cumul des pluies par année sur la période 2000-2019
- Un graphe des pluies moyennes mensuelles interannuelles,
- Un graphe des pluies annuelles sur la période 2000-2018 assorti d'une courbe de tendance.

Le graphe fait apparaitre une courbe de tendance linéaire de l'évolution du cumul des hauteurs de pluie annuelles sur la période 2000-2019, figurée en rouge pointillée. Cette courbe permet d'identifier l'évolution générale de la pluviométrie sur la période. Dans le cas du secteur 6 (exemple ci-dessous), nous observons une légère tendance à la baisse des hauteurs de pluie annuelles.

Cette évolution n'est pas prédictive des évolutions de pluie aux horizons 2030 et 2050. Elle ne peut pas permettre non plus d'analyser d'éventuels changements climatiques mais indique seulement une tendance sur les 20 dernières années.

Figure 8 : Exemple de chronique annuelle des pluviométries de 2000 à 2019 sur le secteur homogène 6 et courbe de tendance



Voir page « L'évapotranspiration »

Cette page fournit des éléments similaires à la précédente, mais pour l'ETP.

L'ETP – ce point est discuté plus loin dans le rapport - est obtenue à partir de la formule Thornthwaite en utilisant les chroniques de températures mensuelles sur la période 2000-2019.

La page contient les informations suivantes :

- Un tableau récapitulatif de l'ETP moyenne mensuelle interannuelle calculée sur la période 2000-2019,
- Un tableau représentant l'ETP moyenne par année sur la période 2000-2019,

- Un graphe des ETP moyennes mensuelles interannuelles,
- Un graphe des ETP annuelles recalculées sur la période 2000-2019 assorti d'une courbe de tendance. Pour le secteur 6, donnée en exemple sur les figures ci-après, on note une légère tendance à la hausse de l'ETP sur les 20 dernières années.

Figure 9 : Exemple de moyennes mensuelles de l'ETP recalculée par la formule de Thornthwaite sur la période 2000-2019 pour le secteur 6

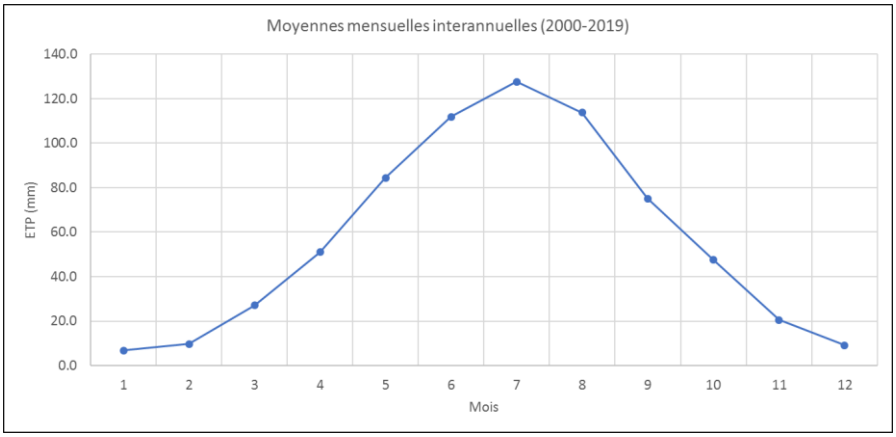
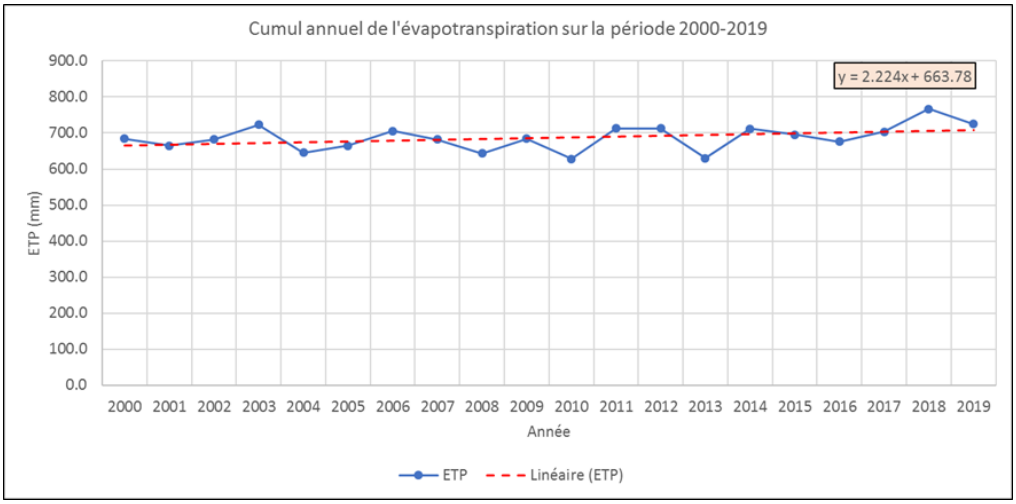


Figure 10 : Exemple de chronique de l'ETP annuelle moyenne recalculée sur la période 2000-2019 pour le secteur 6 et courbe de tendance



Voir page « Caractérisation de la ressource superficielle »

Cette page récapitule les données hydrologiques d'intérêt pour l'étude associées à la station hydrométrique de référence retenue sur chaque secteur homogène.

Le mode de calcul des modules et séries mensuelles en sortie de chaque zone homogène est détaillé dans l'annexe 8, qui identifie les stations hydrométriques utilisées et les pondérations associées.

La page « caractérisation de la ressource superficielle » contient :

- Le **nom et le code hydro** de la station et le cours d'eau de localisation,

- Les **principaux débits de référence** utilisés :
  - Le module,
  - Le dixième du module,
  - Le QMNA5,
  - Le VCN10(2),
  - Les seuils de vigilance et d'alerte dans le cas où cette station est utilisée pour le suivi des étiages,
  - Un tableau récapitulant, pour chaque mois de l'année : le débit médian, les débits quinquennaux secs (QMN5) et humides, les débits décennaux secs (QMN10) et humides,
- Un tableau récapitulant les valeurs de débits moyens annuels sur la période 1999-2019 illustré par un graphe assorti d'une courbe de tendance,
- Un graphe montrant la chronique des débits mensuels sur 20 ans et illustrant les différents débits seuil. Ce graphe est assorti d'un tableau de comptage des mois durant lesquels les débits de référence ne sont pas atteints et d'une estimation de la fréquence correspondante.

Les débits mensuels statistiques

Un exemple de débits mensuels statistiques obtenus en sortie du secteur 7 et calculés sur la période 1984-2020 est fourni ci-dessous. Dans la pratique et pour chaque zone homogène :

- On évalue la série des débits mensuels sortant de la zone homogène par pondération des données disponibles sur un ensemble de stations hydrométriques représentatives,
- On procède à un traitement statistique de la série obtenue pour obtenir, pour chaque mois de l'année le débit biennal, le débit quinquennal sec, le débit quinquennal humide, le débit décennal sec et le débit décennal humide.

Tableau 2 : Débits mensuels statistiques calculés à partir de la chronique des débits mensuels en sortie du secteur 7

Mois	Débit biennal	Débit quinquennal sec	Débit quinquennal humide	Débit décennal sec	Débit décennal humide
Janvier	70.24	42.14	117.07	32.26	152.90
Février	68.83	44.83	105.67	35.83	132.21
Mars	57.02	37.06	87.71	29.59	109.85
Avril	36.13	20.93	62.35	15.74	82.94
Mai	22.62	14.72	34.76	11.76	43.51
Juin	14.61	8.65	24.66	6.58	32.43
Juillet	9.91	5.81	16.92	4.39	22.38
Août	7.24	4.53	11.58	3.55	14.79
Septembre	6.80	4.51	10.25	3.64	12.69
Octobre	11.58	6.00	22.38	4.25	31.58
Novembre	22.80	11.10	46.80	7.63	68.15
Décembre	53.59	31.30	91.76	23.63	121.55

Les débits annuels statistiques

A partir de la série des débits mensuels calculée à la sortie de chaque zone homogène, on reconstitue les modules annuels sur la période d'observation. Ces modules sont ensuite traités statistiquement pour évaluer le module médian, les débits moyens annuels quinquennaux secs et humides, les débits moyens annuels décennaux secs et humides, le module interannuel et le QMNA5.

Un exemple de résultat est fourni ci-après pour la zone homogène 7.

Tableau 3 : Débits annuels statistiques calculés partir de la chronique des débits constitués en sortie du secteur 7

Qmoyen annuel médian	Qmoyen annuel [5] sec	Qmoyen annuel[5] humide	Qmoyen annuel[10] sec	Qmoyen annuel[10] humide	Module	QMNA5
37.61	27.96	47.25	22.92	52.29	37.41	3.64

Les débits caractéristiques des étiages et des seuils d'alerte

Les fiches récapitulent ensuite **les débits caractéristiques des étiages ainsi que les valeurs couramment utilisées pour le déclenchement des crises liées aux étiages**. Un tableau fournit :

- La valeur du 10ème du module,
- La valeur du VCN10(2 ans),
- La valeur retenue dans la première partie de l'étude comme DOE (débit objectif d'étiage) retenu en première approche comme seuil statistique d'alerte.

Pour rappel, dans la première partie de l'étude, la prédétermination des débits de crise a été réalisée selon une approche simplifiée. Cette approche, permettant de tenir compte des spécificités de régimes existants parmi les cours d'eau de la région Grand Est, a consisté à comparer le dixième du module, le VCN10(2 ans) et les débits de crises (vigilance, alerte, alerte renforcé, crise) figurant dans les BSE :

- Lorsque le dixième du module et le VCN10(2 ans) sont proches, on peut conserver le dixième du module,
- Dans le cas contraire, on retiendra plutôt le VCN10(2 ans), en vérifiant qu'il reste proche des débits de vigilance ou d'alerte.

Un exemple de tableau récapitulatif est donné ci-dessous pour la zone homogène 7.

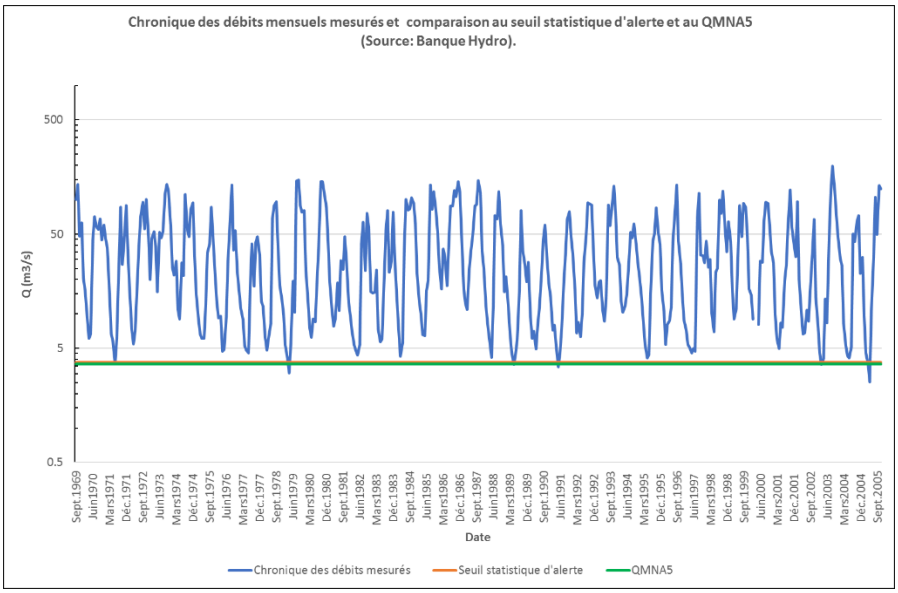
Tableau 4 : Valeurs caractéristiques des étiages pour le secteur 7.

1/10 du module	VCN10[2]	Rapport Module/VCN	Domaine d'appartenance	Seuil statistique d'alerte
3.74	4.19	0.89	Domaine 1	**3.74**

Un graphe de synthèse fourni dans chacune des fiches permet de visualiser la chronique mensuelle des débits sortant de la zone homogène et de la comparer aux différents débits représentatifs des étiages, donnant ainsi une indication sur la fréquence de non atteinte de ces débits.

Un exemple est fourni ci-après sur le secteur 7.

Figure 11 : Chronique des débits mensuels en sortie du secteur 7 et comparaison avec les débits caractéristiques des étiages



Voir pages « Caractérisation de la ressource souterraine »

Cette partie rassemble les données concernant le niveau d'eau des nappes affleurantes et profondes localisées sur chaque secteur homogène.

Ces deux pages reprennent les éléments fournis par la **base de données ADES** (Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines) pour le (ou les) piézomètre(s) de référence retenu(s) sur la zone homogène :

- **Informations sur le piézomètre** (nom et code de la masse d'eau, nom et code de la station),
- **Chronique des cotes moyennes et extrêmes de la nappe** - graphique extrait du site,
- **Cotes mensuelles moyennes/minimales/maximales pour chaque mois sur quelques années d'observation.** Le graphique est extrait du site ADES. Il présente également le niveau maximal et minimal mensuel de la nappe, et la chronique mensuelle des niveaux de la nappe sur des années plus récentes (2016 à 2019)
- **La chronique piézométrique de la nappe mesurée au droit de la station avec la courbe de tendance linéaire associée :** ce graphe est construit à partir des chroniques extraites. Il inclut une courbe de tendance linéaire sur la période d'observation.
  Un exemple est fourni ci-après sur le secteur 23. La chronique des niveaux piézométriques de la nappe *des grès du Trias inférieur* permet de bien identifier les variations annuelles correspondant au cycle de recharge et de décharge de la nappe au fil des saisons. La courbe rouge pointillée illustre l'évolution générale du niveau d'eau sur la période 2000-2019, indiquant globalement une tendance à la baisse sur cette nappe.

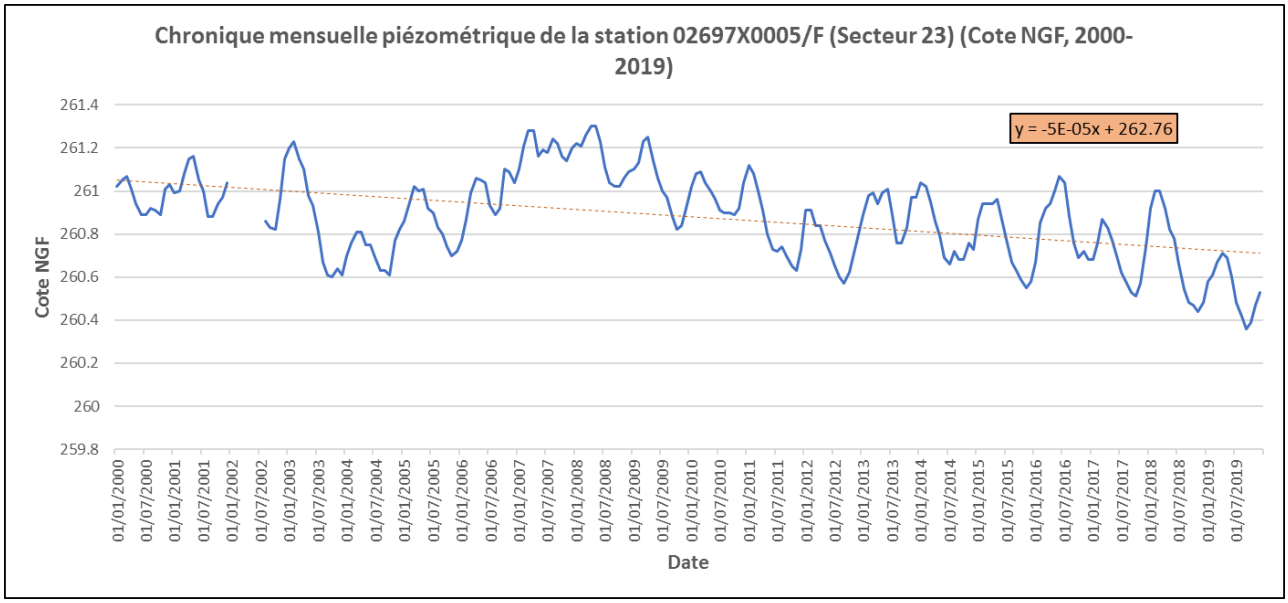


Figure 12 : Chronique des niveaux piézométriques de la nappe les grès du Trias inférieur. Le piézomètre choisi est 02697X0005/F.

Pour chaque zone homogène, nous avons sélectionné un piézomètre représentatif de chacune des masses d'eaux souterraines présentes.

Les cartes ci-après localisent les piézomètres sélectionnés dans le cadre de l'étude (Figure 13 et Figure 14). Les piézomètres sont dissociés en deux groupes : les piézomètres de mesure pour les nappes affleurantes et les piézomètres de mesure pour les nappes profondes.

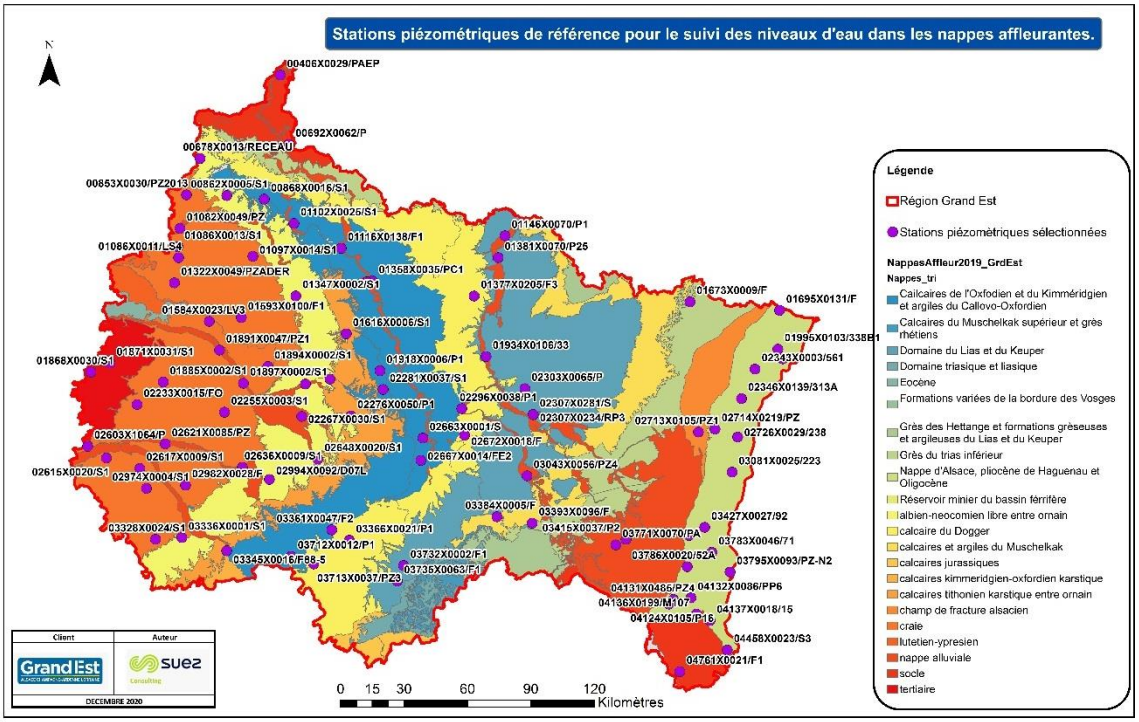


Figure 13 : Localisation des piézomètres sélectionnés pour le suivi du niveau d'eau des nappes affleurantes de la région Grand Est

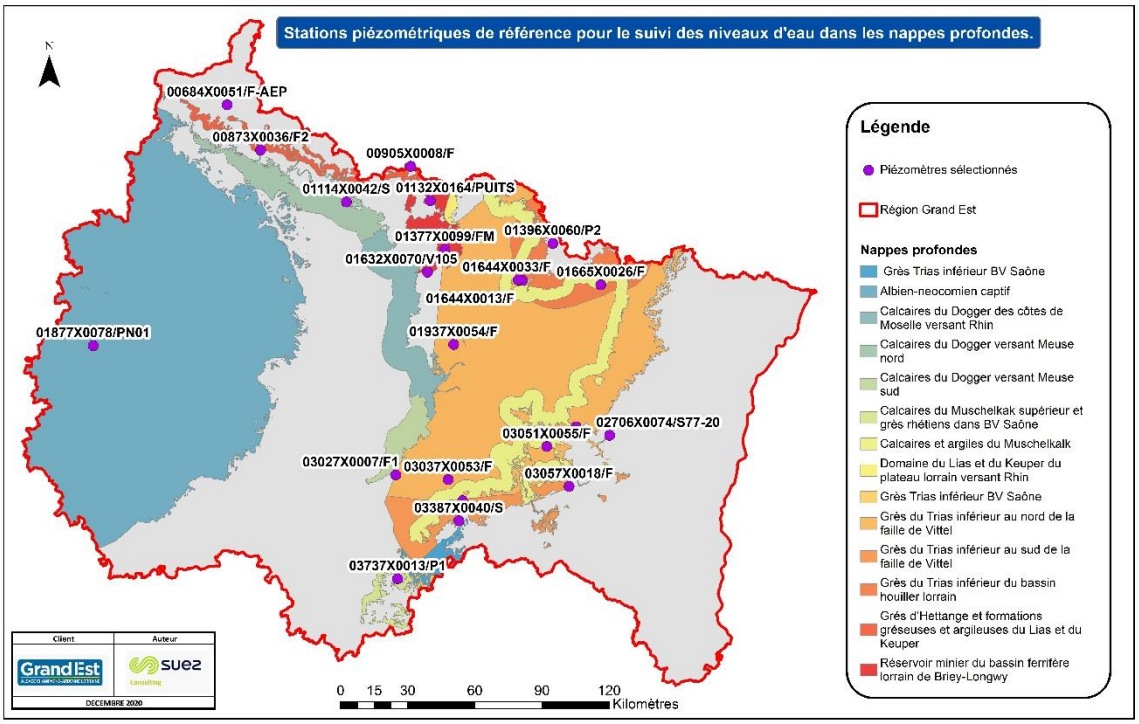


Figure 14 : Localisation des piézomètres sélectionnés pour le suivi du niveau d'eau des nappes profondes de la région Grand Est

4.4 Relation nappe rivière

Voir page « la relation nappe rivière »

4.4.1 Principe du calcul

La relation nappe rivière est caractérisée au droit de la station hydrométrique de référence en utilisant une approche de type « filtre de Chapman ». **A partir de l'étude du débit de la rivière, cette approche permet de différencier le débit de base, ou débit d'alimentation par la nappe, du débit rapide, dû au ruissellement**.

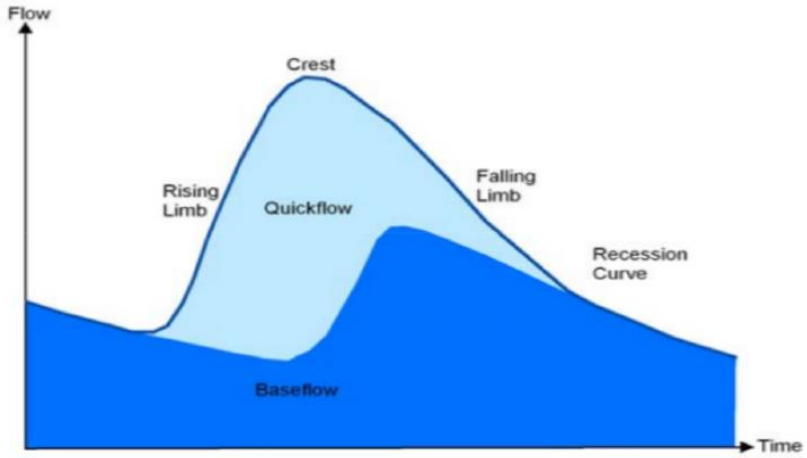


Figure 15 : Principe de la méthode du filtre de Chapman pour quantifier les relations nappe/rivière

Le filtre de Chapman, de type « récursif » est basé sur l'analyse des récessions de crues. Les récessions de crues sont décrites par une décroissance exponentielle :

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{1}{\tau}$$

Où τ est le temps de transit en aquifère.

Sur cette base, le débit de base est déterminé par (Chapman, 1999) :

$$q_{out}^{bf}(t) = \frac{\alpha}{2-\alpha} q_{out}^{bf}(t-1) + \frac{1-\alpha}{2-\alpha} q_{out}(t)$$

Avec q^{bf} : débit de base

En absence de ruissellement, le débit de la rivière n'est composé que du débit de base, et ainsi $q^{bf}(t) = \alpha q^{bf}(t-1)$. Le filtre de Chapman, présente donc l'avantage de **dépendre <u>d'un seul paramètre (α)</u>** qui peut être obtenu par régression linéaire du logarithme du débit lors des récessions de crue.

Un tableur spécifique développé par Suez Consulting est utilisé pour mener à bien l'opération. Dans la pratique, on cale rapidement le paramètre **α** en veillant à ce que le débit de base vienne coïncider avec les plus faibles valeurs de la chronique de débit. Les résultats fournis sont les suivants :

- Valeurs du paramètre **α,**
- Graphe de la chronique de débit du cours d'eau et du débit de base associé,
- Graphe et tableau sur la statistique de répartition du BFI (Base Flow Index, soit le rapport Q/Q^{bf}) au fil de la chronique.

4.4.2 Eléments graphiques fournis dans les fiches

Les éléments fournis sont les suivants :

- **Un graphique de décomposition du débit du cours d'eau en un débit de base et un débit de ruissellement.**
  Un exemple est fourni ci-après sur la zone homogène 26. La courbe bleue correspond à la chronique de débits journaliers mesurés à la station hydrométrique sélectionnée sur le secteur 26 (les données sont issues de la banque HYDRO). La courbe orange correspond à la chronique de débits d'alimentation de la rivière par la nappe. Cette courbe représente les volumes d'eau de la nappe contribuant au débit de la rivière.

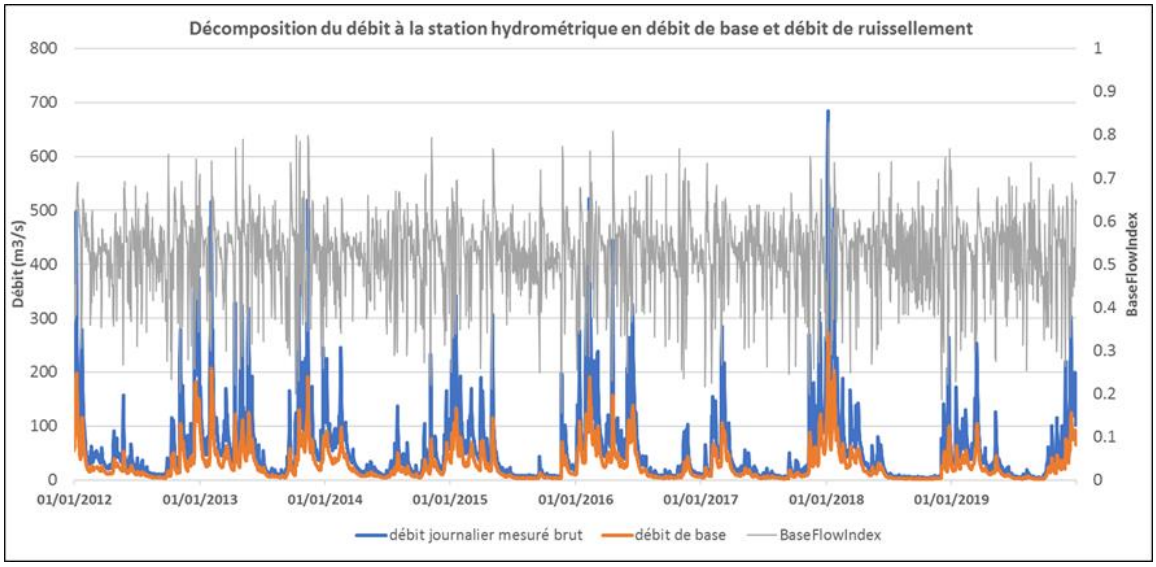


Figure 16 : Graphique de décomposition du débit du cours d'eau en un débit de base et un débit de ruissellement (ZH 26).

Dans la pratique, le coefficient alpha est ajusté de manière à ce que le débit d'alimentation par la nappe coïncide avec les débits les plus faibles enregistrés sur la chronique de débit (lors des périodes d'étiage sévère, l'alimentation des rivières est fournie presque exclusivement par la nappe).

- **Graphique de distribution du BFi :** ce graphe fournit la répartition statistique du BFi telle que calculée à partir de l'ajustement du graphique précédent. On retient le BFi médian, ici 52%.

Figure 17 : distribution du BFi sur la zone homogène 26

4.5 Prélèvements

Le calcul des prélèvements bruts, effectué sur la **période 2008-2017**, est réalisé sur chaque zone homogène à partir des données suivantes (Tableau 5) :

Tableau 5 : Provenance et disponibilité des données mobilisées pour le calcul des prélèvements bruts mensuels et annuels

Types de prélèvements	Source des données	Période de disponibilité des données et échelle de temps
Alimentation en eau potable (AEP)	Fichiers de redevance des Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), Rhin-Meuse (AERM), Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC)	AESN : 2008-2017 (annuel) AERM : 2012-2017 (annuel) AERMC : 2008-2017 (annuel)
Industrie	Fichiers de redevance des Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), Rhin-Meuse (AERM), Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC)	AESN : 2008-2017 (annuel) AERM : 2012-2017 (annuel) AERMC : 2008-2017 (annuel)
Irrigation	Fichiers de redevance des Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), Rhin-Meuse (AERM), Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC)	AESN : 2008-2017 (annuel) AERM : 2012-2017 (annuel) AERMC : 2008-2017 (annuel)
Abreuvement du bétail	Recensement général Agricole (RGA) 2010 : cheptel (nombre de tête) Consommation en eau journalière : bibliographie Ratio de prélèvement directs dans le milieu naturel : bibliographie (chambre d'agriculture)	2010 (annuel) - -
Refroidissement des centrales électriques	Fichiers de redevance des Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM), Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC) Données de la BNPE sur la partie Seine-Normandie	AERM : 2012-2017 (annuel) AERMC : 2008-2017 (annuel) BNPE : 2012-2017 (annuel)
Sur-évaporation des plans d'eau et canaux	Surface des plans d'eau estimée à partir de la BD Carthage Surface des canaux estimée à partir des données du domaine public fluvial (VNF) Précipitations : données Météo-France ETP : données Météo-France Coefficients culturaux d'une prairie : bibliographie Coefficient de ruissellement : méthode de calcul présentée dans le calcul de la recharge Réserve facilement utilisable (RFU) : méthode de calcul présentée dans le calcul de la recharge	- - 2000-2019 (mensuel) - - -
Alimentation des canaux	Fichiers de redevance des Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), Rhin-Meuse (AERM), Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC) Données de la BNPE	AESN : 2008-2017 (annuel) AERM : 2012-2017 (annuel) AERMC : 2008-2017 (annuel) BNPE : 2012-2017 (annuel)

Les méthodes et hypothèse de calculs, de complétion des données et les hypothèses de répartition infra-annuelle sont explicitées dans les paragraphes suivants.

4.5.1 Hypothèses relatives à l'AEP

Les données des prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont issues des fichiers de redevances des Agences de l'Eau. Les données de l'AESN et de l'AERMC sont utilisées telles quelles. Concernant les données de l'AERM et de la BNPE, les prélèvements pour les années 2008 à 2011 sont considérés comme égaux à la **moyenne des prélèvements sur la période 2012-2017**.

En l'absence de données plus précises, les données annuelles sont ventilées de manière **uniforme sur les douze mois de l'année**, proportionnellement au nombre de jours dans le mois, comme présenté dans le tableau suivant (Tableau 6) :

Tableau 6 : Coefficients de répartition mensuelle des prélèvements pour l'alimentation en eau potable

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient de répartition	8.49%	7.67%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%

4.5.2 Hypothèses relatives à l'Industrie

Les données de prélèvements industriels sont issues des fichiers de redevances des Agences de l'Eau. Les données de l'AESN et de l'AERMC sont utilisées telles quelles. Concernant les données de l'AERM et de la BNPE, les prélèvements pour les années 2008 à 2011 sont considérés comme égaux à la moyenne des prélèvements sur la période 2012-2017.

En l'absence de données plus précises, les données annuelles sont ventilées de manière **uniforme sur les douze mois de l'année**, proportionnellement au nombre de jours dans le mois, comme présenté dans le tableau suivant (Tableau 7).

Cependant, à partir de la base de données GEREP, on peut identifier les industries **agroalimentaires en liaison avec la viticulture et la production sucrière**, qui présentent une activité beaucoup plus saisonnière, en liaison avec la période de récolte. Pour ces industries particulières, les prélèvements (et rejets) seront concentrés sur une période de 2 mois suivant la récolte.

Tableau 7 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements industriels

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient de répartition	8.49%	7.67%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%

4.5.3 Hypothèses relatives à l'irrigation

Les données des prélèvements agricoles pour l'irrigation sont issues des fichiers de redevances des Agences de l'Eau. Les données de l'AESN et de l'AERMC sont utilisées telles quelles. Concernant les données de l'AERM et de la BNPE, les prélèvements pour les années 2008 à 2011 sont considérés comme égaux à la moyenne des prélèvements sur la période 2012-2017.

La répartition mensuelle de ces prélèvements, qui dépendent fortement des conditions climatologiques, a été faite en utilisant les **coefficients de répartition proposés par le BRGM** dans l'étude *Connaissance des ressources réellement disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux. Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne* (Stollsteiner, 2013). Cette étude propose de concentrer ces prélèvements sur la **période mai – septembre**, suivant les coefficients suivants (Tableau 8) :

Tableau 8 : Coefficient mensuels de répartition des prélèvements agricoles liés à l'irrigation (Source : Stollsteiner, 2013, BRGM/RP-61371-FR)

Mois	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
Coefficient de répartition	10%	30%	40%	15%	5%

Après discussion avec le COPIL, il est proposé de **décaler d'un mois ce tableau sur la plaine d'Alsace (Zone homogène 20)**, en liaison avec les cultures à dominante de maïs.

4.5.4 Hypothèses relatives à l'abreuvement :

Les prélèvements liés à la consommation en eau du bétail ont été estimées grâce aux **données des cheptels** au niveau communal issues des RGA 2000 et 2010 (disponibles sur Agreste). Pour les communes chevauchant les limites des zones homogènes, le nombre de têtes a été réparti entre les zones homogènes proportionnellement aux surfaces comprises dans chaque zone homogène. Des données de **consommations journalières** généralement utilisées dans de telles études ont été considérées (Cf Tableau 9).

Par ailleurs, l'eau utilisée pour abreuver le bétail peut être puisée dans les réseaux d'eau potable. Afin de ne pas comptabiliser deux fois ces volumes, des **ratios de provenance ente ces réseaux et le milieu naturel** sont généralement utilisés. Ainsi concernant l'origine de l'eau destinée à l'abreuvement du bétail, on peut repartir des hypothèses suivantes, extraites d'autres études menées précédemment (Etudes de volumes prélevables sur les SAGE Loir et Sarthe aval) :

- **Volailles : 50% sur réseau et 50% milieu naturel ;**
- **Porcins : 80% sur réseau et 20% milieu naturel ;**
- **Vaches laitières : 33% sur réseau et 67% milieu naturel ;**
- **Autre bétail : 25% réseau et 75% milieu naturel.**

Les volumes prélevés dans le milieu naturel sont considérés comme provenant des **ressources en eau superficielles**.

Des éléments fournis suite au COPIL par l'AERM permettent de préciser certains points :

- On peut globalement considérer que :
  - La consommation estivale correspond au double de la consommation hivernale,
  - La consommation de printemps et d'automne est de l'ordre de 1.5 fois la consommation hivernale.
- Pour les bovins, il est proposé, concernant la provenance de l'eau :
  - D'appliquer le ratio proposé en été (33% sur réseau et 67% milieu naturel),
  - D'appliquer un ratio inverse en hiver (67% sur réseau).

Le tableau suivant propose une application de ce calcul sur la zone homogène 2 (Tableau 9).

Tableau 9 : Calcul des prélèvements agricoles pour l'abreuvement du bétail

Type de bétail	Consommation journalière moyenne (L/j)	Effectifs en 2000	Consommation en 2000 (en m3)	Effectifs en 2010	Consommation en 2010 (en m3)	Prélèvements effectifs dans le milieu natuel	
						2000	2010
Vaches laitières	*100*	33	1 199	45	1 646	803	1 103
Vaches allaitantes	*50*	429	7 826	281	5 133	5 870	3 850
Bovin > 1 an	*50*	1 649	30 102	729	13 307	22 576	9 980
Bovin < 1 an	*25*	714	6 518	516	4 706	4 889	3 530
Chèvres	*10*	0	0	0	0	0	0
Brebis	*10*	278	1 015	241	881	761	661
Truies reproductrices	*25*	0	0	0	0	0	0
Autres porcins	*10*	5 435	19 839	3 103	11 326	3 968	2 265
Volailles	*0.2*	56 529	4 127	53 301	3 891	2 063	1 945
TOTAL	-	-	70 625	-	40 890	**40 930**	**23 334**

De grandes variations peuvent être observées entre les années 2000 et 2010, comme sur l'exemple ci-dessus. Par ailleurs, les dernières données disponibles relatives aux cheptels étant relativement anciennes, nous avons cherché à étudier les variations générales à l'échelle de la région Grand Est grâce aux données des statistiques agricoles annuelles (disponibles sur Agreste). Toutefois, les variations de prélèvements observées en conséquence (de l'ordre du millier de m3) étant minimes au regard de l'ensemble des prélèvements, **nous considérons les prélèvements des années 2008, 2009 et 2011 à 2017 comme égaux à ceux de 2010**.

En définitive, les prélèvements pour l'abreuvement du bétail sont **répartis** sur les 12 mois de l'année, conformément aux coefficients de prélèvements figurant ci-dessous.

Tableau 10 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements agricoles liés à l'abreuvement du bétail

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient de répartition	5.56%	5.56%	8.33%	8.33%	8.33%	11.11%	11.11%	11.11%	8.33%	8.33%	8.33%	5.56%

4.5.5 Prélèvements Energie : rubrique « hydroélectricité »

Les prélèvements liés à l'hydroélectricité sont considérés comme prélevés puis rejetés directement et immédiatement dans le milieu. Ils ne sont donc **pas comptabilisés** dans la suite des calculs.

4.5.6 Prélèvements Energie : rubrique « refroidissement »

Les prélèvements liés au refroidissement des centrales électriques peuvent occasionner une perte du fait de l'évaporation de l'eau. Néanmoins, la quasi-totalité des prélèvements est restituée au milieu naturel. EDF estime ainsi que « 98% de l'eau prélevée [pour ses centrales] est restituée à la source ».

Nous considérons donc que les prélèvements liés au refroidissement des centrales électriques sont **égaux à 2% des prélèvements renseignés** selon cet usage dans les fichiers de redevance de l'eau.

D'après les informations fournies par l'AERM, il apparaît cependant que les pertes au niveau des tours aéroréfrigérées des centrales nucléaires sont plus importantes. 4 centrales (Fessenheim, Nogent-sur-Seine, Cattenom, Chooz) sont présentes sur la région, **pour lesquelles on retiendra une perte de 40% du prélèvement total**. On tiendra également compte du fait que la centrale de Fessenheim ne sera plus en service en 2030 et 2050.

En l'absence de données plus précises, les données annuelles sont ventilées de manière **uniforme sur les douze mois de l'année**, proportionnellement au nombre de jours dans le mois, comme présenté dans le tableau suivant (Tableau 11).

Tableau 11 : Coefficients mensuels de répartition des prélèvements liés au refroidissement des centrales électriques

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient de répartition	8.49%	7.67%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%	8.49%	8.22%	8.49%	8.22%	8.49%

4.5.7 Calcul de la sur-évaporation des plans d'eau et canaux

Les pertes dues à l'évaporation des surfaces en eau à surface libre (plans d'eau et canaux) ont été calculées à l'échelle de chaque zone homogène. Afin de quantifier ces pertes, il convient de considérer non pas le volume absolu évaporé sur les surfaces en eau mais bien **la différence entre ce volume et celui qu'aurait évapotranspiré une surface non couverte par un plan d'eau à surface libre**. Il a été retenu pour le besoin de l'analyse de considérer les surfaces équivalentes de plan d'eau avec un **couvert végétal de type prairie**.

Afin de comparer le volume d'évaporation dû aux plans d'eau et canaux à celui d'une évapotranspiration équivalente pour un couvert de type prairie, les éléments suivants sont considérés :

- **Pour l'évaporation sur les plans d'eau :** une évaporation potentielle (ETP Penman) complète. Cette donnée est acquise auprès de Météo France aux stations de référence de la zone homogène au pas de temps mensuel.

- **Pour l'évapotranspiration sur une surface équivalente à celle des plans d'eau en prairie** (coefficient cultural **Kc égal à 1** sur l'ensemble de l'année), une évapotranspiration réelle (ETR) calculée, à partir d'une réserve utilisable du sol (RFU) égale à la moyenne estimée sur la zone homogène. Les données pluviométriques utilisées sont celles acquises auprès de Météo France aux stations de référence de la zone homogène au pas de temps mensuel.

Ceci conduit au calcul suivant :

$$Surévaporation = (S_{PE} + S_C) * (ETP - ETR_{prairie})$$

Avec S_{PE} la surface totale des plans d'eau, S_C la surface totale des canaux, ETP l'évapotranspiration potentielle, $ETR_{prairie}$ l'évapotranspiration réelle d'une prairie (les modalités de calcul de ce terme seront détaillées dans la partie *4.9 Calcul de la recharge*).

La **surface** des plans d'eau est obtenue cartographiquement à partir des données de la BD Carthage. Celle des canaux est obtenue grâce aux données des segments du Domaine public fluvial (DPF - fichier au format shapefile disponible sur data.gouv.fr). Dans la table attributaire de ce ficher sont indiqués notamment :

- La nature du tronçon : « Canal, Chenal » (classe considérée pour ce calcul) ou « Cours d'eau naturel »,
- La longueur du tronçon,
- La largeur du tronçon.

Cette dernière information est donnée selon trois classes, pour lesquelles les valeurs retenues sont présentées dans le Tableau 12. Des vérifications sont par ailleurs faites ponctuellement en mesurant la largeur de certains tronçons sur les photos satellites.

Tableau 12 : Classes de largeur des segments du DPF et valeurs moyennes retenues

Classe de largeur	Valeur moyenne retenue
De 0 à 15 mètres	15m
De 15 à 50 mètres	30m
Plus de 50 mètres	50m

Le volume sur-évaporé au niveau des plans d'eau et canaux est **calculé au pas de temps mensuel**. Ces prélèvements sont considérés comme provenant des **ressources superficielles**.

4.5.8 Synthèse sur les prélèvements : bilans annuels et chroniques mensuelles

Voir pages « Bilan des prélèvements mensuels par usage sur la période 2008-2017 » et « Bilan des prélèvements annuels par usage et par milieu sur la période 2008-2017 »

La page « Bilan des prélèvements mensuels par usage sur la période 2008-2017 » a vocation à présenter :

- Les **chroniques mensuelles** de prélèvements bruts sur la période 2008-2017 ;
- Les **moyennes mensuelles interannuelles** de ces prélèvements calculées sur la période 2008-2017, présentées sous forme d'un tableau et sous forme graphique.

Sont présentés à la fois les volumes par usage et les volumes totaux à l'échelle de la zone homogène.

La page « Bilan des prélèvements annuels par usage sur la période 2008-2017 » présente quant à elle un tableau des **volumes prélevés annuellement selon les** usages sur la période 2008-2017. Ces volumes sont également **déclinés selon les milieux d'origine** : souterrain et superficiel. Sont enfin inclus un graphique présentant l'évolution de ces prélèvements selon les années, un graphique en secteur de la répartition moyenne des prélèvements par usage (obtenue à partir des moyennes interannuelles), et la répartition annuelle des prélèvements souterrains et superficiels.

Des exemples de contenu des feuilles des bilans des prélèvements sont illustrés ci-après.

- **Tableau et graphiques des bilans <u>annuels</u> des prélèvements :** ces éléments restituent les moyennes annuelles des prélèvements par type et par origine pour la période 2008-2017.

Tableau 13 : Extrait du tableau des bilans annuels sur le secteur 26

	Milieu	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Moyenne 2008-2017
AEP	*Souterrain*	25 098 465	25 098 465	25 098 465	25 098 465	26 000 353	25 779 809	25 206 916	24 836 203	24 092 062	24 675 445	25 098 465
	Superficiel	20 295 694	20 295 694	20 295 694	20 295 694	21 296 300	20 115 086	20 349 108	20 576 147	19 475 796	19 961 724	20 295 694
	TOTAL	**45 394 158**	**45 394 158**	**45 394 158**	**45 394 158**	**47 296 653**	**45 894 895**	**45 556 024**	**45 412 350**	**43 567 858**	**44 637 169**	**45 394 158**
Industrie	*Souterrain*	13 727 899	13 727 899	13 727 899	13 727 899	15 313 486	14 718 599	13 502 763	13 140 190	12 932 496	12 759 859	13 727 899
	Superficiel	8 950 107	8 950 107	8 950 107	8 950 107	9 252 329	9 054 215	9 115 557	8 934 820	8 659 518	8 684 202	8 950 107
	TOTAL	**22 678 006**	**22 678 006**	**22 678 006**	**22 678 006**	**24 565 815**	**23 772 814**	**22 618 320**	**22 075 010**	**21 592 014**	**21 444 061**	**22 678 006**
Irrigation	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Abreuvement	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204	1 296 204
	TOTAL	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**	**1 296 204**
Alimentation des canaux	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	185 523 455	185 523 455	185 523 455	185 523 455	249 524 726	173 778 384	192 198 724	126 325 224	230 449 644	140 864 026	185 523 455
	TOTAL	**185 523 455**	**185 523 455**	**185 523 455**	**185 523 455**	**249 524 726**	**173 778 384**	**192 198 724**	**126 325 224**	**230 449 644**	**140 864 026**	**185 523 455**
Energie (Refroidissement)	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Surévaporation (plans d'eau et canaux)	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	456 412	689 509	51 759	81 710	196 625	638 567	438 886	1 608 639	1 021 561	950 107	613 378
	TOTAL	**456 412**	**689 509**	**51 759**	**81 710**	**196 625**	**638 567**	**438 886**	**1 608 639**	**1 021 561**	**950 107**	**613 378**
Stockage dans les réservoirs	*Souterrain*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Usage inconnu	*Souterrain*	404 923	404 923	404 923	404 923	368 037	382 871	449 556	434 386	387 760	406 927	404 923
	Superficiel	18 292	18 292	18 292	18 292	16 441	20 678	27 371	17 533	13 816	13 914	18 292
	TOTAL	**423 215**	**423 215**	**423 215**	**423 215**	**384 478**	**403 549**	**476 927**	**451 919**	**401 576**	**420 841**	**423 215**
Totaux	*Souterrain*	39 231 286	39 231 286	39 231 286	39 231 286	41 681 876	40 881 279	39 159 235	38 410 779	37 412 318	37 842 231	39 231 286
	Superficiel	216 540 164	216 773 261	216 135 511	216 165 461	281 582 625	204 903 134	223 425 851	158 758 568	260 916 540	171 770 178	216 697 129
	TOTAL GENERAL	**255 771 450**	**256 004 547**	**255 366 797**	**255 396 748**	**323 264 501**	**245 784 413**	**262 585 086**	**197 169 347**	**298 328 858**	**209 612 409**	**255 928 416**

Les volumes sont exprimés en m³.

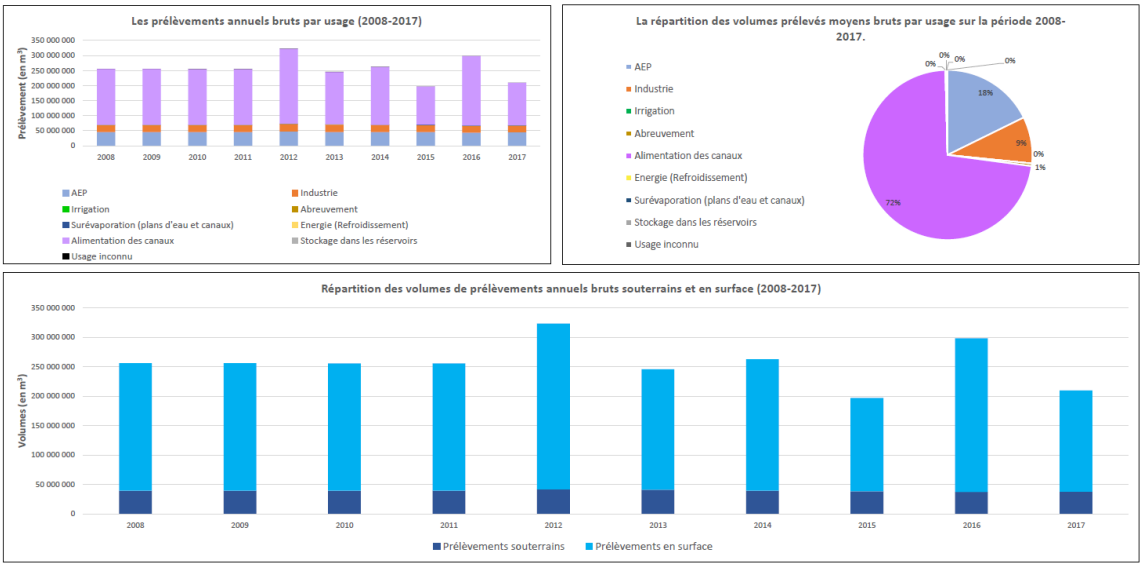


Figure 18 : Graphiques des prélèvements annuels bruts par usage et par type de milieu

- **Tableau et graphiques des bilans mensuels des prélèvements :** ces éléments restituent les moyennes mensuelles des prélèvements par type et par origine calculées pour la période 2008-2017, ainsi que les chroniques mensuelles reconstituées correspondantes sur la même période.

Mois	AEP	Industrie	Irrigation	Abreuvement	Surévaporation (plans d'eau et canaux)	Refroidissement des centrales électriques	Alimentation des canaux	Stockage dans les réservoirs	Usage inconnu	Total des prélèvements bruts
Janvier	3 855 394	1 926 077	0	64 232	0	0	11 609 194	0	35 944	**17 490 842**
Février	3 482 292	1 739 683	0	64 232	0	0	11 060 248	0	32 466	**16 378 920**
Mars	3 855 394	1 926 077	0	96 348	0	0	11 609 194	0	35 944	**17 522 958**
Avril	3 731 027	1 863 946	0	116 352	0	0	14 988 262	0	34 785	**20 734 371**
Mai	3 855 394	1 926 077	0	116 352	8 023	0	17 545 944	0	35 944	**23 487 735**
Juin	3 731 027	1 863 946	0	155 136	33 566	0	17 362 962	0	34 785	**23 181 422**
Juillet	3 855 394	1 926 077	0	155 136	211 554	0	23 482 695	0	35 944	**29 666 801**
Août	3 855 394	1 926 077	0	155 136	271 587	0	23 482 695	0	35 944	**29 726 834**
Septembre	3 731 027	1 863 946	0	116 352	88 647	0	17 362 962	0	34 785	**23 197 719**
Octobre	3 855 394	1 926 077	0	96 348	0	0	13 983 894	0	35 944	**19 897 658**
Novembre	3 731 027	1 863 946	0	96 348	0	0	11 426 212	0	34 785	**17 152 317**
Décembre	3 855 394	1 926 077	0	64 232	0	0	11 609 194	0	35 944	**17 490 842**

Les données sont exprimées en m^3.

Figure 19 : Bilans mensuels interannuels sur la période 2008-2017 des prélèvements bruts par usage sur le secteur 26

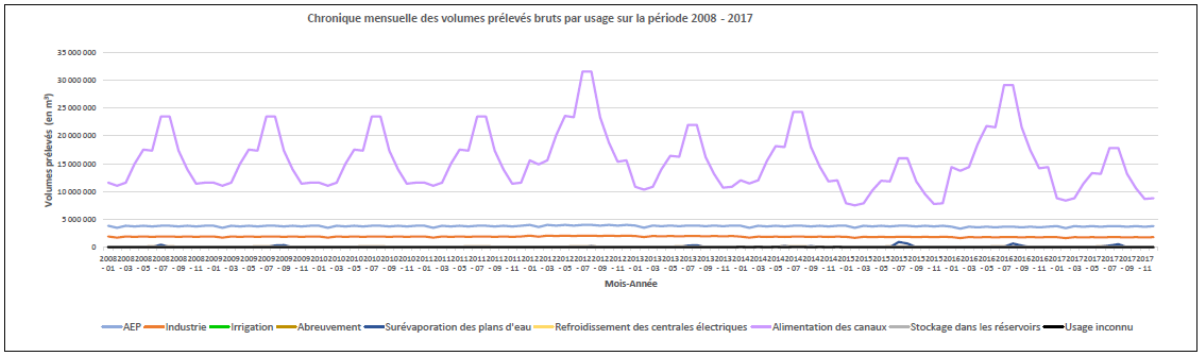


Figure 20 : Chronique mensuelle des prélèvements par usage sur le secteur 26

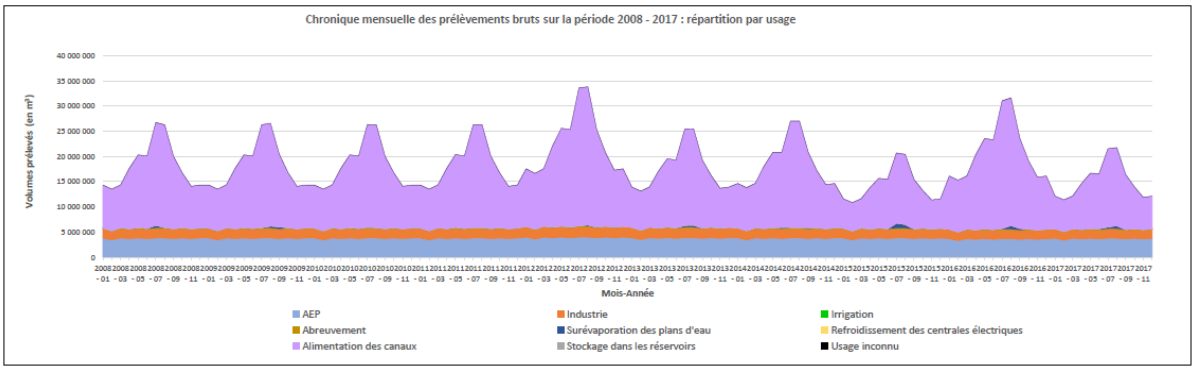


Figure 21 : Chronique mensuelle des prélèvements par usage sur la période 2008-2017 (graphique cumulé)

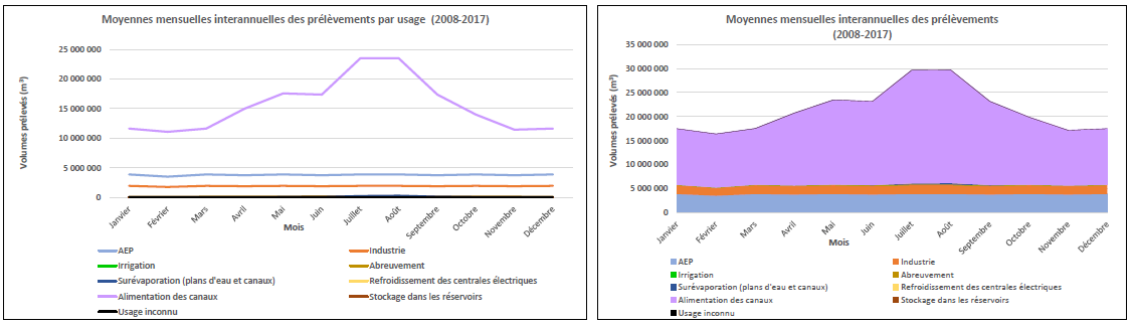


Figure 22 : Chroniques des prélèvements moyens interannuels sur la période 2008-2017 sur le secteur 26 (vue non cumulée / cumulée)

Ces éléments tiennent compte **de l'ensemble des hypothèses de ventilation dans l'année qui ont été prises pour chaque type de prélèvemen**t, par exemple :

- Les prélèvements pour l'irrigation s'effectuent majoritairement sur les mois estivaux (mai, juin, juillet, août).
- L'alimentation des canaux bien qu'effective toute l'année, est plus importante en été pour faire face à l'augmentation de l'évaporation et du traffic touristique.

4.6 Rejets

Le calcul des rejets, effectué **sur la période 2008-2007**, est réalisé sur chaque zone homogène à partir des données suivantes :

Tableau 14 : Provenance et disponibilité des données utilisées pour l'estimation des rejets bruts mensuels et annuels

Types de rejets	Source des données	Période de disponibilité des données et échelle de temps
Assainissement collectif (AC)	Données du Portail de l'assainissement collectif	2009-2019 (annuel)
Assainissement non collectif (ANC)	Données de la base de données SISPEA : ☐ Taux de couverture de l'ANC indiqué à l'échelle du service gestionnaire ☐ Composition communale des services	2008-2018 (annuel)
Pertes dans les réseaux AEP	Données de la base de données SISPEA : ☐ Rendement des services d'eau potable ☐ Composition communale des services	2008-2018 (annuel)
Rejets industriels	Base de données GEREP Base de données du Registre des émissions polluantes (IREP) : localisation des principales entreprises ayant des rejets directs au milieu Fichier de l'AERM recensant les entreprises rejetant directement dans le milieu (pas de données équivalentes chez les autres Agences de l'eau)	-
Rejets par percolation au fond des canaux	Surface des canaux : DPF Pertes journalières : bibliographie	-

4.6.1 Hypothèses relatives à l'Assainissement Collectif

Les volumes rejetés au niveau des STEP situées sur chaque zone homogène sont obtenus sur le portail de l'assainissement collectif **sur la période 2009-2019 au pas de temps annuel**. Les valeurs des années 2009 à 2017 sont utilisées telles quelles, le volume rejeté durant l'année 2008 est estimé égal à **la moyenne des rejets sur la période 2009-2017**.

Ces rejets sont considérés comme **superficiels**.

Concernant leur répartition au pas de temps mensuel, une **analyse de l'évolution de ces rejets sur l'année** avait été produite dans le rapport d'étape 1.1.

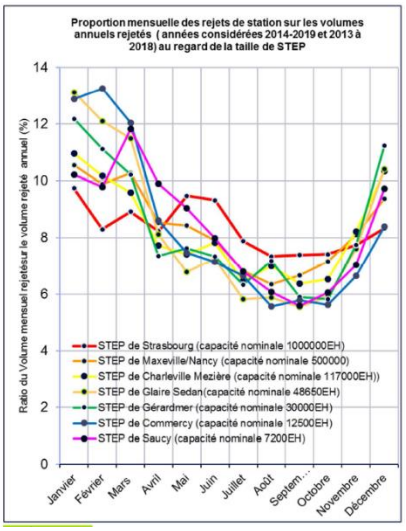


Figure 23 : Analyse des rejets mensuels pour quelques STEP de typologies variées (Extrait du rapport d'étape 1.1)

De cette analyse ont été obtenus des coefficients de répartition moyens, présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Coefficients mensuels de répartition des rejets via l'assainissement collectif

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Coefficient de répartition	10.7%	10.6%	10.6%	8.1%	8.1%	8.1%	6.4%	6.4%	6.4%	6.4%	7.6%	10.6%

4.6.2 Hypothèses relatives à l'Assainissement non collectif (ANC)

Les données relatives à l'assainissement non collectif (ANC) sont disponibles à l'échelle des gestionnaires dans la base de données de l'Observatoire des données sur les services publics d'eau et d'assainissement (SISPEA). L'indicateur auquel nous nous intéressons pour le calcul des volumes rejetés via l'assainissement non collectif est l'indicateur VP.230 : **le taux de couverture de l'ANC**. Cet indicateur « traduit la part de l'assainissement non collectif sur la population totale », il s'agit du ratio entre l'évaluation du nombre d'habitants desservis par le service public d'assainissement non collectif et le nombre d'habitants résidants sur le territoire du service.

Cet indicateur, renseigné par service, a été **moyenné à l'échelle de chaque zone homogène** en utilisant les compositions communales des services disponibles sur SISPEA. Toutefois cet indicateur n'est pas renseigné par tous les services : pour l'année 2018, cette donnée n'est indiquée que pour 56% du territoire. Nous estimons alors la fiabilité du taux moyen obtenu en évaluant **la part de la zone homogène sur laquelle l'indicateur est renseigné** (au regard de la surface). Lorsque cette part est **supérieure à 56%**, on utilise le taux moyen obtenu à l'échelle de la zone homogène. **Dans le cas contraire, on utilise la moyenne obtenue au niveau national, soit un taux de couverture moyen de 18%.**

Les volumes rejetés via l'ANC sont alors estimés en considérant une consommation journalière de 100 l/habitant dont 80% sont rejetés, soit un volume moyen journalier rejeté de 80l/habitant (chiffres retenus généralement dans d'autres études).

Le calcul devient donc :

$$r_{ANC} = TR_{ZH} * Pop_{ZH} * C_{hab}$$

Avec r_{ANC} les rejets liés à l'assaissement non collectif, TR_{ZH} le taux de couverture estimé sur la zone homogène, Pop_{ZH} la population estimée sur la zone homogène, C_{hab} le volume moyen rejeté par habitant.

Ces rejets sont considérés comme **infiltrés**. Il est alors considéré un **taux de retour au milieu naturel** de :

- **50%** des volumes de rejets durant la période d'étiage (1er juillet-30 septembre) ;
- **100%** des volumes de rejets le reste de l'année (1er octobre-30 juin).

Cette hypothèse repose sur le fait que d'autres mécanismes interviennent, notamment en période d'étiage, et que 100% des rejets ne retourne pas au milieu (interception par la végétation…).

Enfin, les rejets liés à l'assainissement non collectif sont considérés **constants** tout au long de l'année. Les volumes rejetés mensuellement correspondent donc aux volumes annuels ventilés proportionnellement au nombre de jour du mois considéré.

4.6.3 Hypothèses relatives aux pertes AEP

L'estimation des pertes occasionnées dans les réseaux d'alimentation en eau potable repose sur l'indicateur de **rendement du réseau de distribution** (code P104.3) donné par service gestionnaire et disponible sur SISPEA. Il s'agit du « rapport entre le volume d'eau consommé par les usagers (particuliers, industriels) et le service public (pour la gestion du dispositif d'eau potable) et le volume d'eau potable d'eau introduit dans le réseau de distribution ». Ainsi « plus le rendement est élevé (à consommation constante), moins les pertes par fuites sont importantes ».

Comme dans le cas de l'ANC, cet indicateur a été **moyenné à l'échelle de chaque zone homogène** en utilisant les compositions communales des services de distribution disponibles sur SISPEA. De même, tous les gestionnaires ne remontent pas cette information, qui est indiquée pour seulement 67% du territoire en 2018. De ce fait nous estimons que le rendement moyen obtenu à l'échelle de la zone homogène est fiable si **au moins 67%** du territoire d'une zone homogène présente une information. Dans le cas contraire, la **moyenne obtenue au niveau régional** est utilisée, **soit un rendement moyen de 77,2%.**

Les pertes liées aux fuites des réseaux AEP (r_{AEP}) sont alors estimées au regard des volumes de prélèvements (P_{AEP}) obtenues à l'échelle de la zone homogène :

$$r_{AEP} = Rd * P_{AEP}$$

Avec Rd le rendement retenu.

Ces pertes sont réparties **uniformément sur les douze mois de l'années**, et, ayant majoritairement lieu dans des canalisations souterraines, sont considérés comme **infiltrées**. De ce fait, comme pour l'ANC, un taux différencié **de retour au milieu naturel** est considéré :

- **50%** des volumes de rejets durant la période d'étiage (1er juillet-30 septembre) ;
- **100%** des volumes de rejets le reste de l'année (1er octobre-30 juin).

4.6.4 Hypothèses relatives aux rejets industriels

Selon leurs activités, les industries peuvent être raccordées au réseau d'assainissement collectif, ou traiter elles-mêmes leurs effluents et les rejeter dans le milieu naturel.

Nous nous intéressons ici uniquement aux **industries restituant des volumes directement dans le milieu naturel via des installations gérées en propre** afin de ne pas comptabiliser en double les volumes injectés dans les réseaux d'assainissement collectifs, déjà pris en compte dans les données collectées au niveau des STEP.

Les **données de recensement des rejets de ces industries figurent dans la base de données GEREP**, avec indication **des volumes rejetés annuellement** (données disponibles à l'échelle de la région Grand Est). Cette base permet d'identifier **les industriels qui rejettent en propre** (seuls volumes à comptabiliser ici). La base transmise contient les informations sur les années 2015, 2016 et 2017.

Pour ces trois années, on pourra donc estimer par zone homogène un ratio moyen $V_{rejetés\ en\ propre}$ / $V_{prélevés}$ et l'appliquer aux autres années, pour lesquelles nous n'avons pas d'information.

Par ailleurs, considérant que la majorité des rejets industriels se font en surface, nous considérons les volumes ainsi restitués au milieu naturel comme étant de **l'eau superficielle**. Comme pour les prélèvements industriels, la répartition infra-annuelle des rejets correspondants est considérée **uniforme sur les douze mois de l'année**, à l'exception des industries déjà identifiées comme ayant une activité de prélèvement saisonnière.

Nous avons différencié ainsi trois groupes de rejets industriels selon la nature des activités de production :

- un premier groupe regroupant toutes les industries à l'exception des sucreries et des industries viticoles,
- un deuxième groupe regroupant les sucreries,
- un troisième groupe composé des industries viticoles.

Ces groupes séparent les industries ayant une activité annuelle de celles ayant une activité plutôt saisonnière. Nous considérons que les industries du premier groupe rejettent leurs effluents uniformément sur les 12 mois de l'année. Les sucreries rejettent leurs effluents sur 4 mois de l'année : octobre, novembre, décembre et janvier (cette hypothèse a été élaborée en se basant sur les informations du site du Syndicat national des fabricants de sucre). Les industries viticoles rejettent leurs effluents uniformément sur deux mois de l'année : août et septembre.

Nous avons également estimé un ratio moyen $V_{rejetés}$ dans les eaux de surface/$V_{rejetés\ totaux}$ et un ratio moyen $V_{rejetés}$ dans les eaux souterraines/$V_{rejetés\ totaux}$ par zone homogène pour chacun des trois groupes industriels. Ces deux ratios permettent de distribuer les volumes industriels rejetés dans les eaux superficielles et dans les eaux souterraines annuellement et mensuellement.

4.6.5 Hypothèses relatives aux pertes par percolation dans les canaux

Le rapport du Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF)[1] indique un abaissement moyen du niveau des canaux de l'ordre de **3 cm par jour** du fait de l'infiltration. Bien que ce phénomène puisse être très variable nous proposons, en l'absence de données chiffrées contextualisées, de retenir ce chiffre.

Les volumes ainsi retournés au milieu naturel sont calculés au regard de la surface estimée des canaux présents dans chaque zone homogène.

Ces rejets sont répartis uniformément sur l'année, et **une infiltration de 100% de ces volumes est considérée toute l'année** (en considérant que le fond des canaux baigne dans la nappe environnante et non dans la zone non saturée).

4.6.6 Synthèse : bilans annuels et chroniques mensuelles

Voir pages « Bilan des rejets mensuels par usage sur la période 2008-2017 » et « Bilan des rejets annuels par usage et par milieu sur la période 2008-2017 »

Comme pour les prélèvements, une synthèse présentant les volume totaux rejetés par an et leur répartition sur l'année est faite par zone homogène.

Des exemples de contenu des feuilles des bilans des rejets sont illustrés ci-après.

[1] CETMEF. (2002). *Alimentation en eau des voies navigables*. Les Repères. 72p.

- **Tableau et graphiques des rejets annuels par usage sur la période 2008-2017 :** ces éléments détaillent les rejets moyens annuels sur la période 2008-2017 par type et par milieu récepteur.

	Milieu	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Moyenne 2008-2017
Assainissement collectif	Souterrain	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	22 423 300	20 844 420	21 170 365	18 990 585	21 755 406	25 018 925	22 431 075	22 356 250	26 698 602	24 995 200	22 668 413
	TOTAL	22 423 300	20 844 420	21 170 365	18 990 585	21 755 406	25 018 925	22 431 075	22 356 250	26 698 602	24 995 200	22 668 413
Assainissement non collectif	Souterrain	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588	6 780 588
Pertes AEP	Souterrain	10 799 059	10 799 059	10 799 059	10 799 059	11 251 653	10 918 182	10 803 387	10 364 590	10 618 975	10 799 059	10 795 208
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	10 799 059	10 799 059	10 799 059	10 799 059	11 251 653	10 918 182	10 803 387	10 364 590	10 618 975	10 799 059	10 795 208
Industrie	Souterrain	3 196 015	3 196 015	3 196 015	3 196 015	3 462 064	3 196 015	3 350 306	β 187 603	3 111 035	3 042 966	3 213 405
	Superficiel	15 321 261	15 321 261	15 321 261	15 321 261	16 596 665	15 321 261	16 060 913	15 280 937	14 913 877	14 587 565	15 404 626
	TOTAL	18 517 276	18 517 276	18 517 276	18 517 276	20 058 729	18 517 276	19 411 220	18 468 540	18 024 911	17 630 531	18 618 031
Percolation des canaux	Souterrain	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237	29 679 237
Restitution des canaux	Souterrain	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	130 569 475	130 408 580	130 696 468	130 386 911	194 506 805	118 896 483	136 995 072	71 098 588	175 399 104	85 650 605	130 460 809
	TOTAL	130 569 475	130 408 580	130 696 468	130 386 911	194 506 805	118 896 483	136 995 072	71 098 588	175 399 104	85 650 605	130 460 809
Relarguage en aval des barrages	Souterrain	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Superficiel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	Souterrain	50 454 898	50 454 898	50 454 898	50 454 898	51 173 542	50 574 021	50 613 517	50 012 018	50 189 834	50 301 849	50 468 437
	Superficiel	168 314 036	166 574 261	167 188 093	164 698 757	232 858 876	159 236 668	175 487 060	108 735 775	217 011 583	125 233 370	168 533 848
	TOTAL	218 768 934	217 029 159	217 642 991	215 153 655	284 032 418	209 810 690	226 100 578	158 747 794	267 201 416	175 535 219	219 002 285

Les volumes sont exprimés en m³.

Tableau 16 : Bilans annuels des rejets sur le secteur 26

Figure 24 : Rejets moyens annuels sur la zone homogène 26 pour la période 2008-2017

- **Tableau et graphiques des bilans mensuels des rejets :** ces éléments restituent les moyennes mensuelles des rejets par type et par origine calculées pour la période 2008-2017, ainsi que les chroniques mensuelles reconstituées correspondantes sur la même période.

Mois	Assainissement collectif	Assainissement non collectif	Pertes dans les réseaux AEP	Rejets Industriels	Percolation des canaux	Restitution des canaux	Relarguage en aval des barrages	TOTAL annuel
Janvier	2 428 434	658 929	1 049 064	1 308 338	2 520 702	7 176 943	0	**15 142 411**
Février	2 405 739	595 161	947 542	1 181 725	2 276 763	6 860 393	0	**14 267 323**
Mars	2 405 739	658 929	1 049 064	1 308 338	2 520 702	7 093 951	0	**15 036 723**
Avril	1 838 347	637 673	1 015 223	1 266 134	2 439 389	10 460 583	0	**17 657 349**
Mai	1 838 347	658 929	1 049 064	1 308 338	2 520 702	12 800 820	0	**20 176 201**
Juin	1 838 347	637 673	1 015 223	1 266 134	2 439 389	12 585 782	0	**19 782 549**
Juillet	1 452 521	329 464	524 532	1 308 338	2 520 702	18 559 690	0	**24 695 248**
Août	1 452 521	329 464	524 532	1 308 338	2 520 702	18 613 318	0	**24 748 876**
Septembre	1 452 521	318 836	507 612	1 266 134	2 439 389	12 734 022	0	**18 718 514**
Octobre	1 452 521	658 929	1 049 064	1 308 338	2 520 702	9 392 928	0	**16 382 483**
Novembre	1 697 634	637 673	1 015 223	1 266 134	2 439 389	7 015 981	0	**14 072 034**
Décembre	2 405 739	658 929	1 049 064	1 308 338	2 520 702	7 166 398	0	**15 109 170**

Les volumes sont exprimés en m³.

Tableau 17 : Rejets bruts moyens interannuels sur la période 2008-2017 par usage (secteur 26)

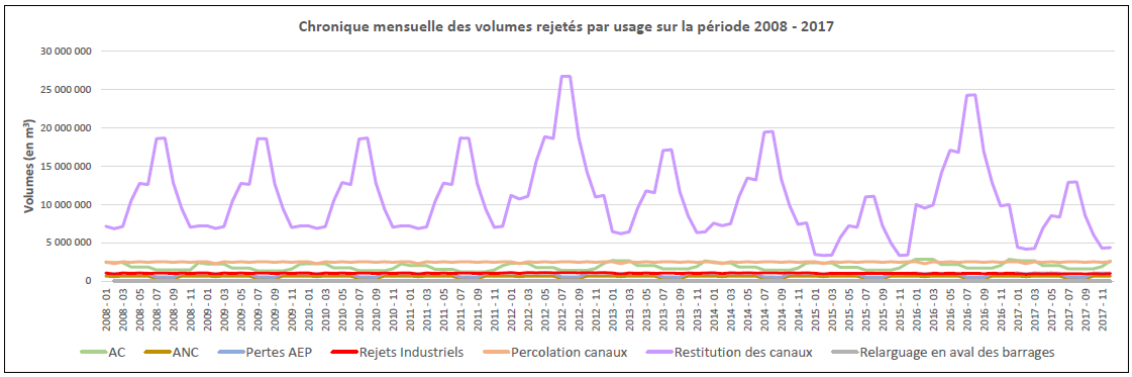


Figure 25 : Chroniques mensuelles rejets par usage sur la période 2008-2017 sur le secteur 26

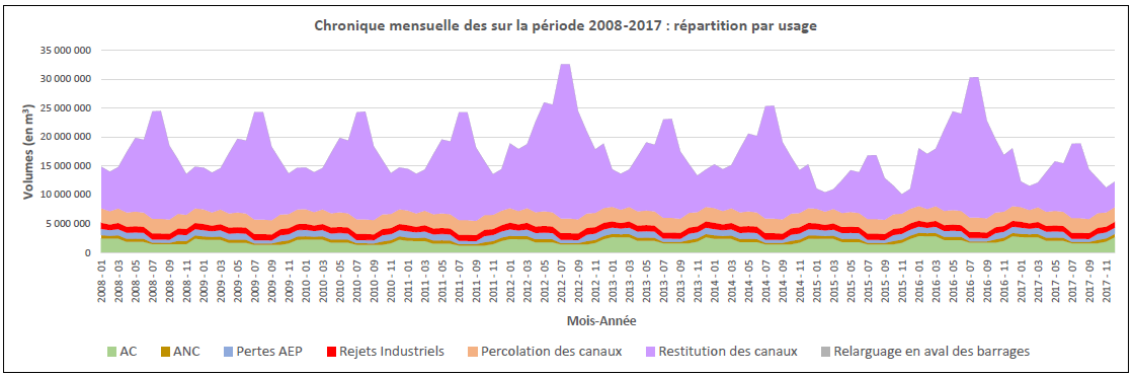


Figure 26 : Chroniques mensuelles des rejets sur la période 2008-2017 sur le secteur 26 (version empilée)

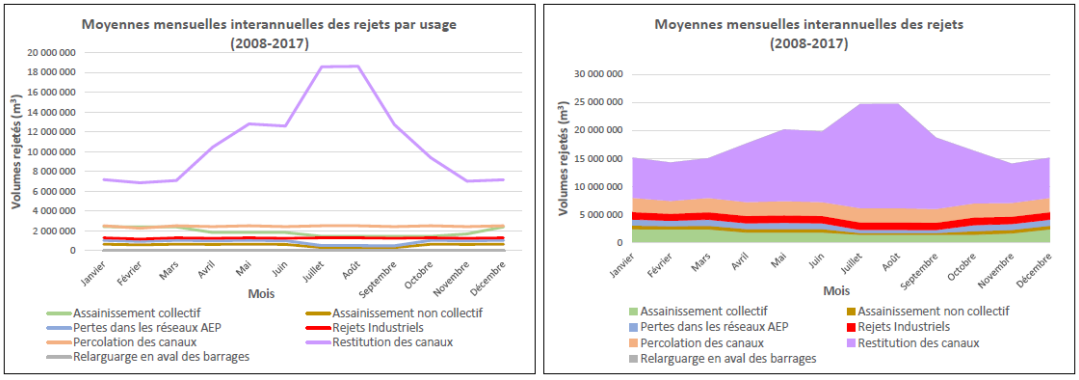


Figure 27 : Moyennes mensuelles interannuelles des rejets bruts actuels sur le secteur 26 (version non empilée / empilée)

4.7 Cas particuliers des canaux & barrages…

Les calculs des prélèvements et rejets liés aux canaux et aux barrages doivent être menés au cas par cas :

- **Pour les canaux :** on veille notamment à bien comprendre d'où vient l'eau qui les alimente, le rôle des biefs de partage qui peuvent induire des transferts, les points de restitution aux cours d'eau, les pertes par évaporation et infiltration….
- **Pour les barrages :** d'une manière générale, on considère que l'hydroélectricité locale « au fil de l'eau » n'a pas d'impacts sur les bilans hydrologiques globaux.
  Le rôle des grands ouvrages structurants pouvant avoir un impact sur le cycle hydrologique (avec un cycle annuel de remplissage puis de vidange) est lui aussi traité au cas par cas.

4.7.1 Les barrages structurants

Les retenues principales présentes sur la région Grand-Est sont documentées dans les bulletins de suivis hydrologiques au travers d'un suivi du taux de remplissage. Il s'agit des ouvrages suivants, qui, de par leur taille, sont susceptibles de modifier significativement le cycle hydrologique annuel des bassins versants concernés :

- **Soutien d'étiage et écrêtage des crues**
  - Lac-Réservoir Aube (10) - Lacs du Temple et Amance
  - Lac-Réservoir Marne (51) - Lac du Der Chantecoq
  - Lac-Réservoir Seine (10) - Lac d'Orient
  - Lac du Vieux-pré ou Réservoir de Pierre Percée (88)
  - Lac de Kruth-Wildenstein (68)

- **Soutien de la navigation**
  - Lac de Bouzey (88)
  - Etang de Mittersheim (57)
  - Etang du Stock (57)
  - Etang de Gondrexange (57)
  - Lac de la Liez (52)
  - Lac de la Mouche (52)
  - Lac de Charmes (52)
  - Lac de la Vingeanne (52)

- **Alimentation en eau potable**
  - Lac de Madine (55)
  - Retenue du Michelbach (68)

Un dépouillement de l'ensemble des bulletins de suivi a permis d'établir une chronique d'évolution des taux de remplissage pour chaque retenue, qui a été convertie :

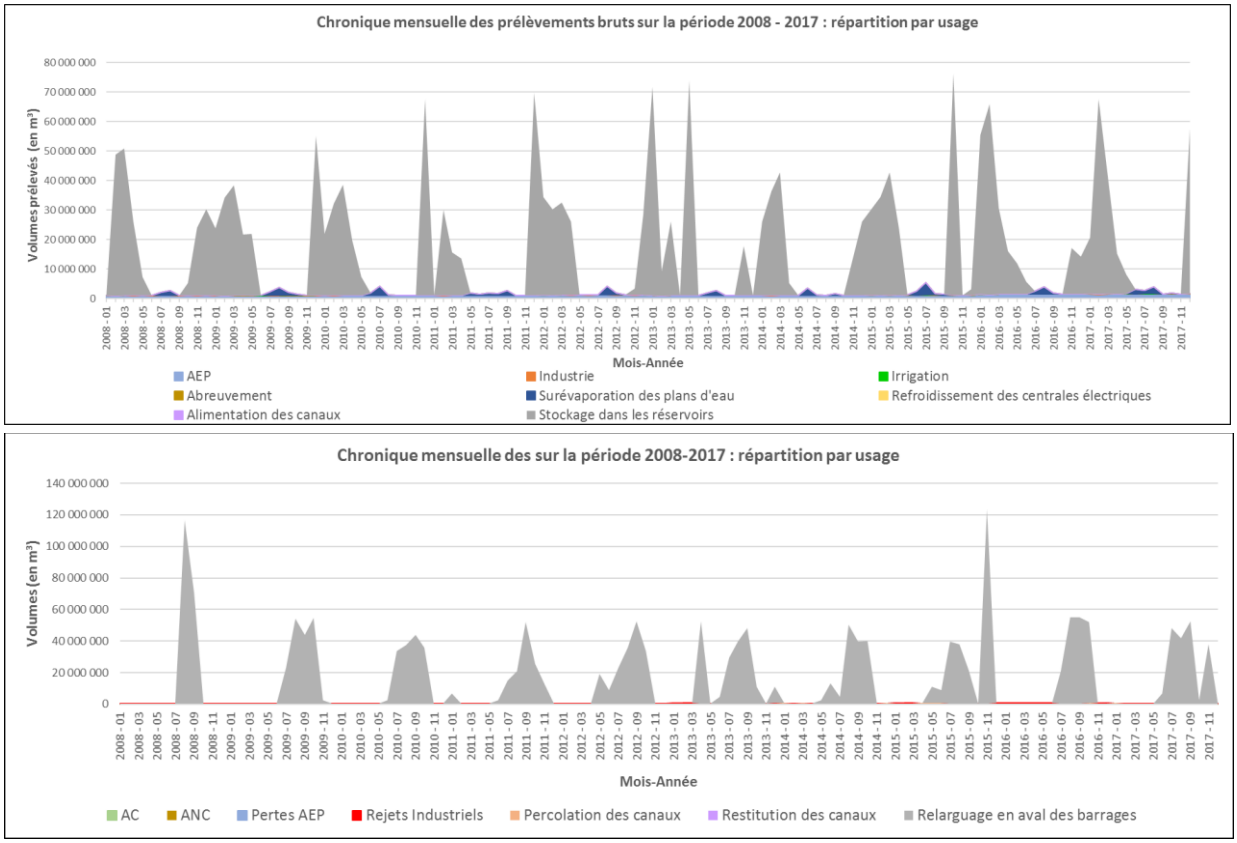
- En chronique mensuelle de **prélèvements** (pour les phases de remplissage),
- En chronique mensuelle de **rejets** (pour les phases de relargage / vidange).

Un exemple est donné ci-après sur le secteur 34, sur lequel les effets du Lac Seine (EPTB Seine Grands Lacs) sont clairement identifiables – en couleur grise – sur la chronique des prélèvements et de rejets.

On note la modification du cycle hydrologique annuel induite par le déphase entre :

- La période de remplissage (hiver-début du printemps),
- La période de relargage (de la fin du printemps à la fin de l'automne).

Figure 28 : Chroniques mensuelles de prélèvements et de rejets obtenues sur le secteur 34



4.7.2 L'alimentation en eau des canaux

Les volumes prélevés pour l'alimentation en eau des canaux sont considérables sur certains secteurs.

Les hypothèses suivantes ont été prises :

- **Pour les biefs de partage :** en l'absence d'information, ce qui est généralement le cas, on considère que le prélèvement alimentant le bief de partage est équiréparti sur chacun des bassins versants attenants.
  Par exemple : le réservoir du Bouzey géré par VNF est majoritairement alimenté depuis la prise d'eau de Remiremont sur la Moselle. On considère cependant que ce prélèvement est redistribué à volumes égaux entre le secteur 26 (côté Moselle) et le secteur 31 (côté Saône) via le bief de partage du canal des Vosges.

- **L'alimentation en eau des canaux permet de compenser les volumes consommés par les éclusées et l'ensemble des pertes rencontrées dans l'infrastructure** (infiltration, évaporation, trop-pleins et déversements, fuites aux écluses et au niveau des ouvrages vannés, pertes dans les rigoles d'alimentation)**.**
  Nous avons généralement considéré que la quasi-totalité des prélèvements effectués sur un secteur donné pour l'alimentation des canaux est consommée « sur place » et qu'elle se retrouve dans les rejets suivants :
  - Les pertes par infiltration,
  - Les pertes par évaporations,
  - Un rejet intitulé « restitution par les canaux », qui correspond à une part notoire de la différence entre le prélèvement et les pertes par infiltration/évaporation.

  Dans certains cas, ce dernier terme peut-être très important alors même que les différents canaux alimentés ne se rejettent pas directement dans le réseau hydrographique local. Ce terme correspond alors à une prise en compte de pertes hors infiltration/évaporation, et révèle des déperditions d'eau potentiellement très significatives.
  Prenons l'exemple du secteur 22, « Marne amont » :
  - Le prélèvement annuel moyen s'élève à 181 Mm^3,
  - Les pertes annuelles par infiltration/évaporation représentent environ 35 Mm^3,
  - La différence, soit 146 Mm^3, représente pratiquement 5 m^3/s en permanence, débit qui ne saurait être évacué à la sortie du secteur par le canal de la Marne à la Saône. On a donc considéré ici que 80% des 146 Mm^3 retournent au milieu naturel par un mécanisme de « pertes diverses » et que 20% de ce volume continuent à alimenter le canal de la Marne à la Saône en entrée de la zone homogène située en aval (14).

4.8 Prélèvements nets et première approche des volumes prélevables

4.8.1 Prélèvements nets

Voir page « Bilan des prélèvements nets sur la période 2008-2017 »

A partir des chroniques mensuelles de prélèvements et de rejets, il est possible de calculer une chronique des prélèvements nets « globaux » mois par mois. Pour un mois donné, le prélèvement net mensuel s'obtient simplement par :

$$\text{Prélèvement net}_{\text{mensuel}} = \Sigma\ \text{prélèvements}_{\text{mensuels}} - \Sigma\ \text{rejets}_{\text{mensuels}}$$

La rubrique « Prélèvements nets » présente :

- Un tableau récapitulatif des prélèvements nets annuels pour les années 2008 à 2017, illustré sur un graphe associé à une courbe de tendance,
- Un tableau des prélèvements nets mensuels moyens calculés sur la période 2008-2017, illustré par un graphe,
- Des graphes fournissant la chronique des prélèvements nets annuels et mensuels sur la période 2008-2017 ainsi que la moyenne des prélèvements nets mensuels calculée sur la même période.

Des exemples sont donnés ci-dessous pour la zone homogène 26.

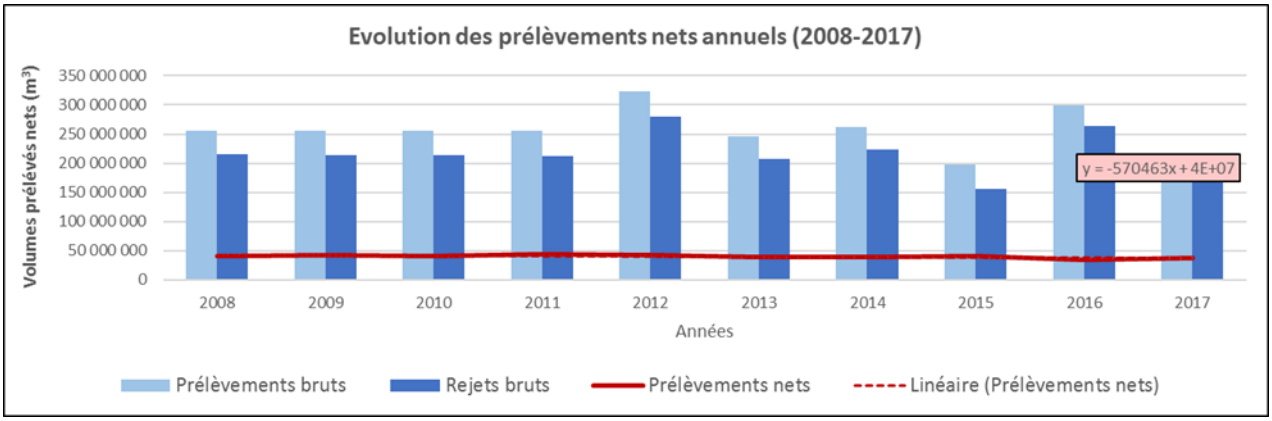


Figure 29 : Bilans des prélèvements et rejets bruts annuels et des prélèvements nets sur la période 2008-2017 (secteur 26)

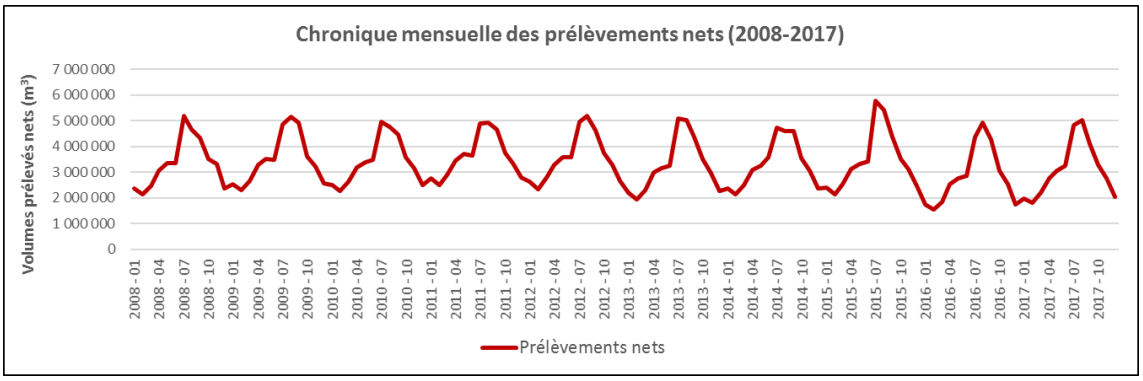


Figure 30 : Chronique mensuelle des prélèvements nets sur la période 2008-2017 (Secteur 26)

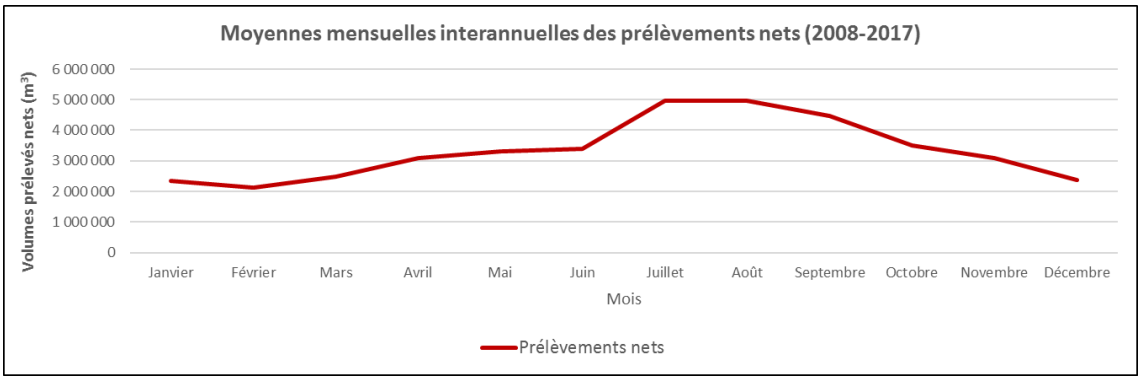


Figure 31 : Moyenne des prélèvements nets mensuels sur la période 2008-2017 (secteur 26)

La Figure 30 présente la chronique des moyennes mensuelles des prélèvements nets pour la zone homogène 26. La modulation du prélèvement net dans l'année est ici essentiellement due au profil temporel des prélèvements bruts pour l'alimentation des canaux. On constate que les prélèvements nets sur ce secteur sont 2,5 fois plus importants en été que le reste de l'année.

4.8.2 Première approche des volumes prélevables

Voir page « Etude des volumes prélevables »

Remarque préliminaire : *les études dites de « volumes prélevables » sont des études complexes et des prestations à part entière, qui ont vocation à être déployées en aval du présent projet, a minima sur les secteurs qui auront été identifiés comme particulièrement en tension. Nous proposons ici une première approche très simplifiée des volumes prélevables, sachant que pour être rigoureuses, ces analyses doivent reposer sur une hydrologie désinfluencée des prélèvements et sur une vision objective des débits minimaux biologiques, données qui ne sont pas disponibles ici à ce stade.*

L'objectif de cette approche est de définir, sur l'ensemble des zones homogènes, des valeurs de volumes disponibles au prélèvement en situation actuelle, tout en garantissant un débit minimum pour les milieux et espèces aquatiques. Comme déjà évoqué, les volumes calculés ici n'ont pas vocation à être valorisés comme des valeurs réglementaires (en figurant par exemple dans le règlement d'un SAGE). Néanmoins, nous proposons de mettre en œuvre une méthode conforme aux prescriptions réglementaires pour ce type de données, telles qu'elles ont notamment été déclinées dans la note **« Calcul des volumes prélevables » produite par le Groupe de bassin Rhône-Méditerranée « gestion quantitative » en 2011**.

Les volumes de prélèvement tels que calculés répondent à 2 conditions :

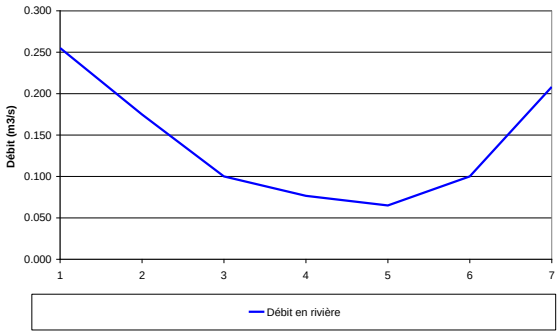
- Ils doivent être effectivement prélevables dans le milieu en moyenne 8 années sur 10 dans le respect de l'atteinte des débits biologiques,
- Ils doivent être déterminés par secteur homogène.

En période estivale ou de basses eaux, le calcul des volumes prélevables sur un tronçon donné se base sur deux variables fondamentales :

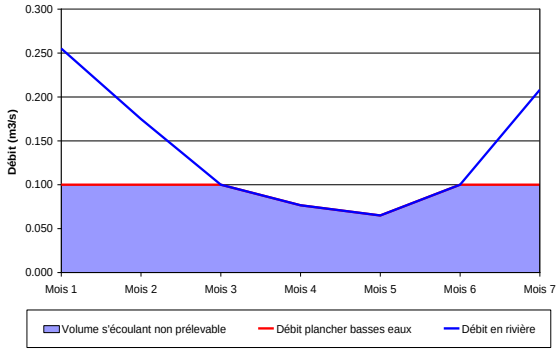
- Les chroniques de débits observées aux stations hydrométriques,
- Et le débit « plancher » estival, correspondant au débit biologique déterminé lors de l'étape 1.1 de l'étude.

Les modalités de détermination des volumes prélevables sont synthétisées ci-après :

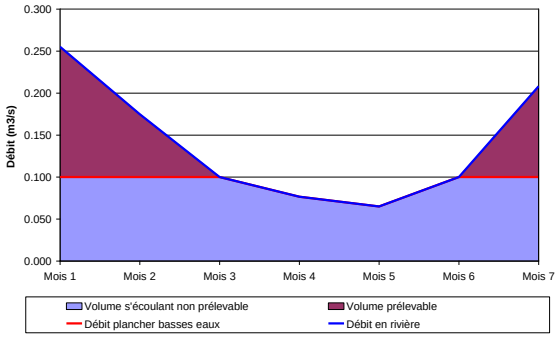
A partir des chroniques de débits disponibles, la première étape consiste à calculer le débit mensuel minimal de période de retour 5 ans (QMN5) par ajustement statistique pour les mois de mai à octobre pour chaque unité de gestion. Les valeurs obtenues représentent les débits qui ont 8 chances sur 10 d'être disponibles chaque mois dans le cours d'eau considéré.



La deuxième étape du calcul vise à déterminer le débit « plancher » en dessous duquel les conditions de vie du milieu sont altérées. Généralement, ce débit correspond au débit biologique du cours d'eau déterminé précédemment. Ce débit correspond à un seuil bas en-dessous duquel les prélèvements ne sont pas autorisés. **On assimilera ici ce débit plancher au DOE (Débit Objectif d'Etiage) pré-évalué lors de l'étape 1.1 du projet. Pour mémoire, ce DOE sera pris, selon les stations, égal au 10ème du module ou VCN10(2).** Nous soulignons que cette hypothèse forte reste très simplificatrice.



Le volume de prélèvement disponible s'obtient par soustraction du débit « plancher » aux QMN5 obtenus par ajustement statistique, auxquels il convient d'ajouter les volumes prélevés historiquement, **ce qui est une manière simplifiée de désinfluencer les débits observés des prélèvements.** Ces volumes garantissent ainsi le respect du débit biologique sans recours aux premières restrictions de la gestion de crise, 8 années sur 10, dans chaque unité contrôlée par les points stratégiques.



Dans le cas où les débits désinfluencés sont inférieurs au débit « plancher » fixé, le volume de prélèvement est nul.

Dans la pratique, on établit, mois par mois, un tableau construit à partir des données précédemment décrites, dans lequel figurent :

- Les **prélèvements mensuels <u>nets</u>**,
- Les **QMN5** (Débits mensuels quinquennaux secs) à la station hydrométrique de référence. **Remarque :** *dans la pratique, on utilise des valeurs de QMN5 globalisées à l'échelle de la zone homogène si la station hydrométrique utilisée ne draine pas la totalité du secteur homogène.*
- En rajoutant les prélèvements mensuels nets aux QMN5, on obtient des débits QMN5 « naturalisés », c'est-à-dire désinfluencés des prélèvements,
- On retient en première approche un Débit biologique (ou débit de référence ou débit plancher) égal au « pseudo DOE » tel que proposé lors de l'étape 1.1 (en considérant que ce débit est le même toute l'année, ce qui constitue également une hypothèse simplificatrice),
- On calcule ensuite un taux de sollicitation (rapport du prélèvement net au débit QMN5 naturalisé),
- On identifie les mois de l'année au cours desquels une réduction des prélèvements est éventuellement nécessaire. Ce sont les mois pour lesquels le prélèvement net actuel est supérieur à [QMN5 naturalisé – Débit plancher].

Pour chaque secteur, le tableau de bilan s'accompagne d'un graphe illustrant mois par mois :

- Le prélèvement net,
- Le QMN5,
- Le QMN5 naturalisé,
- Le débit plancher (les mois déficitaires correspondent à ceux pour lesquels la courbe du QMN5 passe sous le débit plancher).

Un exemple de restitution est fourni ci-dessous pour la zone homogène 26.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne annuelle
Débit naturel quinquennal sec (L/s)	63 774	68 149	57 135	39 310	28 821	21 157	14 816	11 670	12 721	17 294	33 257	64 154	36 021
Prélèvements nets (L/s)	877	865	928	1 187	1 236	1 311	1 856	1 859	1 728	1 937	1 188	889	1 322
Débit ré-influencé (L/s)	62 897	67 284	56 207	38 123	27 585	19 845	12 959	9 811	10 993	15 356	32 068	63 265	34 699
Taux de sollicitation	1%	1%	2%	3%	4%	6%	13%	16%	14%	11%	4%	1%	4%
Seuil statistique d'alerte (L/s)	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879
Débit naturel quinquennal sec - Seuil statistique d'alerte (L/s)	56 895	61 270	50 256	32 431	21 942	14 277	7 936	4 791	5 842	10 414	26 377	57 275	29 142
Réduction nécessaire des prélèvements	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Zone de graphique

Tableau 18 : Calcul des volumes prélevables (secteur 26)

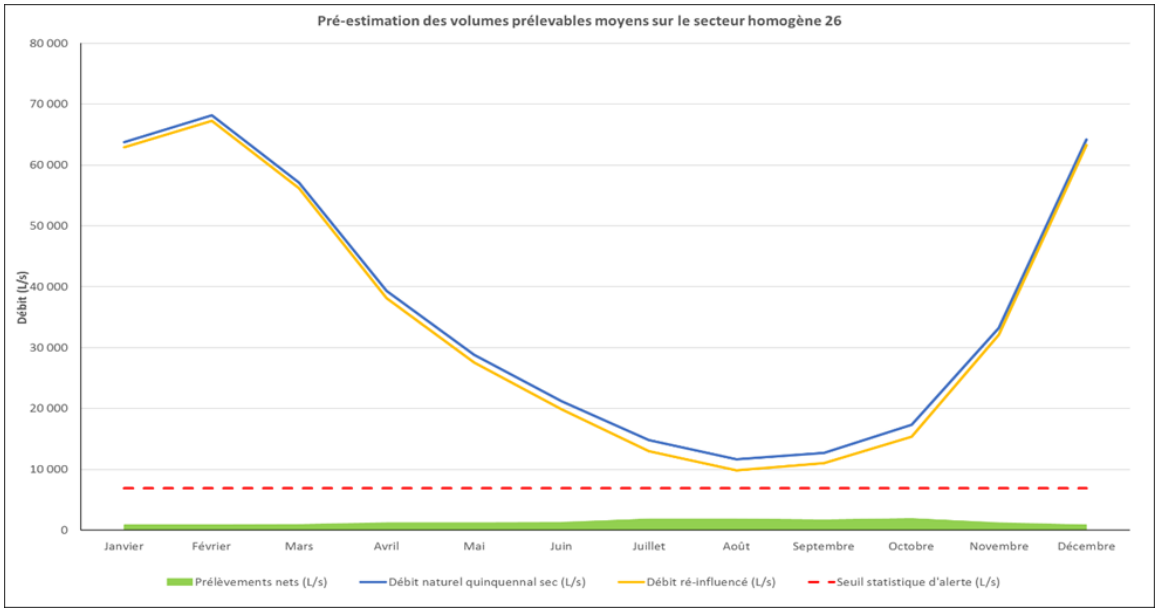


Figure 32 : Graphique illustrant la pré-estimation des volumes prélevables sur le secteur 26

L'interprétation des graphiques de volumes prélevables est détaillée dans la partie analyse des résultats de la pré-estimation des volumes prélevables au chapitre 14.

Cette démarche peut être mise en œuvre indifféremment :

- **Sur une année moyenne :** on considère alors les prélèvements mensuels moyens,
- **Sur une ou plusieurs années particulières**, caractérisées notamment par l'intensité des prélèvements : on considère alors les prélèvements nets de l'année considérée, de manière à évaluer la réponse du système à des niveaux de prélèvements nets particulièrement élevés.

4.9 Calcul de la recharge

L'analyse quantitative simplifiée doit permettre d'apprécier l'impact actuel des prélèvements sur les ressources en eau afin de déterminer les territoires qui se trouvent en tension quantitative. A cette fin il convient d'apprécier les capacités de recharge des différents aquifères de la région Grand Est. De cette recharge nous déduirons a posteriori l'impact du prélèvement au droit de chaque zone homogène par rapport à la recharge théorique.

4.9.1 Données utilisées

Les données d'entrée utilisées pour le calcul de la recharge sont :

- Les **chroniques mensuelles (2000-2019) de pluviométrie et dévapotranspiration potentielle (ETP) de Météo France**, obtenues respectivement pour 40 et 10 stations réparties sur le secteur d'étude : des valeurs moyennes au droit de chaque zone homogène sont calculées au moyen de polygones de Thiessen ;
- **L'occupation des sols** selon le référentiel cartographique **Corine Land Cover 2018** ;
- Les **coefficients culturaux** par classe d'occupation des sols issus de la bibliographie (Travaux de *Nistor – Voir référence supra*)
- La **texture** d'après les référentiels régionaux pédologiques (RRP) recensés sur la région auprès des chambres d'agriculture, et la **sensibilité à la battance** résultante, définie d'après la répartition proposée par l'INRA Orléans ;
- La **carte de la Réserve Utile en eau en France métropolitaine à l'échelle 1/1 000 000** (*source : Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p*). Les données proviennent de la Base de Données Géographique des Sols Français (BDGSF) et la couche shapefile a été téléchargée sur le site GISSOL ;
- La **pente** obtenue avec le **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** fourni par **l'IGN (BD ALTI) au pas de 75m** ;
- Les **coefficients de ruissellement** fournis par la bibliographie (travaux scientifiques) déduits du croisement des critères d'occupation des sols, de la pente et de la nature des sols.

4.9.2 Méthodologie de calcul de la recharge

Dans la pratique, nous utilisons la formule de **calcul du bilan hydrique** suivante pour estimer la contribution des précipitations à la recharge de la nappe :

$$\boldsymbol{PL} = (\boldsymbol{R} + \boldsymbol{Ru}) + \boldsymbol{ETR} + \Delta\boldsymbol{RFU} = \boldsymbol{PL_{eff}} + \boldsymbol{ETR} + \Delta\boldsymbol{RFU}$$

Avec, sur la période considérée :

- $\boldsymbol{PL}$ les précipitations moyennes (mm)
- $\boldsymbol{R}$ la lame d'eau infiltrée assimilée à la recharge des nappes (mm)
- $\boldsymbol{Ru}$ le ruissellement superficiel (mm) = précipitation * coefficient de ruissellement
- $\boldsymbol{PLeff = R + Ru}$, la pluie efficace (mm), assimilable à la recharge globale du système
- $\boldsymbol{ETR}$ l'évapotranspiration réelle (mm)
- $\Delta\boldsymbol{RFU}$ la variation de la Réserve facilement utilisable du sol.

La recharge tient donc compte des précipitations, de la part évacuée du système par ruissellement, et de l'effet de la végétation qui ponctionne une part de la lame d'eau infiltrée. On considère que la fraction ruisselée sort du système et qu'elle ne se réinfiltre pas en aval (évacuation par les cours d'eau).

Nous introduisons également dans la formule de calcul, au travers de l'ETR, **la Réserve en eau Facilement Utilisable (RFU)** par la végétation, qui constitue une variable d'ajustement de la lame

d'eau infiltrée au regard de la capacité du sol à contenir un volume d'eau dans les horizons superficiels.

Les calculs de bilan hydrique sont effectués de manière chronologique au pas de temps mensuel :

- Dans un premier temps, une comparaison entre les valeurs de précipitation et d'ETP est réalisée.
- L'estimation de l'Evapotranspiration réelle (ETR) en résulte : cette dernière est égale au minimum de deux premières variables, éventuellement complété par la réserve d'eau du sol (RFU) si les précipitations ne sont pas suffisamment abondantes.
  Lorsque les précipitations excédent l'ETP (on a alors ETR = ETP), l'eau captée supplémentaire complète dans un premier temps la RFU, si RFU<RFU_{max}. Le reste constitue l'excédent d'eau, disponible pour le ruissellement et la recharge de la nappe : c'est la pluie efficace, dont la production est explicitée sur la Figure 33.

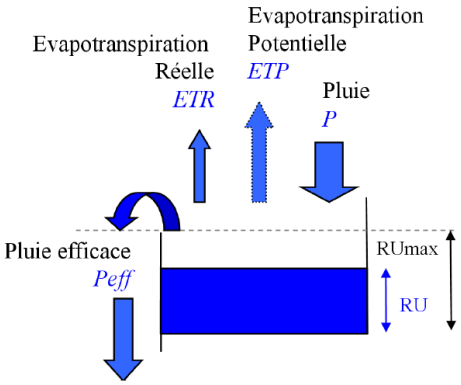


Figure 33 : Le modèle de Thornthwaite (1948) : production de la Pluie Efficace (Source : Vittecoq et Al, 2010)

La pluie efficace, égale à la somme du ruissellement superficiel et de l'infiltration, tient donc compte des précipitations, de l'effet de la végétation qui ponctionne une part de la lame d'eau infiltrée via le mécanisme d'évapotranspiration, et de la réserve en eau facilement utilisable (RFU). Ce dernier paramètre, qui dépend des caractéristiques des sols, correspond à la fraction de l'eau contenue dans les horizons superficiels du sol mobilisable par la végétation.

Dans la pratique, pour tenir compte des besoins en eau des plantes, le bilan hydrique fait également intervenir l'**évapotranspiration maximale** (ETM). **Cette valeur, généralement utilisée par les agronomes, représente la lame d'eau maximale pouvant être évapotranspirée par le couvert végétal lorsque ses besoins en eau sont satisfaits**. Elle est calculée mensuellement, en **corrigeant l'ETP par un coefficient cultural moyen, qui peut être supérieur à 1** (dans le schéma de la Figure 33, ceci revient à remplacer le terme ETP par l'ETM) :

$$\boldsymbol{ETM = Kc * ETP}$$

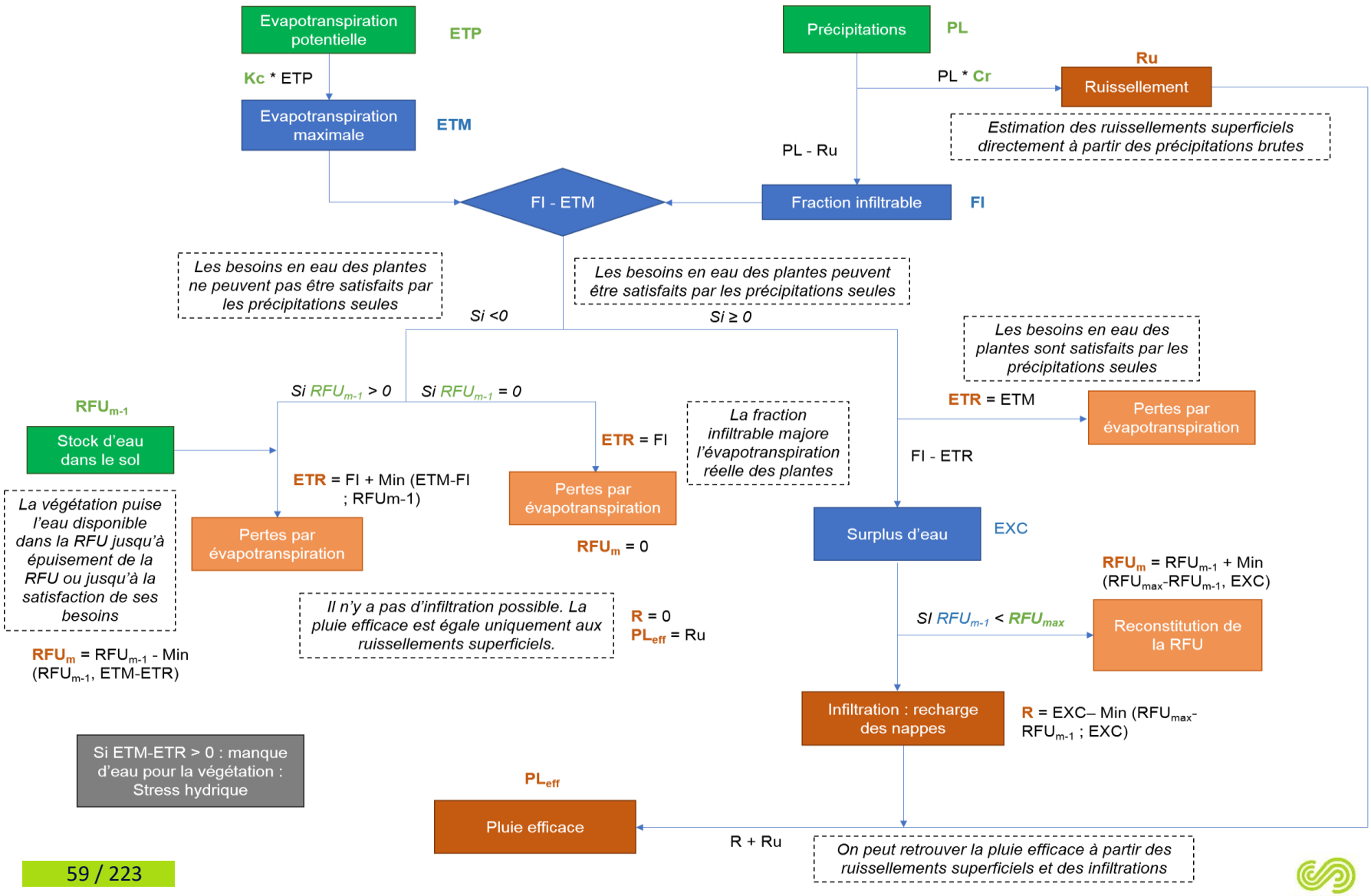
Dans certaines conditions, en fonction du couvert végétal, l'évaporation réelle ETR peut être égale à l'ETM, elle-même supérieure à l'ETP.

A partir de l'ETM, on peut calculer un stress hydrique, qui correspond à la différence entre le besoin en eau maximal théorique des plantes (ETM) et la quantité d'eau réellement évapostranspirée (ETR), fonction de la quantité d'eau que la plante a réellement à disposition :

$$\boldsymbol{Stress\ Hydrique = ETM - ETR}$$

La méthodologie complète du calcul mois par mois est explicitée sur la figure en page suivante.

Figure 34 : Schéma explicatif du calcul de la pluie efficace et de la recharge



4.9.3 Détermination des paramètres d'analyse

4.9.3.1 Précipitations moyennes mensuelles

Les chroniques mensuelles de précipitations sont obtenues auprès de Météo-France pour les 40 stations de référence définies sur le secteur. Des chroniques moyennes par secteur sont obtenues via l'utilisation des polygones de Thiessen.

4.9.3.2 Evapotranspiration potentielle (ETP) et évapotranspiration maximale (ETM)

Les chroniques mensuelles d'évapotranspiration potentielle peuvent être obtenues auprès de Météo-France pour les 10 stations de référence définies sur la région, ou recalculées à partir des températures disponibles à ces mêmes stations. Les chroniques moyennes par secteur sont obtenues via l'utilisation des polygones de Thiessen.

L'**évapotranspiration maximale** (ETM) est calculée mensuellement à partir de ces données, en **corrigeant l'ETP par le coefficient cultural moyen** :

$$ETM = Kc * ETP$$

Les coefficients culturaux permettent de prendre en compte les différentes cultures ou ensembles de végétation du territoire ainsi que leurs stades de développement. Nistor et Al. (2018)[2] a défini des valeurs saisonnières de coefficients culturaux par classe d'occupation des sols de Corine Land Cover. Nous calculons alors, selon la répartition moyenne de ces classes au niveau de la zone homogène, un **coefficient cultural moyen pour chaque mois** (Tableau 19).

Tableau 19 : Coefficients culturaux par classe d'occupation des sols (source : Nistor et al, 2018) et calcul des coefficients culturaux moyens sur la zone homogène n°2

			Coefficients culturaux (source: Nistor et al, 2018 ; Allen et al, 1998)											
	Superficie 2018 (ha)	Coefficient de pondération	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
111 - Tissu urbain continu	71.5	0.03%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.25	0.25	0.00	0.00
112 - Tissus urbain discontinu	6 206.3	2.85%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
121 - Zone industrielles ou commercial	1 311.9	0.60%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
122 - Réseaux routier et ferroviaires et	94.3	0.04%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.00	0.00
123 - Zones portuaires	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.00	0.00
124 - Aéroports	858.2	0.39%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
131 - Extraction de matériaux	289.2	0.13%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
132 - Décharges	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
133 - Chantiers	41.2	0.02%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
141 - Espaces verts urbains	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.32	0.32	0.32	0.22	0.22	0.00	0.00
142 - Equipements sportifs et de loisirs	100.5	0.05%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
211 - Terres arrables hors périmètres d	170 945.6	78.39%	0.00	0.00	1.10	1.10	1.10	1.35	1.35	1.35	1.25	1.25	0.00	0.00
221 - Vignobles	9 272.8	4.25%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.70	0.70	0.70	0.45	0.45	0.00	0.00
222 - Vergers et petits fruits	25.0	0.01%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	1.05	1.05	1.05	0.50	0.50	0.00	0.00
231 - Prairies et autres surfaces toujou	839.0	0.38%	0.00	0.00	0.40	0.40	0.40	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.00	0.00
242 - Systèmes culturaux et parcellaire	1 303.0	0.60%	0.00	0.00	1.10	1.10	1.10	1.35	1.35	1.35	1.25	1.25	0.00	0.00
243 - Surfaces essentiellement agricole	1 794.8	0.82%	0.00	0.00	0.70	0.70	0.70	1.15	1.15	1.15	1.00	1.00	0.00	0.00
311 - Forêts de feuillus	18 280.8	8.38%	0.60	0.60	1.30	1.30	1.30	1.60	1.60	1.60	1.50	1.50	0.60	0.60
312 - Forêts de conifères	1 279.5	0.59%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
313 - Forêts mélangées	1 378.7	0.63%	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50	1.50	1.30	1.30	0.80	0.80
321 - Pelouses et pâturages naturels	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	1.15	1.15	1.15	1.10	1.10	0.00	0.00
322 - Landes et broussailles	286.2	0.13%	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.00	0.00
324 - Forêt et végétation arbustive en	1 421.5	0.65%	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.00	0.00
332 - Roches nues	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.00	0.00
333 - Végétation clairsemée	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.40	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50	0.00	0.00
411 - Marais intérieurs	2 060.5	0.94%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.45	0.45	0.45	0.80	0.80	0.00	0.00
412 - Tourbières	55.7	0.03%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.75	0.75	0.00	0.00
511 - Cours et voies d'eau	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.65	0.65	0.65	1.25	1.25	0.00	0.00
512 - Plans d'eau	152.2	0.07%	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.65	0.65	0.65	1.25	1.25	0.00	0.00
Surface totale	***218 068.5***	***100%***	***0.06***	***0.06***	***1.02***	***1.02***	***1.02***	***1.28***	***1.28***	***1.28***	***1.18***	***1.18***	***0.06***	***0.06***

[2] Nistor, M.-M., Man, T. C., Benzaghta, M. A., Nedumpallile Vasu, N., DEZSI, Ş., & Kizza, R. (2018). Land Cover and Temperature Implications for the Seasonal Evapotranspiration in Europe. *Geographia Technica*, *13*(1), 85-108. https://doi.org/10.21163/GT_2018.131.09

4.9.3.3 Réserve facilement utilisable (RFU)

Au regard de sa relation avec la végétation, l'eau dans le sol se décompose en deux ensembles que sont la Réserve Utile (RU), utilisable par les plantes, et la réserve non utilisable du fait des liaisons entre les molécules d'eau et les particules du sol.

La RU se décompose en deux fractions que sont :

- La **Réserve Facilement Utilisable** (RFU) qui correspond au stock d'eau des horizons supérieurs pédologiques, mobilisable par la végétation, qui entre dans le calcul de la recharge.
- La **Réserve Difficilement Utilisable (RDU)** qui peut être mobilisée sous conditions.

Le reste de l'eau présente dans le sol constitue l'eau « non utilisable ».

La Réserve Facilement Utilisable n'est pas une donnée fournie en l'état par les différentes sources d'information. Elle est **fonction du type de sol**. La donnée accessible est la réserve utile qui fait l'objet de cartographies locales ou nationales. GIS Sol[3] présente une **carte de la Réserve Utile en eau en France métropolitaine** à l'échelle 1/1 000 000 (*Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.).*

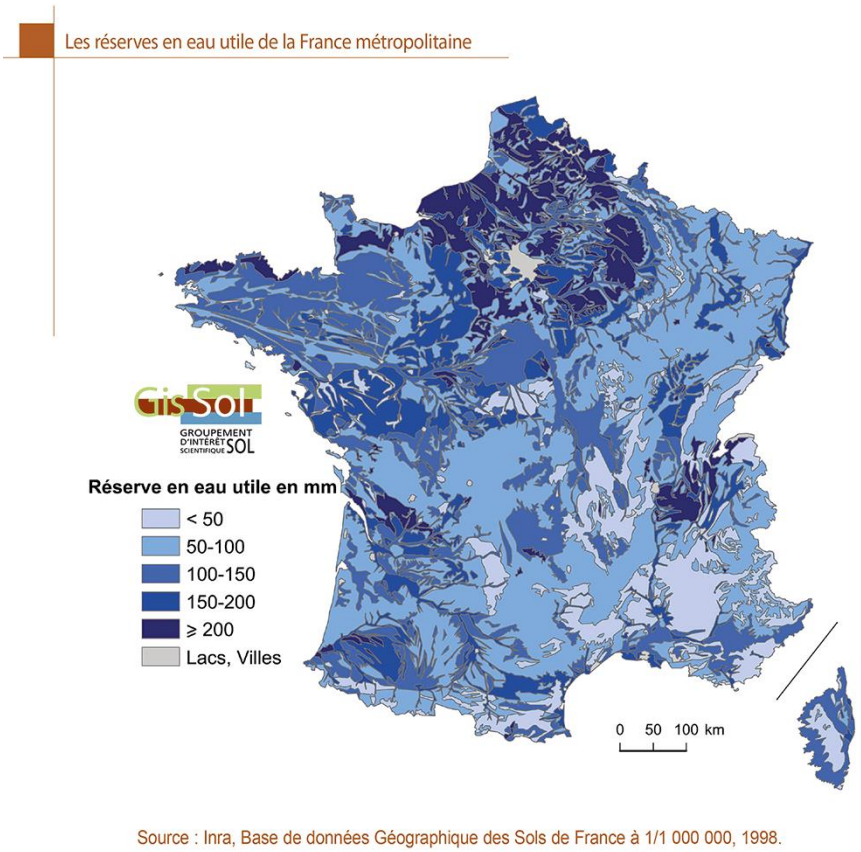


Figure 35 : Carte des réserves en eau utile de la France métropolitaine à l'échelle 1/1 000 000 (Source : Gis Sol)

[3] Le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) a été créé en France en 2001. Il regroupe le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du développement Durable et de la Mer, l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Inventaire Forestier National (IFN).

Nous proposons de retenir ces valeurs de RU pour les sols de la région Grand Est et de leur associer une RFU de la manière suivante (ratio courant proposé par les Chambres d'Agriculture, Arvalis, etc.) :

RFU retenue = 2/3 RUmax

La carte des réserves en eau utile de la France métropolitaine à l'échelle 1/1 000 000 utilisée ici (Figure 35) présente des intervalles de valeurs. Les valeurs retenues pour chaque catégorie sont précisées dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Valeur de RU retenue par classe de la carte utilisée

Intervalle de RU indiqué en légende de la carte	Valeur de RU retenue
<50 mm	50 mm
50 – 100 mm	75 mm
100 – 150 mm	125 mm
150 – 200 mm	175 mm
>200 mm	200 mm
Non sols (Lacs, villes…)	0 mm

Une **valeur moyenne de la RFU** est alors obtenue pour chaque zone homogène.

4.9.3.4 Ruissellement superficiel

D'après le Guide méthodologique de délimitation des bassins d'alimentation et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses (BRGM/RP55874-FR, 2007)[4], la **méthode de Bussard** (2005)[5] peut être utilisée pour approcher une valeur du coefficient de ruissellement.

D'après cette méthode, le coefficient de ruissellement est obtenu par le **croisement de trois paramètres** :

- L'occupation des sols,
- La pente,
- Le type de sol.

Le Tableau 22 présente une adaptation de la méthode de Bussard au regard des données disponibles. Ce procédé a déjà été appliqué localement au travers d'études d'Aires d'Alimentation de Captages notamment.

Ce croisement est réalisé cartographiquement à une maille de 75m : chacune de ces mailles présente donc une valeur de coefficient de ruissellement caractéristique du type de sol intercepté, de la pente interceptée et de l'occupation des sols interceptée. Une **valeur moyenne** est ensuite obtenue pour chaque zone homogène.

[4] Vernoux, J.-F., Wuilleumier, A., & Dörfliger, N. (2007). *Délimitation des bassins d'alimentation des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses* (BRGM/RP-55874-FR). BRGM. 75p.

[5] Bussard, T. (2005). *Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants* (Thèse de doctorat). Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 172p.

4.9.3.5 Pente

Les coefficients de ruissellement sont définis pour 3 classes de pente, retenues d'après les critères suivants :

- **Pentes < 2 %** pour lesquelles on n'observe pas de ruissellement de surface stricts ;
- **Pentes entre 2 et 5 %** pour lesquelles un ruissellement peut se produire, en fonction de l'intensité de la pluie et du type de sol ;
- **Pentes > 5 %** pour lesquelles on observe un ruissellement quelle que soit la pluie.

La pente est extraite du Modèle Numérique de Terrain au pas 75 m (BDALTI®).

4.9.3.6 Occupation des sols

Nous retenons les 3 classes d'occupation du sol suivantes sur la zone d'étude :

- Les **zones cultivées** (CU),
- Les **bois et prairies** (BP),
- Les **zones urbanisées** (ZU).

Les correspondances entre les 29 classes de la nomenclature Corine Land Cover (CLC) présentes sur la région Grand Est et les 3 classes retenues ci-dessus sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 21).

Tableau 21 : Classification en trois classes de l'occupation des sols (Corine land Cover 2018)

Code CLC 2018	Libellé	Classe retenue
111	Tissu urbain continu	ZU
112	Tissus urbain discontinu	ZU
121	Zone industrielles ou commerciales et réseaux de communication	ZU
122	Réseaux routier et ferroviaires et espaces associés	ZU
123	Zones portuaires	ZU
124	Aéroports	ZU
131	Extraction de matériaux	ZU
132	Décharges	ZU
133	Chantiers	ZU
141	Espaces verts urbains	BP
142	Equipements sportifs et de loisirs	ZU
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	CUL
221	Vignobles	CUL
222	Vergers et petits fruits	CUL
231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	BP
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	CUL
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	CUL
311	Forêts de feuillus	BP
312	Forêts de conifères	BP
313	Forêts mélangées	BP
321	Pelouses et pâturages naturels	BP
322	Landes et broussailles	BP
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	BP
332	Roches nues	BP
333	Végétation clairsemée	BP
411	Marais intérieurs	BP
412	Tourbières	BP
511	Cours et voies d'eau	BP
512	Plans d'eau	BP

Ces classes d'occupation des sols permettent de prendre en compte les aménagements anthropiques dans le fonctionnement hydrologique du territoire, au regard notamment de l'effet qu'ils produisent dans la répartition de lame d'eau précipité en infiltration ou ruissellement. En effet, pour une même pente, une surface imperméabilisée (type urbanisée) présentera un ruissellement important par rapport à une surface en prairie ou une surface cultivée.

L'occupation des sols prise en compte est celle de la base de données **Corine Land Cover 2018**.

4.9.3.7 Pédologie

Les **Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP)** d'Alsace, de Champagne-Ardenne et de Lorraine ont été obtenus auprès des chambres d'agriculture. Ces cartes, à **l'échelle 1/250 000**, renseignent notamment la **texture** des différentes Unités cartographiques de sols (UCS) selon les classes des triangles de texture de l'AISNE, de l'USDA ou du GEPPA. Nous avons harmonisé ces données afin qu'elles correspondent aux classes de texture du triangle de l'AISNE :

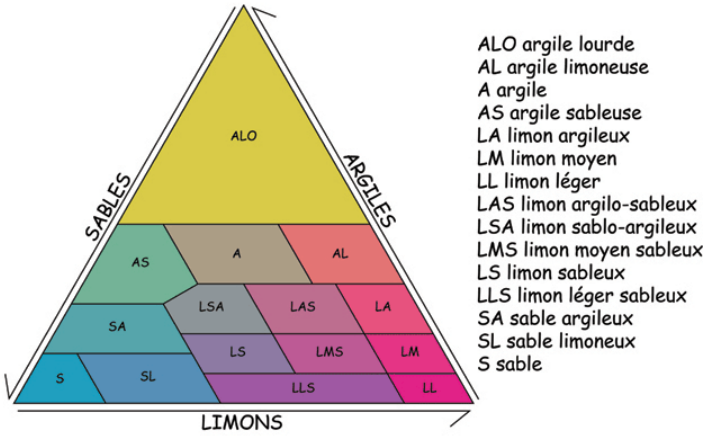


Figure 36 : Triangle de texture de l'Aisne

Par ailleurs, l'INRA Orléans propose une indication de la sensibilité à la battance selon ces classes texturales (Figure 37) :

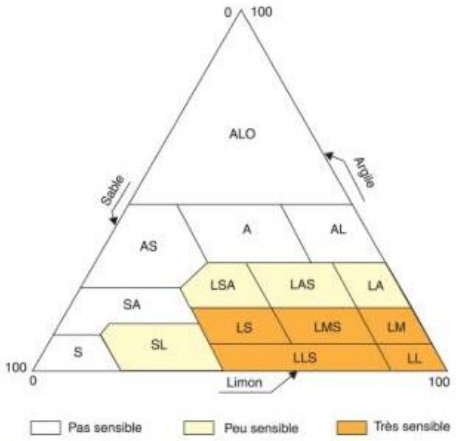


Figure 37 : Classes texturales et leur sensibilité à la battance (INRA Orléans)

Nous retenons finalement pour le calcul du coefficient de ruissellement trois classes :

- **Classe A** : Limoneux très battant ;
- **Classe B** : Limoneux à limono-argileux moyennement battant ;
- **Classe C** : Argilo-limoneux et autres peu battants et non battants.

4.9.3.8 Valeur des coefficients de ruissellement d'après Bussard (2005)

Les **valeurs des coefficients de ruissellement retenues** d'après la méthode de Bussard prenant en compte 3 types d'occupation du sol, 3 types de sols et 3 classes de pentes sont reportées dans le tableau suivant (Tableau 22).

Tableau 22 : Coefficients de ruissellement adaptés à partir de la méthode Bussard

Occupation du sol	Sensibilité à la battance	% de pente	Coefficient de ruissellement retenu
Zones cultivées	A : limoneux très battant	< 2%	12%
		2 – 5 %	20%
		> 5%	30%
	B : limoneux à limono-argileux moyennement battant	< 2%	6%
		2 – 5 %	10%
		> 5%	15%
	C : argilo-limoneux et autres peu battants et non battants	< 2%	2%
		2 – 5 %	5%
		> 5%	8%
Forêts et prairies		< 2%	0%
		2 – 5 %	1%
		> 5%	3%
Zone urbanisée			45%

4.9.3.9 Evapotranspiration réelle ETR

L'évapotranspiration réelle (ETR) représente la lame d'eau réellement évapotranspirée par la végétation dans des conditions hydriques suffisantes. Elle provient soit des précipitations uniquement (hiver), soit d'un mixte (précipitations et RFU) lorsque la pluie ne permet pas de satisfaire les conditions réelles :

- Lorsque **Pr-Ru > ETM, ETR = ETM**. L'excédent reconstitue la RFU (jusque RFU max) et le solde participe à la recharge.
- Lorsque **Pr-Ru < ETM, ETR = Pr, avec, tant que RFU >0mm, un complément puisé dans la réserve du sol** ; il n'y a pas de recharge pour le mois correspondant.

Le calcul de la recharge (lame d'eau infiltrée) est alors effectué au pas de temps mensuel, sur une période suffisamment longue pour couvrir des situations hydrométéorologiques contrastées (2000 – 2018).

Le tableau suivant présente un extrait du tableur de calcul de la recharge de la zone homogène 2, dont la RFU moyenne maximale a été estimée à 125mm, et le coefficient de ruissellement moyen à 13,9%. On estime que la RFU initiale (fin décembre 2009) est complète.

Tableau 23 : Calcul de la recharge sur la zone homogène 2, extrait du tableur

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Précipitations (mm)	16.50	71.30	44.40	70.60	76.70	39.20	157.60	43.00	38.90	86.70	104.80	65.20	814.90
Ruissellement (mm)	2.30	9.93	6.19	9.84	10.69	5.46	21.96	5.99	5.42	12.08	14.60	9.08	113.54
Déficit P-R (mm)	14.20	61.37	38.21	60.76	66.01	33.74	135.64	37.01	33.48	74.62	90.20	56.12	701.36
ETP (mm)	11.30	19.40	46.90	75.90	108.80	123.90	134.50	112.60	67.50	34.80	12.80	8.50	756.90
Kc (sans unité)	0.06	0.06	1.02	1.02	1.02	1.28	1.28	1.28	1.18	1.18	0.06	0.06	-
ETM (mm)	0.69	1.19	48.05	77.76	111.47	159.18	172.80	144.66	79.86	41.17	0.78	0.52	838.14
ETR (mm)	0.69	1.19	48.05	77.76	111.47	86.41	135.64	37.01	33.48	41.17	0.78	0.52	574.18
RFU fin du mois (mm)	124.96	124.96	115.13	98.13	52.67	0.00	0.00	0.00	0.00	33.45	122.86	124.96	-
Lame infiltrée (mm)	**13.51**	**60.18**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**53.49**	**127.18**

A titre d'exemple :

- Pour le mois de **décembre**, les besoins potentiels en eau de la végétation (0,52 mm) peuvent être satisfaits par les précipitations uniquement (65,20 mm) après soustraction de la partie ruisselée (9,08 mm). La part infiltrable des précipitations (56,12 mm) permet donc de reconstituer le stock d'eau dans les horizons supérieurs pédologiques (RFU) jusqu'à son maximum (124.96 mm dans l'exemple ci-dessus), et de participer à la recharge pour le reste (53,49 mm).
- A l'inverse, pour le mois de **mars**, la fraction infiltrable des précipitations (44,40 mm – 6,19 mm = 38,21 mm) ne permet pas de satisfaire entièrement les besoins potentiels en eau de la végétation (48,05 mm), qui va puiser dans la RFU du mois précédent (124,96 mm) pour compléter ses besoins. On constate donc un déstockage de la réserve en eau du sol (124,96 mm – 9,84mm = 115,13 mm). La recharge est nulle dans ce cas de figure puisque toute l'eau infiltrée a été utilisée par la végétation.

Il est ainsi possible d'obtenir une **recharge mensuelle et annuelle** sur chaque zone homogène en prenant en compte la surface de celle-ci.

4.9.4 Synthèse du calcul de la recharge et de la pluie efficace

Voir page « Recharge et pluie efficace »

Une synthèse du calcul de la recharge et de la pluie efficace est présentée dans les fiches de résultats. Elle restitue :

- Les **paramètres de calculs** : coefficient de ruissellement, RFU moyenne et coefficients culturaux moyens,
- Les **valeurs annuelles moyennes** des différents **termes du bilan hydrique**,
- Les **moyennes mensuelles interannuelles** des différents **termes du bilan hydrique**,
- Les **chroniques mensuelles et annuelles** de la recharge.

Le contenu de la feuille correspondante est illustré ci-après sur la zone homogène 26.

L'ensemble des éléments présentés est issu d'un calcul du bilan hydrique sur la période 2000-2019 <u>au pas de temps mensuel</u>, à partir des chroniques de pluies et d'ETP, recalculée via les températures.

- **Tableau des valeurs annuelles moyennes annuelles des principaux termes du bilan hydrique sur la période 2000-2019 :**

  Les variables annuelles calculées sur la période 2000-2019 correspondent à la somme des variables mensuelles pour chaque année de la période de calcul.

Année	Précipitations	Ruissellement	Déficit P-R	ETP	ETM	ETR	Variation de RFU entre janvier et décembre	RFU en décembre	Lame d'eau infiltrée	Pluie efficace	Manque d'eau pour la végétation	Durée de stress hydrique (mois)
2000	1254.5	351.3	903.3	670.2	648.7	557.3	0.0	66.9	**346.0**	**697.3**	**91.5**	**3**
2001	1394.3	390.4	1003.9	658.6	659.1	530.6	0.0	66.9	**473.3**	**863.7**	**128.5**	**3**
2002	1265.2	354.3	911.0	682.8	679.0	499.5	0.0	66.9	**411.4**	**765.7**	**179.5**	**4**
2003	811.0	227.1	583.9	731.2	738.0	377.0	0.0	66.9	**207.0**	**434.1**	**361.0**	**4**
2004	1100.8	308.2	792.6	629.4	631.6	505.6	0.0	66.9	**287.0**	**567.4**	**126.0**	**4**
2005	947.8	265.4	682.4	651.9	654.8	496.9	0.0	66.9	**185.5**	**450.9**	**157.9**	**5**
2006	1250.5	350.1	900.4	692.1	693.6	546.6	0.0	66.9	**353.7**	**703.9**	**147.0**	**2**
2007	1271.7	356.1	915.6	674.1	666.9	592.9	0.0	66.9	**322.7**	**678.7**	**74.0**	**4**
2008	1126.1	315.3	810.8	642.4	640.2	491.0	0.0	66.9	**319.8**	**635.1**	**149.2**	**3**
2009	1069.6	299.5	770.1	681.9	681.4	467.6	0.0	66.9	**302.6**	**602.1**	**213.8**	**6**
2010	1150.5	322.1	828.4	611.1	617.0	525.1	0.0	66.9	**303.3**	**625.4**	**92.0**	**2**
2011	1003.6	281.0	722.6	687.3	679.9	521.3	0.0	66.9	**201.2**	**482.2**	**158.6**	**5**
2012	1159.7	324.7	835.0	658.1	657.4	518.5	0.0	66.9	**316.5**	**641.2**	**138.9**	**3**
2013	1319.4	369.4	950.0	624.6	629.9	475.4	0.0	66.9	**474.6**	**844.0**	**154.5**	**2**
2014	968.9	271.3	697.6	703.8	694.7	505.3	0.0	66.9	**192.2**	**463.5**	**189.4**	**4**
2015	879.2	246.2	633.0	709.4	707.0	446.9	0.0	66.9	**186.1**	**432.3**	**260.1**	**3**
2016	1150.7	322.2	828.5	666.1	666.6	484.0	0.0	66.9	**344.5**	**666.7**	**182.6**	**3**
2017	1059.4	296.6	762.8	706.2	706.2	489.6	0.0	66.9	**273.2**	**569.8**	**216.6**	**3**
2018	1023.3	286.5	736.8	759.3	756.8	405.2	0.0	66.9	**331.6**	**618.2**	**351.6**	**5**
2019	1060.3	296.9	763.4	714.7	713.6	447.5	0.0	66.9	**315.9**	**612.7**	**266.0**	**4**
Moyenne									**307.4**	**617.7**	**181.9**	**3.6**

Les données calculées sont exprimées en mm.

Tableau 24 : Calcul annuel des différents termes du bilan hydrique (2000-2019)

- **Moyennes mensuelles interannuelles des principaux termes du bilan hydrique sur la période 2000-2019**

  NB : Les moyennes mensuelles interannuelles des variables présentées dans le tableau correspondent à la moyenne des variables mensuelles estimées pour chaque année sur la période 2000-2019 (il ne s'agit donc pas ici d'un calcul réalisé sur 12 mois à partir des pluies et ETP moyennes interannuelles).

  On observe que, pour chaque variable, la somme des moyennes mensuelles interannuelles est quasiment égale à la moyenne annuelle de la variable sur la période 2000-2019. Cette dernière est estimée dans le tableau précédent.

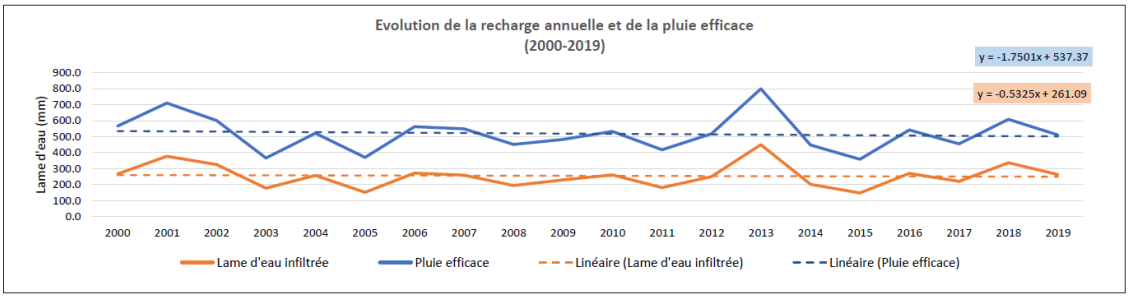
Moyennes mensuelles interannuelles de la recharge et de la pluie efficace (2000-2019) :

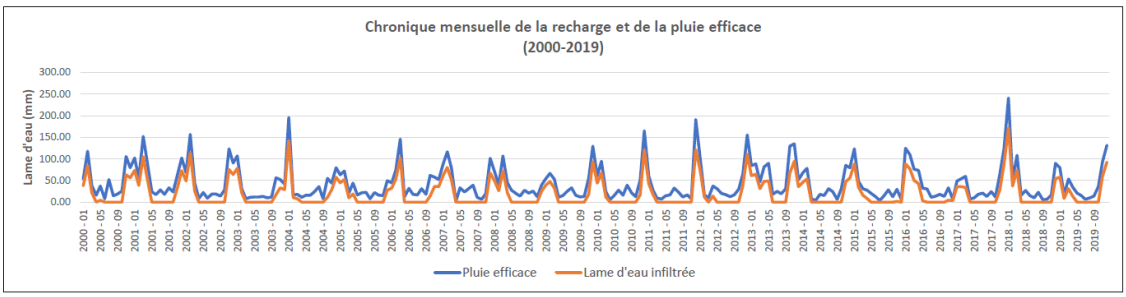
Mois	Précipitations	Ruissellement	Déficit P-R	ETP	ETM	ETR	Variation de RFU	RFU à la fin du mois	Lame d'eau infiltrée	Pluie efficace	Manque d'eau pour la végétation
Septembre	76.40	21.39	55.01	75.62	74.17	50.95	4.06	6.66	0.00	21.39	23.22
Octobre	97.94	27.42	70.51	46.59	43.71	40.55	24.58	31.24	5.39	32.81	3.16
Novembre	106.23	29.75	76.49	19.85	15.51	15.51	27.15	58.38	33.83	63.57	0.00
Décembre	117.89	33.01	84.88	7.97	5.89	5.89	8.49	66.87	70.51	103.52	0.00
Janvier	112.74	31.57	81.17	5.70	4.21	4.21	0.00	66.87	76.96	108.53	0.00
Février	84.20	23.58	60.62	8.29	6.12	6.12	0.00	66.87	53.08	78.78	0.00
Mars	89.41	25.04	64.38	25.04	22.81	22.81	-1.50	65.37	44.02	69.42	0.00
Avril	71.72	20.08	51.64	50.52	46.11	46.11	-11.54	53.82	16.91	36.93	0.00
Mai	95.21	26.66	68.55	82.80	77.73	75.92	-13.30	40.52	5.46	31.93	1.82
Juin	79.52	22.27	57.25	114.59	122.83	92.69	-35.98	4.54	0.00	22.06	30.14
Juillet	88.44	24.76	63.68	127.92	137.12	66.47	-4.54	0.00	0.00	24.08	70.66
Août	94.62	26.49	68.12	113.35	120.45	64.01	2.74	2.74	0.00	25.96	56.43
Moyenne mensuelle	1114.3	312.01	802.31						*25.51*	*51.58*	*15.45*

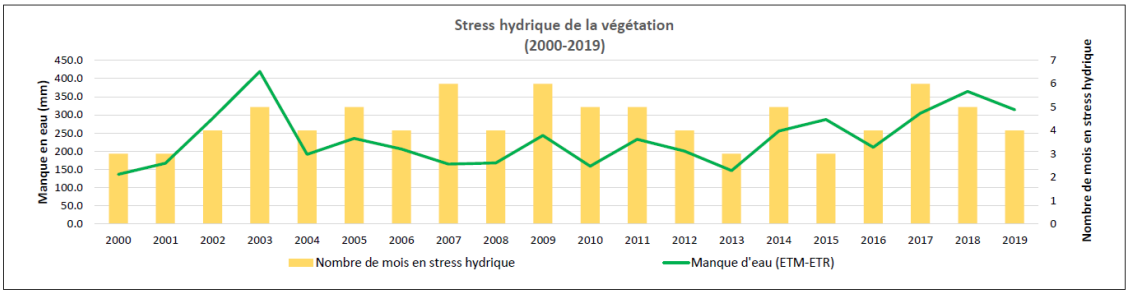
Les données calculées sont exprimées en mm.

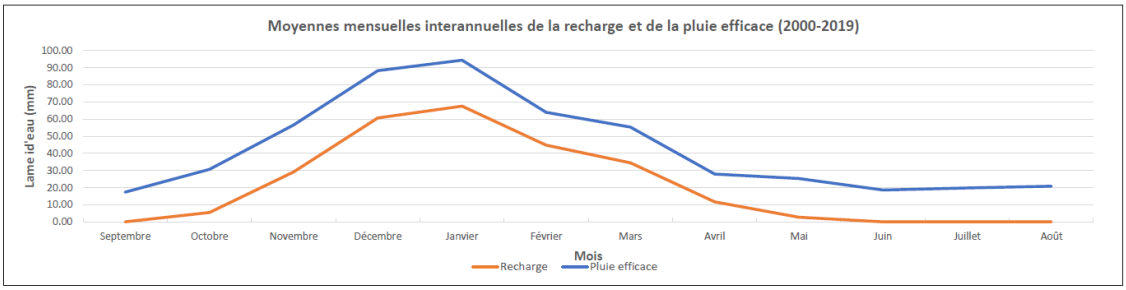
Figure 38 : Moyennes mensuelles interannuelles des différents termes du bilan hydrique (2000-2019)

- **Graphiques associés :** les éléments fournis par les différents tableaux sont repris sous forme de graphiques, illustrés sur la figure en page suivante pour la zone homogène 26.









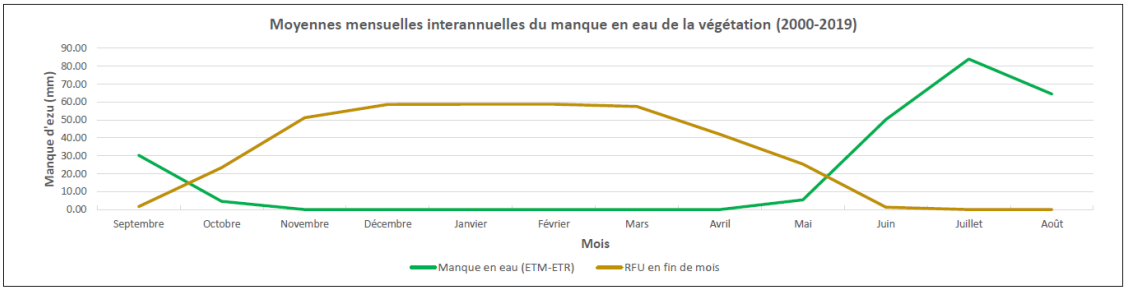


Figure 39 : Sorties graphiques illustrant le bilan hydrique à l'échelle annuelle et mensuelle sur le secteur 26

4.10 Synthèse des indicateurs globaux

Voir page « Synthèse des indicateurs »

Cette page synthétise les indicateurs présentés précédemment :

- **En année moyenne**,
- **Pour une année « en tension »** caractérisée sur un secteur donné comme l'année ayant connu la plus faible recharge (ou le plus faible débit) sur la période 2008-2017.

4.11 Projections aux horizons 2030 et 2050

4.11.1 Données générales

En ce qui concerne les données générales :

- On considèrera en première approche que l'évolution de certains usages (AEP, assainissement) est proportionnelle à l'évolution démographique attendue.
- Pour ce qui concerne l'évolution de l'occupation des sols, celle-ci pourra le cas échéant être modifiée sur certains secteurs, à condition que des évolutions très perceptibles soient attendues (par exemple : urbanisation au détriment des terres agricoles, forte évolution des secteurs en culture…).

4.11.2 Extractions des données DRIAS Températures et Précipitations

4.11.2.1 Extractions DRIAS aux stations météorologiques

Les données météorologiques de la plateforme DRIAS sont des données de forçage essentielles pour les différentes projections. La stratégie suivante est proposée, pour rester en cohérence avec l'approche retenue pour l'évaluation des pluies et de l'ETP sur chaque secteur homogène pour la période observée :

- Pour chaque scénario et chaque horizon, extraction des séries mensuelles de pluies et de températures sur une période a minima de **20 ans** centrée sur l'horizon étudié :
  - C'est-à-dire pour les périodes **1981-2005** (référence DRIAS), **2020-2040** pour l'horizon 2030 et **2040-2060** pour l'horizon 2050,
  - **Aux points de grille DRIAS les plus proches des stations d'observations météorologiques retenues pour caractériser la situation actuelle** (Pour rappel : 40 postes pluviométriques (Figure 6) et 10 stations « ETP » (Figure 7)),
- **Correction de biais éventuelle** (voir paragraphe suivant),
- **Calcul de l'ETP moyenne mensuelle** à partir de la formule de Thornthwaite (voir ci-après),
- Affectation des **pluies et de l'ETP sur chaque secteur homogène à partir des polygones de Thiessen** utilisés pour les observations et présentés sur la Figure 6 (Pluie) et la Figure 7 (ETP),
- Sur chaque zone homogène, on peut alors comparer les précipitations et l'ETP moyennes annuelles et mensuelles projetées avec celles de la situation actuelle **puisqu'elles sont évaluées de la même manière, à partir de la même pondération de Thiessen.**

Remarques :

- La méthode proposée a pour objectif d'être **la plus cohérente possible** avec la méthode utilisée pour répartir les observations sur le territoire pour la situation actuelle.
- Une autre solution possible est d'extraire les séries mensuelles de la base DRIAS sur un plus grand nombre de points de la grille de calcul puis d'en faire la moyenne sur chaque secteur homogène. Cette approche nous semble cependant **introduire un biais** dans la comparaison des projections avec la situation actuelle.

4.11.2.2 Corrections des biais – comparaison DRIAS / Observations

Les modèles climatiques sont par nature imparfaits. Leur capacité à reproduire les observations est entachée d'un certain niveau de biais, qui se traduit par un écart entre l'observation et sa reconstitution par le modèle.

Il est important de corriger ce biais, qui, en termes de projections climatiques, peut être significatif et d'une amplitude assez voisine de celle des impacts que l'on cherche à mettre en évidence.

Il convient de bien veiller aux comparaisons mises en œuvre :

- On peut comparer des projections DRIAS aux données de la période de référence DRIAS,
- On ne peut pas comparer des projections DRIAS avec des observations « réelles » sur la période 2000-2019 (précipitations et températures acquises auprès de Météo France). Il faut pour ce faire utiliser une correction de biais.

Il existe deux méthodes de correction de ces biais pouvant être mises en œuvre :

- **La méthode de correction des biais (Debiaising method),**
- **La méthode des écarts (Delta method).**

Ces deux méthodes ont été testées dans l'étude. Elles sont explicitées dans la suite. La méthode des écarts a été retenue car elle génère moins d'incertitudes que la méthode de correction des biais

Une approche possible : la correction de biais

Il nous semble intéressant de proposer ici une méthode de correction des biais des modèles climatiques.

Il s'agit ici de mettre en évidence l'écart généralement constaté entre les données observées et les données simulées par les modèles. Pour ce faire, un biais mensuel est estimé par comparaison, sur la même période, des moyennes mensuelles obtenues selon les différentes sources de données. Exemple concernant les températures :

$$Biais_T(Mois, modèle) = Tmoy_{modèle}(Mois, modèle) - Tmoy_{observée}(Mois)$$

En faisant l'hypothèse que ce biais reste constant selon les années (hypothèse forte mais souvent réalisée), l'erreur ainsi mise en évidence est alors enlevée mois par mois sur les chroniques simulées :

$$T_{corrigée}(Mois, modèle) = T_{modèle}(Mois, modèle) - Biais_T(Mois, modèle)$$

Météo-France met à disposition des fiches climatologiques, recensant les moyennes mensuelles de données climatiques (dont les températures moyennes et les cumuls de précipitations) sur la période de 1981-2010. Des biais peuvent alors être estimés entre ces données et les simulations des modèles, en restreignant la période de référence à 1981-2005 (nous faisons l'hypothèse que les 5 années de différences n'entacheront pas l'estimation du biais). Toutefois, de telles fiches ne sont pas disponibles pour la plupart des stations de référence qui ont été retenues sur la période actuelle. 19 stations disposant de fiches ont ainsi été sélectionnées puis attribuées à

chacune zone homogène (au moyen de polygones de Thiessen). Les biais ont été mis en évidence à partir des résultats des simulations obtenus au niveau des points SAFRAN les plus proches de ces nouvelles stations. Les biais estimés au droit de la station choisie ont été enlevés aux chroniques de pluviométrie et de températures calculées précédemment pour la zone homogène considérée. Les chroniques résultantes ont été utilisées pour l'estimation de l'évapotranspiration et de la recharge de l'hydrosystème (pluie efficace et recharge des nappes souterraines).

Concrètement, la démarche est la suivante :

- **Mise en évidence des biais des modèles CNRM et IPSL :**
  - A partir des fiches climatiques mises à disposition par Météo France, on peut disposer des moyennes de précipitations et de températures sur 19 postes d'observation « essentiels » de la région Grand Est sur la période 1981-2010.
  - Les périodes de référence des modèles climatiques disponibles sur la plateforme DRIAS s'étendent de 1950 à 2005 (modèle CNRM) ou 1971-2005 (modèle IPSL). Au-delà de 2005, les données disponibles sont des « scénarios », intégrant un forçage radiatif.
  - Pour chacun des deux modèles on peut calculer les moyennes de précipitations et températures mensuelles sur la période **1981-2005** aux points de grilles les plus proches des stations essentielles de la région Grand Est.
  - Chaque valeur est alors comparée mois par mois avec la moyenne correspondante issue de la fiche climatique, calculée sur la période 1981-2010. Mois par mois, on peut donc calculer un **biais mensuel moyen (ou anomalie)** du modèle considéré :
    - **$Biais(T)_{(Mois,\ modèle)} = T_{modèle}(Mois, modèle) - T_{observée}(Mois)$**
    - **$Biais(P)_{(Mois,\ modèle)} = P_{modèle}(Mois, modèle) - P_{observée}(Mois)$**
    - **Exemple :** « *l'anomalie moyenne de température du modèle X au mois de janvier est -0.5°C » signifie que le modèle X a tendance à sous-estimer les températures du mois de janvier de 0.5°C en moyenne.*
- **Correction de biais des séries climatiques mensuelles :**
  - On part du principe que le biais moyen d'un modèle constaté sur la période d'observation est stable dans le futur.
  - On peut alors corriger les séries mensuelles DRIAS extraites sur les périodes 2020-2040 et 2040-2060 pour diminuer l'influence du biais de modèle. On considère pour ce faire :
    - **$T_{corrigée}(mois, modèle) = T_{DRIAS}(mois, modèle) - Biais(T)_{(Mois,\ modèle)}$**
    - **$P_{corrigée}(mois, modèle) = P_{DRIAS}(mois, modèle) - Biais(P)_{(Mois,\ modèle)}$**

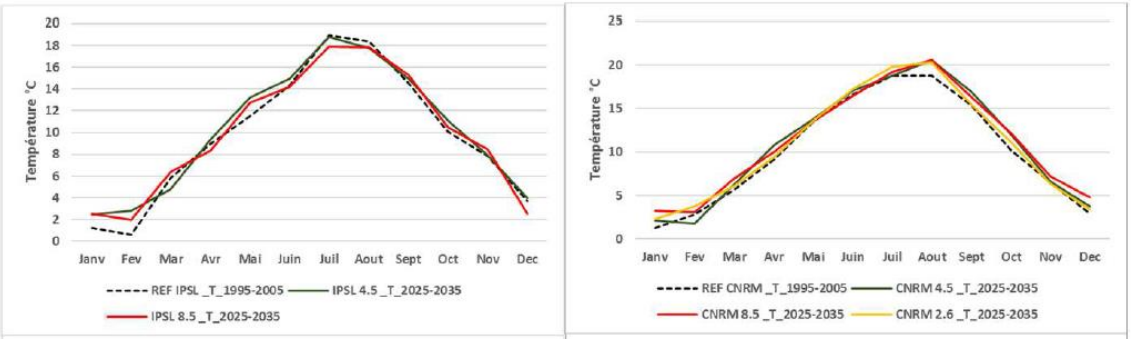
Remarque : avant toute décision sur le fait d'appliquer cette correction de biais, il convient de préciser qu'elle est elle-même entachée d'approximations, en particulier :

- Le calcul des biais se fait sur des périodes légèrement différentes (1981-2005 pour les modèle vs 1981-2010 pour les observations). Les erreurs induites devraient cependant être marginales.
- La persistance du biais dans le temps (hypothèse forte mais classique),
- Le fait que les biais ne pourront être estimés que sur une dizaine de points, et qu'ils seront donc répartis géographiquement sur les zones homogènes de manière sommaire (Dans la pratique : on considèrera qu'une zone homogène sera soumise aux biais issus du point de contrôle le plus proche…).
- Pour se convaincre de l'intérêt de la correction de biais, il est utile de se reporter à la Figure 40 qui permet de comparer, **pour la période de référence réduite 1985-2005**, les températures et précipitations moyennes mensuelles sur la région Grand Est fournies par les

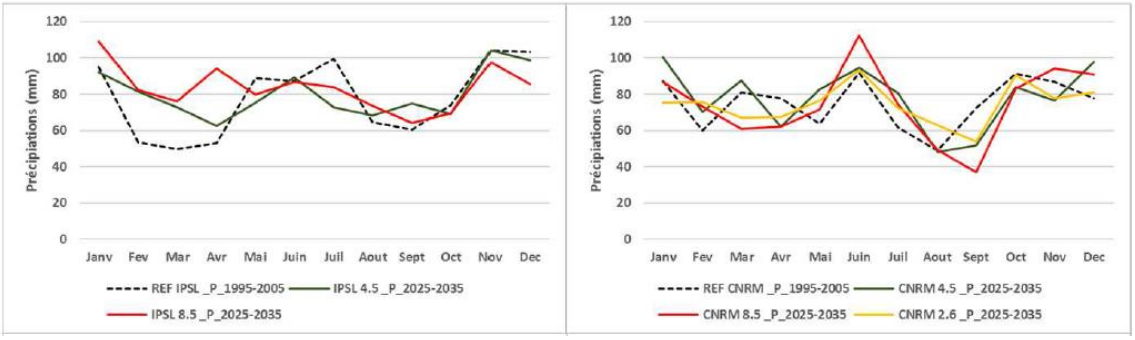
modèles IPSL et CNRM. Les profils obtenus, sensiblement différents en particulier pour les précipitations, signifient que les écarts par rapports aux observations peuvent être significatifs, ce qui légitime la correction de biais proposée.

Figure 40 : Comparaison des précipitations et températures moyennes mensuelles sur la région Grand Est pour les modèles CNRM et IPSL sur la période 1995-2005

Températures (Référence 1985-2005 en pointillés noirs / IPSL à gauche / CNRM à droite)



Précipitation (Référence 1995-2005 en pointillés noirs / IPSL à gauche / CNRM à droite)



Autre approche possible : exploitation des situations de référence (Delta Method)

Dans la même optique de **ne pas comparer directement des calculs issus de résultats de modèles de projection avec des calculs de situation « actuelle » fondés sur des observations**, une autre approche est possible : il s'agit de recalculer une situation « pseudo-actuelle » à partir des résultats des situations de référence des modèles météorologiques.

Pour comparer les résultats des variables hydroclimatiques sur chaque secteur entre la période actuelle, l'horizon 2030 et l'horizon 2050, la méthode des écarts (« Delta method ») semble plus adaptée.

Suivant cette méthode, les chroniques simulées par les modèles ne sont pas modifiées, et sont utilisées telles quelles pour l'ensemble des calculs (températures, précipitations, évapotranspiration, calcul de la recharge, pluie efficace), en comparant systématiquement une référence fournie par la base de données DRIAS et un horizon donné. La période de référence considérée ici **s'étend de 1981 à 2005** :

- On peut alors estimer l'évolution moyenne entre les résultats obtenus par un même modèle aux différents horizons. Dans notre cas, on compare les résultats fournis par les simulations des scénarios CNRM 8.5 et IPSL 4.5 aux horizons 2030 et 2050 avec les résultats moyens fournis par ces mêmes scénarios sur la période de référence 1981-2005.

- Puis, en faisant l'hypothèse que les évolutions mensuelles des variables hydro climatiques (température, pluie, ETP, recharge, pluie efficace et stress hydrique) sont linéaires entre 1993 (année centre de la période 1981-2005) et les horizons 2030 et 2050, nous sommes en mesure de déterminer l'évolution des mêmes variables hydroclimatiques moyennes mensuelles entre 2010 (année centre de la période observée 2000-2019) et les horizons 2030 et 2050.

Par exemple pour les températures on calcule :

$$\Delta T_{moy}(Horizon, modèle) = T_{moy}(Horizon, modèle) - T_{moy}(Référence, modèle)$$

Les températures et précipitations futures sont alors estimées en appliquant aux données observées les évolutions constatées des modèles.

$$T_{moy}^{estimée}(Horizon, Modèle) = T_{moy}(Observée) + \Delta T_{moy}(Horizon, modèle)$$

Nous ne disposons donc pas de chroniques mensuelles « corrigées », mais de moyennes mensuelles « futures » estimées à partir des résultats observés sur la période actuelle.

Un exemple de la méthode de calcul des variables hydroclimatiques aux horizons 2030 et 2050 est développé pas à pas ci-après. On recherche à déterminer les chroniques de pluies moyennes mensuelles interannuelles projetées à l'horizon 2030 et à l'horizon 2050 en utilisant la méthode de correction des écarts. :

Pour l'horizon 2030

Nous calculons l'évolution des pluies moyennes mensuelles interannuelles entre la chronique de référence 1981-2005 du modèle et la chronique du modèle IPSL à l'horizon 2030 :

$$\Delta P_{mois}(Horizon, modèle) = \frac{P_{mois}(Horizon, modèle) - P_{mois}(Référence, modèle)}{P_{mois}(Référence, modèle)}$$

En faisant ces hypothèses ci-après, nous sommes en mesure de déterminer l'évolution des pluies moyennes mensuelles entre 2010 (année centre de la période observée 2000-2019) et l'horizon 2030 :

- Les évolutions mensuelles des pluies sont linéaires entre 1993 (année centre de la période 1981-2005) et 2030,
- Les évolutions mensuelles des pluies « futures » entre 2010 et l'horizon 2030 sont égales à celles entre les modèles.

Ainsi, les évolutions de pluie moyennes mensuelles observées entre 1993 et 2030 sont égales aux évolutions de pluie moyennes mensuelles du modèle multipliées par le ratio 20/37. Ce ratio correspond au nombre d'année de la période 2010-2030 sur le nombre d'année sur la période 1993-2030. On peut donc estimer pour chaque mois, la pluie moyenne mensuelle interannuelle observée en 2030 :

$$P_{mois}^{corrigée}(Horizon, Observée) = P_{mois}(Actuelle, Observée) + P_{mois}(Actuelle, Observée) * \Delta P_{mois}(Horizon, modèle) * (\frac{20}{37})$$

Cette première étape nous permet d'obtenir une première approche de la chronique mensuelle interannuelle des pluies réelles à l'horizon 2030.

Après mise en œuvre, on constate une faible distorsion entre le taux d'évolution annuel calculé à partir des chroniques des modèles et le taux d'évolution annuel recalculé à partir des chroniques projetées et de la chronique observée. Cette distorsion est faible, elle est par exemple de l'ordre de 0,0067 sur le secteur 26 pour l'horizon 2030. Dans la pratique, on applique un facteur correctif supplémentaire (du second ordre) qui permet de faire coïncider exactement les deux taux d'évolutions mentionnés ci-dessus.

Pour l'horizon 2050

Nous calculons l'évolution des pluies moyennes mensuelles interannuelles entre la chronique de référence 1981-2005 et la chronique du modèle à l'horizon 2050 :

$$\Delta P_{mois}(Horizon, modèle) = \frac{P_{mois}(Horizon, modèle) - P_{mois}(Référence, modèle)}{P_{mois}(Référence, modèle)}$$

En faisant les hypothèses que ces évolutions mensuelles des températures des modèles sont linéaires entre 1993 (année centre de la période 1981-2005) et 2050 et que ces évolutions sont les mêmes sur les chroniques réelles, nous sommes en mesure de déterminer l'évolution des pluies moyennes mensuelles interannuelles entre 2010 (année centre de la période observée 2000-2019) et l'horizon 2050.

Les évolutions des pluies moyennes mensuelles entre 1993 et 2030 sont multipliées par le ratio 40/57. Ce ratio correspond au nombre d'année sur la période 2010-2050 sur le nombre d'année sur la période 1993-2050. Ainsi, il est possible d'estimer une pluie moyenne mensuelle interannuelle corrigée pour l'horizon :

$$P_{mois}^{corrigée}(Horizon, Observée) = P_{mois}(Actuelle, Observée) + P_{mois}(Actuelle, Observée) * \Delta P_{mois}(Horizon, modèle) * (\frac{40}{57})$$

Puis, de la même manière que pour 2030, on applique une correction mineure supplémentaire pour faire coïncider le taux d'évolution annuel calculé à partir des chroniques des modèles et le taux d'évolution annuel recalculé à partir des chroniques projetées et de la chronique observée.

Choix de la méthode

Le choix de la méthode à retenir est discuté dans la partie 2.

4.11.2.3 Calcul de l'ETP Thornthwaite à partir des données de températures

L'ETP pour les horizons futurs n'est pas directement disponible dans la base de données DRIAS. Elle doit donc être recalculée à partir d'autres variables. Il est ainsi proposé de calculer l'ETP au pas de temps mensuel à l'aide de la formule de Thornthwaite, simple d'utilisation car faisant intervenir essentiellement la température :

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239$$

$$ETP = 16\left(\frac{L}{12}\right)\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{10\,T_a}{I}\right)^{\alpha}$$

Avec :

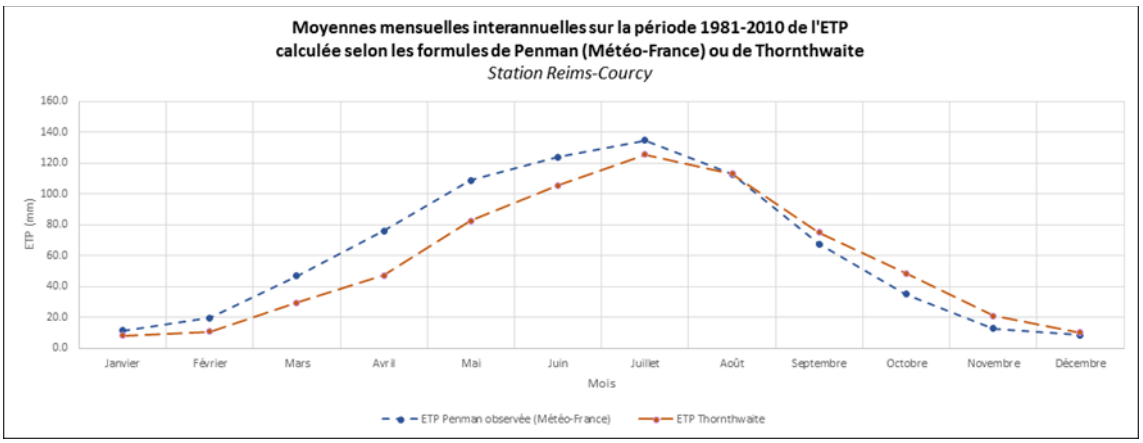
$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_{ai}}{5}\right)^{1.514}$$

Où : ETP : potentiel estimé d'évaporation (mm/mois);
T_a : moyenne quotidienne de température du mois calculé (en °C)
N : nombre calculé de jours dans le mois;
L : la longueur moyenne en heures de la journée
I : Indice de chaleur

Remarque : les premiers résultats de calculs permettent cependant de constater que les écarts entre l'ETP Penman (fournie par Météo France) et **l'ETP recalculée par la formule de Thornthwaite semblent importants sur la région Grand Est**. Un exemple est donné ci-après sur la station « essentielle » de Reims.

Ceci nous indique que, pour faire une comparaison pertinente entre état actuel et projections, il convient d'utiliser une ETP obtenue par la même formulation dans les deux cas. Autrement dit, comme nous utiliserons la formule de Thornthwaite pour les projections, il conviendra de recalculer la recharge « actuelle » en utilisant une ETP issue de la même formulation. Suite à ce constat, la commande de données d'ETP initialement prévue auprès de Météo France est remplacée par une commande de températures aux mêmes postes, qui permettront de recalculer l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite.

Figure 41 : Comparaison de l'ETP Penman fournie par Météo France à Reims-Courcy et de l'ETP recalculée à la même station par la formule Thornthwaite à partir des températures moyennes



4.11.3 Projection des variables climatiques

Pour chaque zone homogène, les fiches de résultats pour les horizons 2030 et 2050 fournissent les projections des variables climatiques selon la méthode explicitée **au paragraphe 4.11. Les résultats présentés sont ceux issus de la méthode des écarts. Ceci sera justifié dans la partie 2 du rapport.**

Voir page « Estimation de la pluviométrie aux horizons 2030 et 2050 »

Cette rubrique fournit les éléments suivants :

- **Un tableau des moyennes mensuelles pour le scénario 4.5 IPSL et pour le scénario 8.5 CNRM**, calculées à partir des éléments **extraits de la base DRIAS** :
  - Valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie sur la période de référence 1981-2005,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de la pluviométrie sur la période 2020-2040 (Horizon 2030) par rapport à la période de référence,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de la pluviométrie sur la période 2040-2060 (Horizon 2050) par rapport à la période de référence,
- Un tableau **de projections** comparant :
  - Les valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie sur la période d'observation 2000-2019,
  - Les valeurs moyennes mensuelles estimées après projection aux horizons 2030 et 2050,
- Un tableau de bilan des taux d'évolution saisonniers et annuels constatés,
- Des graphes reprenant les éléments fournis dans les tableaux précédents.

Voir page « Estimation de la température aux horizons 2030 et 2050 »

Cette rubrique fournit les éléments suivants :

- **Un tableau des moyennes mensuelles pour le scénario 4.5 IPSL et pour le scénario 8.5 CNRM**, calculées à partir des éléments **extraits de la base DRIAS** :
  - Valeurs moyennes mensuelles des températures sur la période de référence 1981-2005,
  - Taux d'évolution moyens mensuels des températures sur la période 2020-2040 (Horizon 2030) par rapport à la période de référence,
  - Taux d'évolution moyens mensuels des températures sur la période 2040-2060 (Horizon 2050) par rapport à la période de référence,
- Un tableau **de projections** comparant :
  - Les valeurs moyennes mensuelles des températures sur la période d'observation 2001-2019,
  - Les valeurs moyennes mensuelles estimées après projection aux horizons 2030 et 2050,
- Un tableau de bilan des taux d'évolution saisonniers et annuels constatés,
- Des graphes reprenant les éléments fournis dans les tableaux précédents.

Voir page « Estimation de l'évapotranspiration potentielle aux horizons 2030 et 2050 »

Cette rubrique fournit les éléments suivants :

- **Un tableau des moyennes mensuelles pour le scénario 4.5 IPSL et pour le scénario 8.5 CNRM**, calculées à partir des éléments **extraits de la base DRIAS** :
  - Valeurs moyennes mensuelles de l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite sur la période de référence 1981-2005,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite sur la période 2020-2040 (Horizon 2030) par rapport à la période de référence,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite sur la période 2040-2060 (Horizon 2050) par rapport à la période de référence,
- Un tableau **de projections** comparant :
  - Les valeurs moyennes mensuelles de l'ETP calculée par la formule de Thornthwaite sur la période d'observation 2000-2019,
  - Les valeurs moyennes mensuelles estimées après projection aux horizons 2030 et 2050,
- Un tableau de bilan des taux d'évolution saisonniers et annuels constatés,
- Des graphes reprenant les éléments fournis dans les tableaux précédents.

4.11.4 Mise à jour de la recharge

Une fois les données météorologiques (Pluies et ETP) mises à jour à l'aide des données DRIAS, le **calcul de la recharge s'actualise automatiquement** dans les tableurs développés pour l'étude.

Le cas échéant, si des modifications de l'occupation des sols sont renseignées dans les tableaux de synthèse descriptifs, celles-ci se répercutent automatiquement dans le calcul de la recharge.

Pour chaque zone homogène, les fiches de résultats pour les horizons 2030 et 2050 fournissent les projections du bilan hydrique selon la méthode explicitée **au paragraphe 4.11 (méthode des écarts).**

Voir page « Estimation de la recharge aux horizons 2030 et 2050 »

Voir page « Estimation de la pluie efficace aux horizons 2030 et 2050 »

Voir page « Estimation du stress hydrique de la végétation aux horizons 2030 et 2050 »

Pour chacune des variable V mentionnées ci-dessus (Recharge / Pluie efficace / Stress hydrique), cette rubrique fournit les éléments suivants :

- **Un tableau des moyennes mensuelles pour le scénario 4.5 IPSL et pour le scénario 8.5 CNRM**, calculées à partir des éléments **extraits de la base DRIAS** :
  - Valeurs moyennes mensuelles de la variable V sur la période de référence 1981-2005,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de la variable V sur la période 2020-2040 (Horizon 2030) par rapport à la période de référence,
  - Taux d'évolution moyens mensuels de la variable V sur la période 2040-2060 (Horizon 2050) par rapport à la période de référence,
- Un tableau **de projections** comparant :
  - Les valeurs moyennes mensuelles de la variable V sur la période d'observation 2001-2019,
  - Les valeurs moyennes mensuelles de la variable V estimées après projection aux horizons 2030 et 2050,
- Un tableau de bilan des taux d'évolution saisonniers et annuels constatés,
- Des graphes reprenant les éléments fournis dans les tableaux.

Les deux pages suivantes fournissent un exemple de rendu de la projection de la recharge sur la zone homogène 26.

ESTIMATION DE LA RECHARGE AUX HORIZONS 2030 ET 2050

1. Tendances constatées concernant les résultats des simulations de l'IPSL (scénario 4.5) et du CNRM (scénario 8.5)

	Evolutions des moyennes mensuelles d'après les simulations IPSL (scénario 4.5)		
Mois	Référence (mm) Période 1981 - 2005	Horizon 2030 Période 2020-2040	Horizon 2050 Période 2040-2060
Septembre	0.0	0.0%	0.0%
Octobre	3.6	56.9%	91.2%
Novembre	43.8	-27.8%	17.6%
Décembre	77.9	5.9%	15.1%
Janvier	79.7	-2.4%	7.4%
Février	51.2	40.3%	25.2%
Mars	38.5	36.1%	11.8%
Avril	10.9	97.8%	86.4%
Mai	10.1	-55.2%	-2.9%
Juin	1.3	-100.0%	94.4%
Juillet	0.0	0.0%	0.0%
Août	0.0	0.0%	0.0%
Moyenne annuelle	317.1	4.3%	28.8%

	Evolutions des moyennes mensuelles d'après les simulations CNRM (scénario 8.5)		
Mois	Référence (mm) Période 1981 - 2005	Horizon 2030 Période 2020-2040	Horizon 2050 Période 2040-2060
Septembre	0.0	0.0%	0.0%
Octobre	5.8	99.1%	74.6%
Novembre	36.2	4.1%	10.7%
Décembre	57.8	13.2%	25.9%
Janvier	79.5	-6.8%	8.8%
Février	58.8	6.6%	3.2%
Mars	47.0	-17.9%	2.7%
Avril	25.9	-22.7%	-26.9%
Mai	3.9	32.7%	60.2%
Juin	1.5	240.5%	136.7%
Juillet	0.4	-100.0%	228.2%
Août	0.0	0.0%	0.0%
Moyenne annuelle	316.6	20.7%	43.7%

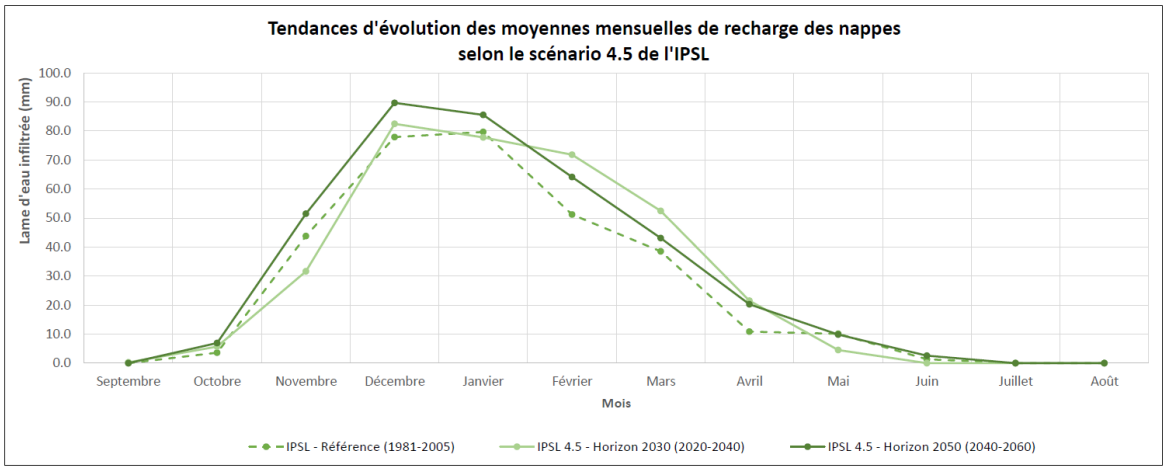
2. Evolutions estimées en comparaison avec la période actuelle (2000-2019)

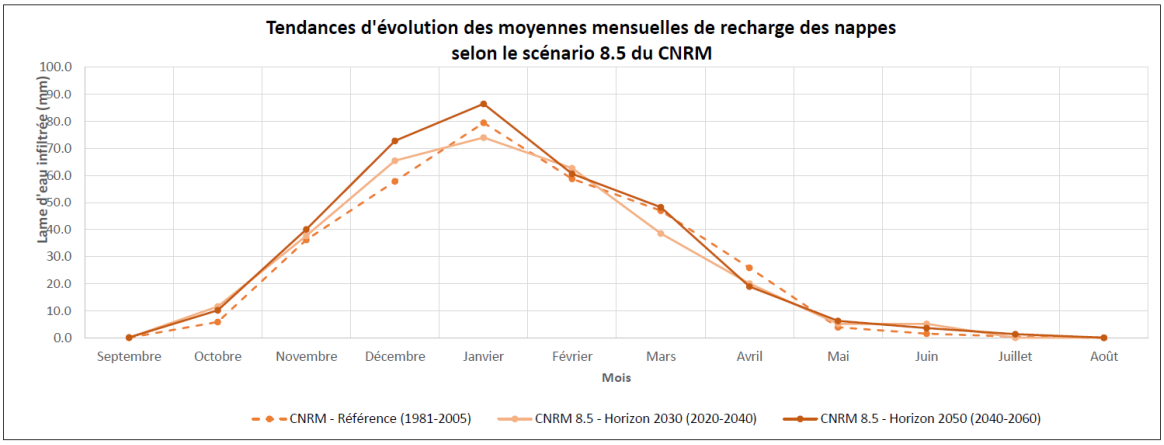
		Recharge à l'horizon 2030		Recharge à l'horizon 2050	
Mois	Moyennes mensuelles 2000-2019 (en mm)	IPSL 4.5	CNRM 8.5	IPSL 4.5	CNRM 8.5
Septembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octobre	5.4	6.9	8.3	8.7	8.1
Novembre	33.8	28.0	34.5	37.6	36.1
Décembre	70.5	70.8	75.4	77.1	82.7
Janvier	77.0	73.9	74.0	80.0	81.1
Février	53.1	62.9	54.9	61.8	53.8
Mars	44.0	51.2	39.7	47.1	44.5
Avril	16.9	25.1	14.8	26.8	13.6
Mai	5.5	3.7	6.4	5.3	7.7
Juin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Août	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Moyenne annuelle	306.2	322.4	308.0	344.5	327.7

		Taux d'évolution 2017/2030		Taux d'évolution 2017/2050	
		IPSL 4.5	CNRM 8.5	IPSL 4.5	CNRM 8.5
Année		5.3%	0.6%	12.5%	7.0%
Saisons	Printemps	20.6%	-8.2%	19.4%	-0.8%
	été	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Automne	-11.2%	9.1%	18.1%	12.8%
	Hiver	3.5%	1.9%	9.1%	8.5%

Tableau 25 : Tableaux de projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26

ESTIMATION DE LA RECHARGE AUX HORIZONS 2030 ET 2050





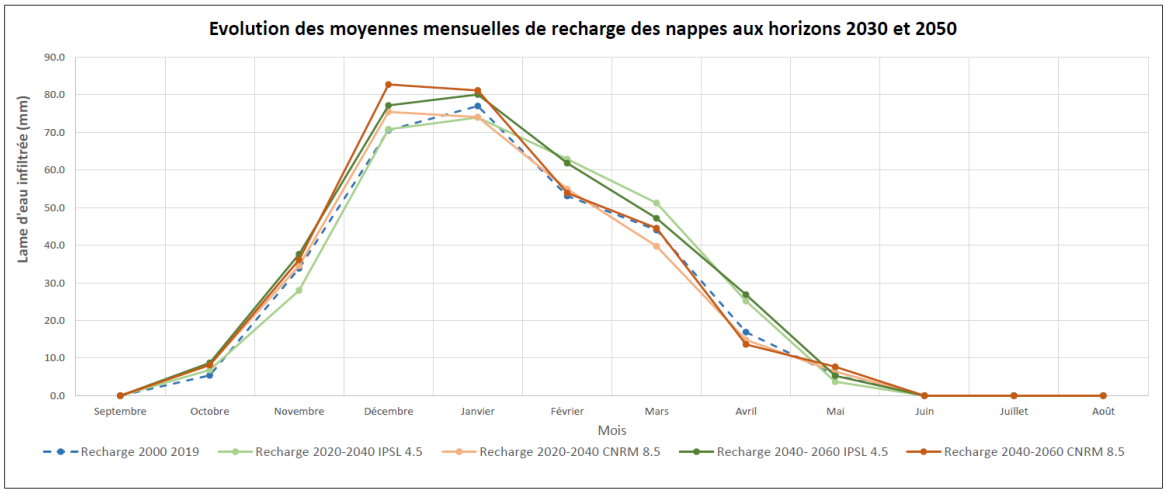


Figure 42 : Graphes illustrant la projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26

4.11.5 Mise à jour des usages à l'aide de l'étude socio-économique

Les hypothèses concernant les évolutions socio-économiques des usages de l'eau et de la population sont abordées au chapitre 5.

Pour la projection des bilans hydrologiques et le calcul des indicateurs, les projections se font de la manière suivante :

- On travaille sur des **moyennes annuelles des débits prélevés ou rejetés, associées à une distribution dans l'année sous forme de moyennes mensuelles**. On affecte donc des chroniques de prélèvements et de rejets **identiques** pour chaque année de calcul (le fait de déduire des chroniques projetées de prélèvements-rejets des chroniques observées n'aurait ici guère de sens).
- **On utilise des ratios d'évolution des prélèvements et des usages issus directement du volet socio-économique pour mettre à jour les valeurs annuelles moyennes**. Ceci permet de mettre à jour l'ensemble des prélèvements, des rejets, puis des prélèvements nets.
- La sur-évaporation au niveau des plans d'eau est mise à jour à partir des nouvelles valeurs d'ETP.

4.11.6 Mise à jour des indicateurs pour les différents horizons et scénarios

Dans la partie « projections », la seule variable pour laquelle on ne dispose pas de valeurs chiffrées est le débit. Or le débit intervient **dans le calcul des indicateurs 1, 4, 5 et 6**, où deux grandeurs sont présentes :

- Le module interannuel,
- Le QMNA5,

Pour obtenir un ordre de grandeur de ces débits - qui devrait logiquement provenir de modélisations hydrologiques non prévues ici -, il convient d'avoir recours **à la bibliographie.**

Cette approche restera nécessairement **très approximative**, du fait notamment, que les scénarios SRES ne sont pas encore étudiés (sauf dans le projet MOSARH21).

On peut cependant faire ressortir des ordres de grandeurs d'évolution des modules et/ou des débits d'étiage, en veillant si possible :

- A la spatialisation des résultats en fonction des zones couvertes par les études,
- Au choix des « horizons » (horizon le plus proche) / « scénarios » (scénario RCP le proche).

Cette approche permet de faire ressortir des ordres de grandeurs du type : hypothèse de variation de X% pour le module et hypothèse de variation de Y% pour les débits d'étiage.

Exemple d'Explore 2070 : *Les résultats concernant les eaux superficielles semblent prévoir une diminution du débit annuel moyen compris entre 0 et 40%, une accentuation des étiages avec une baisse du QMNA5 allant de 5 à 75% (résultats très dispersés), et une augmentation possible des crues, avec une augmentation du QJXA10 de +5 à +30% (résultats également dispersés).*

Les incertitudes associées seront donc nécessairement fortes…

5. LES SCENARIOS D'EVOLUTION DES USAGES

Les hypothèses d'évolution présentées dans ce chapitre sont issues de recherches bibliographiques et d'entretiens.

Tableau 26 : Liste des personnes interrogées

Nom	Prénom	Organisme	Poste	Usages	Date entretien
BENOIT	Marc	INRA	Président du Conseil Scientifique de l'AERM	Agriculture	12/06/2020
POILLION	Marie-Paule	Chambre agriculture Aube	Conseillère irrigation	Agriculture	15/06/2020
AMAT	Amandine	CCI ALSACE	Participation au projet Clim'ability	Industrie	27/05/2020
THEVENET	Régis	EDF	Directeur Concessions EDF Hydro-Est	Energie	16/06/2020
BROBECK - ALLARD	Nathalie	Chambre agriculture Alsace	Chef du service agronomie agricole	Agriculture	18/06/2020
GRANDGIRARD	Agnès	VNF DT Strasbourg	Adjointe au chef de service	Canaux	03/07/2020
BATTAGLIA	Philippe	VNF DT Nord Est	Responsable de l'unité Gestion de l'eau et informatique industrielle	Canaux	08/07/2020
DIDOT	François	AERM	Chargé d'affaires agriculture - secteur Loraine	Agriculture	10/07/2020
ANTOINE POTIER	Valérie	DRAFF - Grand Est	Cheffe du pôle Compétitivité des entreprises	Agriculture	05/08/2020

5.1 Hypothèses par usage

5.1.1 La consommation domestique d'eau potable

L'évolution de la consommation en eau potable est estimée à partir de trois indicateurs :

- L'évolution de la population aux horizons 2030 et 2050,
- La consommation moyenne d'eau potable par habitant aux horizons 2030 et 2050

5.1.1.1 Evolution de la population

L'évolution de la population à horizon 2030 et 2050 est basée sur les prévisions départementales du scénario central Omphale de l'INSEE. A l'horizon 2030, la population de la Région Grand-Est devrait augmenter de 2,3% par rapport à 2017. La progression sera plus faible entre 2030 et 2050 et dotera la Région de 3% d'habitants supplémentaires par rapport à 2017. Cependant l'étude départementale met en évidence une grande disparité avec une forte croissance démographique pour la Marne (7,5% en 2030 et 12% en 2050) et le Bas-Rhin (6,6% en 2030 et 12% en 2050), une évolution plus modérée pour le Haut-Rhin (3,9% et 6% en 2050) et une stagnation ou une diminution pour les autres départements.

Tableau 27 : Evolution de la population de la région Grand-Est à horizon 2030 et 2050 (Source : Insee)

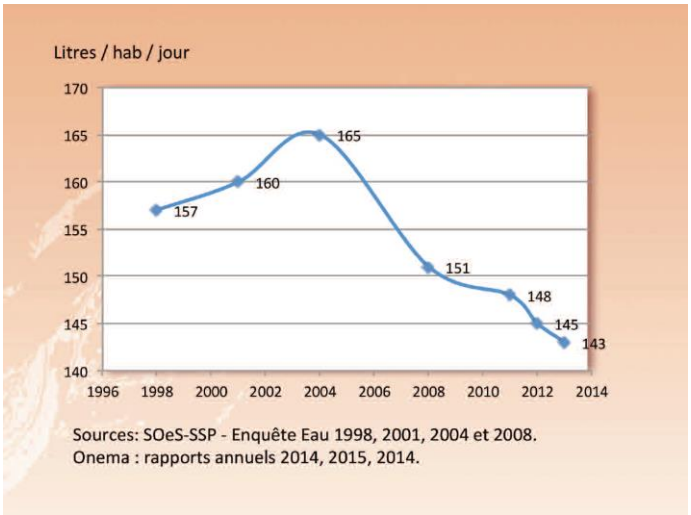
Population	2012	2017	2030	2050	2017/2030	2017/2050
Bas-Rhin	1 097 996	1 125 559	1 200 200	1 266 200	6,6%	12%
Haut-Rhin	747 655	764 030	793 800	811 600	3,9%	6%
Moselle	1 045 224	1 043 522	1 056 300	1 043 400	1,2%	0%
Meurthe-et-Moselle	730 525	733 481	740 100	734 700	0,9%	0%
Vosges	374 533	367 673	349 900	325 300	-4,8%	-12%
Meuse	192 719	187 187	178 400	166 400	-4,7%	-11%
Marne	565 144	568 895	611 300	634 700	7,5%	12%
Aube	304 480	310 020	315 700	322 400	1,8%	4%
Ardennes	280 002	273 579	258 400	237 700	-5,5%	-13%
Haute-Marne	178 954	175 640	171 600	163 400	-2,3%	-7%
Grand-Est	**5 517 232**	**5 549 586**	**5 675 700**	**5 705 800**	**2,3%**	**3%**

5.1.1.2 La consommation moyenne d'eau potable par habitant

Depuis plusieurs années les français consomment de moins en moins d'eau (Cf. Figure 43). Cette diminution résulte de différents facteurs :

- Un changement dans le comportement des consommateurs qui font attention à leur consommation afin de ne pas accroître leur facture d'eau (le prix de l'eau augmente régulièrement sur le territoire national), mais également pour certains par souci écologique. Ainsi par exemple les douches sont privilégiées par rapport aux bains, le robinet d'eau est fermé lors du lavage de dents…
- Les appareils électroménagers sont de plus en plus économes en eau. Ainsi chaque ménage qui renouvelle son équipement se dote d'un matériel plus économe. Le taux d'équipement des ménages augmente également régulièrement depuis plusieurs années.
- L'amélioration des rendements des réseaux d'alimentation en eau potable sur le territoire de la Région Grand-Est avec notamment le développement des diagnostics patrimoniaux, les outils de sectorisation permettant de détecter rapidement les fuites sur les réseaux et les compteurs et une politique de renouvellement mise en œuvre par les collectivités. Ainsi par exemple le rendement moyen des réseaux AEP sur le bassin Rhin-Meuse s'élève à présent à 81%[6].
- La législation : l'arrêté du 21 août 2008 relatif aux eaux pluviales a permis aux ménages et aux collectivités d'acquérir des récupérateurs d'eau de pluie.

Figure 43 : Evolution de la consommation domestique des français



La consommation annuelle par habitant varie selon les départements : l'Aube et la Haute-Marne affichent une consommation moyenne plus élevée.

[6] Les performances des réseaux d'eau potable sur le bassin Rhin-Meuse, synthèse, CERC – Les Canalisateurs – AERM, février 2018.

Tableau 28 : Consommation par an et par habitant par département (Source : SISPEA 2013 – ONEMA 2016)

Population	Consommation eau potable en 2013
Bas-Rhin	30 à 50 m3/an/personne
Haut-Rhin	30 à 50 m3/an/personne
Moselle	30 à 50 m3/an/personne
Meurthe-et-Moselle	30 à 50 m3/an/personne
Vosges	30 à 50 m3/an/personne
Meuse	30 à 50 m3/an/personne
Marne	30 à 50 m3/an/personne
Aube	50 à 60 m3/an/personne
Ardennes	30 à 50 m3/an/personne
Haute-Marne	50 à 60 m3/an/personne

5.1.1.3 Les prévisions d'évolution de la consommation d'eau potable

La consommation domestique se répartit entre 8 grands usages pour lesquels le Centre d'Information sur l'eau propose la répartition suivante :

- Bain et douche : 39%
- Sanitaires : 20%
- Linge : 12%
- Vaisselle : 10%
- Voiture et jardin : 6%
- Divers : 6%
- Cuisine : 6%
- Boisson : 1%

L'application de ces pourcentages aux volumes facturés pour les usages domestiques en 2017 donne la répartition suivante par département.

Tableau 29 : Répartition des volumes domestiques estimés par département pour l'année 2017

2017		Usages domestiques - volumes en milliers de m3								
Départements	Population	Consommation totale	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson
Ardennes	258 400	10 527	4 106	2 105	1 263	1 053	632	632	632	105
Aube	315 700	16 430	6 408	3 286	1 972	1 643	986	986	986	164
Marne	611 300	21 899	8 541	4 380	2 628	2 190	1 314	1 314	1 314	219
Haute-Marne	171 600	9 308	3 630	1 862	1 117	931	558	558	558	93
Meurthe et Moselle	740 100	28 231	11 010	5 646	3 388	2 823	1 694	1 694	1 694	282
Meuse	178 400	7 206	2 810	1 441	865	721	432	432	432	72
Moselle	1 056 300	40 165	15 664	8 033	4 820	4 017	2 410	2 410	2 410	402
Bas-Rhin	1 200 200	43 326	16 897	8 665	5 199	4 333	2 600	2 600	2 600	433
Haut-Rhin	793 800	29 412	11 471	5 882	3 529	2 941	1 765	1 765	1 765	294
Vosges	349 900	14 154	5 520	2 831	1 698	1 415	849	849	849	142
Région Grand Est	5 675 700	220 658	86 057	44 132	26 479	22 066	13 240	13 240	13 240	2 207

La consommation domestique des français diminue régulièrement depuis plusieurs années (Cf. Figure 43). Cette tendance s'applique également sur la région Grand Est et résulte de différents facteurs. Un changement dans le comportement des consommateurs qui font attention à leur consommation afin de ne pas accroître leur facture d'eau (le prix de l'eau augmente régulièrement sur le territoire national) mais également pour certain par souci écologique. Ainsi par exemple les douches sont privilégiées par rapport aux bains, le robinet d'eau est fermé lors du lavage de dents… Les hypothèses pour chaque type d'usage domestique sont présentées dans les paragraphes suivants.

- Les bains et douches :
  - Selon le Centre d'Information sur l'eau, la consommation des français pour le lavage corporel est estimée à 39%. Entre 2010 et 2017 les ventes de baignoires, sur le territoire national, ont diminué de 12% alors que celles liées aux douches ont augmenté de 32%. Le marché de la douche est plus fort que celui des baignoires et est motivé par le coût et la petite surface des salles de bains. Un bain consommant 150 litres d'eau contre 60 à 80 litres pour une douche, ce changement d'équipement générera une économie d'eau.
  - Proposition pour les scénarios : la diminution des volumes domestiques sur la période 2004-2014 étant de 1,21% il est envisageable de considérer que cette tendance se poursuive, dans une moindre mesure, pour les soins corporels avec l'évolution du marché des douches et le remplacement des baignoires ou la mise en œuvre de parois de douche pour faciliter les douches. Cependant l'augmentation des températures va générer une augmentation de la consommation des habitants pour les douches et les bains, réduisant la baisse des volumes.
  - Sur la base de ces différents éléments, le taux d'évolution annuel proposé pour le scénario ISPL est de -1 % et de 0,95% pour le scénario CNRM sur la période 2030-2050. La consommation moyenne par habitant restant au niveau de 2030 pour les années suivantes.

- L'eau consommé pour les sanitaires est un poste important. Le changement climatique n'aura, a priori, pas d'impact sur cette thématique. Cependant d'ici 2030 et 2050, il est possible d'envisager une diminution de la consommation via différents facteurs :
  - Des équipements plus économes en eau vont certainement être mis en œuvre par les fabricants,
  - L'achat par les ménages de chasse d'eau économes permettra de réduire les volumes consommés.
  - N'ayant pas de données pertinentes pour identifier l'évolution de ces différents investissements, nous proposons de considérer un taux de réduction annuel de 0,8% de 2017 à 2030. La consommation moyenne par habitant restant au niveau de 2030 pour les années suivantes.

- La vaisselle et le lavage du linge représentent respectivement 10% et 12% de la consommation domestique des ménages. Les appareils électroménagers sont de plus en plus économes en eau. Ainsi chaque ménage qui renouvelle son équipement se dote d'un matériel plus économe. Le taux d'équipement des ménages augmente également régulièrement depuis plusieurs années :
  - Le taux d'équipement en lave-vaisselle des ménages français a augmenté de 26% entre 2007 et 2016. Le taux d'équipement national était en 2016 de 61,4% (source : Insee, SRCV-SILC). Un taux d'équipement de 61,4% en 2017 sera donc utilisé comme point de départ des calculs, avec une évolution à 65% en 2030 et 67% en 2050.
  - Le taux d'équipement en lave-linge des ménages français en 2016 est de 96,2%. Pour les horizons 2030 et 2050 les taux de 97% et 98% sont envisagés.
  - L'eau utilisée pour la vaisselle :
    - Selon une étude réalisée en 2009 par Eurofins, un lave-vaisselle consomme en moyenne 12 litres par cycle. Les nouveaux lave-vaisselles, actuellement mis sur le

marché, consomment quant à eux, moins de 10 litres d'eau par cycle. Le nombre de lavages annuels réalisés par ménage est de 220.

- Le volume d'eau utilisée pour une vaisselle à la main est de 45 litres et est considéré pour une journée (on suppose que les repas du midi sont majoritairement pris en dehors du foyer).

- L'eau utilisée pour le lavage du linge :
  - Les lave-linges consomment actuellement entre 45 et 100 litres d'eau par lavage selon leur classe énergétique. Les classes énergétiques A++ et A+++ ont une consommation comprise entre 45 et 60 litres d'eau. D'ici 2040, du fait du remplacement des anciennes machines, le parc de lave-linges devrait être composé en quasi-totalité de classe A++. On peut donc envisager une situation intermédiaire avec une consommation comprise entre 70 litres (moyenne 45-100) en 2016, 60 litres en 2030 et 50 litres en 2050.
  - Le nombre de machines faites par ménage français est en moyenne de 5 par semaine. Cependant ce nombre est plus adapté à une famille avec enfants qu'à une famille sans enfants. Il est donc proposé de prendre en compte une moyenne de 3 lessives par semaine.
  - Pour le lavage du linge à la main, un volume de 40 litres sera pris en compte dans les calculs.

Tableau 30 : Evolution des volumes consommés pour la vaisselle

Départements	Nb de ménages 2017	Nb de ménages 2030	Nb de ménages 2050	Nombre de lave vaisselle 2017	Nombre de lave vaisselle 2030	Nombre de lave vaisselle 2050	Nombre de m^3 lave-vaisselle consommés 2016	Nombre de m^3 lave-vaisselle consommés 2030	Nombre de m^3 lave-vaisselle consommés 2050	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2017	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2030	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2050	Total volumes 2017	Total volumes 2030	Total volumes 2050
Ardennes	124 354	117455	108045	76 353	76 345	72 390	201 573	167 960	159 259	788 411	675 217	585 633	989 984	843 177	744 892
Aube	140 918	143500	146545	86 524	93 275	98 185	228 423	205 205	216 008	893 428	824 946	794 313	1 121 851	1 030 151	1 010 321
Marne	258 589	277864	288500	158 773	180 611	193 295	419 162	397 345	425 249	1 639 465	1 597 369	1 563 742	2 058 627	1 994 714	1 988 991
Haute-Marne	79 836	78000	74273	49 020	50 700	49 763	129 412	111 540	109 478	506 167	448 403	402 577	635 578	559 943	512 055
Meurthe et Moselle	333 400	336409	333955	204 708	218 666	223 750	540 429	481 065	492 249	2 113 776	1 933 932	1 810 117	2 654 204	2 414 997	2 302 366
Meuse	85 085	81091	75636	52 242	52 709	50 676	137 919	115 960	111 488	539 443	466 171	409 968	677 363	582 131	521 456
Moselle	474 328	480136	474273	291 238	312 089	317 763	768 867	686 595	699 078	3 007 264	2 760 184	2 570 677	3 776 131	3 446 779	3 269 755
Bas-Rhin	511 618	545545	575545	314 133	354 605	385 615	829 312	780 130	848 354	3 243 682	3 136 204	3 119 600	4 072 994	3 916 334	3 967 954
Haut-Rhin	347 286	360818	368909	213 234	234 532	247 169	562 937	515 970	543 772	2 201 813	2 074 254	1 999 580	2 764 750	2 590 224	2 543 352
Vosges	167 124	159045	147864	102 614	103 380	99 069	270 901	227 435	217 951	1 059 575	914 313	801 458	1 330 477	1 141 748	1 019 409
Région Grand Est	2 522 539	2 579 864	2 593 545	1 548 839	1 676 911	1 737 675	4 088 935	3 689 205	3 822 886	15 993 024	14 830 991	14 057 665	20 081 959	18 520 196	17 880 551

Tableau 31 : Evolution des volumes consommés pour le linge

Départements	Nb de ménages 2017	Nb de ménages 2030	Nb de ménages 2050	Nombre de lave linge 2016	Nombre de lave linge 2030	Nombre de lave linge 2050	Nombre de m^3 consommés 2017	Nombre de m^3 consommés 2030	Nombre de m^3 consommés 2050	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2017	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2030	Nombre de m^3 lavage mains consommés 2050	Total volumes 2017	Total volumes 2030	Total volumes 2050
Ardennes	124 354	117 455	108 045	119 380	113 931	106 965	1 303 629	1 110 826	917 760	31 039	21 987	6 742	1 334 668	1 132 814	924 502
Aube	140 918	143 500	146 545	135 281	139 195	145 080	1 477 273	1 357 151	1 244 786	35 173	26 863	9 144	1 512 447	1 384 014	1 253 931
Marne	258 589	277 864	288 500	248 245	269 528	285 615	2 710 836	2 627 895	2 450 577	64 544	52 016	18 002	2 775 380	2 679 911	2 468 579
Haute-Marne	79 836	78 000	74 273	76 643	75 660	73 530	836 941	737 685	630 887	19 927	14 602	4 635	856 868	752 287	635 522
Meurthe et Moselle	333 400	336 409	333 955	320 064	326 317	330 615	3 495 104	3 181 589	2 836 677	83 217	62 976	20 839	3 578 320	3 244 565	2 857 515
Meuse	85 085	81 091	75 636	81 682	78 658	74 880	891 963	766 917	642 470	21 237	15 180	4 720	913 200	782 097	647 190
Moselle	474 328	480 136	474 273	455 355	465 732	469 530	4 972 477	4 540 890	4 028 567	118 392	89 882	29 595	5 090 870	4 630 771	4 058 162
Bas-Rhin	511 618	545 545	575 545	491 153	529 179	569 790	5 363 391	5 159 496	4 888 798	127 700	102 126	35 914	5 491 091	5 261 622	4 924 712
Haut-Rhin	347 286	360 818	368 909	333 395	349 994	365 220	3 640 672	3 412 438	3 133 588	86 683	67 545	23 020	3 727 355	3 479 983	3 156 608
Vosges	167 124	159 045	147 864	160 439	154 274	146 385	1 751 995	1 504 172	1 255 983	41 714	29 773	9 227	1 793 709	1 533 946	1 265 210
Région Grand Est	2 522 539	2 579 864	2 593 545	2 421 638	2 502 468	2 567 610	26 444 282	24 399 060	22 030 094	629 626	482 950	161 837	27 073 908	24 882 011	22 191 931

- La récupération des eaux de pluie :

La législation : l'arrêté du 21 août 2008 relatif aux eaux pluviales a permis aux ménages et aux collectivités d'acquérir des récupérateurs d'eau de pluie. Les volumes pouvant être associés aux investissements réalisés par les ménages ou les collectivités ne sont pas identifiés. Les projections n'ont donc pas été réalisées sur cette thématique mais il est fort probable qu'elle tende à se développer ces prochaines années.

- Les consommations pour la voiture et le jardin :
  - La catégorie du CIEau intègre les consommations pour le lavage des voitures et l'arrosage du jardin. On peut supposer que le lavage des voitures représente une part peu importante de cette catégorie et considérer que les volumes concernent uniquement les jardins. Par jardin on entend également l'arrosage des potagers.
  - L'augmentation des températures va générer une augmentation des volumes utilisés pour l'arrosage du jardin. Pour le scénario IPSL, une évolution de 0,5% par an de 2017 à 2050 est proposée. Pour le scénario CNRM, l'évolution annuelle est de 0,8% sur la période 2017-2050.

- Les consommations diverses : cette catégorie est composée d'éléments non précisés par le CIEau. On peut cependant y rattacher, sans prendre de risque, l'alimentation des piscines. L'accroissement des températures peut entraîner l'installation de piscines (hors sol ou enterrées). Actuellement la Région Nord Est fait partie des régions ayant le nombre de piscines installées le plus faible avec 14% du parc national de piscines (dont 44% enterrées et 56% hors sol). La répartition du nombre de piscines par département n'étant pas connue, une répartition à la population a été appliquée pour estimer le nombre de piscines sur la région Grand Est.
  - Le nombre de piscines a fortement évolué ces dernières années mais la Fédération des Professionnels de la Piscine et du SPA envisage qu'à horizon 2025 la taille des piscines enterrées continuera à diminuer (72m² dans les années 80 et 1,8 mètre de profondeur, à 32 m² et 1,4 mètre de profondeur actuellement) pour atteindre une taille de 7x3 mètres pour 1,30 mètres de profondeur, soit un volume de 27,30 m3. La taille des piscines hors sol étant variable, l'analyse se basera sur un diamètre moyen de 3 mètres x 4 mètres et une hauteur de 1 mètres, soit 12 m3 (diamètre et profondeur moyens proposés par les vendeurs de piscines).
  - La progression de 50% du nombre de piscines enterrées entre 2007 et 2017, soit 5% par an, liée à une bonne confiance des ménages et un faible niveau des taux d'intérêt ne sera pas appliquée aux horizons 2030 et 2050 car elle est jugée trop élevée. Une évolution de 1%/an semble plus réaliste au regard notamment de la situation économique liée à l'épidémie de COVID 19 qui risque de retarder certains investissements. En revanche l'achat d'une piscine hors sol étant moins onéreuse et bien plus simple à mettre en œuvre (pas de demande de travaux), elle pourra suivre une tendance plus rapide avec un taux de 2%/an.

Tableau 32 : Estimation des volumes dédiés au remplissage des piscines par type de piscine

	Nombre de piscines				Volumes associés			
	Piscine enterrées estimées en 2017	Piscine hors sol estimées en 2017	Nouvelle piscine enterrées	Nouvelle piscine hors sol	Piscines enterrées et hors sol 2017	Nouvelles piscines enterrées	Nouvelles piscines hors sol	Volumes total
2030	59 780	76 084	8 255	22 339	13 239 510	225 369	268 065	13 732 943
2050	59 780	76 084	23 236	70 167	13 239 510	634 343	842 005	14 715 857

Tableau 33 : Estimation des volumes dédiés au remplissage des piscines par département

Départements	Volumes piscines 2030 en m_3	Volumes piscines 2050 en m_3
Ardennes	625 226	613 053
Aube	763 869	831 503
Marne	1 479 104	1 636 958
Haute-Marne	415 204	421 426
Meurthe et Moselle	1 790 749	1 894 868
Meuse	431 657	429 163
Moselle	2 555 827	2 691 038
Bas-Rhin	2 904 008	3 265 663
Haut-Rhin	1 920 681	2 093 202
Vosges	846 619	838 983
Région Grand Est	13 732 943	14 715 857

5.1.1.4 Synthèse des prévisions

En conjuguant les prévisions d'évolution de la population à celles des consommations on obtient les volumes suivants pour chaque type d'usage et pour chaque département.

Tableau 34 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario IPSL 2030

IPSL 2030		Usages domestiques - volumes en milliers de m3								
Départements	Population	Consommation totale	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson
Ardennes	258 400	9 143	3 405	1 804	1 133	843	637	625	597	99
Aube	315 700	14 181	5 726	3 034	1 384	1 030	1 071	764	1 004	167
Marne	611 300	21 631	8 054	4 268	2 680	1 995	1 507	1 479	1 412	235
Haute-Marne	171 600	7 708	3 113	1 649	752	560	582	415	546	91
Meurthe et Moselle	740 100	26 188	9 752	5 167	3 245	2 415	1 824	1 791	1 710	285
Meuse	178 400	6 313	2 351	1 246	782	582	440	432	412	69
Moselle	1 056 300	37 377	13 918	7 375	4 631	3 447	2 604	2 556	2 440	407
Bas-Rhin	1 200 200	42 468	15 814	8 380	5 262	3 916	2 958	2 904	2 772	462
Haut-Rhin	793 800	28 088	10 459	5 542	3 480	2 590	1 957	1 921	1 834	306
Vosges	349 900	12 381	4 610	2 443	1 534	1 142	862	847	808	135
Région Grand Est	5 675 700	205 478	77 201	40 910	24 882	18 520	14 441	13 733	13 535	2 256

Tableau 35 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario CNRM 2030

CNRM 2030		Usages domestiques - volumes en milliers de m3								
Départements	Population	Consommation totale	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson
Ardennes	258 400	9 191	3 427	1 804	1 133	843	662	625	597	99
Aube	315 700	14 261	5 764	3 034	1 384	1 030	1 113	764	1 004	167
Marne	611 300	21 743	8 108	4 268	2 680	1 995	1 566	1 479	1 412	235
Haute-Marne	171 600	7 752	3 133	1 649	752	560	605	415	546	91
Meurthe et Moselle	740 100	26 324	9 816	5 167	3 245	2 415	1 896	1 791	1 710	285
Meuse	178 400	6 345	2 366	1 246	782	582	457	432	412	69
Moselle	1 056 300	37 571	14 009	7 375	4 631	3 447	2 706	2 556	2 440	407
Bas-Rhin	1 200 200	42 689	15 918	8 380	5 262	3 916	3 075	2 904	2 772	462
Haut-Rhin	793 800	28 234	10 528	5 542	3 480	2 590	2 034	1 921	1 834	306
Vosges	349 900	12 445	4 641	2 443	1 534	1 142	896	847	808	135
Région Grand Est	5 675 700	206 557	77 709	40 910	24 882	18 520	15 012	13 733	13 535	2 256

Tableau 36 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario IPSL 2050

IPSL 2050		Usages domestiques - volumes en milliers de m3								
Départements	Population	Consommation totale	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson
Ardennes	237 700	8 362	3 132	1 660	925	745	647	613	549	92
Aube	322 400	14 447	5 848	3 099	1 254	1 010	1 209	832	1 025	171
Marne	634 700	22 328	8 363	4 432	2 469	1 989	1 728	1 637	1 466	244
Haute-Marne	163 400	7 322	2 964	1 571	636	512	613	421	520	87
Meurthe et Moselle	734 700	25 846	9 680	5 130	2 858	2 302	2 001	1 895	1 697	283
Meuse	166 400	5 854	2 192	1 162	647	521	453	429	384	64
Moselle	1 043 400	36 705	13 748	7 285	4 058	3 270	2 841	2 691	2 410	402
Bas-Rhin	1 266 200	44 543	16 683	8 841	4 925	3 968	3 448	3 266	2 925	487
Haut-Rhin	811 600	28 551	10 694	5 667	3 157	2 543	2 210	2 093	1 875	312
Vosges	325 300	11 444	4 286	2 271	1 265	1 019	886	839	751	125
Région Grand Est	5 705 800	205 402	77 590	41 116	22 192	17 881	16 037	14 716	13 603	2 267

Tableau 37 : Estimation des volumes domestiques pour le scénario CNRM 2050

CNRM 2050		Usages domestiques - volumes en milliers de m3								
Départements	Population	Consommation totale	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson
Ardennes	237 700	8 449	3 153	1 660	925	745	714	613	549	92
Aube	322 400	14 611	5 886	3 099	1 254	1 010	1 334	832	1 025	171
Marne	634 700	22 562	8 418	4 432	2 469	1 989	1 907	1 637	1 466	244
Haute-Marne	163 400	7 405	2 983	1 571	636	512	676	421	520	87
Meurthe et Moselle	734 700	26 116	9 744	5 130	2 858	2 302	2 208	1 895	1 697	283
Meuse	166 400	5 915	2 207	1 162	647	521	500	429	384	64
Moselle	1 043 400	37 090	13 838	7 285	4 058	3 270	3 135	2 691	2 410	402
Bas-Rhin	1 266 200	45 009	16 793	8 841	4 925	3 968	3 805	3 266	2 925	487
Haut-Rhin	811 600	28 850	10 764	5 667	3 157	2 543	2 439	2 093	1 875	312
Vosges	325 300	11 563	4 314	2 271	1 265	1 019	977	839	751	125
Région Grand Est	5 705 800	207 570	78 101	41 116	22 192	17 881	17 694	14 716	13 603	2 267

La consommation moyenne estimée pour la consommation domestique était en 2017 de 39,8 m_3 / habitant. Les résultats des scénarios affichent la consommation moyenne suivante pour la Région Grand-Est :

- IPSL 2030 : 36,2 m_3 / habitant
- CNRM 2030 : 36,4 m_3 / habitant
- IPSL 2050 : 36 m_3 / habitant
- CNRM 2050 : 36,4 m_3 / habitant

Ces hypothèses ont été projetées à l'échelle des zones homogènes en répartissant la population de chaque commune à leur part intégrée dans la zone homogène.

5.1.2 L'agriculture

Le secteur agricole impacte la ressource en eau au travers de deux usages principaux :

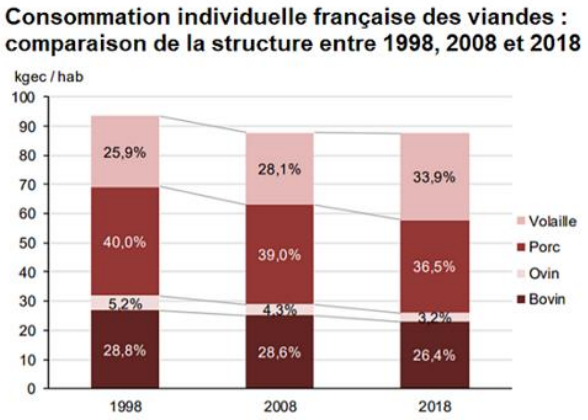
- L'irrigation des cultures ;
- L'abreuvement du cheptel.

5.1.2.1 L'abreuvement du cheptel

- ***Estimation du nombre d'animaux (hors vaches laitières) :***

Les données sur le nombre d'animaux par commune sont disponibles uniquement dans le RGA 2010. Pour estimer le nombre d'animaux en 2017 et aux horizons 2030 et 2050 nous avons raisonné à partir de la consommation de viande sur le territoire national. Cette dernière diminue régulièrement depuis 2018 et amène les exploitants agricoles à changer parfois leur système de production.

Figure 44 : Diminution de la consommation de viande entre 1998 et 2018 (Source : FranceAgrimer)



Pour identifier le nombre d'animaux présents sur le territoire de la région Grand-Est nous avons appliqué aux données RGA 2010 le taux d'évolution national 2010/2017.

Tableau 38 : Evolution de la consommation indigène brute nationale (en tonne équivalent carcasse)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010/2017
Viande bovine	1 641 480	1 617 020	1 593 963	1 547 790	1 555 374	1 562 840	1 552 952	1 529 604	-6,8%
Viande caprine	5 069	5 258	5 272	4 807	4 744	4 825	4 959	4 483	-11,6%
Viande ovine	195 555	189 635	185 002	178 894	179 173	171 042	166 391	164 172	-16,0%
Viande porcine	2 141 877	2 103 863	2 109 877	2 102 935	2 166 318	2 206 558	2 178 983	2 179 242	1,7%
Viande équidés	19 798	18 135	16 717	17 352	14 323	13 078	12 343	10 226	-48,3%
Volailles	1 582	1 653	1 680	1 683	1 729	1 735	1 812	1 863	17,8%

Nous avons ensuite appliqué ce taux d'évolution moyen annuel de cette période pour chaque catégorie d'animaux pour les deux scénarios climatiques. A horizon 2030, le cheptel pourrait diminuer de près de 5% et de 11% à horizon 2050.

Cependant si on analyse ces chiffres sans les volailles, qui ne font pas partie des grands animaux, leur grand nombre faussant l'analyse, le taux d'évolution du cheptel serait de -8% en 2030 et de -18% en 2050.

La consommation de lait de chèvre tend à se développer et devrait permettre au cheptel des caprins de rester stable par rapport à 2017[7].

Tableau 39 : Evolution du nombre d'animaux sur la région Grand-Est

Type d'animaux	2017	2030	2050	2017/2030	2017/2050
Vaches laitières	321 639	321 639	321 639	0,0%	0,0%
Vaches allaitantes	123 315	111 088	94 602	-9,9%	-23,3%
Bovin d'un an ou plus	465 143	419 024	356 839	-9,9%	-23,3%
Bovin de moins d'un an	329 479	296 810	252 762	-9,9%	-23,3%
Chèvres	932	932	932	0,0%	0,0%
Brebis nourrices	70 589	49 454	28 606	-29,9%	-59,5%
Porcins	64 268	65 959	68 648	2,6%	6,8%
Truies reproductrices	3 294	3 380	3 518	2,6%	6,8%
Poulets de chair et coq	562 650	577 456	600 999	2,6%	6,8%
Total	1 941 308	1 845 742	1 728 545	-4,9%	-11,0%

- ***Estimation du nombre de vaches laitières :***

Les données sur la filière lait sont disponibles sur la Région Grand-Est pour l'année 2017 (Agreste, édition 2018) et présentent une baisse du nombre de producteurs laitiers entre 2012/2017 qui n'affecte cependant pas la production de lait, qui reste stable. Les vaches laitières sont peu présentes dans l'Aube et dans la Marne et fortement représentées dans les Vosges.

La chute de 28% du nombre de vaches laitières sur la Région Grand-Est, observée entre 2000 et 2010, résulte à priori de la chute du prix du lait. Mais le prix du lait remonte depuis quelques années.

Parallèlement la consommation de produits laitiers diminue ces dernières années au profit de produits à base de lait végétal.

Cependant la France exporte une grande partie de sa production de lait et les prévisions de la Commission Européenne à horizon 2030 estime un développement de la consommation du lait avec la croissance démographique, notamment en Afrique.

Sur la base de ces différents éléments nous avons considéré que le nombre de vaches laitières restait stable à partir de 2017 sur la Région Grand-Est.

- ***Consommation d'eau aux horizons 2030 et 2050***

La consommation d'eau pour le bétail peut provenir de deux sources d'approvisionnement :

- Le réseau public, principalement lorsque le cheptel est à l'étable ;
- Le milieu naturel (nappe, cours d'eau, plan d'eau) lorsque le cheptel est en extérieur.

Le tableau ci-dessous présente les hypothèses de répartition par saison et par type de bétail.

[7] Entretien menée avec Valérie Antoine Potier, Cheffe du pôle Compétitivité des entreprises, DRAAF Grand-Est.

Tableau 40 : Répartition des volumes par type d'alimentation pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE)

	Eté (Avril-septembre)		Hiver (Octobre-Mars)	
Type de bétail	Part prélevée dans le réseau AEP	Part prélevée directement dans le milieu naturel	Part prélevée dans le réseau AEP	Part prélevée directement dans le milieu naturel
Vaches laitières	33%	67%	67%	33%
Vaches allaitantes	25%	75%	25%	75%
Bovin > 1 an	25%	75%	25%	75%
Bovin < 1 an	25%	75%	25%	75%
Chèvres	25%	75%	25%	75%
Brebis	25%	75%	25%	75%
Truies reproductrices	25%	75%	25%	75%
Autres porcins	80%	20%	80%	20%
Volailles	50%	50%	50%	50%

L'augmentation des températures impacte la consommation des animaux. Le tableau suivant met en évidence des variations selon les saisons. Sachant que les deux scénarios climatiques intègrent des évolutions de températures, il semble probable que la consommation annuelle du cheptel augmente par rapport à 2017. Le taux d'augmentation proposé est de 2% pour le scénario IPSL et 5% pour le scénario CNRM (Cf. Tableau 42).

Tableau 41 : Répartition des volumes mensuels pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE)

Mois	Coef de répartition infra-annuelle
Janvier	5,6%
Février	5,6%
Mars	8,3%
Avril	8,3%
Mai	8,3%
Juin	11,1%
Juillet	11,1%
Août	11,1%
Septembre	8,3%
Octobre	8,3%
Novembre	8,3%
Décembre	5,6%

Tableau 42 : Synthèse des hypothèses sur l'évolution de la consommation d'eau

	2030		2050	
	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
Nombre d'animaux pour le lait	Stabilité du nombre de vaches laitières avec augmentation de 2% des consommations d'eau annuelle.	Stabilité du nombre de vaches laitières avec augmentation de 5% des consommations d'eau annuelle.	Stabilité du nombre de vaches laitières avec augmentation de 2% des consommations d'eau annuelle.	Stabilité du nombre de vaches laitières avec augmentation de 5% des consommations d'eau annuelle.
Nombre d'animaux pour la viande	Poursuite de la diminution de consommation de viande. Diminution des besoins en eau car moins d'animaux mais augmentation de la consommation annuelle de 2% pour les animaux restants.	Poursuite de la diminution de consommation de viande. Diminution des besoins en eau car moins d'animaux mais augmentation de 5% la consommation annuelle pour les animaux restants.	Poursuite de la diminution de consommation de viande. Diminution des besoins en eau car moins d'animaux mais augmentation de la consommation annuelle de 2% pour les animaux restants.	Poursuite de la diminution de consommation de viande. Diminution des besoins en eau car moins d'animaux mais augmentation de 5% la consommation annuelle pour les animaux restants.

Sur la base des hypothèses posées précédemment sur le nombre d'animaux et les prévisions de consommation d'eau pour l'abreuvement du bétail aux horizons 2030 et 2050, les évolutions de prélèvement sont présentése/ dans le tableau suivant.

Tableau 43 : Evolution de la consommation en eau du bétail par zone homogène

	IPSL RCP 4.5		CNRM RCP 8.5		IPSL RCP 4.5		CNRM RCP 8.5	
Zone homogène	Evolution 2017/2030 AEP	Evolution 2017/2030 milieu	Evolution 2017/2030 AEP	Evolution 2017/2030 milieu	Evolution 2017/2050 AEP	Evolution 2017/2050 milieu	Evolution 2017/2050 AEP	Evolution 2017/2050 milieu
1	-2,3%	-5,8%	0,6%	-3,0%	-7,8%	-16,1%	-5,1%	-13,6%
2	0,4%	-5,6%	3,3%	-2,8%	-1,3%	-15,4%	1,6%	-12,9%
3	1,9%	-1,2%	4,9%	1,7%	2,3%	-5,0%	5,4%	-2,2%
4	3,3%	-0,7%	6,4%	2,2%	5,7%	-4,0%	8,8%	-1,1%
5	-6,4%	-9,8%	-3,7%	-7,2%	-16,2%	-23,5%	-13,7%	-21,2%
6	-2,3%	-4,8%	0,6%	-2,0%	-8,0%	-13,8%	-5,3%	-11,3%
7	-3,2%	-5,6%	-0,4%	-2,8%	-10,2%	-15,7%	-7,6%	-13,2%
8	-1,6%	-4,0%	1,3%	-1,2%	-6,4%	-12,2%	-3,7%	-9,6%
9	-1,6%	-4,2%	1,3%	-1,3%	-6,4%	-12,3%	-3,7%	-9,7%
10	-2,9%	-5,3%	-0,1%	-2,5%	-9,6%	-15,1%	-6,9%	-12,6%
11	-1,9%	-4,5%	1,0%	-1,7%	-7,0%	-13,0%	-4,2%	-10,5%
12	-2,0%	-4,5%	0,9%	-1,6%	-7,4%	-13,1%	-4,6%	-10,6%
13	-8,1%	-8,1%	-5,4%	-5,4%	-21,6%	-21,6%	-19,3%	-19,3%
14	-3,9%	-6,1%	-1,1%	-3,4%	-11,6%	-16,9%	-9,0%	-14,5%
15	-1,2%	-3,7%	1,7%	-0,9%	-5,5%	-11,3%	-2,7%	-8,7%
16	-1,0%	-3,4%	1,9%	-0,5%	-5,0%	-10,6%	-2,2%	-8,0%
17	-0,4%	-2,7%	2,6%	0,1%	-3,4%	-8,8%	-0,6%	-6,2%
18	-1,6%	-4,2%	1,3%	-1,4%	-6,3%	-12,3%	-3,6%	-9,7%
19	-1,2%	-3,6%	1,7%	-0,8%	-5,6%	-11,3%	-2,8%	-8,6%
20	0,5%	-3,7%	3,5%	-0,9%	-1,2%	-11,3%	1,7%	-8,7%
21	-1,0%	-4,0%	2,0%	-1,2%	-4,8%	-12,0%	-2,0%	-9,4%
22	-1,6%	-4,2%	1,3%	-1,3%	-6,5%	-12,4%	-3,7%	-9,8%
23	-2,1%	-4,9%	0,7%	-2,1%	-7,6%	-13,9%	-4,9%	-11,4%
24	-2,4%	-4,9%	0,4%	-2,1%	-8,3%	-14,1%	-5,6%	-11,6%
25	-2,4%	-4,8%	0,5%	-2,0%	-8,2%	-13,9%	-5,5%	-11,4%
26	-1,4%	-3,9%	1,5%	-1,0%	-5,8%	-11,7%	-3,1%	-9,1%
27	-1,4%	-3,9%	1,5%	-1,1%	-5,9%	-11,8%	-3,1%	-9,2%
28	-3,7%	-6,0%	-0,9%	-3,3%	-11,3%	-16,7%	-8,7%	-14,2%
29	-3,3%	-5,6%	-0,4%	-2,8%	-10,3%	-15,7%	-7,7%	-13,2%
30	-1,9%	-4,5%	1,0%	-1,7%	-7,0%	-13,0%	-4,2%	-10,4%
31	-1,6%	-4,2%	1,3%	-1,3%	-6,2%	-12,2%	-3,5%	-9,6%
32	-2,0%	-4,6%	0,9%	-1,8%	-7,3%	-13,3%	-4,6%	-10,8%
33	-2,8%	-5,3%	0,0%	-2,5%	-9,3%	-15,0%	-6,6%	-12,5%
34	-2,2%	-4,7%	0,6%	-1,9%	-7,9%	-13,7%	-5,2%	-11,1%
35	-3,5%	-6,1%	-0,7%	-3,3%	-10,7%	-16,7%	-8,1%	-14,2%
Total	-1,9%	-4,5%	1,0%	-1,7%	-7,1%	-13,2%	-4,3%	-10,7%

5.1.2.2 L'irrigation des cultures

- *La situation actuelle*

Depuis plusieurs années certaines cultures doivent être irriguées au printemps du fait de températures plus élevées et de pluviométries faibles. Certaines prairies sont également irriguées, ce qui était très rare auparavant devient une tendance. Ainsi des secteurs qui auparavant n'avaient pas besoin d'eau commencent à être irrigués. C'est le cas notamment des cultures spéciales en Alsace : tabac, choux à choucroute, fruits mais également des maraîchers.

A terme le changement climatique risque de réduire la diversité des cultures et la Région pourrait se retrouver avec un système de culture très pauvre. La rentabilité des productions pourrait diminuer car les rendements seront moindres avec l'augmentation de la température et la sécheresse des sols.

- *Les cultures actuellement irriguées*

Sur la période 2012-2017, les volumes prélevés dans les milieux aquatiques s'élèvent en moyenne à 121 millions de m^3. L'analyse par année met en évidence des variations relativement importantes qui sont fonction de la pluviométrie annuelle, de l'élévation des températures et des épisodes de canicule.

Tableau 44 : Volumes prélevés pour les besoins agricoles sur la région Grand-Est, en m^3

Irrigation	Vol_2012	Vol_2013	Vol_2014	Vol_2015	Vol_2016	Vol_2017
Irrigation	74 030 187	98 203 004	70 819 385	122 252 468	92 374 874	96 343 200
Irrigation autre que par aspersion hors gestion collective et hors retenue collinaire	36 154	53 412	41 254	67 285	36 249	27 711
Irrigation gravitaire hors gestion collective et hors retenue collinaire	103 532	98 010	112 107	89 843	142 330	102 168
Irrigation non gravitaire en gestion collective	62 106	55 556	63 632	95 808	98 681	94 298
Irrigation non gravitaire en retenue collinaire	14 819	37 509	48 389	45 470	46 633	70 961
Irrigation non gravitaire en retenue collinaire forfait	9 070	17 835	0	10 683	0	0
Irrigation non gravitaire hors gestion collective et hors retenue collinaire	303 591	350 627	300 176	742 262	413 862	569 847
Irrigation non gravitaire hors gestion collective et hors retenue collinaire	0	0	0	0	0	0
Irrigation par aspersion en gestion collective	592 144	542 661	555 741	804 986	397 936	678 379
Irrigation par aspersion en gestion collective	0	0	0	0	0	0
Irrigation par aspersion en retenue collinaire	17 770	18 420	15 150	22 482	28 940	1 290
Irrigation par aspersion hors gestion collective et hors retenue collinaire	23 081 294	26 383 273	26 701 402	38 507 363	24 759 386	28 882 039
Irrigation par aspersion hors gestion collective et hors retenue collinaire	0	0	0	0	0	0
Irrigation par aspersion hors gestion collective et hors retenue collinaire forfait	0	0	30 408	0	0	0
Total	**98 250 667**	**125 760 307**	**98 687 644**	**162 638 650**	**118 298 891**	**126 769 893**

Les volumes sont essentiellement prélevés sur 3 zones homogènes :

- La ZH20 qui comprend des communes des départements du Haut-Rhin et du Bas-Rhin ;
- La ZH4 qui intègrent des communes de l'Aube et de la Marne ;
- La ZH17 qui est composée de communes du Haut-Rhin.

L'irrigation est donc essentiellement pratiquée sur les départements alsaciens. En 2015 les cultures concernées étaient les suivantes [8] :

- Un tiers des surfaces destinées à la culture du maïs grain sont irriguées ;
- Deux tiers des surfaces destinées à la culture du maïs semence sont irriguées ;
- Un tiers des surfaces destinées à la culture de la betterave sont irriguées ;
- 35% à 40% des surfaces destinées à la culture de la pomme de terre sont irriguées.

[8] Agreste Alsace, n°92, septembre 2015.

Les jeunes plants de vigne sont parfois irrigués en Alsace mais cette pratique n'est pas mise en œuvre en Lorraine et en Champagne-Ardenne.

L'augmentation des températures et des périodes de canicules imposera de continuer à irriguer les cultures déjà soumises à cette pratique, notamment pour les cultures à forte valeur ajoutée telles que le maïs. Pour les superficies de maïs grain qui ne pourront être irriguées et qui souffriront de la sécheresse, une reconversion vers du maïs ensilage pourra être envisagée et pourra contribuer à l'alimentation des animaux et/ou l'approvisionnement des méthaniseurs.

A noter également que les arrêtés sécheresse, qui risquent d'augmenter et d'arriver de plus en plus tôt dans la saison, contribueront à la diminution des volumes prélevés.

- ***Les céréales***

En 2016, la région Grand Est était la première région française productrice d'orges d'hiver et de printemps et la deuxième région pour le blé et le maïs grain[9].

Le changement climatique imposera des changements de cultures. Les exploitants devront privilégier les cultures implantées en automne et récoltées au printemps.

De nouvelles cultures fourragères adaptées à la sécheresse, telles que le sorgho, vont se développer sur la région. Des zones de test pour le sorgho fourrager sont déjà en place sur le territoire de la région Grand Est.

- ***Les cultures pour les biocarburants***

Le SRADDET prévoit une évolution des biocarburants de 14,3 % entre 2012 et 2030 et de 17,2% entre 2012 et 2050. Les conditions climatiques sont de moins en moins favorables à la production de colza (implantation et pression forte des ravageurs) mais la culture de tournesol semble se développer et pourrait à terme remplacer celle de colza.

- ***Les cultures pour le biogaz***

La région Grand-Est est la première région de France en matière de développement de méthaniseurs avec 125 unités actuellement en service. Plus de 72% de ces unités sont mises en place dans une ferme ou une coopérative et sont alimentées avec des produits végétaux. Le département des Vosges est leader en matière d'implantation d'unités de méthanisation sur la région avec 26% des installations à la ferme.

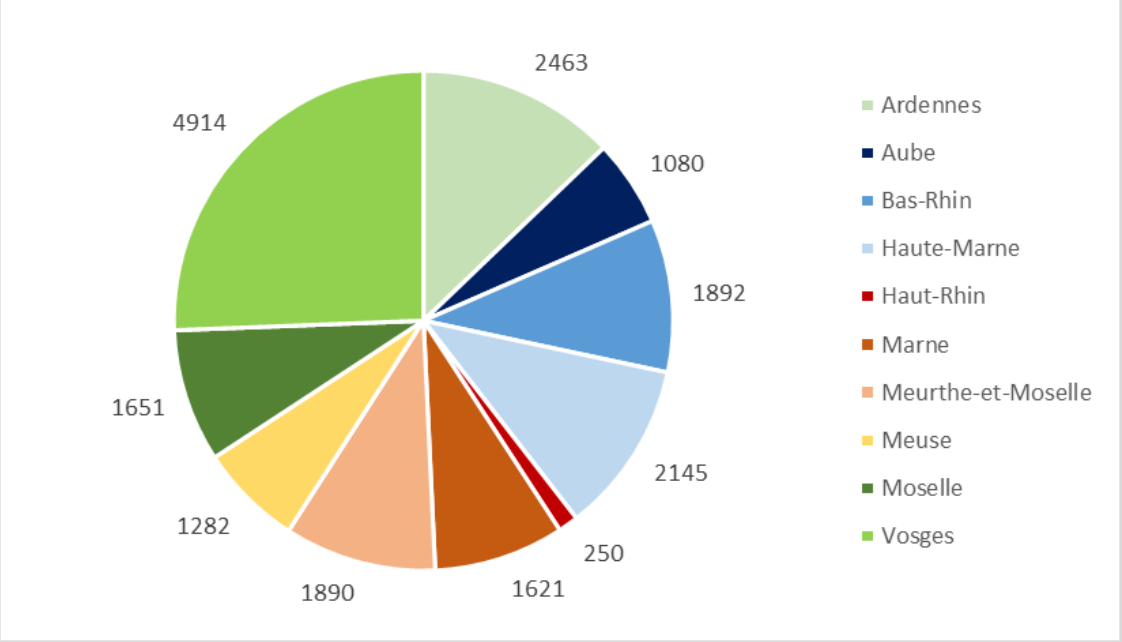
[9] Agreste Grand-Est, Panorama agricole, alimentaire et forestier de la Région Grand-Est, Juin 2018.

Tableau 45 : Répartition des unités de méthanisation sur la région Grand-Est en 2019 (Source : SINOE)

	Type d'installation						
Département	Centralisée	A la ferme	Industrielle	Station d'épuration	Déchets ménagers et assimilés	Autre	Total
08 - Ardennes		12	1				13
10 - Aube		9	1	1			11
51 - Marne	1	8					9
52 - Haute-Marne	3	9					12
54 - Meurthe-et-Moselle		11		2			13
55 - Meuse		5				1	6
57 - Moselle	4	4		1	1		10
67 - Bas-Rhin		8	4	2		2	16
68 - Haut-Rhin	2	1	2	2			7
88 - Vosges	2	24				2	28
Total	**12**	**91**	**8**	**8**	**1**	**5**	**125**

L'évolution du nombre d'unités de méthanisation est régulière depuis 2008 et devrait perdurer au regard du nombre de projet en développement. Ainsi, la puissance actuellement installée de 19 188 KWe devrait augmenter ces prochaines années.

Figure 45 : Puissance installée, en KWe, pour les installations à la ferme en 2019 (Source : SINOE)



Le développement des unités de méthanisation à la ferme va générer un développement des cultures pouvant être utilisées comme matières premières. Cette augmentation va entraîner des changements de pratiques agricoles comme, par exemple :

- La destination des cultures dédiées, principalement le maïs ensilage, qui pourront se tourner vers ce débouché plutôt que vers l'alimentation du bétail car le prix offert par les méthaniseurs est souvent plus attractif ;
- L'implantation de nouvelles cultures à pouvoir méthanogène comme par exemple la silphie qui présente des rendements proches de celui du maïs (10 à 15% inférieurs)[10] et résiste plus à la sécheresse, le szarvasi-1 qui présente des rendements supérieurs au maïs, le ray grass ou le sorgho [11] ;
- Des cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVEs) pourront se développer dans la Région afin de produire des cultures dédiées à la méthanisation ;
- L'herbe des prairies, notamment les 3ème et 4ème coupes qui représentent peu d'intérêt pour les cheptels, pourra être valorisée via la méthanisation[12] . Cependant cette hypothèse est à nuancer en cas de présence d'élevage car le changement climatique pourrait réduire les stocks d'herbe et les 3ème et 4ème coupes pourraient permettre de reconstituer des stocks.

A noter qu'une surveillance doit être mise en œuvre pour l'épandage du digestat afin qu'il ne soit pas épandu trop fréquemment sur les parcelles autour du méthaniseur, risquant de concentrer trop d'intrants sur ce périmètre.

- ***La viticulture***

L'augmentation des températures va générer un changement des cépages les plus sensibles comme par exemple le Riesling en Alsace. Les viticulteurs commencent à anticiper cette évolution avec des nouvelles plantations (une vigne représente un investissement sur 30 ans). Par contre pour les cépages moins sensibles, l'augmentation des températures apporte pour l'instant une qualité supplémentaire au vin (le risque actuel provient des tempêtes de grêle qui peuvent anéantir la récolte).

Les vignobles vont avoir un besoin d'irrigation supplémentaire en attendant le remplacement des cépages vieillissants par des cépages plus adaptés aux températures plus élevées. Cependant pour les vignobles Lorrains, à valeur ajoutée plus faible que ceux de Champagne ou d'Alsace, il est probable que les vignes ne soient pas réimplantées et que l'on assiste à un changement de cultures.

- ***Les cultures destinées à l'alimentation du bétail***

L'essentiel du fourrage cultivé sur la Région Grand-Est est composé de maïs fourrage et ensilage (98% des fourrages). Sur la période 2007-2018, les superficies cultivées pour le maïs augmentent régulièrement avec un pallier important en 2013. La part des surfaces irriguées reste minime avec moins de 1% des surfaces.

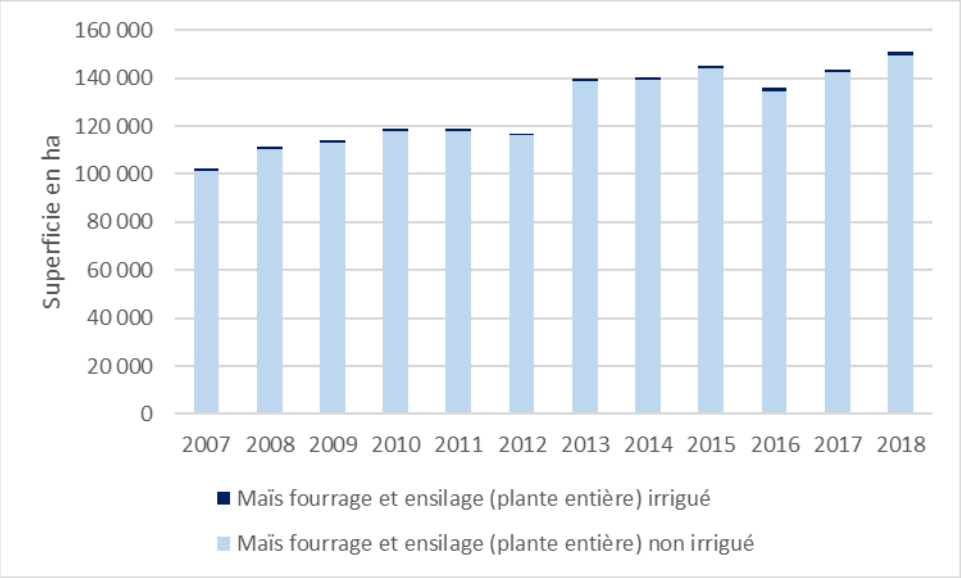
---

[10] Agriculture et territoires, Chambre d'agriculture d'Alsace, La silphie perfoliée, mars 2019.

[11] ValBiom, Biométhanisation, Cultures dédiées : quelles alternatives au maïs pour la biométhanisation, Juillet 2019.

[12] ValBiom, Biométhanisation, Cultures dédiées : quelles alternatives au maïs pour la biométhanisation, Juillet 2019.

Figure 46 : Evolution des superficies destinées à la culture du maïs fourrage et ensilage sur la Région Grand-Est



Cependant l'analyse par département met en évidence une forte disparité entre les départements alsaciens et les autres départements. En effet, la part des superficies irriguées pour le maïs fourrage et ensilage est, sur la période 2007-2018, en moyenne de 8% pour le Bas-Rhin et de 9% pour le Haut-Rhin.

Figure 47 : Part des superficies irriguées pour le maïs fourrage et ensilage par département

Département	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
08 - Ardennes	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10 - Aube	0%	0%	0%	0%	**1%**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
51 - Marne	0%	0%	0%	0%	**1%**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
52 - Haute-Marne	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
54 - Meurthe-et-Moselle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
55 - Meuse	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
57 - Moselle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
67 - Bas-Rhin	**9%**	**8%**	**8%**	**8%**	**8%**	**8%**	**8%**	**7%**	**7%**	**10%**	**10%**	**9%**
68 - Haut-Rhin	**12%**	**10%**	**10%**	**9%**	**9%**	**9%**	**9%**	**10%**	**6%**	**10%**	**10%**	**9%**
88 - Vosges	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

La diminution du nombre d'animaux va impacter la production des cultures destinées à l'alimentation du bétail. Mais cette production va se tourner vers les méthaniseurs.

- *Synthèse*

Tableau 46 : synthèse des hypothèses d'évolution pour les scénarios climatiques par rapport à 2017

	2030		2050	
	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
Grandes cultures et fourrages	Développement de l'irrigation pour les cultures, hors Alsace, qui n'étaient pas irriguées. Et augmentation de l'irrigation pour les cultures déjà irriguées. Développement des fourrages pour les besoins de la méthanisation. Apparition de cultures supportant la sécheresse. Augmentation de 10% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 5% pour les ZH 20,17 et 4.	Développement de l'irrigation pour les cultures, hors Alsace, qui n'étaient pas irriguées. Et augmentation de l'irrigation pour les cultures déjà irriguées. Développement des fourrages pour les besoins de la méthanisation. Apparition de cultures supportant la sécheresse. Augmentation de 15% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 10% pour les ZH 20,17 et 4.	Développement de l'irrigation pour les cultures, hors Alsace, qui n'étaient pas irriguées. Et augmentation de l'irrigation pour les cultures déjà irriguées. Développement des fourrages pour les besoins de la méthanisation. Apparition de cultures supportant la sécheresse. Augmentation de 10% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 5% pour les ZH 20,17 et 4.	Développement de l'irrigation pour les cultures, hors Alsace, qui n'étaient pas irriguées. Et augmentation de l'irrigation pour les cultures déjà irriguées. Développement des fourrages pour les besoins de la méthanisation. Apparition de cultures supportant la sécheresse. Augmentation de 15% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 10% pour les ZH 20,17 et 4.
Vignes	Irrigation supplémentaire pour les vignobles en attendant le emplacement des cépages vieillissants par des cépages plus adaptés aux températures plus élevées. Augmentation de 10% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 5% pour les ZH 20,17 et 4.	Irrigation supplémentaire pour les vignobles en attendant le emplacement des cépages vieillissants par des cépages plus adaptés aux températures plus élevées. Augmentation de 15% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 10% pour les ZH 20,17 et 4.	Mis en place de cépages résistants mieux à la sécheresse. Réduction des vignes de Lorraine. Augmentation de 5% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 3% pour les ZH 20,17 et 4.	Mis en place de cépages résistants mieux à la sécheresse. Réduction des vignes de Lorraine. Augmentation de 10% des besoins en eau pour les ZH peu irriguées et 5% pour les ZH 20,17 et 4.
Biocarburant	Développement de la production de tournesol. Peu d'impact sur la ressource en eau.	Développement de la production de tournesol. Peu d'impact sur la ressource en eau.	Développement de la production de tournesol. Peu d'impact sur la ressource en eau.	Développement de la production de tournesol. Peu d'impact sur la ressource en eau.
Biogaz	Cf. Grandes cultures	Cf. Grandes cultures	Cf. Grandes cultures	Cf. Grandes cultures

- *Impact sur les besoins en irrigation*

Pour appliquer les hypothèses identifiées précédemment il convient de distinguer les prélèvements relatifs aux vignes, aux biocarburants et aux grandes cultures et fourrages. Or les surfaces irriguées en 2017 ne sont pas disponibles à l'échelle de la commune (afin de pouvoir ensuite les rattacher à une zone homogène). Les hypothèses des grandes cultures ont donc été appliquées aux volumes moyens prélevés sur la période 2012-2017.

Tableau 47 : Evolution des volumes pour l'irrigation par zone homogène

ZH	Moyenne 2012-2017	2030		2050		2017/2030		2017/2050	
		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
1	3 477 551	3 825 306	3 999 184	3 825 306	3 999 184	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
2	4 433 716	4 877 088	5 098 774	4 877 088	5 098 774	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
3	2 850 593	3 135 653	3 278 182	3 135 653	3 278 182	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
4	9 823 216	10 314 376	10 805 537	10 314 376	10 805 537	5,0%	10,0%	5,0%	10,0%
5	3 363 912	3 700 303	3 868 499	3 700 303	3 868 499	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
6	215	236	247	236	247	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
8	437 198	480 917	502 777	480 917	502 777	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
9	8 603	9 464	9 894	9 464	9 894	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
10	53 496	58 846	61 521	58 846	61 521	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
11	2 639 809	2 903 790	3 035 780	2 903 790	3 035 780	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
13	1 239 020	1 362 922	1 424 873	1 362 922	1 424 873	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
14	1 207 950	1 328 746	1 389 143	1 328 746	1 389 143	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
15	2 212 156	2 433 372	2 543 980	2 433 372	2 543 980	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
16	2 165 073	2 381 580	2 489 834	2 381 580	2 489 834	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
17	8 121 547	8 527 625	8 933 702	8 527 625	8 933 702	5,0%	10,0%	5,0%	10,0%
19	232 349	255 584	267 201	255 584	267 201	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
20	74 012 323	77 712 939	81 413 556	77 712 939	81 413 556	5,0%	10,0%	5,0%	10,0%
21	4 628 711	5 091 582	5 323 018	5 091 582	5 323 018	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
22	139 579	153 537	160 516	153 537	160 516	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
28	5 667	6 233	6 517	6 233	6 517	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
33	114 446	125 891	131 613	125 891	131 613	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
34	35 503	39 053	40 829	39 053	40 829	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
35	531 707	584 878	611 464	584 878	611 464	10,0%	15,0%	10,0%	15,0%
Total	121 734 342	129 309 922	135 396 639	129 309 922	135 396 639	6,2%	11,2%	6,2%	11,2%

5.1.3 L'énergie

- ***Les centrales nucléaires :***

La Région Grand-Est est équipée de 4 centrales nucléaires : Cattenom (57), Chooz (08), Nogent sur Seine (10) et Fessenheim (67).

L'arrêt de Fessenheim programmé durant l'été 2020 aura un impact sur la diminution des prélèvements bruts mais comme la centrale fonctionne en circuit ouvert, cela n'aura pas d'impact sur les prélèvements nets car 100% des prélèvements sont réinjectés.

- ***Les centrales hydrauliques :***

Les centrales hydrauliques génèrent une production au fil de l'eau et ne permettent donc pas le stockage de l'électricité. La hausse des besoins énergétiques liée à la climatisation et au développement des véhicules électriques pourra être compensée par des améliorations de la performance énergétique : isolation, performance des réseaux… Le développement du stockage de l'énergie via des réseaux intelligents permettra de stocker l'eau des centrales hydrauliques.

Actuellement sur le Rhin il n'y a pas de projet d'augmentation de la puissance des centrales car le parc est largement dimensionné. Certains projets privés sont cependant en développement et pourront augmenter la capacité de production. Le SRADDET envisage une évolution de 114% à horizon 2050/2012, soit une évolution de 5,45% à horizon 2030 (page 19 du rapport 2 sur 3 stratégie).

L'augmentation des températures risque à terme de poser des problèmes pour le soutien d'étiage des retenues. Par exemple sur la retenue de Pierres Percées, le soutien d'étiage n'a pu être assuré en 2019.

Impact sur la ressource en eau :

- Centrales nucléaires : prélèvement identique à la moyenne 2012-2017 en déduisant les volumes prélevés pour le refroidissement de Fessenheim ;
- Centrales hydrauliques : pris en compte des taux d'évolution du SRADDET.

Sur la base des hypothèses posées précédemment, les volumes prélevés par le secteur de l'énergie - hydroélectricité pourraient évoluer de la manière suivante :

- + 4,7 % pour le scénario IPSL à horizon 2030,
- + 4,7 % pour le scénario CNRM à horizon 2030,
- + 13,2 % pour le scénario IPSL à horizon 2050,
- + 13,2 % pour le scénario CNRM à horizon 2050.

Tableau 48 : Evolution des volumes pour l'énergie par zone homogène

	Refroidissement centrale de production					Centrales hydrauliques						Energie totale				Evolution			
ZH	Moyenne prel 2012-2017	2030		2050		Moyenne prel 2012-2017	2030		2050		Total moyenne 2012-2017	Total 2030		Total 2050		2017/2030		2017/2050	
		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
6	0	0	0	0	0	586	618	618	668	668	586	618	618	668	668	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
8	0	0	0	0	0	1 838	1 938	1 938	2 095	2 095	1 838	1 938	1 938	2 095	2 095	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
11	0	0	0	0	0	15	16	16	17	17	15	16	16	17	17	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
12	0	0	0	0	0	893	942	942	1 018	1 018	893	942	942	1 018	1 018	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
15	136	136	136	136	136	511	539	539	582	582	646	674	674	718	718	4,3%	4,3%	11,1%	11,1%
17	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
20	1 972	0	0	0	0	224 808	237 060	237 060	256 281	256 281	226 780	237 060	237 060	256 281	256 281	4,5%	4,5%	13,0%	13,0%
22	0	0	0	0	0	5 083	5 360	5 360	5 795	5 795	5 083	5 360	5 360	5 795	5 795	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
23	0	0	0	0	0	2 208	2 329	2 329	2 518	2 518	2 208	2 329	2 329	2 518	2 518	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
24	137	137	137	137	137	2 133	2 249	2 249	2 431	2 431	2 270	2 386	2 386	2 569	2 569	5,1%	5,1%	13,2%	13,2%
25	0	0	0	0	0	1 080	1 139	1 139	1 232	1 232	1 080	1 139	1 139	1 232	1 232	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
26	0	0	0	0	0	7 991	8 426	8 426	9 110	9 110	7 991	8 426	8 426	9 110	9 110	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
27	269	269	269	269	269	1 264	1 333	1 333	1 441	1 441	1 533	1 602	1 602	1 710	1 710	4,5%	4,5%	11,5%	11,5%
28	337	337	337	337	337	10 019	10 565	10 565	11 422	11 422	10 356	10 902	10 902	11 759	11 759	5,3%	5,3%	13,5%	13,5%
31	0	0	0	0	0	213	224	224	242	242	213	224	224	242	242	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
32	0	0	0	0	0	455	480	480	519	519	455	480	480	519	519	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
33	0	0	0	0	0	778	821	821	887	887	778	821	821	887	887	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
34	0	0	0	0	0	6 036	6 365	6 365	6 881	6 881	6 036	6 365	6 365	6 881	6 881	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
35	0	0	0	0	0	23 977	25 284	25 284	27 334	27 334	23 977	25 284	25 284	27 334	27 334	5,5%	5,5%	14,0%	14,0%
	2 852	880	880	880	880	289 890	305 689	305 689	330 474	330 474	292 742	306 569	306 569	331 354	331 354	4,7%	4,7%	13,2%	13,2%

5.1.4 L'industrie

5.1.4.1 Les établissements de la Région Grand-Est

- *Nombre d'établissements et effectifs salariés par département*

Sur la Région Grand-Est, le nombre d'établissements, hors agriculture et hors énergie, a augmenté entre 2012 et 2018. Les secteurs du commerce et de la construction affichent un nombre d'établissements plus élevés que les autres secteurs.

Tableau 49 : Répartition du nombre d'établissements par département au 01/01/2012

Secteurs d'activité	Ardennes	Aube	Marne	Haute-Marne	Meuthe et	Meuse	Moselle	Bas-Rhin	Haut-Rhin	Vosges	Total
Activités de services administratifs et de soutien	460	637	1 060	308	1 093	347	1 553	2 039	1 409	688	9 594
Activités financières et d'assurance	394	428	738	265	949	307	1 342	1 720	1 111	620	7 874
Activités immobilières	289	410	754	237	854	272	1 327	1 421	990	536	7 090
Activités spécialises, scientifiques et techniques	694	914	1 431	467	1 980	459	2 576	3 460	2 319	1 089	15 389
Administration publique	677	647	961	634	1 003	730	1 202	950	740	843	8 387
Arts, spectacles et activités récréatives	287	310	518	160	657	212	731	744	556	397	4 572
Autres activités de services	740	790	1 216	466	1 654	489	2 999	2 889	2 150	1 032	14 425
Commerce, réparation d'automobiles et de motocycles	2 349	2 854	4 501	1 775	5 453	1 609	8 413	9 896	6 948	3 902	47 700
Construction	1 568	1 841	2 608	1 006	3 417	1 012	5 068	5 161	3 366	2 560	27 607
Enseignement	480	630	906	383	1 322	415	1 898	1 802	1 378	877	10 091
Hébergement et restauration	650	724	1 028	446	1 310	427	2 063	2 163	1 701	1 137	11 649
Industrie manufacturière	1 095	1 174	1 903	767	1 998	672	2 813	3 556	2 365	1 768	18 111
Industries extractives	19	31	32	18	43	23	52	63	57	51	389
Information et communication	153	259	409	108	692	110	773	1 175	671	285	4 635
Production et distribution d'eau, assainissement, gestion des déchets	155	167	163	120	296	115	422	278	262	194	2 172
Santé humaine et action sociale	746	712	1 143	498	1 788	582	2 279	2 275	1 519	1 052	12 594
Transports et entreprosage	426	472	839	296	834	237	1 126	1 238	777	483	6 728
Total	11 182	13 000	20 210	7 954	25 343	8 018	36 637	40 830	28 319	17 514	209 007

Tableau 50 : Répartition du nombre d'établissements par département au 01/01/2018

Secteurs d'activité	Ardennes	Aube	Marne	Haute-Marne	Meuthe et Moselle	Meuse	Moselle	Bas-Rhin	Haut-Rhin	Vosges	Toal
Activités de services administratifs et de soutien	588	729	1 300	362	1 381	422	2 002	2 628	1 833	921	12 166
Activités financières et d'assurance	415	503	824	270	1 092	306	1 460	1 833	1 216	683	8 602
Activités immobilières	306	477	776	256	916	306	1 351	1 663	1 112	575	7 738
Activités spécialises, scientifiques et techniques	802	1 078	1 754	519	2 340	535	3 050	4 250	2 884	1 345	18 557
Administration publique	660	633	899	604	1 010	708	1 187	928	746	818	8 193
Arts, spectacles et activités récréatives	351	415	628	212	834	232	985	1 063	789	525	6 034
Autres activités de services	766	876	1 354	519	1 764	543	3 264	3 157	2 302	1 141	15 686
Commerce, réparation d'automobiles et de motocycles	2 588	3 202	4 971	1 816	6 003	1 838	9 296	10 823	7 747	4 348	52 632
Construction	1 739	2 031	2 921	1 064	3 858	1 154	5 941	6 182	4 020	2 830	31 740
Enseignement	528	708	1 000	387	1 532	466	2 276	2 232	1 714	979	11 822
Hébergement et restauration	761	864	1 184	503	1 492	505	2 379	2 568	2 064	1 283	13 603
Industrie manufacturière	1 194	1 237	2 072	782	2 105	736	3 115	3 994	2 705	1 962	19 902
Industries extractives	17	34	27	15	40	26	49	62	45	56	371
Information et communication	187	306	498	143	814	124	915	1 376	769	378	5 510
Production et distribution d'eau, assainissement, gestion des déchets	160	108	185	133	346	126	432	296	280	218	2 284
Santé humaine et action sociale	887	862	1 342	549	2 058	666	2 855	2 925	1 991	1 143	15 278
Transports et entreprosage	446	484	866	318	965	258	1 261	1 513	854	539	7 504
Total	12 395	14 547	22 601	8 452	28 550	8 951	41 818	47 493	33 071	19 744	237 622

Le nombre d'établissements évolue fortement entre 2012 et 2017 (+14%) avec une augmentation pour l'ensemble des secteurs hormis l'administration publique et les industries extractives. Cependant cette évolution ne se répercute pas sur les emplois car le nombre d'établissements sans salarié (type autoentreprise) a explosé depuis 2009.

Tableau 51 : Evolution du nombre d'établissements par secteur d'activité

Secteurs d'activité	2012	2017	Evolution 2012/2017	Poids 2012	Poids 2017
Activités de services administratifs et de soutien	9 594	12166	27%	5%	5%
Activités financières et d'assurance	7 874	8602	9%	4%	4%
Activités immobilières	7 090	7738	9%	3%	3%
Activités spécialises, scientifiques et techniques	15 389	18557	21%	7%	8%
Administration publique	8 387	8193	-2%	4%	3%
Arts, spectacles et activités récréatives	4 572	6034	32%	2%	3%
Autres activités de services	14 425	15686	9%	7%	7%
Commerce, réparation d'automobiles et de motocycles	47 700	52632	10%	23%	22%
Construction	27 607	31740	15%	13%	13%
Enseignement	10 091	11822	17%	5%	5%
Hébergement et restauration	11 649	13603	17%	6%	6%
Industrie manufacturière	18 111	19902	10%	9%	8%
Industries extractives	389	371	-5%	0%	0%
Information et communication	4 635	5510	19%	2%	2%
Production et distribution d'eau, assainissement, gestion des déchets	2 172	2284	5%	1%	1%
Santé humaine et action sociale	12 594	15278	21%	6%	6%
Transports et entreprosage	6 728	7504	12%	3%	3%
Total	209 007	237 622	14%	100%	100%

En 2018 le nombre moyen de salariés estimé sur la Région pour ces établissements s'élève à près de 1,8 millions, répartis principalement dans les secteurs du commerce, de l'industrie manufacturière et de la santé humaine.

Tableau 52 : Poids du nombre d'établissements et des emplois associés au 01/01/2018

Etablissements en 2018	Répartition du nombre d'établissements	Répartition du nombre d'emplois
Activités de services administratifs et de soutien	5,1%	5,0%
Activités financières et d'assurance	3,6%	2,7%
Activités immobilières	3,3%	1,0%
Activités spécialisées, scientifiques et techniques	7,8%	4,3%
Administration publique	3,4%	9,5%
Arts, spectacles et activités récréatives	2,5%	1,2%
Autres activités de services	6,6%	2,3%
Commerce ; réparations d'automobiles et de motocyles	**22,1%**	**14,7%**
Construction	13,4%	7,3%
Enseignement	5,0%	6,6%
Hébergement et restauration	5,7%	3,2%
Industrie manufacturière	**8,4%**	**17,3%**
Industries extractives	0,2%	0,1%
Information et communication	2,3%	1,6%
Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution	1,0%	0,9%
Santé humaine et action sociale	**6,4%**	**16,2%**
Transports et entreposage	3,2%	5,8%
Total	100,0%	100,0%

5.1.4.2 Les prélèvements des établissements de la Région Grand-Est

Pour répartir les établissements sur les 35 zones homogènes, nous avons retenu la commune d'implantation de l'établissement et l'avons rattachée à la zone homogène associée. Pour les communes situées sur plusieurs zones homogènes nous avons retenu la zone homogène pour laquelle le pourcentage de surface était le plus élevé.

Les prélèvements industriels, soumis à la redevance RPI, sont en moyenne annuelle sur la période 2012-2017 de 701 millions de mètres cubes. L'industrie se place derrière l'énergie et l'alimentation des canaux pour l'importance de ses prélèvements. La notion « industrie » est utilisée par les Agences de l'eau pour identifier un prélèvement d'un établissement qui ne relève pas forcément de l'industrie au sens strict comme la classification proposée par l'INSEE. Ainsi certains établissements peuvent être rattachés à des secteurs d'activité différents de l'industrie comme, par exemple, les bases militaires. Les prélèvements de ces établissements ont un impact sur la ressource en eau et sont donc pris en compte dans l'analyse.

Tableau 53 : Volumes prélevés (en m^3) pour l'industrie

Industrie	Vol_2012	Vol_2013	Vol_2014	Vol_2015	Vol_2016	Vol_2017
Volume soumis à la redevance RPI	734 268 377	710 441 001	705 944 190	691 804 704	674 345 392	692 597 681

L'industrie chimique prélève à elle seule près de 35% des volumes moyens, essentiellement sur la zone homogène 20 (Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace).

Les industries extractives, bien que peu nombreuses en termes d'établissements, utilisent près de 8% de l'ensemble des prélèvements.

L'industrie du papier et du carton dispose de 7% des prélèvements moyens globaux.

Sur la période 2012-2017, aucune prélèvement soumis à la redevance RPI n'a été identifié sur les zones homogènes 5 (Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne) et 30 (Oise).

5.1.4.3 Les tendances à horizon 2030 et 2050

- ***Les industries agroalimentaires (IAA)***

- La diminution de la consommation de la viande va générer une baisse des activités pour les IAA spécialisées dans les gros animaux. En revanche un développement est envisageable pour les préparations à base de porc et de volaille. La baisse des volumes prélevés peut être associée à la diminution du nombre d'animaux identifiée précédemment (-4,9% à horizon 2030 et -11% à horizon 2050).
- Les produits laitiers restent stables grâce aux possibilités d'exportation (Cf. paragraphe sur les vaches laitières).
- La boulangerie devrait rester stable car bien que le pain soit de moins en moins consommé il est remplacé par des produits types « pain burger » qui sont de plus en plus achetés par les français.
- L'augmentation des températures impactera de manière positive la consommation de glaces et sorbets avec une croissance de l'ordre d'1%/an qui impactera les prélèvements de manière moindre car l'eau entre principalement dans la composition des sorbets.

- Un développement des plats préparés est à prévoir. Les français consacrent de moins en moins de temps à la préparation des repas (53 minutes en 2010 contre 71 minutes en 1986) et on observe une croissance importante du rayon snacking (+10,8% en valeur entre 2014 et 2015)[13]. Cependant ces produits étant généralement néfastes pour la santé (additifs, calories trop importantes…) il est probable qu'à horizon 2050 les français reviennent vers des plats faits maison.
- La consommation d'alcool devrait rester stable notamment pour le champagne dont les ventes en volume sont quasiment identiques depuis une dizaine d'années[14].

- ***Les industries chimiques***

Les prélèvements des industries chimiques devraient rester stables car dans un contexte de croissance de la demande mondiale et de dumping environnemental, l'industrie chimique française devrait parvenir à maintenir son activité (activité stable) grâce à une orientation sur la « chimie verte » [15].

- ***La métallurgie et la fabrication de matériel de transport***

La métallurgie est une activité principalement implantée sur les départements 54, 57, 52 et 08 de la Région Grand-Est. Selon l'étude menée par ACTeon et Véronique Lambin (Cf. note de bas de page 15), la production du bassin Rhin-Meuse s'adresse essentiellement au marché national et d'Europe de l'ouest qui est un marché de renouvellement. La demande devrait rester stable.

- ***L'industrie du papier et du carton***

Historiquement implantée dans les Vosges, cette industrie consomme d'importants volumes d'eau. Face à la concurrence internationale, l'industrie papetière du territoire se lance dans une course à l'innovation et un recentrage vers des produits haut de gamme, ce qui lui permet de connaître une légère croissance de son activité (+1 %/an) (Cf. note de bas de page 15). L'amélioration des procédés de production devrait permettre de ne pas augmenter d'autant les prélèvements sur la ressource en eau.

- ***L'industrie pharmaceutique***

La crise sanitaire du printemps 2020 a mis en évidence le besoin de produire à nouveau certains médicaments en France. La production de certains médicaments est déjà programmée pour l'année 2021. Une proposition de 2% par an serait envisageable. L'amélioration des procédés de production devrait permettre de ne pas augmenter d'autant les prélèvements sur la ressource en eau.

---

[13] Étude prospective sur les comportements alimentaires de demain et élaboration d'un dispositif de suivi des principales tendances de consommation à destination des entreprises de la filière alimentaire, Blezatconsulting - le Crédoc et Deloitte Développement Durable, janvier 2017.

[14] Les expéditions de vin en Champagne en 2018, Comité Champagne.

[15] Etude prospective nécessaire à la réalisation d'une analyse de vulnérabilité au changement climatique des activités socio-économiques du bassin Rhin-Meuse : territorialisation de l'analyse prospective, ACTeon et Véronique Lamblin, mai 2017.

- ***L'industrie automobile***

La production automobile devrait se réduire sur le territoire national pour les raisons suivantes :

- Le développement du train et la réouverture des gares rurales proposés par le gouvernement Castex,
- Le développement du vélo, avec le plan vélo actuellement en réflexion, notamment dans les villes.

Par ailleurs, le progrès technique devrait permettre la mise en œuvre de systèmes de production économes en eau.

Ainsi, une diminution des prélèvements de 5% à horizon 2030 et de 10% à horizon 2050 pourrait être envisageable.

- ***L'industrie extractive et les produits du bâtiment***

L'évolution de la population (2,3% d'ici 2030 et 3% d'ici 2050) sur la Région nécessitera la production de logements supplémentaires qui se traduira par un besoin des produits de bâtiment supplémentaire. On peut supposer que ces besoins seront identiques à l'évolution de la population.

- ***Les autres secteurs d'activité***

La ressource en eau va devenir un véritable enjeu économique pour les entreprises qui vont se doter d'équipements plus économes. On peut ainsi envisager pour les établissements pour lesquels l'activité restera stable une diminution régulière des prélèvements en eau qui permettrait de réduire les besoins de 2% à horizon 2030 et de 5% à horizon 2050.

- ***Synthèse***

Les hypothèses à horizon 2030 et 2050 sont identiques pour les scénarios IPSL et CNRM car le changement climatique devrait peu impacter les besoins des établissements.

Tableau 54 : synthèse des hypothèses des scénarios climatiques

		2030		2050	
		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
IAA	Baisse de la consommation de viande donc baisse des activités IAA liées à la viande sauf le porc et la volaille	Baisse des volumes identiques à celle du nombre d'animaux (-4,9%)	Baisse des volumes identiques à celle du nombre d'animaux (-4,9%)	Baisse des volumes identiques à celle du nombre d'animaux (-11%)	Baisse des volumes identiques à celle du nombre d'animaux (-11%)
	Produits laitiers	Stabilité de la production et des volumes prélevés.	Stabilité de la production et des volumes prélevés.	Stabilité de la production et des volumes prélevés.	Stabilité de la production et des volumes prélevés.
	Glaces et sorbets	Augmentation de 1%/an, soit 5% de prélèvements supplémentaires d'ici 2030 car l'eau est moins utilisée dans la fabrication des glaces.	Augmentation de 1%/an, soit 5% de prélèvements supplémentaires d'ici 2030 car l'eau est moins utilisée dans la fabrication des glaces.	Augmentation de 1%/an, soit 15% de prélèvements supplémentaires d'ici 2050 car l'eau est moins utilisée dans la fabrication des glaces.	Augmentation de 1%/an, soit 15% de prélèvements supplémentaires d'ici 2050 car l'eau est moins utilisée dans la fabrication des glaces.
	Autres produits transformés	Augmentation de 1%/an, soit 10% de prélèvements supplémentaires d'ici 2030.	Augmentation de 1%/an, soit 10% de prélèvements supplémentaires d'ici 2030.	Stagnation à partir de 2050, soit 10% de prélèvements supplémentaires d'ici 2050.	Stagnation à partir de 2050, soit 10% de prélèvements supplémentaires d'ici 2050.
	Les boissons alcoolisées (champagne, vins)	La consommation d'alcool devrait rester stable. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	La consommation d'alcool devrait rester stable. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	La consommation d'alcool devrait rester stable. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.	La consommation d'alcool devrait rester stable. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.
La chimie		Stabilité de l'activité avec le développement de la chimie verte. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité avec le développement de la chimie verte. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité avec le développement de la chimie verte. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité avec le développement de la chimie verte. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.
L'industrie pharmaceutique		Augmentation de 2%/an et amélioration des procédés, soit 15% d'ici 2030.	Augmentation de 2%/an et amélioration des procédés, soit 15% d'ici 2030.	Augmentation de 2%/an et amélioration des procédés, soit 50% d'ici 2050.	Augmentation de 2%/an et amélioration des procédés, soit 50% d'ici 2050.
L'industrie automobile		Baisse de 5% des prélèvements.	Baisse de 5% des prélèvements.	Baisse de 10% des prélèvements.	Baisse de 10% des prélèvements.
L'industrie extractive et les produits du bâtiment		Augmentation de 2,3% d'ici 2030.	Augmentation de 2,3% d'ici 2030.	Augmentation de 3% d'ici 2050.	Augmentation de 3% d'ici 2050.
La métallurgie et la fabrication de matériel de transport		Stabilité de l'activité. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.	Stabilité de l'activité. L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.
L'industrie du papier et du carton		Légère croissance de 1% par an pouvant générer une augmentation de 5% par rapport à 2020	Légère croissance de 1% par an pouvant générer une augmentation de 5% par rapport à 2020	Légère croissance de 1% par an pouvant générer une augmentation de 15% par rapport à 2020	Légère croissance de 1% par an pouvant générer une augmentation de 15% par rapport à 2020
Autres secteurs		L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 2% des besoins en eau.	L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.	L'amélioration des procédés devrait permettre une réduction de 5% des besoins en eau.

- *Impact sur les besoins en eau pour les établissements*

Les hypothèses posées précédemment mettent en évidence une diminution de 1% des prélèvements industriels à horizon 2030 et de près de 3% à horizon 2050.

Tableau 55 : Volumes prélevés pour les besoins industriels

Zone homogène	Moyenne 2012-2017 en m3	Horizon 2030	Horizon 2050
ZH1	4 477 990	4 406 146	4 296 410
ZH2	2 520 107	2 495 051	2 441 257
ZH3	1 089 570	1 085 992	1 079 450
ZH4	776 018	778 298	794 971
ZH5	0	0	0
ZH6	96 793	94 857	91 954
ZH7	599 140	620 831	665 097
ZH8	549 885	548 519	540 310
ZH9	381 164	373 540	362 105
ZH10	2 651	2 712	2 731
ZH11	6 038 684	6 029 759	5 967 985
ZH12	121 809	119 663	116 258
ZH13	1 249 966	1 224 966	1 187 467
ZH14	1 821 503	1 824 805	1 804 953
ZH15	4 840 983	4 912 743	5 048 678
ZH16	871 628	869 955	857 352
ZH17	8 982 532	8 936 365	8 989 731
ZH18	4 067 042	4 006 340	3 902 087
ZH19	292 041	350 677	340 894
ZH20	397 286 501	391 409 869	382 389 288
ZH21	57 050 217	56 832 287	55 999 838
ZH22	7 382 771	7 232 376	7 010 847
ZH23	91 585 877	90 644 850	89 398 246
ZH24	4 335 029	4 245 999	4 116 392
ZH25	9 677 567	9 807 398	10 112 819
ZH26	22 678 006	23 246 937	24 430 331
ZH27	16 576 605	16 274 022	15 801 633
ZH28	18 453 198	18 184 686	17 718 199
ZH29	282 344	276 997	268 785
ZH30	0	0	0
ZH31	462 083	472 711	475 946
ZH32	25 448 224	25 042 830	24 368 502
ZH33	748 859	737 015	717 246
ZH34	696 281	687 761	671 523
ZH35	10 123 822	9 926 038	9 631 037
Total	701 566 891	693 702 996	681 600 321

5.1.5 Les canaux

La région Grand-Est est dotée de nombreux canaux qui permettent le transport de marchandises et la navigation de plaisance. Le réseau de la région Grand-Est comprend des voies permettant le passage de grands gabarits (bateaux de plus de 90 m), de gabarits intermédiaires (entre 38,5 et 90 m) et de petits gabarits (inférieurs à 38,5 m).

La Moselle et le Rhin permettent le passage de grands gabarits, et présentent une hauteur de mouillage garantie de 3 mètres. Les autres canaux ont une hauteur de mouillage garantie majoritairement de 2,2 mètres.

L'alimentation des canaux de la région Grand-Est se fait soit dans les cours d'eau, soit dans les barrages réservoirs. VNF a pour obligation de garantir un certain mouillage par rapport au tirant d'eau afin de permettre le passage des bateaux. Lorsque les débits d'étiage ne permettent pas de prélèvement, des restrictions de mouillage peuvent être nécessaires, interrompant ainsi la navigation sur certains canaux.

A noter que certains canaux contribuent à l'alimentation en eau potable d'activités économiques comme, par exemple, les hôtels et les restaurants.

Les volumes prélevés annuellement sur la période 2012-2017 s'élèvent à 1 596 millions de mètres cubes. L'alimentation des canaux, après l'énergie, est l'usage qui prélève la plus grande quantité d'eau dans les milieux aquatiques. On observe depuis 2014 une diminution constante des prélèvements.

Tableau 56 : Volumes prélevés(m^3) pour l'alimentation des canaux

Canaux	Vol_2012	Vol_2013	Vol_2014	Vol_2015	Vol_2016	Vol_2017
Alimentation du canal	636 255 689	570 189 579	639 303 193	559 808 802	570 782 106	501 797 055
Alimentation d'un canal	8 790 300	9 820 100	10 042 800	10 355 700	9 739 700	10 576 000
Canal	35 121 600	29 196 100	76 688 500	72 882 900	95 137 800	48 853 300
CANAUX	1 073 506 044	1 041 501 735	913 879 936	911 822 780	914 959 518	829 979 359
Total	**1 753 673 633**	**1 650 707 514**	**1 639 914 429**	**1 554 870 182**	**1 590 619 124**	**1 391 205 714**

Les prélèvements pour l'alimentation des canaux sont effectués dans 17 des 35 zones homogènes. L'essentiel des prélèvements est réalisé sur la zone homogène Ill Aval, Rhin et Plain d'Alsace (16%), Meuse Médiane (13%), Meurthe (12%), Moselle Amont (12%), Marne Amont (12%).

- ***Les pratiques en vigueur***

- Avec la prise en compte du changement climatique et de la rareté de la ressource en eau, VNF a modifié ses pratiques de prélèvement pour l'alimentation des biefs. A présent, la tendance est de ne prélever que ce qui est nécessaire.
- Des travaux de modernisation des ouvrages sont actuellement en cours afin de mettre en œuvre une gestion hydraulique assistée par ordinateur au travers de capteurs permettant d'identifier le besoin précis pour chaque ouvrage équipé.
- Des travaux d'étanchéisation des biefs fuyards sont et/ou vont être programmés afin de réduire les fuites.
- Le regroupement des bateaux au passage des écluses permet de diminuer la quantité d'eau nécessaire.

- ***Vers un arrêt de la navigation ?***

- Certains canaux présentent un trafic (fret et/ou plaisance) très faible. Le réchauffement climatique pourrait générer un arrêt de la navigation sur ces canaux.

- L'arrêt de la navigation sur des tronçons importants comme le Rhin ou le canal Rhône au Rhin est difficilement envisageable (même si certains arrêts temporaires existent déjà en période d'étiage) car les marchandises transportées par la voie d'eau devraient circuler via un autre mode de transport, qui serait moins écologique.

- ***Les développements en cours sur la voie d'eau***

- Sur Strasbourg se développent des livraisons de produits maraîchers via la voie d'eau, permettant aux péniches d'arriver directement au centre-ville sans soucis de parking.
- Une offre de bateau taxi électrique se développe également sur Strasbourg et pourrait permettre le désengorgement de certains axes routiers.
- La rentabilité du fret fluvial et son impact écologique moindre devrait lui permettre de développer la navigation de marchandises sur les grands axes fluviaux.

- ***L'impact du changement climatique sur les prélèvements***

- La hausse des températures et le développement du nombre de canicules contribuent à l'augmentation de l'évaporation des biefs.
- La baisse de la pluviométrie génère des besoins supplémentaires pour l'alimentation des canaux.

- ***Les solutions pour réduire les prélèvements***

La diminution de la hauteur de mouillage permettrait de diminuer les volumes prélevés. Cependant cette action génère plusieurs inconvénients majeurs :

- La hauteur de mouillage ne peut être trop faible car l'eau maintien la structure de la digue et une diminution trop importante pourrait générer des fissures et entraîner des inondations conséquentes pour la population. Il faut donc maintenir un niveau suffisant pour sécuriser la berge.
- Une hauteur trop faible de mouillage ne permettrait pas aux péniches de fret de passer et pourrait perturber la navigation fluviale. L'impact économique et écologique serait donc conséquent.

- ***Synthèse***

Tableau 57 : Synthèse des hypothèses pour les scénarios climatiques

	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
Eau prélevée dans les cours d'eau pour alimenter les biefs	Réduction des prélèvements de 10% suite à la poursuite des pratiques visant à réduire les prélèvements dans les milieux aquatiques et à l'augmentation de la pluviométrie (+2,9%). L'augmentation de l'évaporation dûe à l'augmentation des températures (+0,53°C) est largement compensée par ces deux évènements.	Réduction des prélèvements de 5% suite à la poursuite des pratiques visant à réduire les prélèvements dans les milieux aquatiques. La diminution de la pluviométrie (-0,5%) et L'augmentation de l'évaporation dûe à l'augmentation des températures (+0,99°C) impacte négativement les résultats des pratiques mises en oeuvre.	Réduction des prélèvements de 12% suite à la poursuite des pratiques visant à réduire les prélèvements dans les milieux aquatiques et à l'augmentation de la pluviométrie (+4,6%). L'augmentation de l'évaporation dûe à l'augmentation des températures (+0,87°C) est largement compensée par ces deux évènements.	Réduction des prélèvements de 5% suite à la poursuite des pratiques visant à réduire les prélèvements dans les milieux aquatiques et à la légère augmentation de la pluviométrie (+0,2%). L'augmentation de l'évaporation dûe à l'augmentation des températures (+1,41°C) impacte négativement les résultats des pratiques mises en oeuvre.

- *Impact sur les prélèvements pour l'alimentation des canaux*

Sur la base des hypothèses présentées précédemment les prélèvements effectués pour l'alimentation des canaux pourraient diminuer de :

- 10 % pour scénario IPSL à horizon 2030,
- 5 % pour scénario CNRM à horizon 2030,
- 12 % pour scénario IPSL à horizon 2050,
- 5 % pour scénario CNRM à horizon 2050.

Tableau 58 : Volumes prélevés à horizon 2030 et 2050

ZH	Moyenne 2012-2017	2030		2050		2017/2030		2017/2050	
		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
1	116 372 385	104 735 146	110 553 765	102 407 698	110 553 765	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
7	74 952 911	67 457 620	71 205 266	65 958 562	71 205 266	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
14	134 413 420	120 972 078	127 692 749	118 283 810	127 692 749	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
15	56 644 910	50 980 419	53 812 665	49 847 521	53 812 665	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
19	10 305 635	9 275 071	9 790 353	9 068 958	9 790 353	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
20	255 350 504	229 815 453	242 582 978	224 708 443	242 582 978	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
21	6 047 540	5 442 786	5 745 163	5 321 835	5 745 163	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
22	169 610 954	152 649 858	161 130 406	149 257 639	161 130 406	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
23	198 156 889	178 341 200	188 249 045	174 378 062	188 249 045	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
24	46 732 824	42 059 542	44 396 183	41 124 885	44 396 183	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
25	201 575 940	181 418 346	191 497 143	177 386 827	191 497 143	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
26	185 523 455	166 971 109	176 247 282	163 260 640	176 247 282	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
31	59 646 700	53 682 030	56 664 365	52 489 096	56 664 365	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
32	17 650 233	15 885 209	16 767 721	15 532 205	16 767 721	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
33	57 755 031	51 979 528	54 867 279	50 824 427	54 867 279	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
Total	1 590 739 329	1 431 665 396	1 511 202 362	1 399 850 609	1 511 202 362	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%

5.2 Synthèse des scénarios d'évolution des usages

Le tableau suivant reprend les résultats présentés précédemment pour chaque usage. Les volumes consommés devraient augmenter de 4% à horizon 2030 et 12% à horizon 2050.

Tableau 59 : Volumes estimés selon les usages aux horizons 2030 et 2050

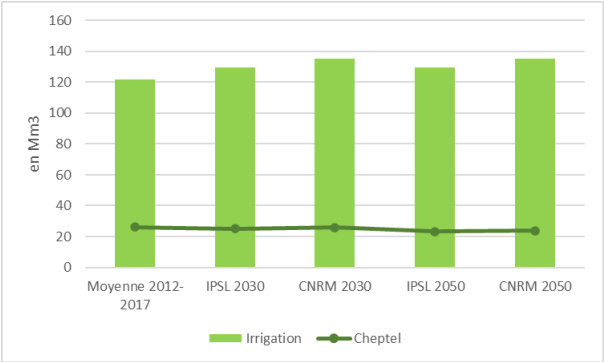
	Moyenne 2012-2017	2030		2050		2017/2030		2017-2050	
		IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5	IPSL RCP 4.5	CNRM RCP 8.5
Consommation domestique	220 658 492	205 438 442	205 362 150	206 517 213	207 530 282	-6,9%	-6,9%	-6,4%	-5,9%
Consommation agricole	147 786 777	154 422 745	161 248 075	152 483 741	159 252 041	4,5%	9,1%	3,2%	7,8%
Consommation énergie	292 741 586 003	306 568 604 509	306 568 604 509	331 354 184 512	331 354 184 512	4,7%	4,7%	13,2%	13,2%
Consommation industrie	701 566 891	693 702 996	693 702 996	681 600 321	681 600 321	-1,1%	-1,1%	-2,8%	-2,8%
Consommation canaux	1 590 739 329	1 431 665 396	1 511 202 362	1 399 850 609	1 511 202 362	-10,0%	-5,0%	-12,0%	-5,0%
Total	295 402 337 492	309 053 834 088	309 140 120 092	333 794 636 396	333 913 769 518	4,6%	4,7%	13,0%	13,0%

L'analyse détaillée met en évidence une disparité selon les usages :

- Les volumes domestiques devraient diminuer de l'ordre de 6% pour l'ensemble des scénarios et ce malgré une augmentation attendue de la population de 2,3% d'ici 2030 et 3% d'ici 2050. Cette baisse résultera des changements de consommation des ménages mais également de l'acquisition d'équipements ménagers de plus en plus économes. L'accroissement du nombre de piscines et des volumes dédiés à l'arrosage au jardin viennent compenser la diminution initiale.
- Les volumes utilisés pour l'agriculture devraient augmenter entre 3% et 9% selon les scénarios climatiques observés mais cet accroissement proviendra uniquement de

l'irrigation, les volumes destinés pour l'abreuvement du cheptel devant quant à eux diminuer suite à la réduction du nombre d'animaux.

Figure 48 : Evolution des volumes agricoles



- Les volumes industriels devraient globalement diminuer légèrement (-1% à -2,6%) mais des évolutions différentes entre les secteurs industriels seront observées.
- Les volumes prélevés ou utilisés pour l'énergie devraient fortement augmenter d'ici 2050 du fait du développement des centrales hydrauliques envisagé par le SRADDET.
- Les volumes prélevés pour la mise en eau des canaux pourront être réduits de 5% à 12% suite aux stratégies de réduction mises en œuvre par VNF.

La répartition entre les différents usages devrait rester sensiblement la même avec 98% des volumes dédiés à l'usage hydraulique, 1,5% pour les canaux et 0,5% pour les usages domestiques, agricoles et industriels. A noter cependant que pour certains usages des pics de prélèvement risquent d'apparaître lors des périodes de canicule, notamment pour l'irrigation et la consommation domestique. Ces pics auront un impact sur les débits d'étiage.

Figure 49 : Evolution des volumes domestiques, agricoles et industriels

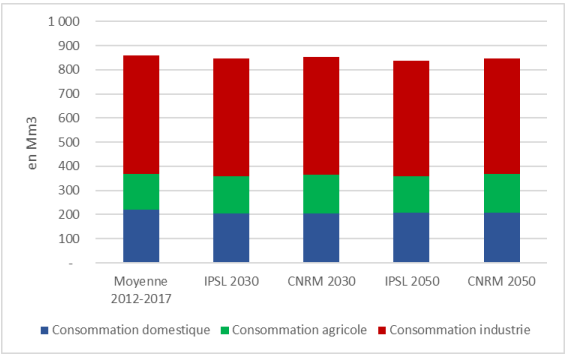
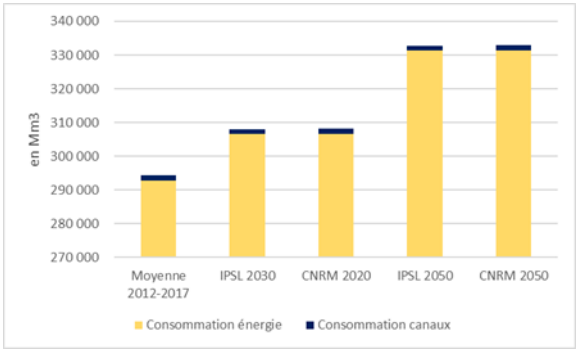


Figure 50 : Evolution des volumes prélevés pour l'usage énergie et les canaux



PARTIE 2

ANALYSE CRITIQUE DE LA NOTE D'HYPOTHESE – ADAPTATION DES CALCULS – INCERTITUDES ET SENSIBILITES AUX ENTREES ET AUX DIFFERENTS PARAMETRES

6. QUELQUES PRECISIONS SUR LES ASPECTS METHODOLOGIQUES MIS EN ŒUVRE

6.1 Préambule

Une **première version des calculs** a été mise en œuvre en intégrant l'ensemble des hypothèses et formulations présentées dans la partie précédente. Cette version **est apparue non satisfaisante**, en particulier parce qu'elle ne permet pas de **retrouver certains ordres de grandeurs couramment rencontrés sur la région Grand Est**, par exemple pour la recharge, et parce qu'elle **ne permet pas d'équilibrer convenablement les bilans hydriques ni de les confronter valablement aux débits des cours d'eau**. Partant de ces constats, certains points méthodologiques ont été revus de manière à améliorer les différents résultats. Ces améliorations sont présentées ici. **Les deux versions des calculs (calculs en appliquant l'ensemble des hypothèses issues de la partie précédente / calculs mis à jour) sont comparées de manière globale.**

6.2 L'équilibrage du bilan hydrique

L'analyse globale de la première version des calculs indique que le bilan hydrique fourni ne permet pas de retrouver les grands équilibres attendus.

Les résultats obtenus sont présentés de manière très synthétique dans le Tableau 66 au paragraphe 6.2.2, qui mentionne pour chaque zone homogène les ruissellements moyens et les recharges moyennes obtenues à l'issue de cette première version des calculs (respectivement, colonnes « Ruis ini » et « R ini »).

En particulier :

- Le ruissellement semble assez fortement sous-estimé,
- La recharge semble assez fortement surestimée,
- Les ordres de grandeur des pluies efficaces semblent corrects,
- Certains bilans considérés en moyenne interannuelle ne s'équilibrent pas.

Les points de comparaison disponibles sont les recharges moyennes évaluées sur le bassin Rhin Meuse par le BRGM et les pluies efficaces moyennes évaluées par Météo France.

Les termes du bilan sont très sensibles aux paramètres suivants :

- Coefficients culturaux (évaluation de l'ETR),
- Coefficients de ruissellement (ruissellement),
- Le base flow Index BFi, qui estime globalement la part du module de débit issue de la nappe.

Un travail d'amélioration a donc été conduit sur ces 3 aspects.

6.2.1 Révision des coefficients culturaux

Le tableau initial des coefficients culturaux est repris ci-après (Tableau 60). La source bibliographique associée à ce tableau (Nistor et al.) est identifiée dans la partie précédente. Des remarques ont été reçues en provenance du COTECH, concernant en particulier :

- Certaines valeurs estivales, qui paraissent élevées (>1.2 ou 1.3…)
- Des valeurs particulières (forêt notamment), qui semblent discutables sur certains mois.

Le Tableau 61 détaille les coefficients proposés en définitive.

Tableau 60 : Coefficients culturaux – Version antérieure (et son application sur la ZH26 Moselle amont)

			Coefficient culturaux (source: Nistor et al, 2018 ; Allen et al, 1998)											
	Superficie 2018 (ha)	Coefficient de pondération	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
111 - Tissu urbain continu	361.1	0.10%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.25	0.25	0.00	0.00
112 - Tissus urbain discontinu	19 230.1	5.19%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
121 - Zone industrielles ou commerciales	3 687.3	0.99%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
122 - Réseaux routier et ferroviaires et e	347.5	0.09%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.00	0.00
123 - Zones portuaires	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.00	0.00
124 - Aéroports	616.1	0.17%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
131 - Extraction de matériaux	724.5	0.20%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
132 - Décharges	25.4	0.01%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
133 - Chantiers	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
141 - Espaces verts urbains	173.1	0.05%	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.32	0.32	0.32	0.22	0.22	0.00	0.00
142 - Equipements sportifs et de loisirs	797.8	0.22%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
211 - Terres arrables hors périmètres d'ir	69 243.1	18.68%	0.00	0.00	1.10	1.10	1.10	1.35	1.35	1.35	1.25	1.25	0.00	0.00
221 - Vignobles	88.4	0.02%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.70	0.70	0.70	0.45	0.45	0.00	0.00
222 - Vergers et petits fruits	3 402.4	0.92%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	1.05	1.05	1.05	0.50	0.50	0.00	0.00
231 - Prairies et autres surfaces toujours	83 028.5	22.39%	0.00	0.00	0.40	0.40	0.40	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.00	0.00
242 - Systèmes culturaux et parcellaires c	15 395.1	4.15%	0.00	0.00	1.10	1.10	1.10	1.35	1.35	1.35	1.25	1.25	0.00	0.00
243 - Surfaces essentiellement agricoles,	10 004.7	2.70%	0.00	0.00	0.70	0.70	0.70	1.15	1.15	1.15	1.00	1.00	0.00	0.00
311 - Forêts de feuillus	78 015.4	21.04%	0.60	0.60	1.30	1.30	1.30	1.60	1.60	1.60	1.50	1.50	0.60	0.60
312 - Forêts de conifères	47 592.3	12.84%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
313 - Forêts mélangées	27 980.4	7.55%	0.80	0.80	1.20	1.20	1.20	1.50	1.50	1.50	1.30	1.30	0.80	0.80
321 - Pelouses et pâturages naturels	1 127.2	0.30%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	1.15	1.15	1.15	1.10	1.10	0.00	0.00
322 - Landes et broussailles	1 268.7	0.34%	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.00	0.00
324 - Forêt et végétation arbustive en mu	4 532.0	1.22%	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.00	0.00
332 - Roches nues	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.00	0.00
333 - Végétation clairsemée	152.6	0.04%	0.00	0.00	0.40	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50	0.00	0.00
411 - Marais intérieurs	44.5	0.01%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.45	0.45	0.45	0.80	0.80	0.00	0.00
412 - Tourbières	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.75	0.75	0.00	0.00
511 - Cours et voies d'eau	1 003.1	0.27%	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.65	0.65	0.65	1.25	1.25	0.00	0.00
512 - Plans d'eau	1 925.8	0.52%	0.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.65	0.65	0.65	1.25	1.25	0.00	0.00
Surface totale	***370 767.0***	***100%***	***0.31***	***0.31***	***0.88***	***0.88***	***0.88***	***1.18***	***1.18***	***1.18***	***1.08***	***1.08***	***0.31***	***0.31***

Tableau 61 : Coefficients culturaux – Version modifiée (et son application sur la ZH26 Moselle amont)

			Coefficients culturaux (source: Nistor et al, 2018 ; Allen et al, 1998)											
	Superficie 2018 (ha)	Coefficient pondération	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
111 - Tissu urbain continu	361.1	0.10%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.25	0.25	0.00	0.00
112 - Tissus urbain discontinu	19 230.1	5.19%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
121 - Zone industrielles ou commerciales	3 687.3	0.99%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
122 - Réseaux routier et ferroviaires et e	347.5	0.09%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.35	0.35	0.35	0.25	0.25	0.00	0.00
123 - Zones portuaires	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.00	0.00
124 - Aéroports	616.1	0.17%	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.00	0.00
131 - Extraction de matériaux	724.5	0.20%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
132 - Décharges	25.4	0.01%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
133 - Chantiers	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.16	0.16	0.16	0.36	0.36	0.36	0.26	0.26	0.00	0.00
141 - Espaces verts urbains	173.1	0.05%	0.00	0.00	0.12	0.12	0.12	0.32	0.32	0.32	0.22	0.22	0.00	0.00
142 - Equipements sportifs et de loisirs	797.8	0.22%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00	0.00
211 - Terres arrables hors périmètres d'ir	69 243.1	18.68%	1.00	1.00	0.90	0.90	1.04	1.20	1.20	1.15	1.00	0.90	1.00	1.00
221 - Vignobles	88.4	0.02%	1.00	1.00	1.00	0.40	0.40	0.60	0.80	0.65	0.65	0.60	1.00	1.00
222 - Vergers et petits fruits	3 402.4	0.92%	1.00	1.00	0.55	0.80	0.80	1.05	1.05	1.05	0.75	0.50	1.00	1.00
231 - Prairies et autres surfaces toujours	83 028.5	22.39%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
242 - Systèmes culturaux et parcellaires c	15 395.1	4.15%	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00
243 - Surfaces essentiellement agricoles,	10 004.7	2.70%	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	1.15	1.15	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00
311 - Forêts de feuillus	78 015.4	21.04%	0.60	0.60	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	0.70	0.60
312 - Forêts de conifères	47 592.3	12.84%	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	0.90	0.60	0.50
313 - Forêts mélangées	27 980.4	7.55%	0.55	0.55	1.00	1.00	1.00	1.15	1.15	1.15	1.10	1.00	0.65	0.55
321 - Pelouses et pâturages naturels	1 127.2	0.30%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
322 - Landes et broussailles	1 268.7	0.34%	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.00	0.00
324 - Forêt et végétation arbustive en mu	4 532.0	1.22%	0.55	0.55	1.00	1.00	1.00	1.15	1.15	1.15	1.10	1.00	0.65	0.55
332 - Roches nues	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.05	0.05	0.00	0.00
333 - Végétation clairsemée	152.6	0.04%	1.00	1.00	0.40	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50	1.00	1.00
411 - Marais intérieurs	44.5	0.01%	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.45	0.45	0.45	0.80	0.80	0.00	0.00
412 - Tourbières	0.0	0.00%	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.40	0.40	0.40	0.75	0.75	0.00	0.00
511 - Cours et voies d'eau	1 003.1	0.27%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
512 - Plans d'eau	1 925.8	0.52%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Surface totale	***370 767.0***	***100%***	***0.74***	***0.74***	***0.91***	***0.91***	***0.94***	***1.07***	***1.07***	***1.06***	***0.99***	***0.94***	***0.78***	***0.74***

Les changemets effectués portent essentiellement sur les types de surface les plus présentes au niveau régional : Terres arables / Prairies et autres surfaces toujours en herbe / Forêts de feuillus / Forêts. Les principales modifications portent sur :

- **Les terres arables :** un compromis a été réalisé entre les différentes sources de données disponibles (FAO / Chambre Agriculture / Autres études de Suez Consulting). Un graphe de comparaison est fourni en Figure 51. Il compare, sur la Zone homogène 26 (Moselle amont)

les différentes sources exploitées. La solution proposée constitue globalement une solution « intermédiaire ».

- Les valeurs supérieures à 1.2 ont été abaissées à 1.2.
- Des corrections ont été effectuées pour les vignobles, les bois de feuillus, les bois de conifères, les forêts mélangées (par moyenne des deux précédents) et les pelouses à partir des sources bibliographiques de la FAO fournies par l'AERM, et également de manière plus qualitative sur les systèmes culturaux et parcellaires et les surfaces essentiellement agricoles.

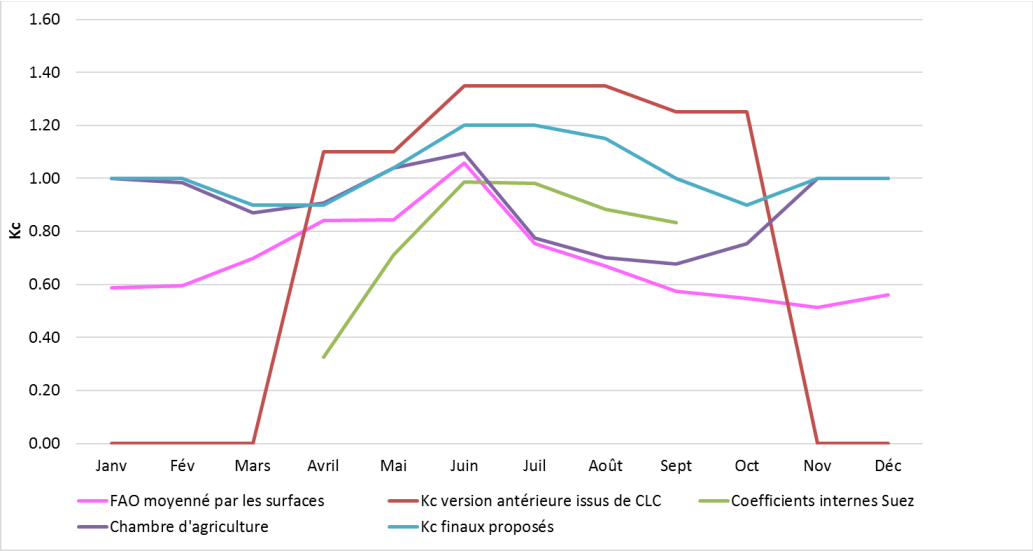


Figure 51 : Comparaison des coefficients culturaux issus des différentes sources exploitées sur les terres arables pour la ZH26

Les coefficients culturaux conditionnent la valeur de l'ETR et donc des pluies efficaces. Pour l'équilibrage des bilans, nous avons veillé à conserver globalement des valeurs d'ETR de l'ordre de la moitié de la pluie ou un peu plus en moyenne sur l'ensemble des zones homogènes. Le tableau ci-dessous montre une comparaison synthétique des valeurs obtenues avant et après modification.

Tableau 62 : comparaison de l'ETR avant et après actualisation des calculs

	Première version		Version actualisée	
	ETR (mm)	ETR/P (%)	ETR (mm)	ETR/P (%)
Moyenne	502	56%	481	55%
Min	428	40%	414	33%
Max	610	72%	572	75%
Médiane	498	55%	486	53%

Et par différence : **Peff/P = 45%** dans la première version et **Peff/P = 46%** dans la version actualisée, ce qui reste globalement proche des ratios usuels trouvés dans la littérature.

Les ordres de grandeurs de la pluie efficace sont donc conservés entre les deux versions des calculs.

NB : Dans la pratique, pour conserver des niveaux d'ETR annuels suffisant, nous avons élevé certains des coefficients culturaux hivernaux à 1 (notamment pour les surfaces agricoles), ce qui d'après certaines sources de la littérature correspond à un sol à nu. En l'absence de cette hypothèse, le ratio ETR/P tomberait au-dessous de 50%.

6.2.2 Révision des coefficients de ruissellement Cr et des BFi

De la version des calculs issues des premières hypothèses, nous pouvons conclure que notre approche du coefficient de ruissellement Cr tend à sous-estimer fortement le ruissellement.

Une recherche bibliographique nous a incités à nous rapprocher de la méthodologie du BRGM développée autour du concept autour d'IDPR.

Cet Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) part du principe que l'organisation du réseau hydrographique est dépendante des formations géologiques qui le supportent. Il traduit l'aptitude des formations du sous-sol à laisser ruisseler ou s'infiltrer les eaux de surface.

En première approche, nous nous basons sur le tableau suivant, qui fournit des ordres de grandeur des proportions Recharge / Pluie efficace et Ruissellement / Pluie efficace par grandes classes (tableau extrait du rapport BRGM-65635 – Méthodes d'évaluation de la recharge des nappes).

N° de Classe	Valeur de l'IDPR	Signification	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation de la recharge	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation du ruissellement
1	0 – 500	Infiltration très majoritaire	80%	20%
2	500 – 1000	Infiltration majoritaire	65%	35%
3	1000 – 1500	Ruissellement important	50%	50%
4	1500 – 2000	Ruissellement majoritaire	35%	65%

Tableau 63 : Répartition Ruissellement/ Recharge en fonction de l'IDPR (Source : BRGM)

La méthodologie mise en œuvre est la suivante :

- On calcule un IDPR « moyen » sur chaque zone. La signification de cet indicateur à une telle échelle est à prendre avec les précautions d'usage.
- On évalue un ordre de grandeur de la valeur du coefficient de ruissellement qui permettrait de se rapprocher des ratios **Ruissellement / Peff** présentés dans le tableau ci-dessus.

Pour arriver à équilibrer le bilan hydrique, il nous reste à comparer la recharge calculée avec le débit de base moyen d'alimentation par la nappe : en première approximation sur un système équilibrer on peut écrire : **R ≈ BFi * Q**.

Le débit s'écrit par ailleurs comme la somme des composantes Ruissellement et Alimentation par la nappe. En première approximation sur un système équilibrer on peut écrire :

$$Q \approx Ru + BFi * Q \approx Cr * Peff + BFi * Q$$

On perçoit ici que, si l'on arrive à caler des coefficients **Cr** et **BFi** cohérents avec le contexte de la zone homogène et proches des équilibres mentionnés ci-dessus, alors le bilan hydrique devient cohérent avec le module observé à la sortie de la zone homogène, cohérence qui fait souvent défaut dans la première version des calculs.

Dans son article « *Recharge des aquifères à l'échelle de la France : estimation, évolution et incertitudes associées - Colloque UNESCO-SHF : « Sécheresses 2019, Paris 11-12 et 13 décembre 2019 »,* le BRGM propose une évaluation du RIPE (Ratio d'Infiltration des Pluies Efficaces soit encore RIPE = R/Peff) à partir de l'IDPR :

Formations	Formule de calcul du RIPE
Sédimentaire et alluvial	RIPE = -5.10^{-4} . IDPR + 1.0797 avec RIPE≤1
Volcanique	RIPE = = -5.10^{-4} . IDPR + 1.0797 avec 0.75≤RIPE≤1
Karst et socle	RIPE = 0.55
Plissées	RIPE = 0.65

Tableau 64 : Evaluation du RIPE en fonction de l'IDPR (Source : BRGM)

Moyennant des hypothèses simplificatrices supplémentaires valables à l'échelle annuelle (absence de flux latéralement ou par drainance au niveau de l'aquifère et variation des stocks négligeable) on peut assimiler le module Q à la Pluie Efficace et le Débit de Base d'alimentation de la rivière par la nappe à la recharge R, ce qui conduit à : **RIPE ≈ BFi.**

A partir du tableau précédent, on peut donc estimer un ordre de grandeur du coefficient BFi pour chaque zone homogène.

Ce rééquilibrage du bilan hydrique et sa mise en compatibilité avec le module a été réalisé par itérations successives. Pour ce faire, on a veillé à rester dans les ordres de grandeurs attendus mais sans forcer les coefficients. Concrètement, une fois la Pluie Efficace moyenne évaluée :

- On **évalue le coefficient Cr relativement à l'IDPR** moyen sur la zone de telle sorte que le ratio Ru/Peff soit compatible avec les ordres de grandeurs affichés dans le premier tableau, et en tout cas en respectant les tendances : infiltration très majoritaire / infiltration majoritaire / ruissellement important / ruissellement majoritaire.
  On est ici attentif au ratio Ru/Peff mais aussi au ratio Ru/R, qui selon qu'il est inférieur / proche / ou supérieur à 100% traduit l'aptitude au ruissellement ou à l'infiltration.
- Puis **on évalue le BFi en fonction de l'IDPR moyen**, et on vérifie si cette évaluation permet de se rapprocher de l'approximation **Q ≈ Ru + BFi * Q ≈ Cr * Peff + BFi * Q.**
  Dans la pratique, on fait varier le BFi de quelques pourcents si nécessaire, tout en veillant à respecter les ordres de grandeurs attendus.
  On est ici attentif au ratio R/BFi*Q, que l'on souhaite proche de 100%, tout en essayant de le garder dans la fourchette 80% / 120%.

Le Tableau 65 en page suivante fournit l'évolution des coefficients (Cr, BFi) et les ratios caractéristiques qui en découlent tels que présentés ci-dessus. On y trouve pour chaque zone homogène :

- L'**IDPR** moyen,
- **Les coefficients de ruissellement première version / version réactualisée.**
  NB : le coefficient de ruissellement utilisé dans nos calculs est relatif à la pluie totale (et non pas à la pluie efficace). Le ration Ru/Peff correspond en fait au coefficient de ruissellement tel qu'introduit dans la méthodologie du BRGM.
- **Les BFi première version / version réactualisée**, à rapprocher du ratio R/BFi*Q.

La mise en œuvre de ces adaptations méthodologiques permet de mieux respecter les équilibres au sein du bilan hydrique et de rendre ce bilan plus en adéquation avec le module. Par contre, les évolutions nécessaires sur les coefficients sont :

- Importantes (souvent de l'ordre d'un facteur 2 à 3) et dispersées pour le coefficient de ruissellement. L'approche « physique » retenue initialement disparaît au profit de l'équilibrage du bilan hydrique.
- Moins importantes sur le Bfi pour la plupart des zones homogènes, en dehors de celles liées à la craie, pour lesquelles l'approche du BRGM tend vers des valeurs assez proches de 80% (alors que les premières estimations étaient plutôt de l'ordre de 50% à 60%).
- Les tendances ou estimations proposées par le BRGM sont globalement respectées sans qu'il soit besoin de forcer les coefficients.

Il nous reste maintenant à analyser les évolutions des différents termes du bilan hydrique suite à la modification de ces paramètres. Ces résultats sont présentés dans le tableau placé à la suite du tableau explicatif des paramètres

.

Tableau 65 : Comparaison des coefficients Cr et BFi initiaux proposés et ratios caractéristiques issus des coefficients finaux

		ZH	IDPR Moyen	BFi initial Suez	RIPE = BFI (BRGM)	Cr initial Suez	BFI proposé	Cr Proposé	Cr ramené à Peff	R/bfi*Q	Rui/R	Cr proposé / Cr ini	Bfi proposé / Bfi ini
Craie	1 : Affluent Crayeux Aisne - Craie de Champagne Nord	1	488	50%	84%	12%	85%	**12%**	36%	106%	55%	100%	170%
	2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre	2	540	51%	81%	12%	80%	**12%**	41%	119%	69%	100%	157%
	3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe	3	442	50%	86%	8%	80%	**9%**	36%	103%	57%	107%	159%
	4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre	4	505	54%	83%	9%	83%	**12%**	37%	115%	59%	138%	154%
	5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud	5	427	51%	87%	11%	80%	**9%**	36%	104%	56%	84%	156%
Aisne	10 : Brie et Tardenois	10	950	54%	60%	12%	62%	**19%**	51%	154%	106%	157%	114%
	6 : Aisne amont	6	1083	57%	54%	19%	60%	**27%**	54%	103%	117%	142%	105%
Aube amont	7 : Aisne aval	7	976	58%	59%	11%	59%	**21%**	48%	101%	93%	191%	102%
	30 : Oise	30	1118	50%	52%	6%	55%	**29%**	54%	122%	115%	504%	110%
	34 : Seine amont	34	867	60%	65%	9%	65%	**19%**	47%	128%	88%	213%	109%
	8 : Aube amont	8	822	51%	67%	8%	**51%**	**16%**	44%	105%	77%	204%	100%
	22 : Marne amont	22	639	55%	76%	11%	62%	**19%**	40%	102%	67%	173%	112%
Corridors	9 : Blaise	9	772	51%	69%	9%	64%	**20%**	46%	101%	84%	223.46%	125%
	33 : Saulx et Ornain	33	729	55%	72%	11%	72%	**24%**	46%	102%	87%	210%	132%
	13 : Corridor Aube	13	1001	52%	58%	6%	55%	19%	50%	102%	102%	305%	106%
	14 : Corridor Marne	14	1034	52%	56%	10%	50%	17%	51%	85%	103%	178%	96%
	15 : Corridor Seine	15	1171	51%	49%	8%	49%	18%	51%	100%	106%	224%	96%
Meuse	18 : Haute Meuse	18	944	58%	61%	7%	60%	27%	51%	114%	106%	401%	103%
fluents vosgie	25 : Meuse mediane	25	856	55%	65%	9%	65%	25%	49%	100%	97%	274%	118%
Plaine d'alsac	24 : Meuse aval	24	1098	56%	53%	7%	54%	28%	55%	101%	123%	417%	97%
	12 : Chiers	12	979	57%	59%	10%	54%	27%	53%	102%	114%	282%	94%
Marne maont	23 : Meurthe	23	1163	51%	50%	10%	50%	28%	55%	113%	122%	290%	98%
Moselle	26 : Moselle amont	26	1059	58%	55%	10%	50%	28%	51%	102%	104%	283%	86%
	28 : Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille	28	1084	60%	54%	13%	55%	23%	53%	121%	111%	174%	92%
	27 : Moselle aval	27	1107	56%	53%	12%	48%	27%	55%	101%	122%	223%	85%
	29 : Nied	29	1329	55%	42%	20%	50%	30%	63%	102%	172%	150%	90%
	32 : Sarre	32	1310	58%	42%	12%	52%	35%	63%	107%	172%	302%	89%
	20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace	20	825	55%	67%	11%	55%	10%	33%	91%	49%	88%	100%
Nied et Sarre	19 : ill amont	19	1198	54%	48%	12%	54%	22%	52%	128%	107%	187%	101%
Oise	16 : Doller	16	1216	55%	47%	12%	55%	32%	52%	105%	110%	275%	100%
Saone amont	35 : Thur (soutenue)	35	1226	56%	47%	8%	56%	36%	54%	103%	115%	475%	99%
	17 : Fecht, Weiss et Lauch	17	1024	57%	57%	18%	57%	29%	51%	123%	104%	161%	99%
	11 : Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette	11	1123	58%	52%	11%	56%	25%	52%	101%	109%	227%	96%
Seine Amont	21 : Lauter, Sauer, Moder, Zorn	21	1146	55%	51%	11%	55%	24%	52%	153%	108%	220%	100%
	31 : Saone amont	31	991	57%	58%	7%	58%	27%	50%	118%	99%	388%	102%
		Moy.	949.7	55%	60%	11%	60%	22%	49%	110%	100%	231%	110%
		Min	426.7	50%	42%	6%	48%	9%	33%	85%	49%	84%	85%
		Max	1328.7	60%	87%	20%	85%	36%	63%	154%	172%	504%	170%
		Mediane	1000.6	55%	58%	11%	56%	24%	51%	103%	104%	213%	101%

Tableau 66 : Mise à jour des principaux termes du bilan hydrique

	ZH	IDPR Moyen	BFI proposé	Cr Proposé	ETR (mm)	Ruis(mm)	Peff (mm)	R(mm)	Rbgrm (mm)	Rini(mm)	R-Rini (mm)	Ruis ini (mm)	Ru-Ru ini (mm)
1 : Affluent Crayeux Aisne - Craie de Champagne Nord	1	488	85%	**12%**	526.4	95	268	173		173	0	95	0
2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre	2	540	80%	**12%**	514.7	87	213	126		126	0	87	0
3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe	3	442	80%	**9%**	506.6	61	168	107		111	-4	57	4
4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre	4	505	83%	**12%**	510.4	91	244	154		179	-25	65	25
5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud	5	427	80%	**9%**	498.5	60	166	106		95	11	71	-11
10 : Brie et Tardenois	10	950	62%	**19%**	493.0	148	288	140		194	-54	95	54
6 : Aisne amont	6	1083	60%	**27%**	459.5	248	460	212		285	-74	175	74
7 : Aisne aval	7	976	59%	**21%**	506.6	188	390	201		291	-89	99	89
30 : Oise	30	1118	55%	**29%**	511.3	324	604	281		540	-259	64	259
34 : Seine amont	34	867	65%	**19%**	493.0	157	336	178		262	-83	74	83
8 : Aube amont	8	822	**51%**	**16%**	496.1	125	288	162		226	-64	62	64
22 : Marne amont	22	639	62%	**19%**	501.2	181	452	271		347	-76	105	76
9 : Blaise	9	772	64%	**20%**	485.7	173	380	207		303	-96	77	96
33 : Saulx et Ornain	33	729	72%	**24%**	492.2	245	528	283		411	-128	117	128
13 : Corridor Aube	13	1001	55%	19%	458.7	140	278	138		232	-94	46	94
14 : Corridor Marne	14	1034	50%	17%	479.2	122	241	119		172	-54	69	54
15 : Corridor Seine	15	1171	49%	18%	456.0	126	246	120		190	-70	56	70
18 : Haute Meuse	18	944	60%	27%	464.1	263	512	248	185	446	-198	66	198
25 : Meuse mediane	25	856	65%	25%	471.7	240	486	247	179	399	-152	87	152
24 : Meuse aval	24	1098	54%	28%	499.4	284	516	231	233	447	-216	68	216
12 : Chiers	12	979	54%	27%	451.8	248	466	218	189	378	-160	88	160
23 : Meurthe	23	1163	50%	28%	490.3	280	509	229	227	413	-183	97	183
26 : Moselle amont	26	1059	50%	28%	502.4	312	611	299	259	501	-201	110	201
28 : Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille	28	1084	55%	23%	434.8	178	338	160	138	236	-76	102	76
27 : Moselle aval	27	1107	48%	27%	448.8	238	433	195	158	326	-131	107	131
29 : Nied	29	1329	50%	30%	413.8	236	373	137	123	216	-79	157	79
32 : Sarre	32	1310	52%	35%	425.8	334	528	194	154	417	-223	110	223
20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace	20	825	55%	10%	468.3	67	206	138	184	129	9	76	-9
19 : ill amont	19	1198	54%	22%	572.1	219	425	206	204	308	-102	117	102
16 : Doller	16	1216	55%	32%	469.7	387	741	354	308	600	-247	141	247
35 : Thur (soutenue)	35	1226	56%	36%	480.7	529	988	459	430	876	-417	111	417
17 : Fecht, Weiss et Lauch	17	1024	57%	29%	460.5	309	606	297	308	414	-117	192	117
11 : Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette	11	1123	56%	25%	449.5	216	414	198	206	319	-121	95	121
21 : Lauter, Sauer, Moder, Zorn	21	1146	55%	24%	444.5	198	381	183	173	291	-108	90	108
31 : Saone amont	31	991	58%	27%	493.6	291	583	292		508	-216	75	216

Le tableau précédent fournit pour chaque zone homogène :

- L'IDPR moyen de la zone,
- Les coefficients de ruissellement et BFi actualisés,
- L'ETR, le ruissellement, la pluie Efficace et la recharge mis à jour,
- Les valeurs de la recharge calculées par le BRGM sur le bassin Rhin-Meuse,
- La recharge dans sa première version Rini et la différence R – Rini,
- Le ruissellement dans la première version Ru ini et la différence Ru – Ru ini.

On peut faire les remarques suivantes :

- On constate un net rééquilibrage du ruissellement au détriment de la recharge dans la version actualisée du calcul, ce qui est bien l'effet que l'on cherchait à obtenir, avec en **moyenne** sur l'ensemble des zones :
  - **R = 208 mm contre R = 328 mm précédemment,**
  - **Ru = 201 mm contre Ru = 94 mm précédemment,**
  - Et globalement un équilibre entre R et Ru, alors qu'on avait précédemment Ru ≈ R/3
- On peut comparer les recharges moyennes évaluées par le BRGM sur Rhin-Meuse avec les estimations réalisées ici :

Tableau 67 : Comparaison des recharges avant et après actualisation des calculs

	Rini (mm)	Ractualisé (mm)	R BRGM (mm)
Moyenne	395	235	215
Min	129	137	123
Max	876	459	430
Médiane	399	218	189

On constate que les valeurs obtenues sont en bien meilleure concordance que celles de la première version, ce qui est par ailleurs attendu puisque la méthodologie mis en œuvre ici s'inspire des travaux du BRGM.

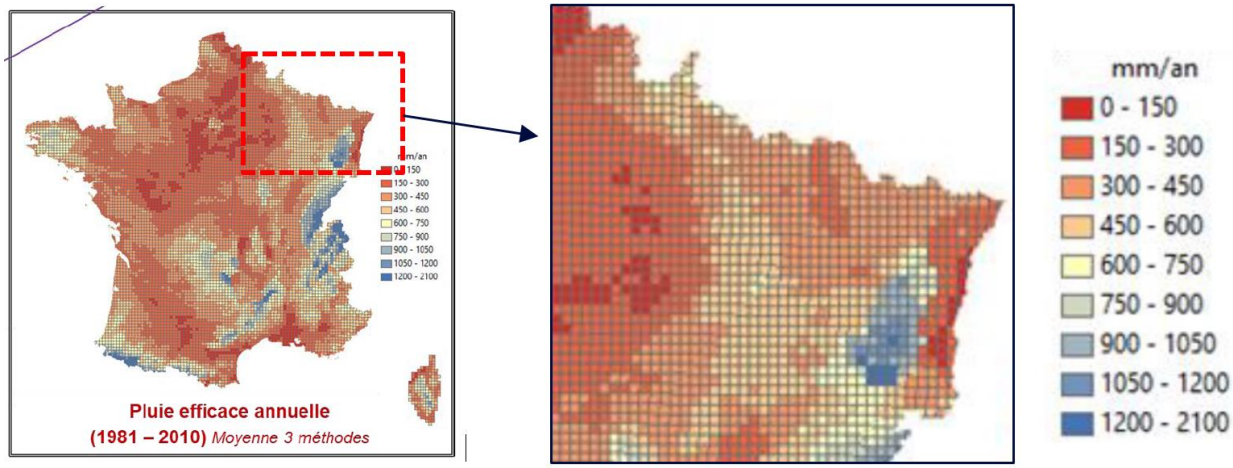
- Enfin, on peut aussi comparer les ordres de grandeurs des pluies efficace obtenues par secteur avec celles calculées par Météo France. On vérifie ci-dessous que les changements opérés sur les coefficients culturaux n'ont pas de répercussion significative sur l'ordre de grandeur des pluies efficaces mises à jour.

Tableau 68 : Comparaison des pluies efficaces avant et après actualisation des calculs

	Peff ini (mm)	**Peff actualisée (mm)**
Moyenne	407	419
Min	190	166
Max	877	988
Médiane	392	414

On peut vérifier à l'aide de la carte fournie ci-après que les ordres de grandeurs des pluies efficaces sont globalement cohérents avec ceux calculées par Météo France.

Figure 52 : Pluies efficaces moyennes annuelles calculées par Météo France sur la période 1981-2010



L'ensemble de graphes ci-après permet de vérifier l'équilibrage correct des bilans.

Figure 53 : Le ruissellement mis à jour vs. le ruissellement version antérieure

En moyenne les traitements réalisés multiplient par 2 le ruissellement par rapport à la version initiale.

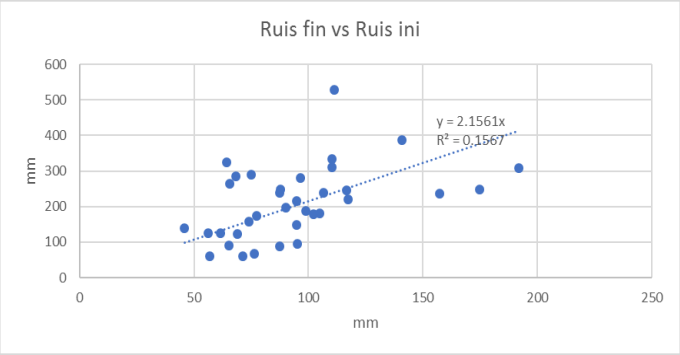


Figure 54 : Le recharge mise à jour vs. la recharge version antérieure

En moyenne les traitements réalisés diminuent la recharge de 40% par rapport à la version antérieure.

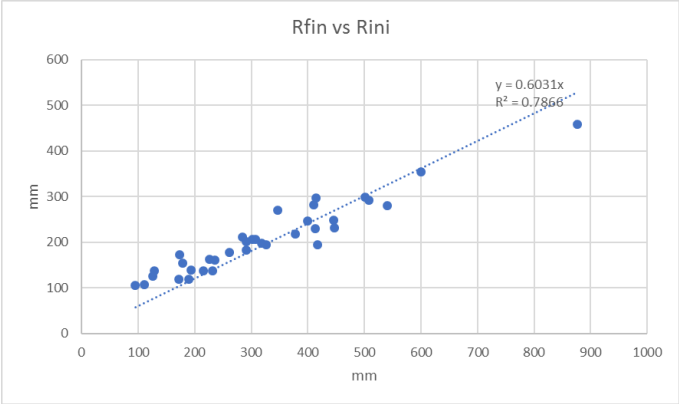


Figure 55 : Les ratios R/Peff et Rui/Peff vs IDPR

Les coefficients de ruissellement proposés permettent de respecter les ordres de grandeur proposés par le BRGM.

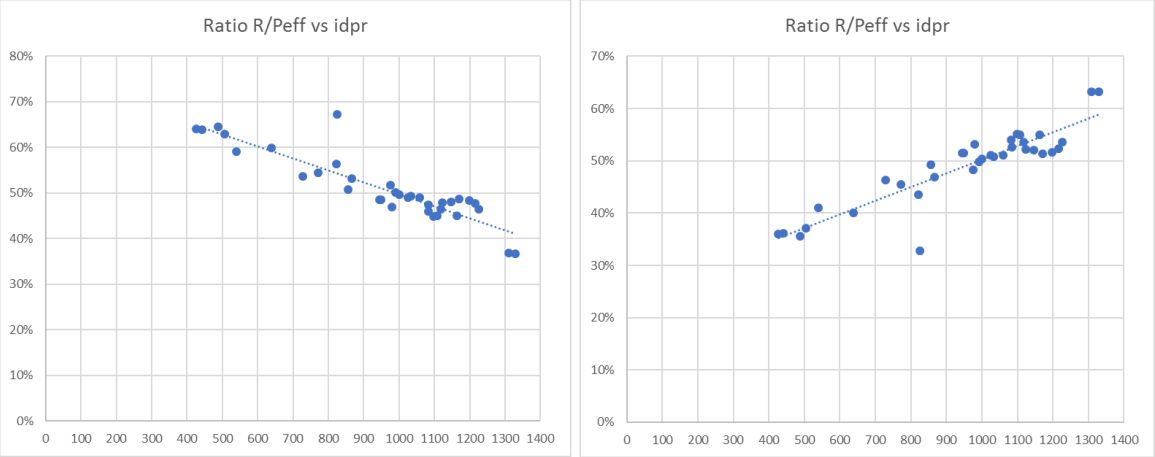


Figure 56 : Les Recharges calculées R vs. Les recharges calculées par le BRGM sur Rhin Meuse

Les recharges moyennes annuelles sont proches de celles calculées par le BRGM, avec des écarts généralement de l'ordre de 10 à 20%

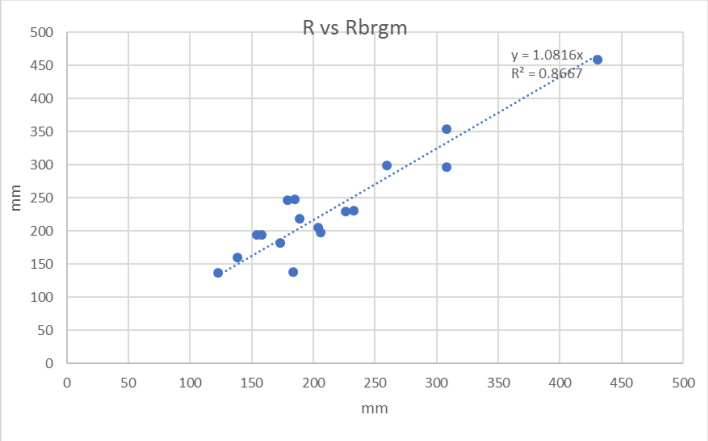


Figure 57 : Les Recharges R vs. Le ruissellement Ru

Ce graphe indique qu'en moyenne les recharges calculées sont de l'ordre de 60% des ruissellement calculés. Il traduit également cependant des disparités assez fortes entre les bassins ayant un ruissellement prépondérant / un équilibre recharge ruissellement / une tendance prépondérante à l'infiltration.

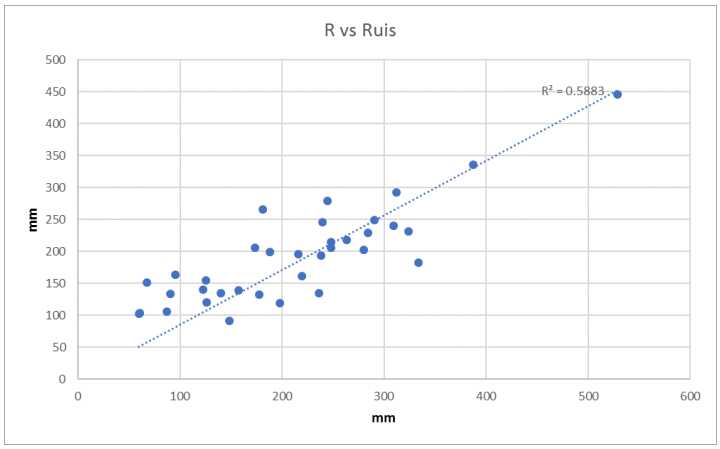


Figure 58 : BFi * Q vs. R

*Les choix effectués sur les paramètres BFi permettent globalement de comparer les termes BFi * Q et les recharges calculées, tout en respectant les ordres de grandeurs du BFi proposés par le BRGM.*

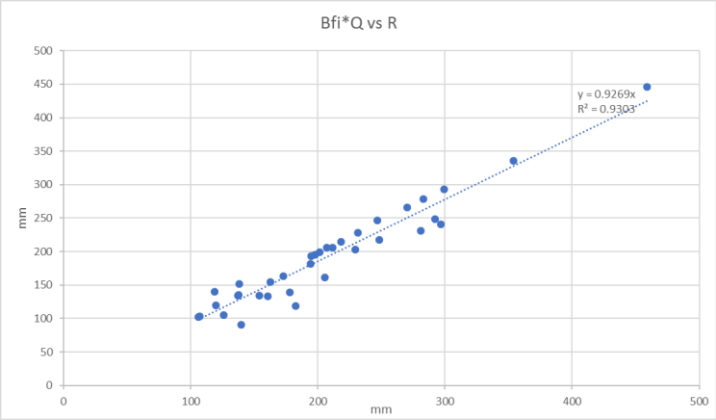


Figure 59 : Peff vs. Q

On vérifie que les choix réalisés permettent globalement de comparer la Pluie Efficace et le débit. Les pluies efficaces apparaissent un peu surestimées, ce qui est à mettre en relation avec une probable sous-estimation de l'ETR. Ce point est discuté plus loin.

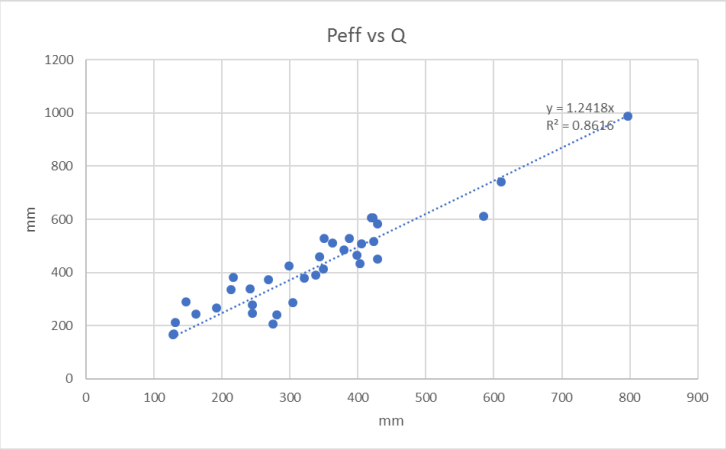


Figure 60 : Ratio des coefficients de ruissellement Cr proposés / Cr version antérieure

NB : il s'agit ici du Cr relatif à la pluie totale (et non pas à la pluie efficace). En abscisse : le numéro de ZH. Les ruissellements ont été fortement modifiés, généralement à la hausse. On a cependant veillé à respecter les ordres de grandeur proposés par le BRGM et une certaine cohérence géographique.

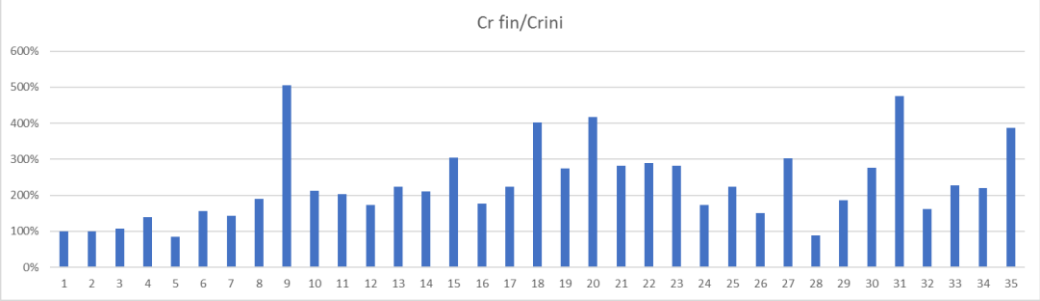
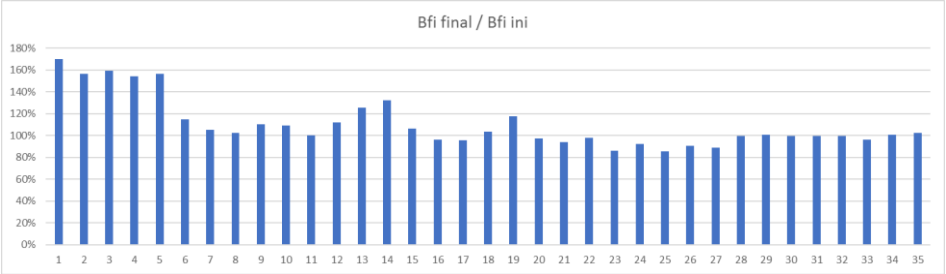


Figure 61 : Ratio des BFi proposés / BFi version antérieure

Les changements les plus notables de ce paramètre concernent les bassins crayeux, pour lesquels on a retenu des valeurs de l'ordre de 80% (en abscisse : le numéro de ZH)



En résumé :

- On constate que les rectifications effectuées sur les différents coefficients par rapport à ce qui était envisagé dans la partie 1 permettent globalement de mieux s'approcher de l'équilibre des bilans hydriques globaux et de retrouver une logique d'ensemble.
- Ces modifications ont été faites en s'appuyant sur les travaux du BRGM, dont on a cherché à restituer les ordres de grandeurs et la logique, **sans forcer** toutefois artificiellement les paramètres pour rechercher un équilibre « à tout prix ».
- Les équilibres recherchés – s'ils se sont globalement améliorés – sont donc souvent approchés mais pas toujours atteints. Il est donc essentiel d'analyser les incertitudes liées à l'échelle de l'étude, à l'agrégation des données d'entrée et à la sensibilité aux différents paramètres pour évaluer dans quelle mesure il conviendrait de tenter d'équilibrer ces bilans de manière encore plus précise.

7. QUELQUES ELEMENTS SUR LES INCERTITUDES DES ENTREES ET DES CALCULS

7.1 L'échelle de réflexion

L'échelle de réflexion – qui découpe le territoire de la région Grand Est en 35 zones « homogènes » – constitue le premier facteur d'incertitude de l'étude. La caractérisation des surfaces est donnée ci-dessous.

Tableau 69 : Ordres de grandeurs de surfaces des zones homogènes

	S (km²)
Moyenne	1648
Min	125
Max	3708
Médiane	1657

Nous travaillons donc sur des territoires de 1650 km² en moyenne, sur lesquels l'ensemble des données d'entrées sont :

- **Additionnées** (cas des prélèvements, des rejets…) ce qui n'est pas un facteur d'incertitude particulier,
- **Moyennées**, ce qui génère des incertitudes beaucoup plus fortes, mais difficilement quantifiables. En particulier les grandeurs suivantes, étroitement liées au relief, à la pédologie, à la géologie et à l'occupation des sols sont globalisées :
  - Le coefficient de ruissellement Cr,
  - La RFU,
  - Les coefficients culturaux, même s'ils sont distribués en fonction de l'occupation des sols,
  - L'IDPR.

7.2 Passage en revue des principales entrées du bilan hydrique

Examinons maintenant les incertitudes associées aux différentes entrées du bilan hydrique :

$$P = (R + Ru) + ETR + \Delta RFU = Peff + ETR + \Delta RFU$$

Les incertitudes liées à la pluie P

L'estimation de la pluie sur chaque zone homogène est faite à partir d'un panel de 50 postes pluviométriques répartis sur le territoire. La pluie sur chaque zone est obtenue à partir d'une approche de type « polygones de Thiessen », illustrée par la Figure 6 présentée en partie 1.

Nous avons apporté un soin tout particulier au choix des postes pluviométriques en considérant les gradients de la pluviométrie moyenne régionale (cartographiés ici selon le scénario de référence CNRM extrait de la base de données DRIAS, ce qui introduit déjà un premier biais). Cette stratégie a consisté d'une part à densifier le nombre de postes sur les reliefs, d'autre part à retenir dans la mesure du possible un poste représentatif de la moyenne pluviométrique du polygone considéré.

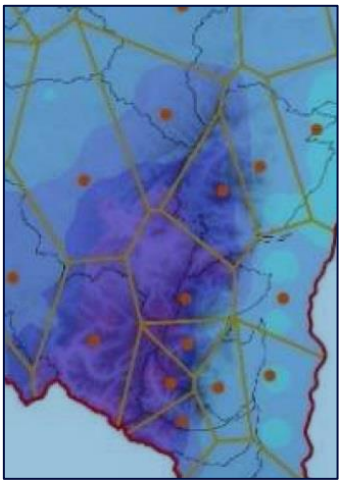


Figure 62 : Zoom de la carte des postes pluviométriques et des polygones de Thiessen sur les Vosges

Le zoom ci-contre sur les Vosges de la carte générale présentée Figure 6 illustre les incertitudes associées à la démarche.

Malgré un choix minutieux des postes pluviométriques, le nombre limité de ces derniers pour couvrir la totalité de la région induit nécessairement un biais dans la pluviométrie moyenne évaluée sur les zones homogènes.

On dispose d'une densité moyenne de 1,4 postes pluviométriques par zone homogène, **soit encore 1 poste pour 1150 km² (là où l'on considère assez classiquement en hydrologie qu'une densité de 4 à 5 postes pour 1000 km²** est souvent nécessaire pour obtenir une visibilité correcte de la variabilité des champs pluviométriques).

On peut estimer sommairement que les biais d'évaluation de la pluviométrie sur les zones homogènes :

- Peut atteindre 10% sur les zones sans relief,
- Peut dépasser 10% sur les zones de relief marqué, en particulier les Vosges.

Les incertitudes liées à l'ETR et donc à l'estimation de la pluie efficace

Les incertitudes liées à l'estimation de l'ETR sont de trois ordres.

- **La première est liée à l'utilisation de la formule de Thornthwaite pour l'évaluation de l'ETP. Les biais de cette formule**, dont l'utilisation est aisée par rapport à la formulation de Penman, ont été signalés dans la présentation des hypothèses méthodologiques. Ces biais sont illustrés sur la Figure 41 présentée en partie 1.

  Il est donc important de garder à l'esprit, au moins pour l'exemple de la Figure 41, que :
  - La distribution mensuelle de la formule de Thornthwaite est significativement différente de celle de la formule de Penman (sous-estimation sensible de l'ETP sur les mois de Mars à juin et légère surestimation sur les mois d'octobre et novembre),
  - Le cumul annuel moyen issu de la formule de Thornthwaite est inférieur de 12% environ à celui de la formule de Penman pour cette station.

  Il est très probable que des tendances similaires se vérifient à l'échelle de Grand Est.
- **La seconde est liée à la variable d'entrée permettant de calculer l'ETP :** la température moyenne sur la zone homogène. Les biais sont ici similaires à ceux constatés pour la pluviométrie. Une dizaine de postes a été utilisée pour estimer la température moyenne via un découpage en polygones de Thiessen (Figure 63).
  Ici encore, en dépit du soin apporté au choix des postes météorologiques (respect des gradients de températures, représentativité de la température moyenne de chaque poste sur le polygone associé…) une erreur significative est commise, qui se reporte sur l'évaluation de l'ETP, avec une acuité particulière sur le massif des Vosges où les gradients de température sont forcément plus importants.

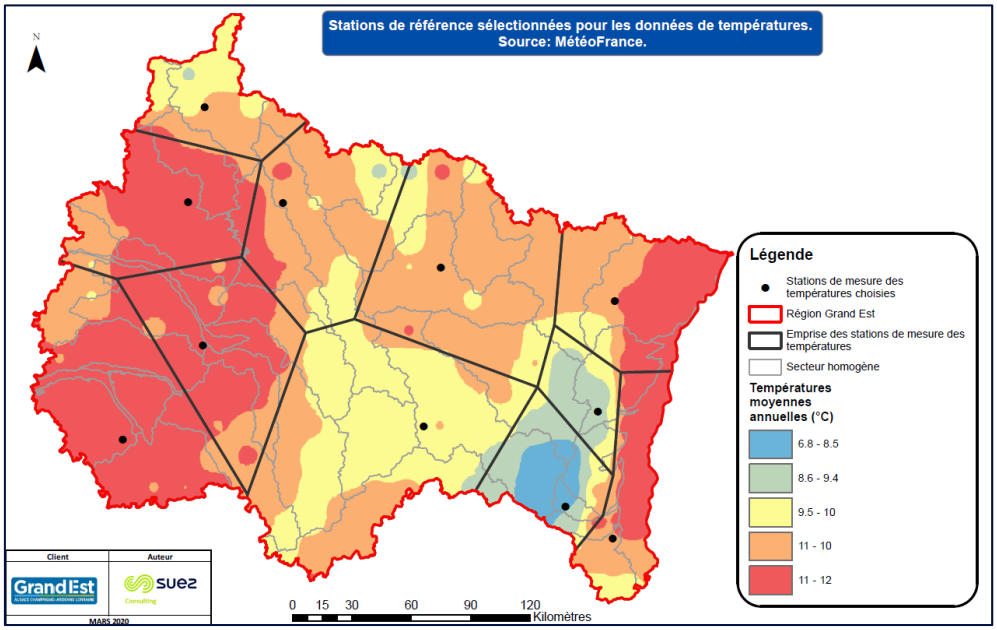


Figure 63 : Postes météo utilisés pour l'estimation de l'ETP via la température et découpage en polygones de Thiessen (en fond : température moyenne de la situation de référence du CNRM)

NB : une incertitude supplémentaire est rencontrée ici : le fait de généraliser une formule fortement non linéaire à partir de la moyenne de la variable d'entrée sur la zone de calcul (ce qui peut conduire à des résultats sensiblement différents par rapport à une moyenne de plusieurs ETP calculées sur le même secteur à partir d'un nombre de poste plus élevé…)

- **La troisième est liée à l'obtention de l'ETR à partir de l'ETP via des coefficients culturaux :** une adaptation des coefficients culturaux par rapport à la première version utilisée a été discutée précédemment.
  L'estimation de ces coefficients reste assez incertaine, en particulier sur les terres arables dont la distribution n'est que grossièrement connue (rotation des cultures, présence d'intercultures, de cultures d'hiver…).
  Dans la pratique nous avons procédé de la façon suivante : nous avons cherché à retenir des coefficients « de compromis », réalistes par rapport à l'ensemble des sources utilisées, tout en veillant à conserver un niveau d'ETR vs Pluie Efficace « réaliste », avec le souci de tirer plutôt l'ETR estimée vers des valeurs hautes.
- **En tenant compte de ce qui précède on conçoit dont que le calcul de l'ETR à l'échelle d'une zone homogène relève plutôt d'une « estimation » avec une marge d'erreur qui pourrait se situer autour de 15 à 20%.**

Les incertitudes liées à la RFU

La RFU est évaluée à partir des données présentes sur GIS Sol qui fournit une **carte de la Réserve Utile en eau en France métropolitaine** (Figure 35) à l'échelle 1/1 000 000 (*Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.).* Les incertitudes associées proviennent de :

- La précision intrinsèque de la cartographie utilisée,
- L'hypothèse prise pour évaluer la RFU à partir de la RU : **RFU = 2/3 RUmax**, ratio couramment rencontré mais relativement incertain,
- L'opération de moyenne pondérée qui est réalisée pour obtenir une RFU moyenne à l'échelle de la zone homogène : on peut concevoir que le volume moyen de la RFU est assez proche de cette moyenne. Par contre, le remplissage de la RFU entraînant le début du processus de recharge, le fait de généraliser cette valeur à l'échelle de la zone homogène cache les fortes disparités locales pouvant exister et biaise le calcul.

Les incertitudes liées à la décomposition Ruissellement/Recharge de la pluie Efficace

Ce point est discuté dans la partie précédente. Vu les problèmes rencontrés dans la première version des calculs (sous-estimation très importante du ruissellement), il est proposé ici d'abandonner l'estimation des coefficients de ruissellement via des critères physiques (géologie, pédologie, pente, occupation des sols….) et d'adopter une démarche proche de celle proposée par le BRGM, basée sur approche qualitative de la répartition Ruissellement / Infiltration en fonction de l'IDPR. Cette approche, nous l'avons vu, conduit à des bilans hydriques bien mieux équilibrés, tout en permettant de retrouver des ordres de grandeur pour la recharge plus en rapport avec ceux identifiés sur la région Grand Est.

Pour autant, cette approche reste relativement qualitative et les incertitudes associées aux paramètres clefs (Cr, BFi) restent élevées :

- On peut estimer l'incertitude sur les coefficients de ruissellement Cr à 5% environ (5% en « valeur absolue », soit par exemple un intervalle [20% ; 30 %] pour une valeur de 25%),
- On peut estimer l'incertitude sur les Bfi à 10% environ (10% en « valeur absolue », soit par exemple un intervalle [40% ; 60 %] pour une valeur de 50%).

Les incertitudes liées à l'estimation des modules

Les incertitudes liées à l'estimation des modules est classique en hydrologie. Prenons l'exemple de deux stations consécutives proches sur la Seine. Les données Banques Hydro nous fournissent :

	S (km²)	Module (mm)
Troyes	3410	287
Méry-sur-Seine	3880	267

Le calcul indique que, si ces valeurs étaient parfaitement exactes, le module de la surface d'apport serait seulement de 120 mm, ce qui est une valeur objectivement très faible. Quand nous reconstituons un module en un point intermédiaire à partir de l'une ou l'autre de ces deux stations, nous générons une incertitude de ±20 mm en fonction de la valeur retenue.

D'une manière générale, on considère souvent que les débits sont estimés au mieux **à 10% près**…

7.3 Eléments de la sensibilité des calculs aux principaux paramètres

Sur la base des éléments précédents, nous pouvons faire une analyse de sensibilité aux différents paramètres utilisés. Cette analyse est présentée ici de manière synthétique sur la zone homogène 26.

Nous évaluons pour chaque test les variations des différents termes du bilan hydrique.

Sensibilité au coefficient de ruissellement

Dans ce test, on rajoute ±5% (en valeur absolue) au coefficient de ruissellement moyen sur la zone homogène. Les sorties les plus impactées sont le ruissellement (±18%), la recharge (±12%), le manque en eau (±27%)

Tableau 70 : Sensibilité au coefficient de ruissellement

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence Cr 28%	318	678	501	451	341	656	50
Cr 33%	373	678	501	438	299	669	63
Ecart / Référence	18%	0%	0%	-3%	-12%	2%	27%
Cr 23%	262	678	501	459	387	648	42
Ecart / Référence	-18%	0%	0%	2%	13%	-1%	-16%

Sensibilité à la RFU

Dans ce test, on rajoute ±20mm à la RFU moyenne sur la zone homogène. Les sorties les plus impactées sont l'ETR (±4%), la recharge (±5%), le manque en eau (±35%).

Tableau 71 : Sensibilité à la RFU

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence RFU 66 mm	318	678	501	451	341	656	50
RFU 86 mm	318	678	501	467	326	639	34
Ecart / Référence	0%	0%	0%	4%	-5%	-3%	-33%
RFU 46 mm	318	678	501	433	359	674	68
Ecart / Référence	0%	0%	0%	-4%	5%	3%	37%

Sensibilité aux coefficients culturaux

Dans ce test, on rajoute ±0.15 aux coefficients culturaux moyens sur la zone homogène. Les valeurs des coefficients de référence sont récapitulées ci-dessous :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0.74	0.74	0.91	0.91	0.94	1.07	1.07	1.06	0.99	0.94	0.78	0.74

Les sorties les plus impactées sont le manque en eau (forte variation), l'ETM (±20%), l'ETR (±15%), la pluie efficace (±10%), la recharge (±20%), dont l'évolution est ici artificiellement accentuée par le fait que le ruissellement reste constant.

Tableau 72 : Sensibilité aux coefficients culturaux

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence	318	678	501	451	341	656	50
Kc moyens +0.15	318	678	603	486	305	621	116
Ecart / Référence	0%	0%	20%	8%	-11%	-5%	134%
Kc moyens -0.15	318	678	399	382	408	724	17
Ecart / Référence	0%	0%	-20%	-15%	20%	10%	-66%

Sensibilité à l'ETP

Dans ce test, on rajoute ±10% à l'ETP moyenne évaluée sur la zone homogène. Les sorties les plus impactées sont le manque en eau (fortes variations), l'ETM (±10%), l'ETR (±6%), la recharge (±17%), dont l'évolution est ici artificiellement accentuée par le fait que le ruissellement reste constant.

Tableau 73 : Sensibilité à la valeur de l'ETP

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence	318	678	501	451	341	656	50
ETP +10%	318	746	551	461	299	647	90
Ecart / Référence	0%	10%	10%	2%	-12%	-1%	82%
ETP -10%	318	610	451	424	398	682	27
Ecart / Référence	0%	-10%	-10%	-6%	17%	4%	-46%

Sensibilité à la pluviométrie

Dans ce test, on rajoute ±10% à la pluviométrie moyenne évaluée sur la zone homogène. Les sorties les plus impactées sont le ruissellement (±10%), l'ETR (±6%), la recharge (±11%), la pluie efficace (±16%), le manque en eau (±25%).

Tableau 74 : Sensibilité à la valeur de la pluviométrie

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence	318	678	501	451	341	656	50
P +10%	349	678	501	457	378	760	43
Ecart / Référence	10%	0%	0%	1%	11%	16%	-13%
P -10%	286	678	501	439	302	557	62
Ecart / Référence	-10%	0%	0%	-3%	-11%	-15%	25%

7.4 Test sur la variation du coefficient de ruissellement dans l'année

La question de la variation du ruissellement dans l'année est examinée ici. Dans la méthode proposée, le coefficient de ruissellement est constant quel que soit le mois : Ru = Cr * P.

Pour augmenter le ruissellement les mois d'hiver, nous avons introduit un facteur multiplicatif supplémentaire : Cr[automne-hiver] ≈ 1.5 * Cr[printemps été]. Le coefficient multiplicateur testé, mois par mois est le suivant :

Tableau 75 : Modulations mensuelles testées pour le coefficient de ruissellement

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1.5*Cr	1.5*Cr	1.5*Cr	1.5*Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr	1.5 *Cr

Le coefficient de ruissellement Kc est modifié dans le test effectué, de manière à ce que le ratio Ruissellement/Recharge soit le même que dans la situation sans le test. Dans la pratique on abaisse Kc de 28% à 24%.

Les graphes présentés ci-après permettent de faire une comparaison des deux méthodes

Figure 64 : Comparaison des Recharges Moyennes mensuelles et des ruissellements moyens mensuels sans et avec la correction étudiée

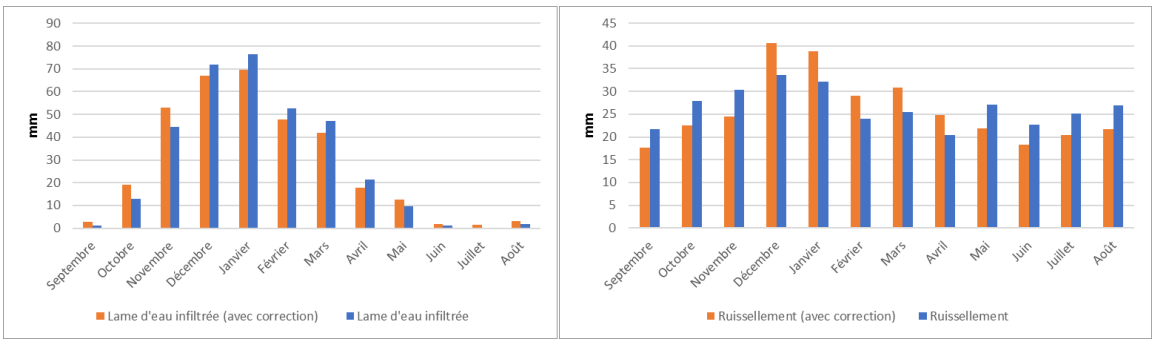


Figure 65 : Ruissellement moyens mensuels, pluies efficaces moyennes mensuelles, ratios Ru/Peff et débits mensuels moyens de la Moselle à Toul (Qm) sans et avec la correction étudiée

Sans correction *Avec la correction étudiée*

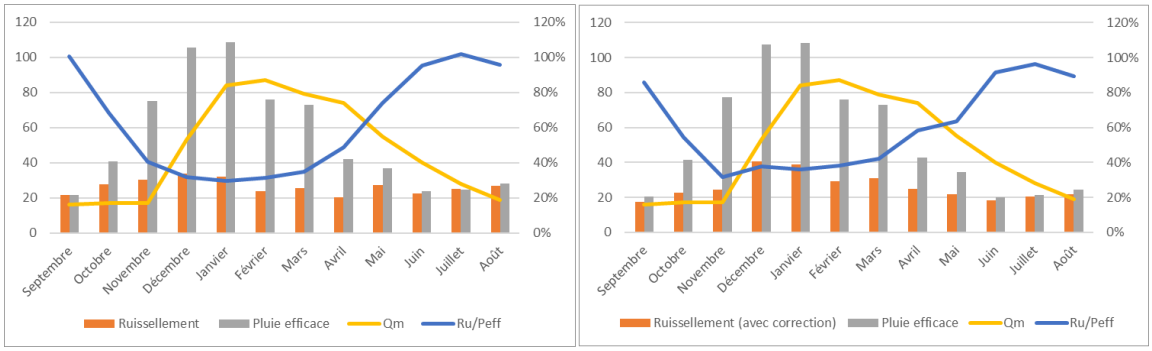


Tableau 76 : Sensibilité à la variation du coefficient de ruissellement dans l'année sur les variables principales en moyennes annuelle

	Rui (mm)	ETP (mm)	ETM (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Peff (mm)	Manque Eau (mm)
Référence	318	678	501	451	341	656	50
Test	311	678	501	459	338	647	42
Ecart / Référence	-2%	0%	0%	2%	-1%	-1%	-17%

Nous analysons ces éléments de la manière suivante :

- On observe l'effet recherché sur le ruissellement, qui s'accentue en automne-hiver et diminue au printemps-été.
- Par contre les répercussions sur le profil annuel de la recharge sont très faibles. On note seulement une faible augmentation de la recharge d'automne et une faible diminution de la recharge de printemps.
- En conclusion, il est proposé de conserver un ruissellement constant dans l'année, d'une part parce que l'impact sur le profil de recharge est peu perceptible, d'autre part parce que l'argumentation du choix des coefficients d'accentuation du ruissellement hivernal est délicate.

7.5 Discussion sur les projections climatiques

Dans la partie 1 du présent rapport, le chapitre 4.11 explicite la manière dont sont conduits les calculs de projection climatiques aux horizons 2030 et 2050. Pour rappel, deux méthodes sont proposées pour évaluer les variables (températures, pluies, recharges…) aux horizons futurs :

- **Soit une méthode de correction de biais qui consiste à corriger les sorties de modèles climatiques aux horizons futurs** (températures, précipitations…) en fonction des observations réalisées sur la zone d'étude pour la période de référence des modèles,
- **Soit une méthode « par différence » ou méthode des écarts** (Delta method) qui consiste à étudier les évolutions des variables entre la période de référence des modèles climatiques (DRIAS) et les horizons futurs, puis à appliquer ces taux de variations pour recalculer les variables aux horizons futurs à partir des variables observées sur une période donnée (dans le cas présent 2000-2019).

7.5.1 Choix de la méthode de projection

Une comparaison des deux approches est réalisées sur la zone homogène 2. Les résultats sont illustrés sur les deux figures suivantes :

- Figure 66 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Précipitation, températures, ETP),
- Figure 67 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Pluie efficace, recharge).

On peut distinguer les évaluations faites :

- **Pour les variables climatiques « simples »** (Précipitations, températures) :
  - Les températures recalculées aux horizons 2030 et 2050 selon les deux scénarios sont assez proches.
  - Pour les précipitations, en revanche, les écarts sont plus marqués entre les deux méthodes. La méthode de correction des biais semble produire des effets plus accentués. Ceci s'explique par les anomalies calculées entre les résultats de modèles et les observations sur la période 1981-2005 :
    - Ces anomalies peuvent être importantes certains mois, ce qui traduit une difficulté des deux modèles climatiques (IPSL et CNRM) à reconstituer le climat observé,
    - Répercutées sur les sorties de modèles, ces anomalies amplifient les tendances constatées (voir par exemple les précipitations moyennes des mois de juin et octobre),
    - Il convient ici de rappeler que les anomalies sont calculées sur la période 1981-2005 et **uniquement à partir d'un panel de stations météorologiques « essentielles » de Météo France** (une dizaine au total) pour lesquelles nous disposons des précipitations et températures moyennes mensuelles. Les biais, sur certaines zones, sont donc calculés par rapport à des stations relativement distantes de la zone, ce qui entache leur niveau de représentativité réel.
- **Pour les variables « complexes » calculées à partir des variables climatiques « simples »** (ETP, pluie efficace, recharge…) :
  - Les profils d'ETP (recalculés à partir des températures) obtenus par les deux méthodes sont proches,
  - Par contre, **les profils de pluies efficaces et de recharge sont assez sensiblement différents**. Les résultats de la méthode des écarts semblent néanmoins plus cohérents que ceux obtenus via la méthode des biais.
    Cela peut notamment être expliqué par le fait que le calcul de la recharge est un calcul récursif : la recharge au mois m est dépendante de l'état de la RFU au mois m-1. Les variations des pluies et températures peuvent faire évoluer grandement ce terme d'un mois à l'autre. La suppression du biais estimé (parfois élevé pour un mois donné) peut engendrer des tendances difficilement explicables dans les courbes obtenues, non visibles au niveau des moyennes mensuelles de précipitations et d'ETP, mais ressenties au moment du calcul de la pluie efficace et de la recharge utilisant directement les chroniques. A ce titre, sur l'exemple donné, les pluies efficaces et recharges obtenus par la correction de biais pour le mois de février sont difficilement explicables au vu des variations attendues sur les autres paramètres…

Figure 66 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Précipitation, températures, ETP)

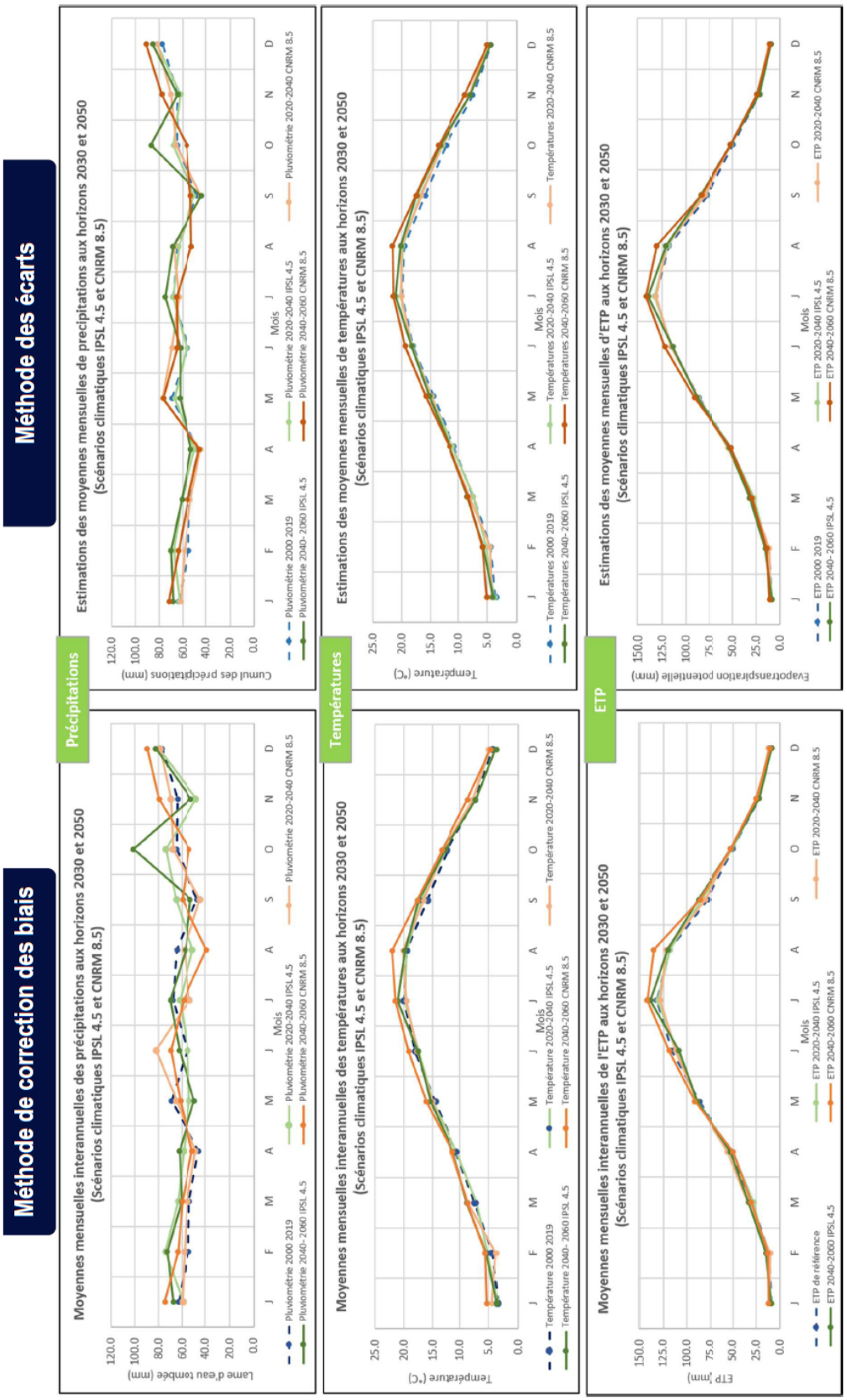
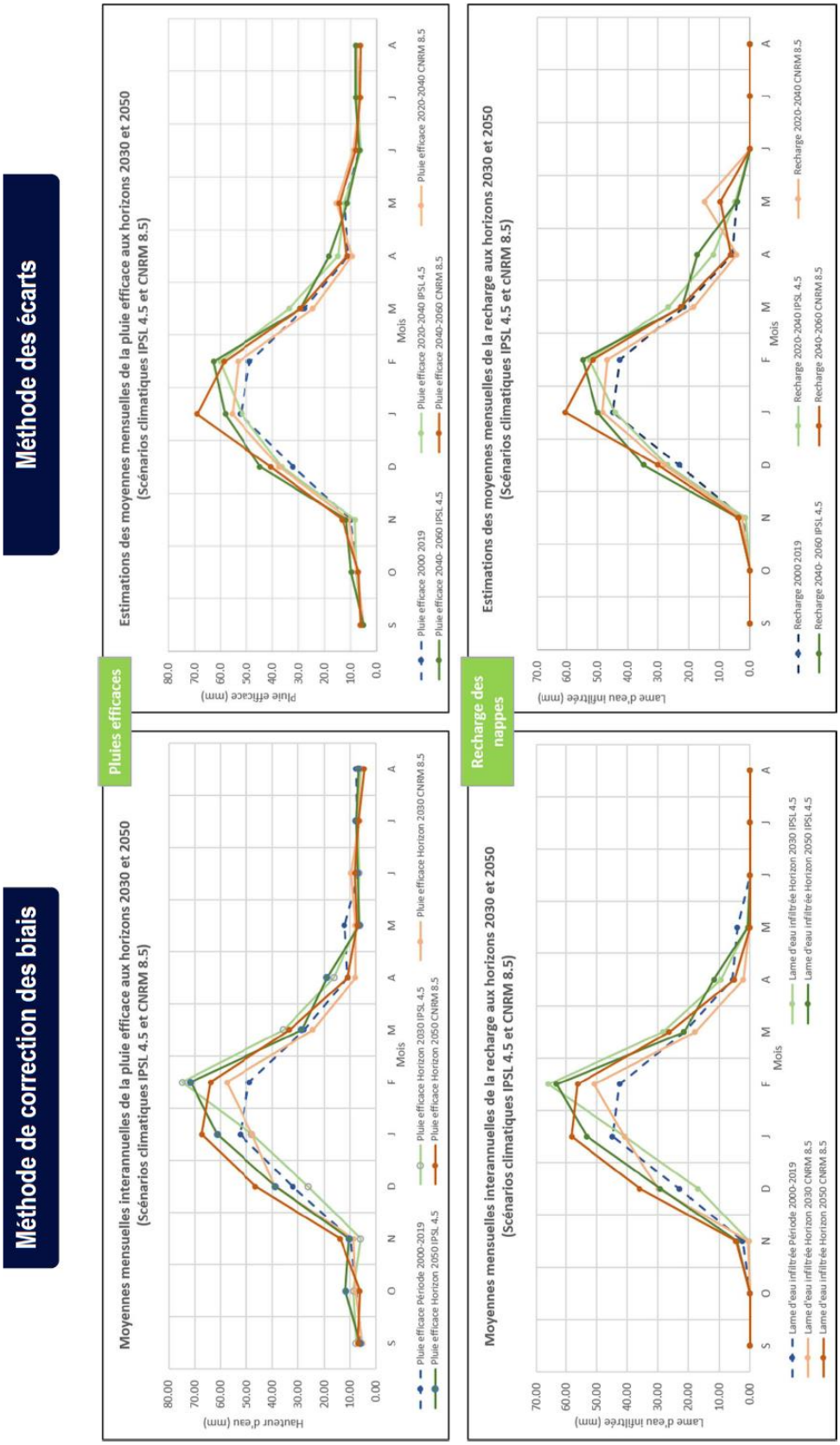


Figure 67 : Comparaison des projections climatiques sur la zone homogène 2 par la méthode des corrections de biais et la méthode des écarts (Pluie efficace, recharge)



Vu les incertitudes sur les estimations des biais, dues d'une part à la faible densité géographique des postes de référence à partir desquels ces biais sont calculés, d'autre part à l'importance de certaines anomalies mensuelles engendrant des effets difficilement explicables dans les calculs récursifs, nous préférons fonder nos calculs de projection sur la méthode des écarts.

7.5.2 Incertitudes liées à la méthode retenue

Les incertitudes liées à la méthode retenue (méthode des écarts) proviennent d'un ensemble de facteurs :

- Tout d'abord, les **incertitudes inhérentes aux modèles climatiques utilisés**, qui ne reconstituent qu'imparfaitement le climat observé. Les calculs d'anomalies mensuelles effectués pour la mise en œuvre de la méthode de correction de biais indiquent que, sur maints secteurs, ces incertitudes sont fortes (souvent 10 à 20%).
  Ces incertitudes sont cependant en partie atténuées par le choix de la méthode mise en œuvre, qui en étudiant les écarts entre un horizon donné et une référence calculés avec des modèles identiques permet théoriquement de s'affranchir de ces biais, ce que revient à dire que, si les estimations des variables climatiques sont biaisées, les écarts (impacts) le sont en définitive beaucoup moins.
- L'hypothèse de **linéarité des changements climatiques entre deux horizons donnés,** typiquement entre la période de référence des modèles climatiques considérée ici (1981-2005) et les horizons 2030 et 2050, est également très simplificatrice et se répercute directement sur les estimations des différentes variables hydro-climatiques pour les deux horizons. Ces « **estimations »** doivent bien être considérées **comme telles**.

7.6 Conclusion sur les incertitudes

Les incertitudes évaluées concernent celles qui sont associées aux données d'entrée ou à leur généralisation à l'échelle de chaque zone homogène, et celles qui sont associées au choix des coefficients intervenant dans les calculs.

Ces incertitudes s'additionnent et/ou se compensent cependant partiellement. S'il est difficile de quantifier précisément le niveau d'incertitude globale de l'approche, on peut avancer, sur la base des différents tests réalisés, que chacun des termes du bilan est associé à un niveau d'incertitude de l'ordre de 15 à 25%. Ceci reste raisonnable, compte tenu de la méthodologie simplifiée mise en œuvre et de l'échelle de déploiement. On considère généralement que toute étude hydrologique est entachée, a minima, d'une incertitude minimale de l'ordre 10%, due en particulier à la difficulté d'évaluation des débits. Le niveau d'incertitude globale évoqué plus haut ne remet donc pas en question la validité de l'étude, dont la vocation est de fournir des ordres de grandeurs et des tendances plus que des quantifications « absolues », qui pourront être recherchées ultérieurement lors d'études couvrant des périmètres restreints à l'aide de méthodologies plus complexes.

Pour autant, les coefficients, tendances et équilibres globaux constatés sont plutôt cohérents et rassurants. On ne cherchera pas à optimiser mieux les bilans présentés ici, les écarts encore constatés étant de l'ordre des incertitudes mises en avant.

Rappelons enfin que, pour la partie « projection aux horizons 2030 et 2050 », on utilisera une approche par différence entre un horizon et une référence, ce qui permet de s'affranchir en bonne partie des biais de calcul. Pour autant, l'hypothèse sous-jacente forte de linéarité des changements constatés en fonction du temps, mise en œuvre pour estimer les grandeurs projetées, induit également une incertitude.

PARTIE 3

ANALYSE DES RESULTATS – MISE EN EVIDENCE DE SECTEURS EN TENSION

8. PREAMBULE DE LA PARTIE 3

Dans cette partie du rapport, nous analysons l'ensemble des résultats de calculs produits par la mise en œuvre de la méthodologie mise à jour telle que présentée dans la partie 2, celle-ci reprenant largement un faisceau d'hypothèses par ailleurs décrit dans la partie 1.

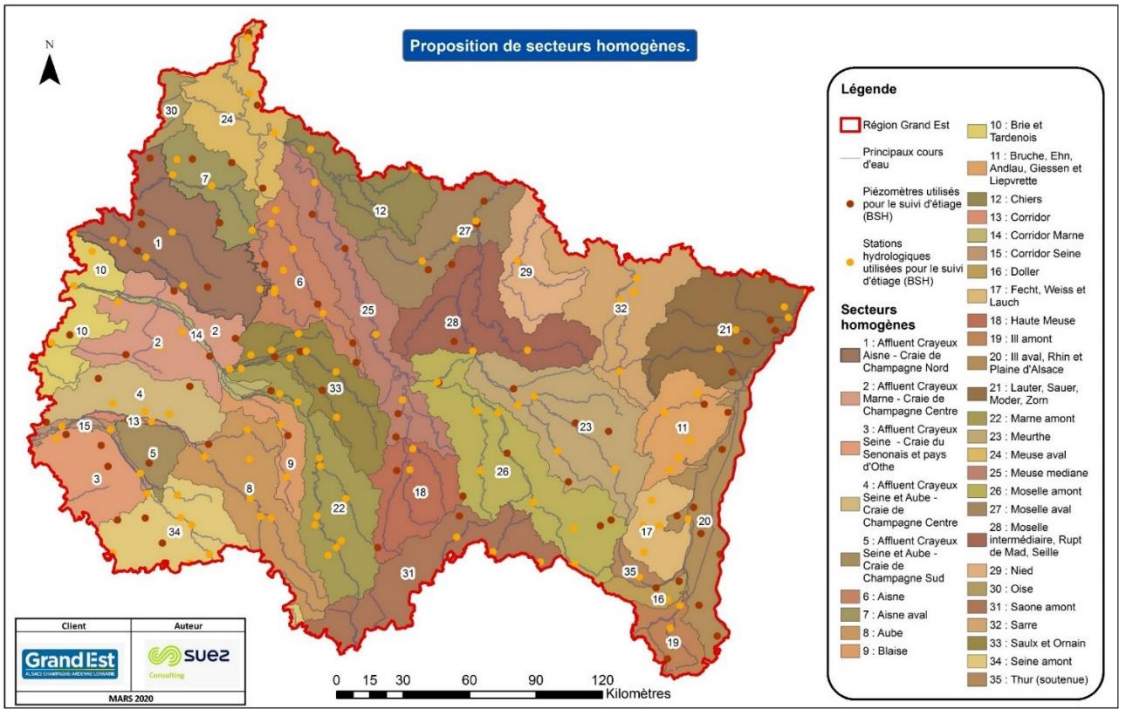
Cette troisième partie analyse donc les différentes tensions liées aux prélèvement effectués sur chacune des zones homogènes définies lors de phases d'études précédentes et rappelées sur la Figure 68, pour les différents horizons temporels / scénarios suivants :

- Situation actuelle,
- Scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,
- Scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030,
- Scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050,
- Scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.

Dans le but d'analyser les pressions et de hiérarchiser les différentes zones, sont passés successivement en revue :

- La **typologie des prélèvements actuels** et leur évolution,
- Les différents **indicateurs** de pression et leurs évolutions (ces indicateurs sont rappelés au chapitre 2),
- Les différentes **variables hydrométéorologiques** permettant de calculer les indicateurs en **valeurs annuelles** (valeurs actuelles et variations),
- Les différentes **variables hydrométéorologiques** permettant de calculer les indicateurs en **valeurs saisonnières** (valeurs actuelles et variations),

Figure 68 : Les 35 zones homogènes (rappel)



Par souci de lisibilité, les différents tableaux de résultats produits sont toujours présentés de la même manière, en cohérence avec le réseau hydrographique, comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 77 : présentation des résultats par secteurs hydrographique

Craie	1 : Affluent Crayeux Aisne - Craie de Champagne Nord
	2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre
	3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe
	4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre
	5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud
	10 : Brie et Tardenois
Aisne	6 : Aisne amont
	7 : Aisne aval
Oise	30 : Oise
Seine Amont	34 : Seine amont
Aube amont	8 : Aube amont
Marne amont	22 : Marne amont
	9 : Blaise
	33 : Saulx et Ornain
Corridors	13 : Corridor Aube
	14 : Corridor Marne
	15 : Corridor Seine
Meuse	18 : Haute Meuse
	25 : Meuse mediane
	24 : Meuse aval
	12 : Chiers
Moselle	23 : Meurthe
	26 : Moselle amont
	28 : Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille
	27 : Moselle aval
Nied et Sarre	29 : Nied
	32 : Sarre
Plaine d'alsace	20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace
Affluents vosgiens	19 : ill amont
	16 : Doller
	35 : Thur (soutenue)
	17 : Fecht, Weiss et Lauch
	11 : Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette
	21 : Lauter, Sauer, Moder, Zorn
Saone amont	31 : Saone amont

9. CATALOGUE DE FICHES DETAILLANT L'ENSEMBLE DES INFORMATIONS LOCALES (SITUATION ACTUELLE ET SCENARIOS)

Les informations détaillées obtenues sur chaque secteur homogène pour la situation actuelle et les scénarios futurs sont consignées dans un ensemble de fiches, constituant un rapport annexé à la présente note.

Pour rappel, ces fiches contiennent, pour la **situation actuelle** :

- **Des informations générales sur le secteur homogène considéré,**
- **Une synthèse de l'ensemble des indicateurs.**
- **Une synthèse sur les données météorologiques (pluie, température, ETP),**
- **Une synthèse sur les données hydrologiques (chroniques et valeurs statistiques),**
- **Une synthèse sur les données piézométriques (chroniques),**
- **Une analyse de la relation nappe rivière au niveau d'un poste hydrologique représentatif,**
- **Un calcul de la recharge de la nappe, permettant d'illustrer, sous la forme de chroniques et d'années moyennes :**
  - La recharge de la nappe,
  - La pluie efficace,
  - Le manque en eau (stress hydrique),
  - Les variations de la RFU,
- **Une analyse territorialisée des prélèvements, sous la forme de :**
  - Tableaux de synthèse annuels,
  - Répartition par usage,
  - Chroniques annuelles et mensuelles,
- **Une analyse territorialisée des rejets, sous la forme de :**
  - Tableaux de synthèse annuels,
  - Répartition par provenance,
  - Chroniques annuelles et mensuelles,
- **Une analyse territorialisée des prélèvements nets** (chronique annuelle et mensuelle, année moyenne),
- **Une préanalyse sommaire de type « volumes prélevables »**

A partir d'extractions de scénarios climatiques sur la plateforme DRIAS (pluies et températures) et d'hypothèses faites parallèlement sur l'évolution des usages, ces fiches sont mises à jour pour recalculer l'ensemble des indicateurs aux horizons 2030 et 2050 pour les deux scénarios climatiques retenus dans le cadre du projet, pour rappel :

- Le **scénario CNRM RCP 8.5**, au titre de scénario pessimiste,
- Le **scénario IPSL RCP 4.5**, qui se situe dans la médiane de l'évolution de Températures et des Précipitations.

Les fiches consacrées aux scénarios futurs comprennent les informations suivantes :

- **Des informations générales sur le secteur homogène considéré,**
- **Les hypothèses d'évolution des prélèvements,**
- **Une synthèse des évolutions attendues pour :**
  - Les variables hydrométéorologiques,
  - Les prélèvements/rejets,
  - L'ensemble des indicateurs.
- **Les tableaux et graphiques caractérisant les moyennes mensuelles et annuelles des différentes variables pour les différents scénarios :**
  - Pluviométrie moyenne estimée,
  - Températures moyennes estimées,
  - ETP moyenne estimée,
  - Recharge moyenne estimée,
  - Pluie efficace moyenne estimée,
  - Stress hydrique moyen estimé,
- **Les tableaux et graphiques caractérisant les moyennes mensuelles et annuelles des prélèvements pour les différents scénarios,**
- **Les tableaux et graphiques caractérisant les moyennes mensuelles et annuelles des rejets pour les différents scénarios,**

L'organisation du rapport d'annexe contenant les fiches est la suivante : pour chaque zone homogène numérotée de 1 à 35, on trouve successivement :

- La fiche « situation actuelle »,
- La fiche « horizons temporels futurs ».

10. LES PRELEVEMENTS : VISION GLOBALE DE LA REPARTITION ANNUELLE ET EVOLUTIONS PREVUES

10.1 Présentation des éléments illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des prélèvements et de leurs évolutions sont présentés en annexe 1, qui comprend successivement :

- Un **tableau général de présentation de la répartition actuelle des prélèvements par type et par zone homogène**. Ce tableau fournit le détail des prélèvements (en mm) pour :
  - L'AEP,
  - L'industrie,
  - L'irrigation,
  - L'abreuvement du bétail,
  - L'énergie (prélèvements liés à l'activité « refroidissement »),
  - La surévaporation des plans d'eau et canaux,
  - Le stockage dans les réservoirs,
  - Les usages indéterminés, dont les fichiers source exploités ne permettent pas d'identifier la nature,

  Dans les dernières colonnes, sont mentionnés pour chaque zone :
  - Le prélèvement total souterrain,
  - Le prélèvement total superficiel,
  - La somme des deux précédents,
  - Le prélèvement « estival », déterminé ici comme le prélèvement le prélèvement mensuel estival le plus important enregistré sur la période 2008-2017.
- Un **tableau général fournissant l'évolution relative (en %) des prélèvements par zone homogène dans le futur.** Ce tableau constitue une synthèse du volet socio-économique de l'étude, qui a évalué les tendances d'évolution des besoins en fonction des perspectives démographiques et des données économiques liées aux différents types de consommation (industrie, canaux, refroidissement, agriculture…). Ce tableau détaille les évolutions prises en compte pour l'AEP, l'énergie (refroidissement), l'industrie, l'irrigation, l'alimentation des canaux et l'abreuvement du cheptel pour chacun des scénarios climatiques considérés :
  - Scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,
  - Scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030,
  - Scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050,
  - Scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.
- Un **tableau général fournissant l'évolution absolue (en mm) des prélèvements par zone homogène dans le futur.** Ce tableau permet donc de rattacher les variations relatives du tableau précédent à un ordre de grandeur de la lame d'eau correspondante.
- Enfin, 5 graphes sont fournis qui représentent successivement pour la situation actuelle :
  - **Le cumul des différents prélèvements sur chacune des zones homogènes.** Ce graphe permet d'identifier rapidement les secteurs sur lesquels les prélèvements sont particulièrement importants et les usages correspondants. Deux versions du graphes sont disponibles :
    - La première en m³/an,
    - La seconde en mm/an.

- **La part relative de chaque type de prélèvement sur chacune des zones homogènes.** Ce graphe permet de hiérarchiser les différents modes de consommation d'eau au sein de chaque zone homogène.
- **Le cumul des prélèvements souterrains et superficiels sur chaque zone homogène,**
- **La part relative des prélèvements souterrains et superficiels au sein de chaque zone homogène**,
- **Le prélèvement total annuel et le prélèvement estival sur chaque zone homogène,** ainsi que la part relative des prélèvements estivaux dans le prélèvement total.

10.2 Analyse

A partir des documents illustratifs, on peut faire les constats suivants :

- Sur l'ensemble des zones homogènes, les prélèvements totaux varient entre **3** mm et **500 mm**, avec une moyenne de **81,6 mm** et un prélèvement médian de 35,7 mm.
- Trois secteurs sont concernés par des prélèvements particulièrement importants, supérieurs à **400 mm/an** : les corridors Marne (14) et Seine (15) ainsi que la plaine d'Alsace (20). Ils sont suivis par deux secteurs caractérisés par des prélèvements compris entre **100 et 200 mm/an** (Marne amont (22), et Seine amont (34)).
- Par ordre décroissant en volume, les prélèvements se hiérarchisent comme suit :
  - **1611 Mm3/an (Alimentation des canaux),**
    avec une part relative très significative sur les secteurs :
    - 1. Craie de champagne du Nord,
    - 7. Aisne aval,
    - 22. Marne amont et 14. Corridor Marne
    - 33. Saulx-Ornain,
    - 15. Corridor Seine,
    - 25. Meuse médiane et 24. Meuse aval,
    - 23. Meurthe et 26. Moselle amont,
    - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace,
    - 31. Saône amont.
  - **747 Mm3/an (industrie),**
    avec une part relative très significative sur les secteurs :
    - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace,
    - 35. Thur.
    - 21. Lauter, Sauer, Moder, Zorn.
  - **650 Mm3/an (Stockage dans les réservoirs),**
    avec une part relative très significative sur les secteurs :
    - 34. Seine amont,
    - 22. Marne amont,
    - 8. Aube amont,
    - 9. Blaise,
    - 35. Thur.

- **487 Mm3/an (AEP),**

avec une part relative très significative sur les secteurs :

  - 1. Craie de Champagne Nord,
  - 34. Seine amont et 15. Corridor Seine,
  - 22. Marne amont, et 14 Corridor Marne
  - 13. Corridor Aube,
  - 24. Meuse aval et 12. Chiers,
  - 26. Moselle amon, 28. Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille et 27. Moselle aval,
  - 32. Sarre,
  - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace,
  - Affluents Vosgiens : 16. Doller, 35. Thur, 17. Fecht, Weiss et Lauch, 11. Bruche-Liepvrette, 21. Lauter, Sauer, Moder, Zorn.

- **263 Mm3/an (Energie - Refroidissement),**

avec une part relative très significative sur les secteurs :

  - 15. Corridor Seine,
  - 24. Meuse aval,
  - 27. Moselle aval,
  - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace.

- **120 Mm3/an (Irrigation),**

avec une part relative très significative sur les secteurs :

  - 2 à 5 (affluents crayeux Marne-Seine-Aube),
  - 13 à 15 (corridors Aube, Marne et Seine),
  - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace,
  - 16. Doller et 17. Fecht, Weiss, Lauch.

- **41 Mm3/an (Surévaporation dans les plans d'eau et canaux),**
- **14,6 Mm3/an (Abreuvement**),

- **Les prélèvements souterrains :**
  - Restent globalement **de moindre ampleur – en volume –** que les prélèvements de surface (Moyenne 17.0 mm, médiane 7.6 mm) :
  - Mais représentent cependant **une proportion prépondérante des prélèvements** sur les bassins suivants :
    - 2 à 5 (affluents crayeux Marne-Seine-Aube),
    - 10. Brie et Tardenois,
    - 6. Aisne amont,
    - 30. Oise,
    - 13. Corridor aube,
    - 18. Haute Meuse,
    - 12. Chiers,
    - 16. Doller,
    - 17. Fecht, Weiss, Lauch.
    - 11. Bruche-Liepvrette.

- **Concernant les prélèvements estivaux :**
  - Les « prélèvements estivaux » représentés ici correspondent, sur chaque zone homogène, au prélèvement mensuel maximum observé sur la période 2008-2017 sur la période estivale.
  - En proportion, ils correspondent à des valeurs comprises entre 7 et 33% du prélèvement annuel total (Moyenne 9.0 mm, médiane 4.4 mm),
  - Ils dépassent significativement 16% du prélèvement annuel total (soit l'équivalent de plus de deux fois le prélèvement mensuel moyen) sur les secteurs suivants, qui sont en toute logique également ceux les plus concernés par l'irrigation :
    - 2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre,
    - 3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe,
    - 4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre,
    - 5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud,
    - 13 : Corridor Aube,
    - 17 : Fecht, Weiss et Lauch.
- **Concernant les évolutions attendues pour les différents types de prélèvements, on relève :**
  - **Une diminution substantielle de la consommation AEP**, en moyenne de -8% pour les deux scénarios, due souvent à la conjonction d'une baisse démographique et des mesures d'économies prévues sur les réseaux. Quelques secteurs échappent cependant à cette règle :
    - Les secteurs 1 à 5 et 10 (craie), qui connaîtraient une baisse moins significative,
    - Le corridor Marne (14),
    - Les secteurs Alsaciens 20 (plaine d'alsace), 11 (Bruche) et 21 (Moder-Zorn),

    Considérée en valeur absolue, cette baisse est de l'ordre de 1 à 3 mm selon les secteurs.
  - **Une stabilité des besoins pour le refroidissement des centrales,** à l'exception notable du secteur 20. Plaine d'Alsace, du fait de la fermeture programmée de la centrale de Fessenheim engendrant une chute drastique du besoin (baisse de 21 mm).
  - **Une relative stabilité des besoins industriels à horizon 2030, puis une tendance généralisée à la baisse à horizon 2050, à l'exception des secteurs suivants sur lesquels une hausse sensible (de +2 à +11%) est attendue :**
    - 10. Brie et Tardenois,
    - 7. Aisne aval,
    - 15. Corridor Seine,
    - 25. Meuse médiane,
    - 23. Moselle amont,
    - 31. Saône amont.
    - Les plus fortes baisses en valeur absolue, de -2 à -8 mm, sont par ailleurs attendues sur deux secteurs pour lesquels les prélèvements sont actuellement importants (20. Plaine d'Alsace et 16. Thur).
  - **Une hausse sensible des besoins en irrigation pour l'ensemble des secteurs concernés :**
    - De +5 à +10% pour le scénario IPSL 2030 et 2050,
    - De +10 à +15% pour le scénario CNRM 2030 et 2050, caractérisé par une élévation de température légèrement supérieure.

- Considérée en valeur absolue, cette hausse est de l'ordre de 1 à 4 mm selon les secteurs.

- **Une baisse sensible des besoins pour l'alimentation des canaux sur les secteurs concernés :**
  - De -10 à -12% pour le scénario IPSL 2030 et 2050,
  - Plus modérée, de l'ordre de -5% pour le scénario CNRM 2030 et 2050, qui prévoit des températures plutôt plus élevées.
  - En valeur absolue, ces baisses peuvent correspondre à des volumes importants de 5 à 54 mm et concernent principalement les secteurs suivants :
    - 1. Affluents Crayeux Aisne – Craie de Champagne Nord
    - 7. Aisne aval,
    - 22. Marne amont,
    - 14. et 15. Corridors Marne et Seine,
    - 24. et 25. Meuse médiane et aval,
    - 23. et 26. Meurthe et Moselle amont,
    - 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace.
- **Une baisse des besoins pour l'abreuvement du bétail, en lien avec les évolutions prévues pour le domaine agricole :**
  - De l'ordre -2 à -5% à horizon 2030,
  - Puis de -10 à -20% à horizon 2050.
  - En lame d'eau, ces baisses restent marginales (de l'ordre du 10ème de mm).

10.3 Synthèse

Pour les prélèvements on retiendra les points suivants :

- **La prépondérance de 5 besoins principaux pour la situation actuelle** (Par ordre d'importance : Alimentation des canaux → Stockage dans les réservoirs → Industrie → AEP → Refroidissement),
- Une distribution hétérogène pour la part relative :
  - **Des prélèvements souterrains par rapport aux prélèvements totaux**, en lien avec le potentiel des systèmes aquifères (craie, corridors, nappes alluviales…),
  - **Des prélèvements estivaux par rapport aux prélèvements totaux**, plus élevée sur les secteurs au niveau desquels les prélèvements liés à l'irrigation correspondent à une part significative des prélèvements totaux.
- Pour les évolutions futures, on peut s'attendre globalement :
  - **A une baisse globale des besoins en volumes**, tirée par les évolutions attendues sur l'AEP, l'industrie, l'alimentation des canaux ou l'abreuvement du bétail, même si des cas particuliers restent possibles,
  - Une hausse significative des besoins liés à l'irrigation, seul usage pour lequel les besoins devraient augmenter significativement et de manière assez homogène en pourcentage.

11. LE CALCUL DES DIFFERENTS INDICATEURS : VISION GLOBALE ET EVOLUTIONS PREVUES

11.1 Présentation des éléments illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des indicateurs et de leurs évolutions sont présentés en annexe 2, qui comprend successivement :

- Un tableau de restitution des indicateurs (en %) pour la situation actuelle sur chacune des zones homogènes, en distinguant :
  - **L'année « moyenne »** (moyenne calculée sur la période 2008-2017),
  - **L'année « en tension »** identifiée sur la période 2008-2017. Selon les indicateurs, on retient l'année présentant la plus faible recharge ou le plus faible débit.

  Concernant les codes couleur utilisés :
  - L'indicateur 1 n'est pas un indicateur de « pression », mais un indicateur du fonctionnement hydrologique de chaque zone. Il est associé à un code couleur bleu spécifique.
  - Les indicateurs 2 à 9 traduisent une « pression ». Ils sont associés à un code couleur relatif allant du vert (pression jugée « faible ») au rouge (pression jugée « forte »), en passant par le jaune (pression « intermédiaire »). **La graduation correspondante est spécifique à chaque indicateur. La couleur permet donc de situer une zone homogène donnée relativement à l'ensemble des autres zones pour un indicateur donné.**
- Les huit tableaux suivants fournissent les **valeurs des indicateurs mises à jour aux deux horizons pour les 2 scénarios étudiés**, ainsi que les **variations relatives (en %, premier tableau pour chaque scénario) constatées par rapport à la situation actuelle, puis** les **variations absolues (en mm, second tableau pour chaque scénario) constatées par rapport à la situation actuelle**. Sont successivement présentés :
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030** (variations relatives puis variations absolues),
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030** (variations relatives puis variations absolues),
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050** (variations relatives puis variations absolues),
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050** (variations relatives puis variations absolues).

  Concernant les codes couleur utilisés pour caractériser les variations **relatives** :
  - Les codes couleurs des indicateurs actualisés sont établis de la même façon que pour les indicateurs actuels,
  - Les codes couleurs associés aux taux de variation sont établis de la façon suivante :
    - Les cases du tableau sont colorées selon une logique Vert (baisse de la pression) / **Jaune** (stabilité) / **Rouge** (augmentation),
    - On considère qu'un **indicateur est globalement stable** lorsque son taux de variation est compris entre -5% et +5%. Un symbole ✅ est alors affiché.
    - Une **évolution significative** est caractérisée par une valeur comprise dans les intervalles [-25% ; -5%] ou [+5% ; +25%]. Un symbole ↘ ou ↗ est alors affiché.
    - Une évolution très marquée correspond à des valeurs inférieures à -25% ou supérieures à +25%. Un symbole 🟢 ou 🔴 est alors affiché (code couleur rouge pour une augmentation de la pression, vert pour une diminution).

Concernant les codes couleur utilisés pour caractériser les variations **absolues** :

- L'indicateur 1 reste gradué avec une échelle particulière (en bleu),
- Les indicateurs 2 à 9 sont caractérisés par des curseurs rouges lorsqu'ils sont en hausse, verts lorsqu'ils sont en baisse. L'échelle des curseurs retenue est globalisée à l'ensemble des indicateurs et des scénarios. La taille du curseur est maximale dès que les variations constatées dépassent -25% ou +25%.

- Enfin, le dernier tableau de l'annexe 2 présente une réévaluation de l'indicateur $\Delta 7$ pour tenir compte d'une potentielle diminution des QMNA5. Le détail est fourni dans la suite.

11.2 Analyse

Les documents présentés appellent les commentaires suivants :

Concernant l'indicateur 1 :

- L'indicateur 1 est caractéristique de la recharge du système. Il identifie les parts respectives de la nappe et du débit de surface dans ce processus. Il est important de noter que cet indicateur est calculé comme un rapport de volumes (volume de la recharge / volume écoulé dans le cours d'eau), et non pas comme un rapport de lames d'eau.
- Trois gammes de valeurs sont visibles :
  - Les valeurs proches de 100%, qui prévalent sur l'ensemble des zones homogènes constituant l'amont d'un bassin versant et sur les systèmes crayeux (secteurs 2 à 5, 10).
  - Les valeurs atténuées caractéristiques des zones homogènes situées en partie intermédiaire ou aval d'un bassin versant. La recharge y est ici calculée localement, alors que le débit est pris en compte sur l'ensemble du bassin drainé : ceci traduit la croissance de la disponibilité de la ressource « de surface » par rapport à la ressource « souterraine » au fur et à mesure que l'on progresse vers l'aval.
  - Les valeurs faibles, proches de 1%, visibles sur les trois corridors et sur la plaine d'Alsace. Ces valeurs traduisent le caractère spécifique de ces quatre zones, pour lesquelles la recharge, calculée localement sur une surface limitée à une plaine alluviale, est faible en volume, rapportée à la puissance de la ressource disponible sous forme de débit transitant dans des cours d'eau importants (Aube, Seine, Marne, Rhin).
- Les années en tension, pour lesquelles on considère la plus faible recharge sur la période 2008-2017 provoquent généralement une baisse de cet indicateur, sans toutefois que l'on constate un effondrement. Ceci traduit le fait que le débit s'infléchit généralement lorsque la recharge baisse

Pour la situation actuelle :

- Les valeurs les plus élevées des **indicateurs 2 à 5** sont, sans surprise, obtenues sur les secteurs présentant les prélèvements les plus importants en volume : 20. Plaine d'Alsace et 14. et 15. (Corridors Marne et Seine). Ces indicateurs sont ici très significativement plus élevés qu'ailleurs. Ceci traduit, certes, une pression élevée, mais qui est rendue possible par une forte disponibilité de la ressource : la nappe est ici constamment réalimentée par les cours d'eau, ce qui permet des prélèvements beaucoup plus significatifs que sur les autres secteurs. La valeur des indicateurs obtenue est donc à relativiser par le contexte.
  Les secteurs suivants sont concernés à l'inverse par des indicateurs particulièrement peu élevés : 10. (Brie et Tardenois), 6. (Aisne Amont), 30. (Oise), 33. (Saulx et Ornain), 18.

(Haute Meuse), 12. (Chiers), 29. (Nied), 32. (Sarre), 19. (Ill amont) et 31. (Saône amont), ce qui indique une pression des prélèvements beaucoup plus faible.

- On note également que les **indicateurs 2 et 3**, relatifs aux prélèvements souterrains, sont globalement moins élevés que les **indicateurs 4 et 5 (**souvent de l'ordre de quelques %), établis à partir des prélèvements totaux (plutôt dans la gamme de la dizaine de %), ce qui impliquerait une pression globalement plutôt moins forte générée par les prélèvements souterrains par rapport aux prélèvements de surface.
  On fait cependant logiquement le constat inverse sur certains secteurs pour lesquels on observe une prépondérance des prélèvements souterrains en particulier sur les systèmes crayeux.
- On notera également que l'intégration des rejets dans le calcul des indicateurs (passage de l'indicateur 2 à l'indicateur 3 ; passage de l'indicateur 4 à l'indicateur 5) modifie généralement peu l'ordre de grandeur des indicateurs (2 vs. 3 et 4 vs. 5), ce qui indique globalement un faible taux de rejet par rapport au prélèvement global.
- Les indicateurs **6 et 7 comparent les prélèvements globaux au débit sur l'année et en période estivale** en sortie de chaque zone homogène.
  Pour l'indicateur 6 (annuel), les pressions sont élevées sur les secteurs d'implantation des Lacs Réservoirs de Seine Grands Lacs (8. Aube amont, 22. Marne amont, 9. Blaise, 34. Seine amont) ainsi que sur les secteurs 25. Meuse Médiane, 23. Meurthe, 26. Moselle amont, 32. Sarre, en liaison avec des prélèvements industriels ou destinés à l'alimentation des canaux.
  En étiage, **on note partout une très forte augmentation de l'indicateur 7 par rapport à l'indicateur 6**.
  Certains secteurs sont caractérisés par des pressions particulièrement fortes : 1. Craie de champagne du nord, 3. Craie du Sénonais et pays d'Othe et 5. Craie de champagne sud (en liaison directe avec l'irrigation), 22. Marne amont, 9. Blaise, avec des valeurs largement supérieures à 100% (prélèvement d'étiage >> QMNA5), ce qui indique un besoin en forte tension.
  De nombreux secteurs présentent un indicateur 7 proche de 100% (Prélèvement d'étiage comparable au QMNA5) : 8. Aube amont, 33. Sault et Ornain, 25. Meuse Médiane, 23. Meurthe et 26. Moselle amont (en liaison avec l'alimentation des canaux), 16. Doller (en lien avec l'AEP), 17. Fecht.
- **L'indicateur 8 compare les prélèvements souterrains à la recharge nette de l'aquifère**.

  Remarque préalable sur l'indicateur 8 : cet indicateur est particulièrement sensible au choix du Base Flow Index Bfi qui intervient dans le dénominateur [R – r_{sout} – Bfi * Q]. Le Bfi n'est approché qu'à quelques pourcents près. Ceci peut conduire, selon les zones, à des valeurs de [Q – Bfi * Q] plus ou moins proches de zéro. On ne focalisera donc pas trop sur les valeurs absolues de cet indicateur. Ceci dit, on retrouve une certaine logique dans l'ordre de grandeur des valeurs obtenues. Des tensions particulières sont visibles :
  - Sur les corridors 13. Aube, 14. Marne et 15. Seine et le secteur 20. Plaine d'Alsace (en lien avec le volume global des prélèvements),
  - Sur les systèmes crayeux (secteurs 1. à 5.) avec des valeurs importantes, en lien avec la part relative des prélèvements souterrains,
  - Sur la Moselle (26., 28. et 27.), avec des valeurs de 30 à 60%,
  - Sur certains affluents vosgiens (16. Doller, 35. Thur, 11. Bruche), avec des valeurs proches de 100%.

- **L'indicateur 9 compare les prélèvements totaux à la recharge nette du système**. Les secteurs les plus impactés sont ceux déjà identifiés dans le cadre des indicateurs 5 et/ou 6. Les niveaux de pression se hiérarchisent comme suit :
  - **Pression très forte (proche de 100% ou supérieure) :** 7. Aisne aval, 9. Blaise, 22. Marne amont, Corridors 13. Aube, 14. Marne et 15. Seine, Moselle amont 26. et aval 27., 20. Plaine d'Alsace,
  - **Pression forte (voisine de 50%) :** 1. Craie de champagne du nord, 34. Seine amont, 8. Aube amont, 25. et 24. et Meuse médiane et aval, 23. Meurthe, 35. Thur et 16. Doller.

- L'analyse de l'année en tension ne montre pas de différences fondamentales dans la hiérarchie des pressions par rapport à celle de l'année moyenne. Certains indicateurs, cependant, se tendent. On note :
  - **Une augmentation de l'ordre de 50% sur la moyenne des indicateurs 2, 3, 4, 6 et 9,**
  - **Une augmentation d'un tiers de moyenne de l'indicateur 5,**
  - **Une stabilité de la moyenne de l'indicateur 7,**
  - **Une tendance de 'l'indicateur 8 à devenir négatif sur certains secteurs, ce qui implique que la recharge (R) évaluée est inférieure au terme (Bfi * Q).** Physiquement, ceci peut être interprété par une situation de tension durant laquelle la nappe continue à alimenter les cours d'eau alors que la recharge se fait peu ou mal. Sur l'année en tension considérée, on observe donc une tendance à la baisse de la nappe, dont le niveau ne s'est pas reconstitué en fin de cycle.

  Certains secteurs semblent concernés par des hausses de pression significatives :
  - La craie (indicateurs 6, 7, 8),
  - La plaine d'Alsace (indicateurs 2,3, 4, 8).

Pour les horizons 2030 et 2050 :

Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Une baisse sensible des indicateurs 2 à 6, en moyenne d'une dizaine de %, et comprise entre -1 et -21% (en valeurs relatives), qui provient de la conjonction d'une tendance globale à la baisse sur les prélèvements, et d'une tendance à la hausse des recharges, pluies efficaces et débits, elle-même en liaison avec une augmentation de la pluviométrie.
- L'indicateur 7 (situation estivale) est la plupart du temps en légère baisse, sauf sur les secteurs suivants qui connaissent une hausse relative de quelques %, très probablement à relier avec l'augmentation des besoins pour l'irrigation :
  - Craie (secteurs 2. à 5.),
  - 13. Corridor Aube,
  - 16. Doller,
  - 17. Fecht,
  - 11. Bruche.
- L'indicateur 8 est la plupart du temps en baisse légère à sensible (de -4% à -50% en valeurs relatives) à l'exception de la Plaine d'Alsace (très légère hausse).
- L'indicateur 9 est stable ou orienté à la baisse légère à sensible (jusqu'à -80% en valeur relative) sur l'ensemble des secteurs.

Pour le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Pour les indicateurs 2 à 6 :
  - Une très légère augmentation sur les systèmes crayeux (1. à 5. et 10.), le corridor Aube, et les zones 17. Fecht et 11. Bruche, en lien possible avec les besoins pour l'irrigation,
  - Une stabilité ou une baisse assez sensible sur l'ensemble des autres secteurs,
- L'indicateur 7 (situation estivale) est la plupart du temps en légère baisse, sauf sur les secteurs suivants qui connaissent une hausse de quelques % atteignant une quinzaine de % (en relatif) très probablement à relier avec l'augmentation des besoins pour l'irrigation :
  - Craie (secteurs 2. à 5. et 10.),
  - 13. Corridor Aube,
  - 16. Doller,
  - 17. Fecht,
  - 11. Bruche – Liepvrette.
- L'indicateur 8 est la plupart du temps en baisse légère à sensible (de 1% à 25%), sauf sur les secteurs suivants qui connaissent une hausse de quelques % :
  - Craie (secteurs 2. à 5.),
  - 6. Aisne amont,
  - 9. Blaise,
  - 33. Saulx et Ornain,
  - Les corridors 13. Aube, 14. Marne, 15. Seine,
  - 26. et 27. Moselle amont et aval,
  - 29. Nied,
  - 20. Plaine d'Alsace,
  - 16. Doller,
  - 17. Fecht,
  - 35. Thur,
  - 11. Bruche – Liepvrette.

Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050 :

- Le constat est très proche de celui fait pour le même scénario en 2030. On note juste :
  - Une légère augmentation des valeurs absolues de l'ensemble des indicateurs négatifs, ce qui traduit une « amélioration » supplémentaire,
  - Une stabilité des valeurs positives de l'indicateur 7 (tensions persistantes en étiage sur certains secteurs),
  - Une légère baisse des valeurs positives des indicateurs 8 et 9 (tensions persistantes mais en légère baisse par rapport à 2030).
- Les secteurs sur lesquels des hausses d'indicateurs sont constatées restent les mêmes qu'en 2030.

Pour le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050 :

- Les indicateurs 2 à 6 sont en baisse sur l'ensemble des zones homogènes. Les augmentations de pressions constatées en 2030 sur certains secteurs sont suivies, en 2050, par de légères baisses sur ces mêmes secteurs.
- On constate en revanche une légère accentuation des hausses sur l'indicateur 7 (étiage) pour les secteurs déjà concernés en 2030 pour ce même scénario. **Au total une quinzaine de zones homogènes voit l'indicateur 7 augmenter par rapport à la situation actuelle.**
- Concernant l'indicateur 8, les tensions constatées en 2030 semblent se résorber. Seule la Thur 35. Et la Plaine d'Alsace 20. voient cet indicateur augmenter par rapport à la situation actuelle. On fait un constat identique pour l'indicateur 9, pour lequel on ne note plus aucune augmentation mais plutôt un léger retrait sur l'ensemble des zones homogènes.

11.3 Synthèse

On retiendra les points suivants :

- Les indicateurs définis permettent, comme il est attendu, de qualifier les niveaux de pression en fonction de différents points de vue (prélèvement souterrain / total ; année complète / période estivale ; disponibilité de la ressource / recharge du système…).
- Les principaux secteurs concernés par des **pressions actuelles** sont :
  - La craie (secteurs 1. à 5. et 10.), où les prélèvements souterrains prédominent et où la demande en irrigation ou en AEP est proportionnellement élevée,
  - Les secteurs Aube, Marne et Seine, incluant les bassins et affluents amont. Ceci s'explique d'une part par la présence des Lacs Réservoirs, qui modifient assez sensiblement les cycles hydrologiques, la présence de prélèvement VNF importants (sauf Aube) et par des prélèvements importants en volume sur les corridors Marne et Aube (AEP, Navigation, refroidissement…).
  - On retrouve un constat assez similaire sur la plaine d'Alsace, qui cumule des prélèvements très significatifs (Canaux, AEP, irrigation…).
  - Rappelons cependant que, pour les corridors Aube, Seine, Marne et la plaine d'Alsace, l'importance des prélèvements est rendue possible par le caractère spécifique de ces secteurs, limités à une plaine alluviale réalimentée par des cours d'eau puissants et bénéficiant d'un soutien d'étiage pour les trois premiers. L'importance des prélèvements est donc liée ici à une ressource particulièrement disponible et bien renouvelée.
- Pour les évolutions futures mises en évidence, on relève :
  - Globalement une baisse généralisée des indicateurs 1 à 6,
  - Des augmentations sur certaines zones, pour les indicateurs 7, 8 et 9 affectant particulièrement les secteurs de la Craie (secteurs 2. à 5. et 10.), 13. Corridor Aube,16. Doller, 17. Fecht, 11. Bruche – Liepvrette et 26. et 27. Moselle amont et aval.

  Ces résultats nous incitent à faire une analyse de l'évolution de l'ensemble des variables hydrométéorologiques pour mieux comprendre les mécanismes d'évolution des indicateurs. Cette analyse est réalisée au chapitre suivant.

12. PRELEVEMENTS, REJETS, VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES : VALEURS MOYENNES ANNUELLES ACTUELLES ET EVOLUTIONS PREVUES

12.1 Présentation des documents illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des différentes variables annuelles et de leurs évolutions sont présentés en annexe 3, qui comprend successivement :

- **Les valeurs annuelles des principales variables calculées sur chaque zone homogène pour les différentes situations :**
  - **La situation actuelle,**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030,**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.**

  Pour chaque zone homogène, sont présentées les moyennes annuelles des variables suivantes :
  - **Les données relatives aux prélèvements et aux rejets :**
    - Le prélèvement total (mm),
    - Le prélèvement souterrain (mm),
    - Le prélèvement net (mm),
    - Le prélèvement estival (mm),
    - Le rejet total (mm),
    - Le rejet souterrain (mm).

    Ces variables sont signalées par un code couleur Vert (faible) / Jaune (moyen) / Rouge (Fort) relatif à chaque colonne.
  - **Les données météorologiques d'entrée (mesures pour la périodes actuelles / données DRIAS corrigées pour les horizons futurs) :**
    - La température (°C) (Curseur vert),
    - La pluie annuelle (mm) (Curseur bleu),
  - **Les variables issues du bilan hydrique (curseur bleu) :**
    - L'ETP annuelle (mm),
    - La recharge annuelle (mm),
    - La pluie efficace calculée (mm),
    - Le stress hydrique (mm),
  - **Les données de débit (curseur bleu) :**
    - Le module (mm),
    - Le QMNA5 (mm),
    - La variation de débit ΔQ (calculée uniquement pour les zones homogènes non situées en amont) (mm).

- **Les écarts par rapport à la situation actuelle obtenus pour chaque variable pour les différents scénarios :**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030,**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.**

  Pour chaque scénario, deux tableaux successifs sont présentés :
  - **Un tableau des écarts <u>relatifs</u> (en %) .**
    Les codes couleurs associés aux taux de variation sont établis de la même manière que pour les indicateurs :
    - Les cases du tableau sont colorées selon une logique **Vert** (évolution « favorable ») / **Jaune** (stabilité relative) / **Rouge** (évolution « défavorable »),
    - On considère qu'un **indicateur est globalement stable** lorsque son taux de variation est compris entre -5% et +5%. Un symbole est alors affiché.
    - Une **évolution significative** est caractérisée par une valeur comprise dans les intervalles [-25% ; -5%] ou [+5% ; +25%]. Un symbole ou est alors affiché.
    - Une évolution très marquée correspond à des valeurs inférieures à -25% ou supérieures à +25 Un symbole ou est alors affiché (code couleur rouge pour une évolution « favorable » de la variable, vert pour une évolution « défavorable »).
  - **Un tableau des écarts <u>absolus</u> (en mm).**
    Afin de faciliter la comparaison des tableaux pour les différents scénarios, les échelles des curseurs symbolisant les variations sont définies sur l'ensemble des scénarios et par groupes de variables « homogènes » :
    - Prélèvements et rejets (en vert),
    - Température (en rouge),
    - Pluie (en bleu)
    - ETP (en orange),
    - Recharge (en vert)
    - Pluie efficace (en bleu)
    - Stress hydrique (en jaune)
    - Débits (en bleu).
- **Enfin, le dernier tableau de l'annexe 3 permet de comparer les écarts absolus des principales variables par rapport à la situations actuelle (température, pluie, ETP, recharge, pluie efficace, stress hydrique) pour tous les scénarios.**

12.2 Analyse

Nous nous focalisons ici sur l'évolution des différentes variables analysées – qui sont des moyennes annuelles - pour les horizons futurs :

<u>Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,</u> on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Une **augmentation perceptible des températures sur toutes les zones**, en moyenne de 4% (+0.4°) et relativement homogène sur le territoire. Cette augmentation des températures

s'accompagne d'une augmentation - plus modérée – de l'ETP (+1.4% en moyenne, soit +10.1 mm).

- **Une augmentation de la pluviométrie annuelle, généralisée à l'échelle de la région, (+2.8% en moyenne soit +25mm, localement jusqu'à +6%)**,
- Cette augmentation sensible de la pluviométrie conduit, en dépit du réchauffement des températures **à une augmentation des recharges annuelles moyennes (+7.8% en moyenne, soit +15 mm) et des pluies efficaces (+5.5% en moyenne, soit +20 mm) sur l'ensemble des secteurs.** Ces deux variables augmentent cependant plutôt davantage sur la Craie (secteurs 1. à 5. et 10, augmentation supérieure à 10%) et de manière plutôt moins marquée sur le flanc oriental des Vosges (secteurs 20., 16., 17., 35., 11., augmentation de l'ordre de 2%).
- En ce qui concerne les débits on a considéré :
  - Que les **modules augmentent en proportion de l'augmentation constatée sur les pluies efficaces**, après avoir vérifié que la corrélation entre Module et Pluie Efficace est généralement significative, ainsi que l'illustre la Figure 69 sur les zones 2. et 18.
  - Au vu des résultats disponibles dans la bibliographie, cette hypothèse n'a pas été retenue pour le QMNA5, pour lequel on attend globalement une tendance à la baisse. **Dans un premier temps, nous avons considéré que le QMNA5 reste stable quel que soit le scénario et l'horizon. Cette hypothèse – optimiste – sera rediscutée dans la suite.**

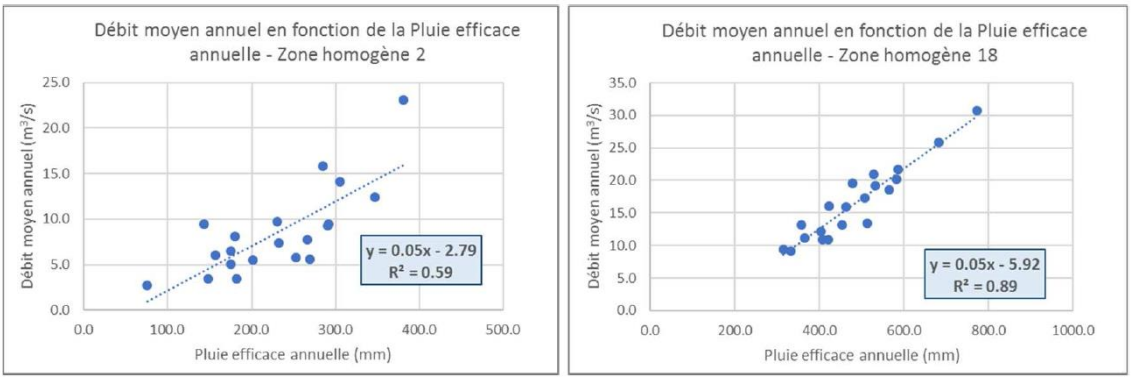


Figure 69 : Corrélation Pluie Efficace et Module en valeurs annuelles su les zones 2 et 18

- La seule variable présentant **une tendance haussière quasi-généralisée est le stress hydrique, qui augmente pratiquement partout, en moyenne de +5.7% et jusqu'à +16%.** On perçoit ici les conséquences directes de l'augmentation de l'ETP. Cependant une analyse saisonnière est nécessaire pour mieux comprendre ce phénomène.

Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050, on fait un constat assez similaire à celui de la situation en 2030, en relevant une tendance à l'amplification des phénomènes, notamment :

- Une **augmentation généralisée des températures sur toutes les zones** (en moyenne de 7% par rapport à la situation actuelle soit +0.8°) **s'accompagnant d'une augmentation de l'ETP** (presque 4% en moyenne par rapport à la situation actuelle soit +27mm).
- **Une augmentation sensible de la pluviométrie annuelle, généralisée à l'échelle de la région** (en moyenne +6.1% soit +53 mm par rapport à la situation actuelle, atteignant

localement +10%), induisant une augmentation de la recharge (+18%, soit + 35 mm) et de la pluie efficace et du module (+12%, soit +46 mm).

- En dépit du facteur pluviométrique plutôt favorable, le **niveau de stress hydrique augmente encore presque partout, avec une accentuation particulièrement marquée sur l'est de la région** (Meurthe, Moselle, Nied, Sarre, Ill et plaine d'Alsace, Affluents vosgiens), où ces augmentations sont de l'ordre de 30 à 66mm.

Pour le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030, on fait un constat très proche de celui fait pour le scénario 4.5 ISPL pour le même horizon :

- Augmentation sensible des températures (+5% en moyenne, soit +0.6°) et de l'ETP (+ 2.5% en moyenne, soit +17 mm),
- Augmentation sensible de la pluviométrie (+3.5% répartie de manière assez homogène, soit +31 mm) entraînant une très légère augmentation de la recharge (+1%, soit +1 mm) et de la pluie efficace (+2%, soit +8 mm). Pour ces deux dernières variables, les évolutions sont donc nettement moins marquées que pour le scénario IPSL. Ceci s'explique par une augmentation plus marquée des pluies d'été pour ce scénario.
- Augmentation localisée du stress hydrique, et dans des proportions plus limitées, pour la même raison (augmentation de la pluviométrie estivale).

Pour le scénario 8.5 IPSL à l'horizon 2050, on relève une situation globalement plus accentuée, que pour l'ensemble des autres situations, avec :

- Un réchauffement généralisé plus prononcé (en moyenne + 13% par rapport à la situation actuelle, de manière assez homogène, soit +1.4°),
- Une augmentation significative de la pluviométrie annuelle (+5.6% en moyenne, soit +49 mm, variant de +3% à +9%), reliée à une augmentation de la recharge des nappes (+11% en moyenne, soit +21 mm) et de la pluie efficace (+9%, soit +32 mm), avec des valeurs particulièrement marquées sur la craie (augmentation de la recharge et de la pluie efficace de l'ordre de 20%).
- Cependant l'augmentation du stress hydrique est généralisée à l'ensemble des zones, avec une moyenne de +20% par rapport à la situation actuelle, soit +44 mm, et des valeurs relatives comprises entre 11% et 25%.

12.3 Synthèse

L'analyse des variables annuelles met en avant les points suivants :

- On confirme **ici que la baisse quasi généralisée des prélèvements annuels conjuguée à une augmentation perceptible de la pluviométrie annuelle** conduit, via une augmentation des recharges et des pluies efficaces, à une amélioration des indicateurs 2 à 6 sur l'ensemble des zones homogènes par rapport à la situation actuelle.
- Les **dégradations constatées sur l'indicateur 7 (étiage)** sont liées à l'augmentation des prélèvements estivaux sur certains secteurs, et pourraient être amplifiées encore en considérant une hypothèse de diminution du QMNA5 plutôt que de stabilité,
- **Une variable sert ici de signal d'alarme et nous incite à analyser plus en détail les évolutions saisonnières, avec une attention particulière sur la période estivale : le stress hydrique**, qui augmente de manière sensible sur de nombreux secteurs et de manière généralisée dans le cadre du scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.

13. VARIATIONS SAISONNIERES PREVUES POUR LES VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES

13.1 Présentation des documents illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des variations saisonnières des différentes variables hydrométéorologiques sont présentés en annexe 4, successivement pour chacune des situations envisagées :

- **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030,**
- **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030,**
- **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050,**
- **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050.**

Pour chaque zone homogène les évolutions saisonnières **relatives** sont présentées dans l'ordre suivant :

- Taux de variation de la **pluviométrie,**
- Taux de variation de la **température,**
- Taux de variation de l'**ETP,**
- Taux de variation de la **recharge,**
- Taux de variation de la **pluie Efficace,**
- Taux de variation du **stress hydrique.**

Pour chaque variable, on distingue les périodes suivantes :

- L'**année**,
- Le **printemps (**Par convention : **Mars-Avril-Mai)**
- L'**été (**Par convention : **Juin-Juillet-Août)**,
- L'**automne (**Par convention : **Septembre-Octobre-Novembre)**,
- L'**hiver (**Par convention : **Décembre-Janvier-Février)**.

Les codes couleurs associés aux taux de variation sont établis de la même manière que pour les indicateurs :

- Les cases du tableau sont colorées selon une logique **Vert** (évolution « favorable ») / **Jaune** (stabilité relative) / **Rouge** (évolution « défavorable »),
- On considère qu'un **indicateur est globalement stable** lorsque son taux de variation est compris entre -5% et +5%. Un symbole ✓ est alors affiché.
- Une **évolution significative** est caractérisée par une valeur comprise dans les intervalles [-25% ; -5%] ou [+5% ; +25%]. Un symbole ↘ ou ↗ est alors affiché.
- Une évolution très marquée correspond à des valeurs inférieures à -25% ou supérieures à +25%. Un symbole ■ ou ■ est alors affiché (code couleur rouge pour une évolution « favorable » de la variable, vert pour une évolution « défavorable »).

13.2 Analyse

Nous nous focalisons ici sur l'évolution relative des différentes variables analysées – qui sont des moyennes saisonnières - pour les horizons futurs :

Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2030, on note, par rapport à la situation actuelle, que :

- L'augmentation des températures concerne particulièrement les saisons automne et hiver,
- L'augmentation des pluies constatée sur l'année est ici particulièrement visible au printemps, et se répercute sur les recharges et pluies efficaces printanières, qui augmentent significativement. A l'inverse la relative stabilité des pluies automnales induit globalement une baisse de la recharge et de la pluie efficace à cette saison. La tension sur les pluies efficaces est d'ailleurs sensible dès l'été sur les deux tiers des zones homogènes. Ceci produit un décalage du processus de recharge dans le temps.
- Un stress hydrique apparaît localement au printemps et/ou à l'été, et concerne les trois quarts des zones homogènes à l'automne.

Pour le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2050, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Une augmentation assez nette des précipitations en automne (+8%) et en hiver, et de manière plus atténuée au printemps. En été, on relève également une augmentation des précipitations sur la partie ouest de la région, bassin de la Meuse inclus, alors que la partie est enregistre une baisse.
- Cette tendance pluviométrique assez homogène dans l'année et dans l'espace induit une augmentation perceptible de la recharge et de la pluie efficace sur la période automne-hiver-printemps.
- Cependant un stress hydrique important apparaît en été et en automne, plus marqué sur la partie est de la région, mais parfois également au printemps. Il est à mettre en relation avec la baisse à peu près systématique des pluies efficaces en été.

Pour le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2030, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Une augmentation nette des précipitations en été (+9%), plus modérée lors des autres saisons. La recharge des nappes, plutôt en augmentation en automne et en hiver, diminue au printemps ce qui semble indiquer un décalage dans le temps du processus (anticipation), de même que la pluie efficace.
- Une augmentation des températures sur la période automne-hiver-printemps,
- Le stress hydrique, plutôt en baisse au printemps et en été (grâce à l'augmentation de la pluviométrie estivale), augmente de manière marquée et généralisée à l'automne.

Concernant le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2050, on remarque qu'il s'agit du scénario qui génère la situation la plus contrastée par rapport à la situation actuelle :

- Tout d'abord au niveau des températures, qui augmentent significativement en toutes saisons (hausse de +12.8% en moyenne sur l'année). Ce scénario produit les hausses de températures les plus importantes sur la période printemps-été-automne,
- Une augmentation marquée de la pluviométrie en automne (+ 7.6 % en moyenne) et hiver (+ 16.6% en hiver), ce qui favorise la recharge et la pluie efficace constatées sur ces deux saisons (en augmentation de 15 à 25%).

- En revanche, la stabilité relative des précipitations de printemps conjuguée à la forte augmentation des températures induit une situation de stress hydrique apparaissant sur la majeure partie du territoire dès l'été et perdurant sur l'automne. On note par ailleurs que les pluies efficaces de printemps et d'été sont globalement à la baisse sur la partie ouest de la région, bassin de la Meuse incluse

Afin d'illustrer les variations annuelles pour la période actuelle et pour la période future, différents exemples sont donnés pour les variables suivantes sur la zone homogène 26 (Moselle amont) :

- Figure 70 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 71 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 72 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 73 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 74 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 75 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

13.3 Synthèse

Cette analyse permet de mieux comprendre l'ensemble des mécanismes en jeu, qui se résument comme suit, même si des particularités locales peuvent être constatées :

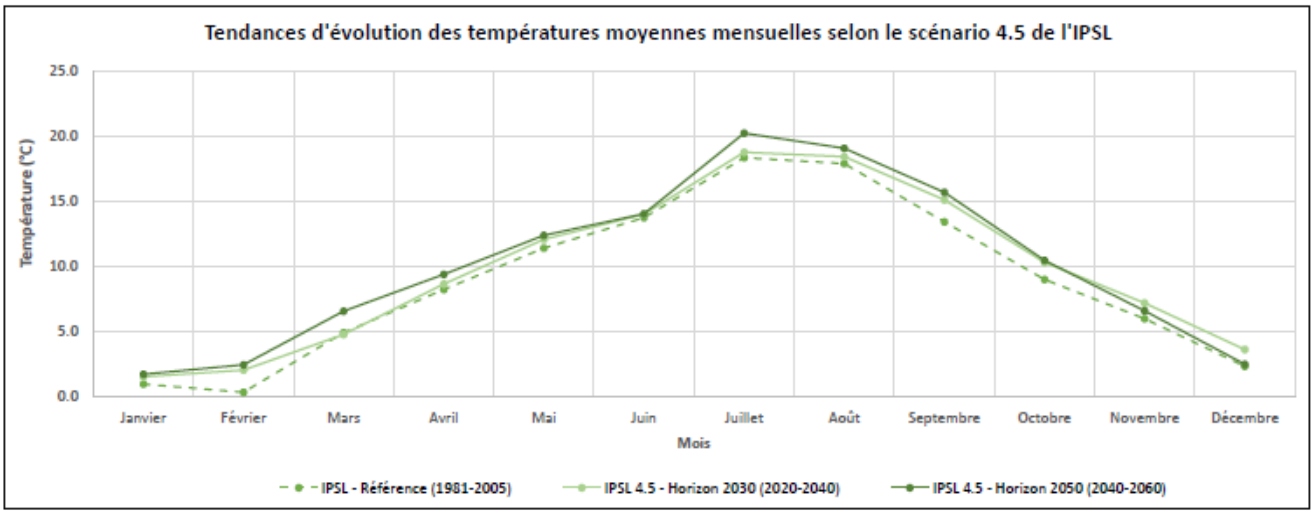
- L'**augmentation de la pluviométrie annuelle, qui accentue selon les scénarios/horizons la pluviométrie sur une ou deux saisons durant la période automne / hiver / printemps sur l'ensemble des zones homogènes est plutôt favorable à la recharge des nappes**, ce qui laisse à ce stade peu de craintes de tension sur le renouvellement de la ressource souterraine.
- En revanche, **l'augmentation du stress hydrique a minima sur l'automne (tous les scénarios) voire dès l'été (hors scénario 8.5 CNRM 2030) et quelquefois au printemps, laisse percevoir une tension sur la ressource superficielle**. Cette tension s'identifie dans l'année de manière anticipée sur les pluies efficaces de printemps et/ou d'été voire d'automne.

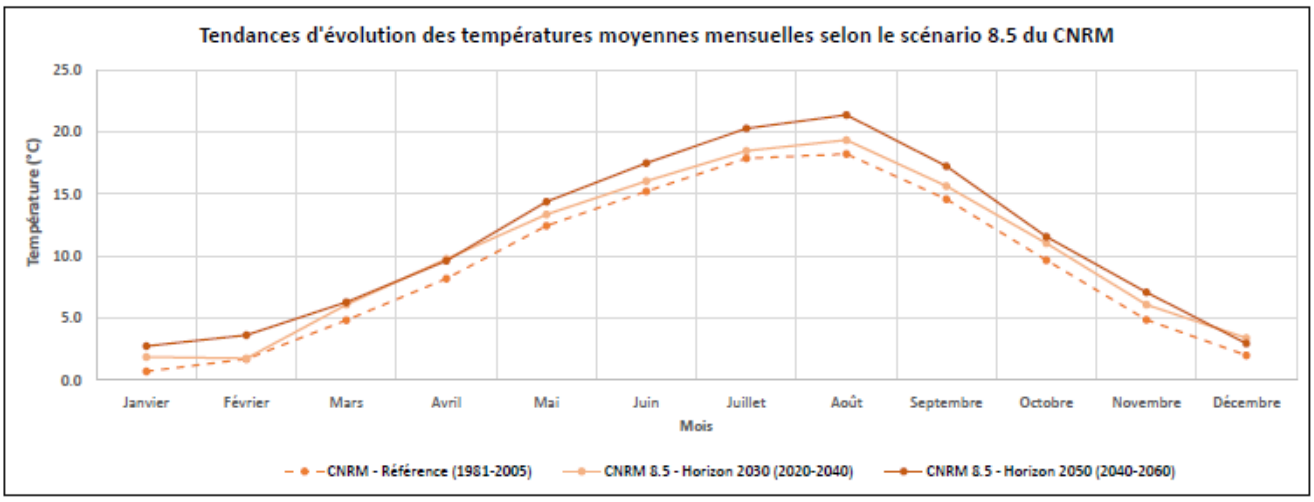
La Figure 75 fournit un profil annuel caractéristique de stress hydrique. Ce profil, ici pour la zone homogène 26, est généralisable à l'ensemble des zones homogènes. On peut donc faire les remarques importantes suivantes :

- Le stress hydrique « annuel » se répartit quasi exclusivement sur les mois de Juin-Juillet-Août-Septembre et de manière tout à fait marginale les mois de mai et d'octobre.
- Lorsqu'on évoque le stress hydrique « d'automne », cette problématique se concentre donc **en fait uniquement sur le mois de septembre**.
- Avec à terme, **une période Juin-Juillet-Août-Septembre qui aura tendance à devenir critique du point de vue du stress hydrique**.

Figure 70 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DES TEMPERATURES AUX HORIZONS 2030 ET 2050





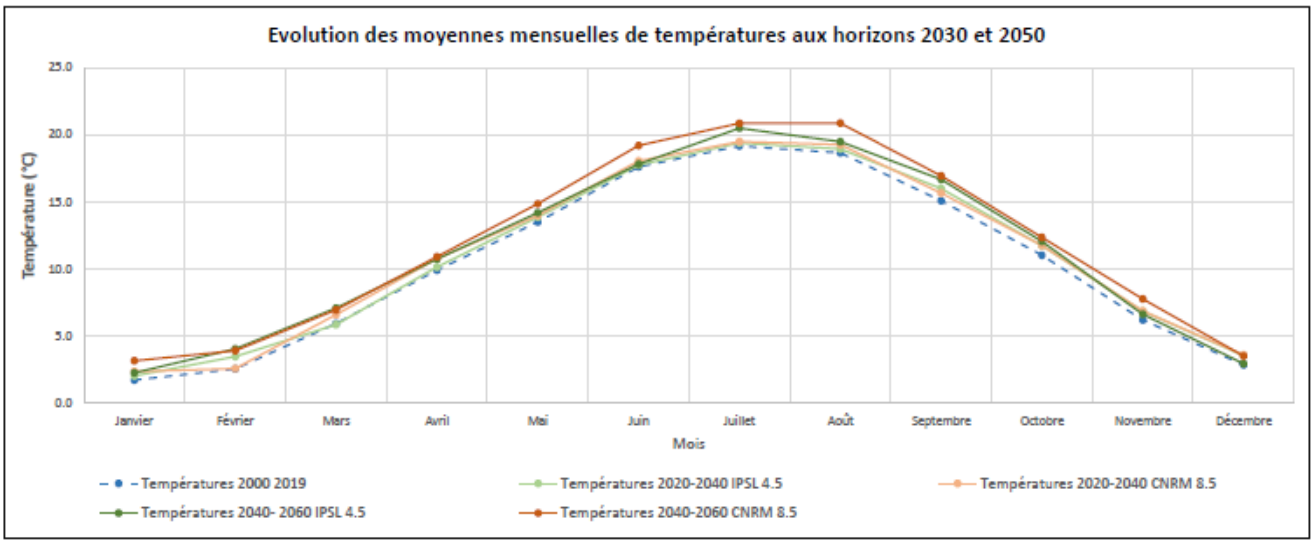
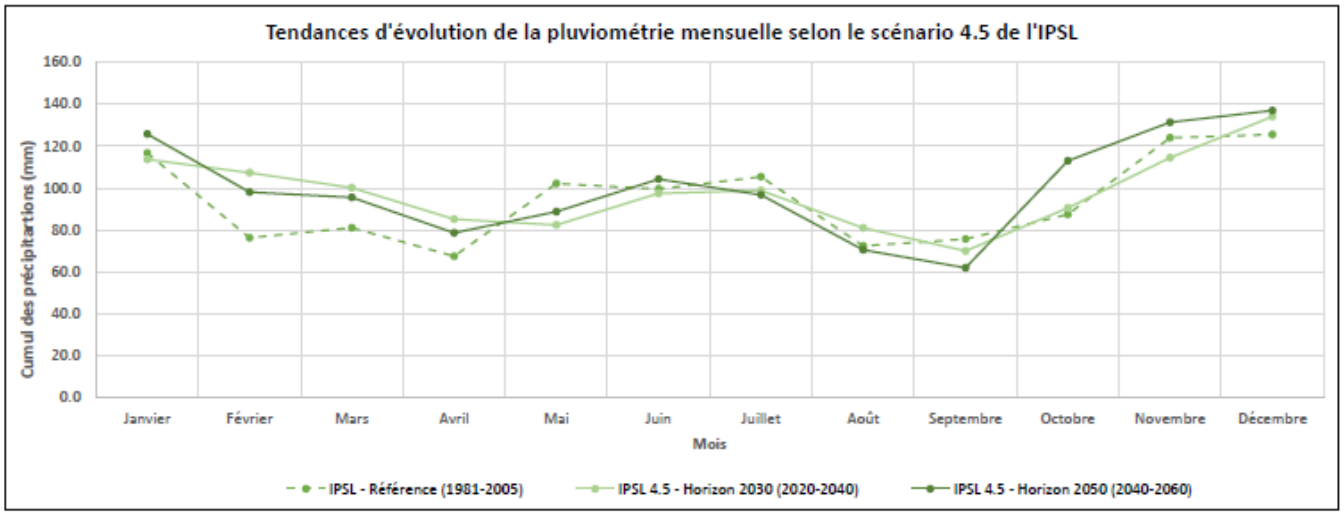
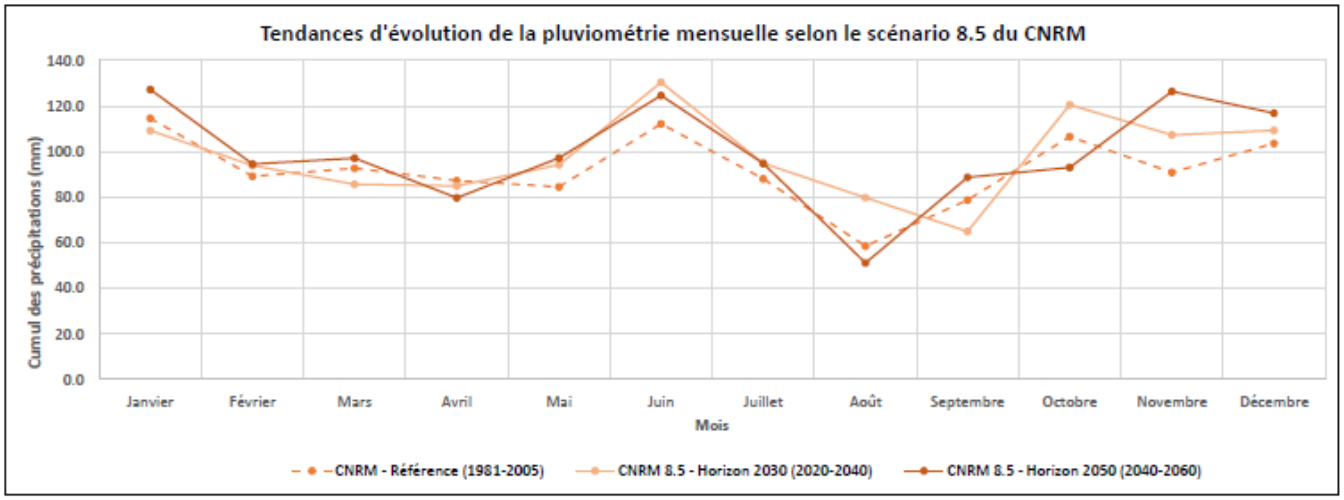


Figure 71 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA PLUVIOMETRIE AUX HORIZONS 2030 ET 2050





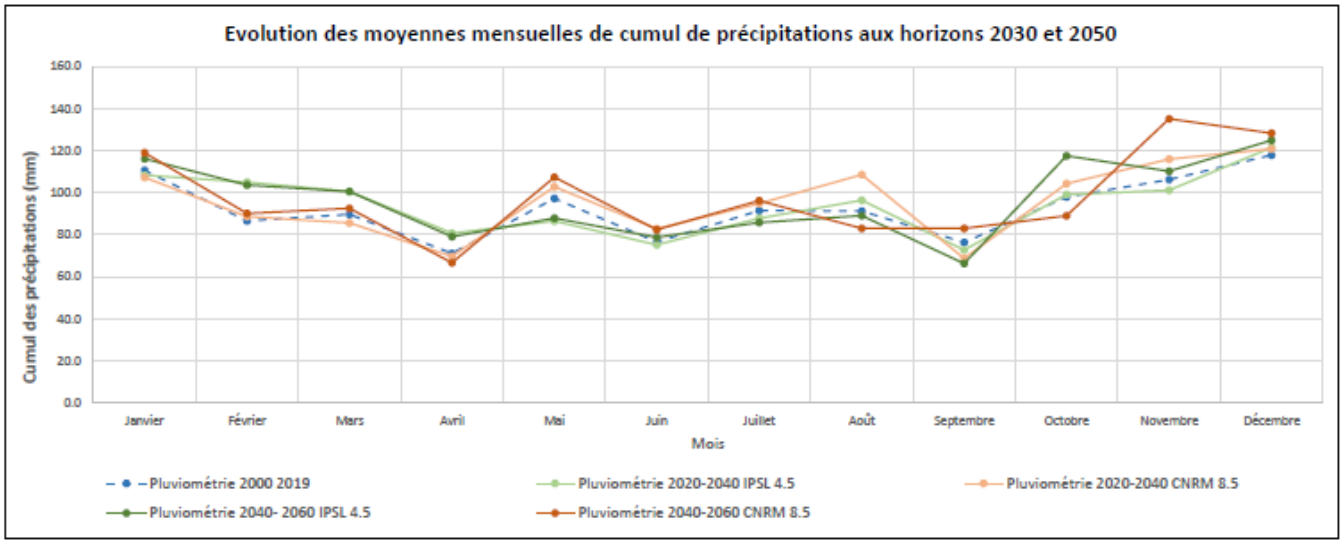
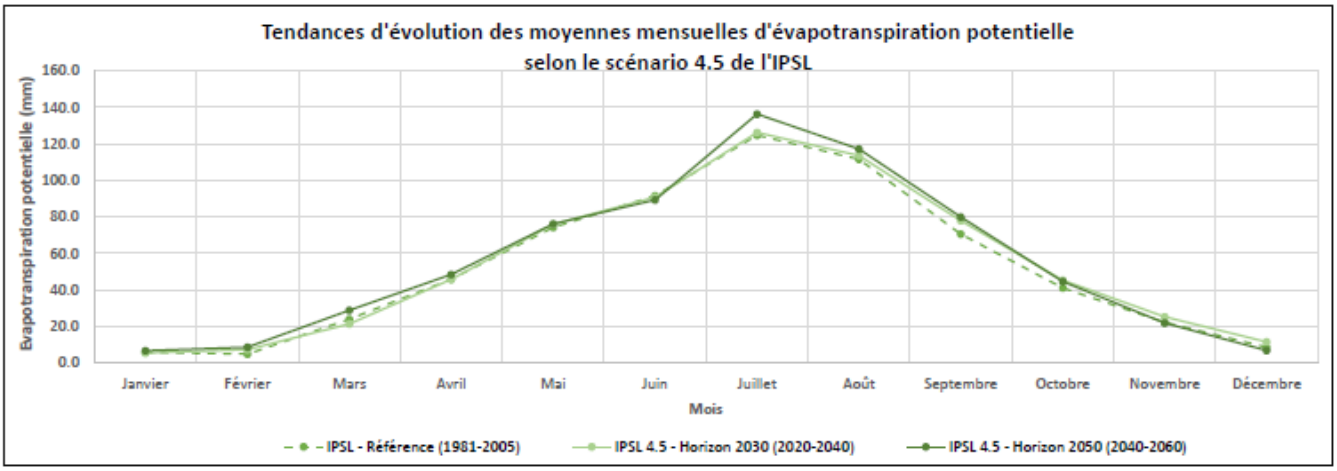
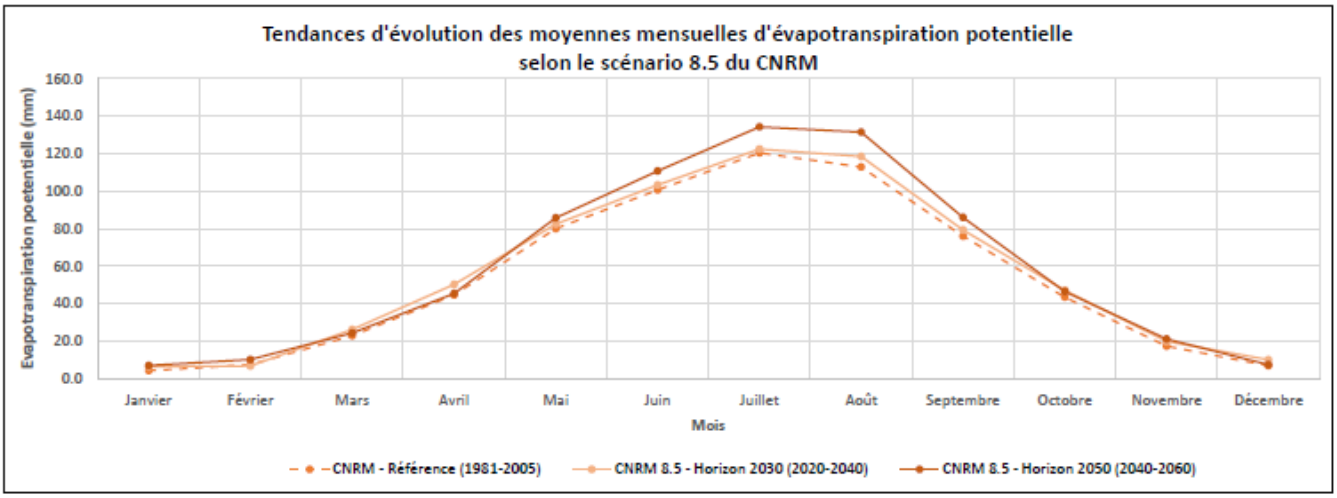


Figure 72 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE AUX HORIZONS 2030 ET 2050





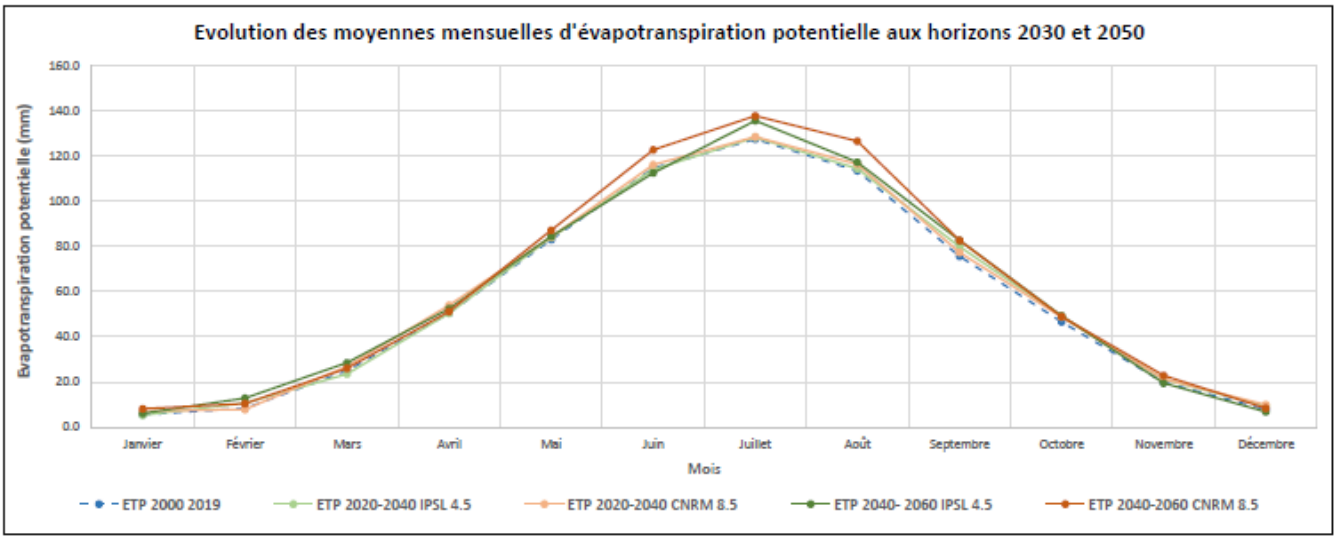
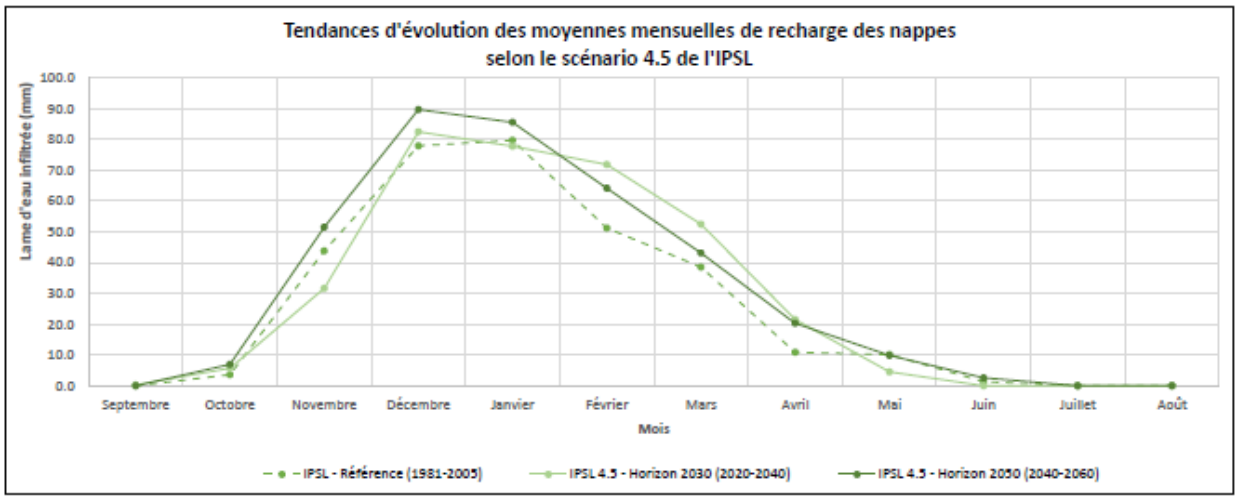
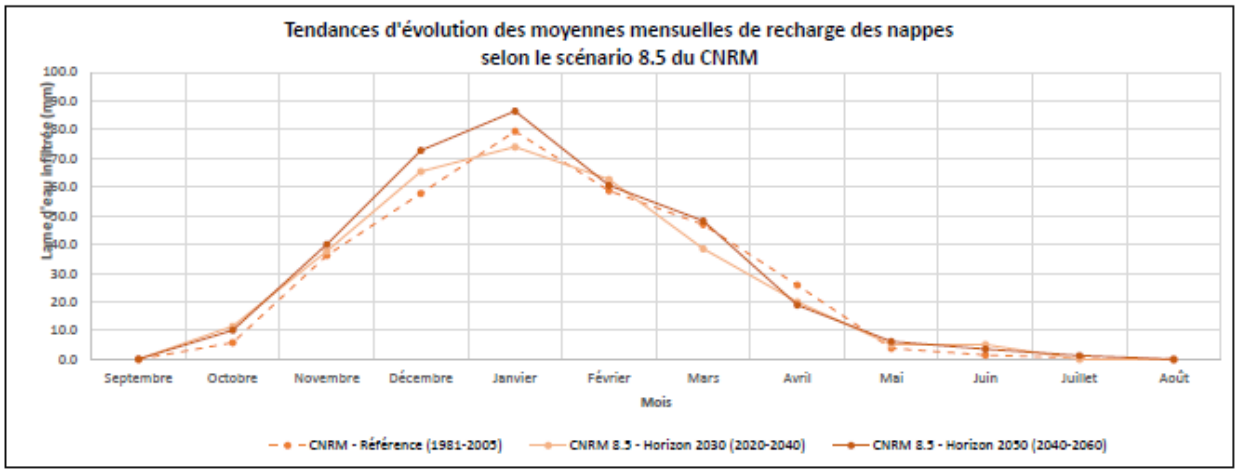


Figure 73 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA RECHARGE AUX HORIZONS 2030 ET 2050





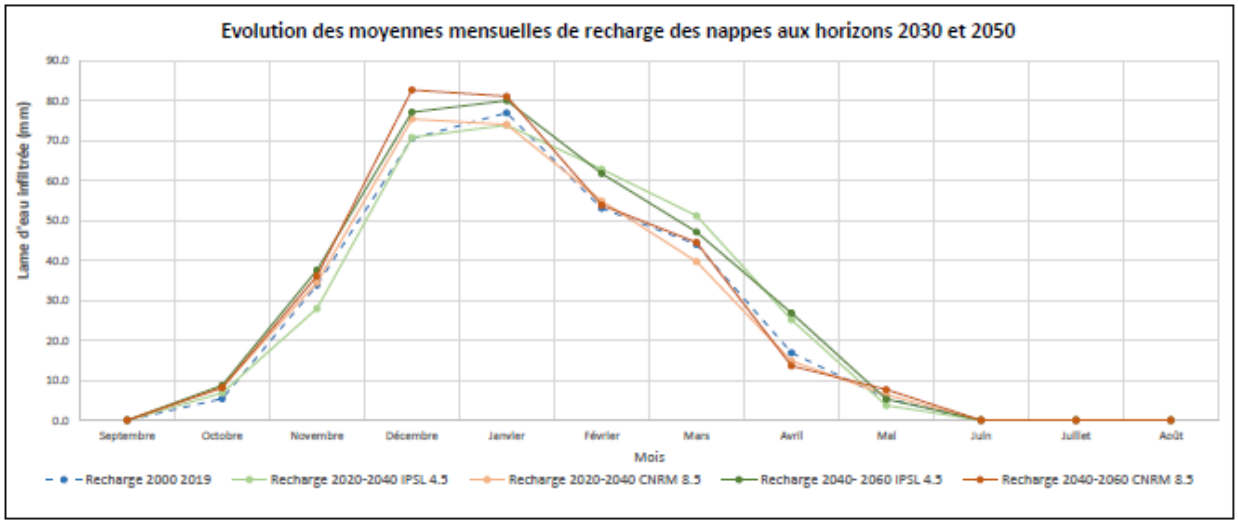
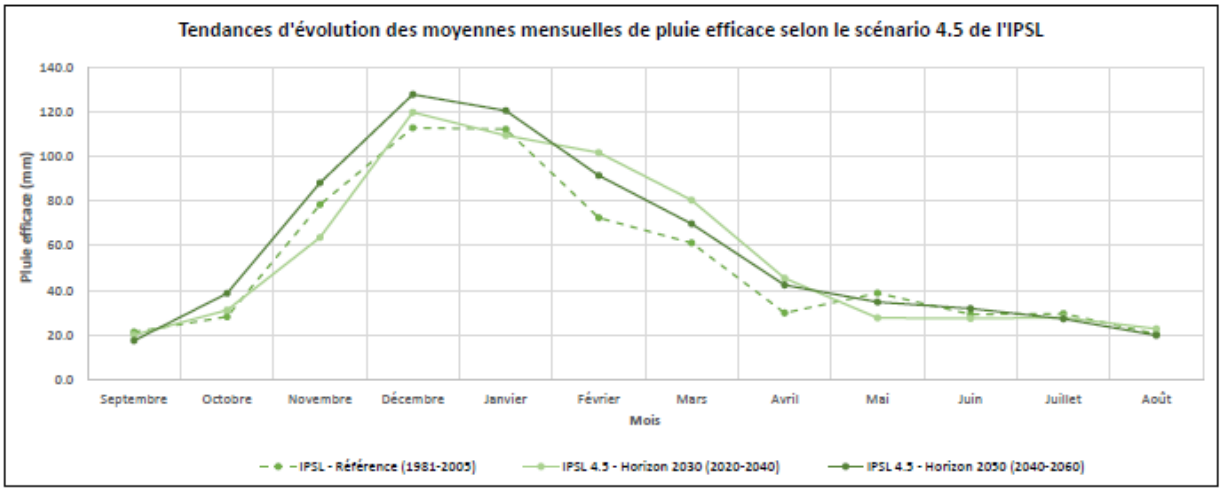
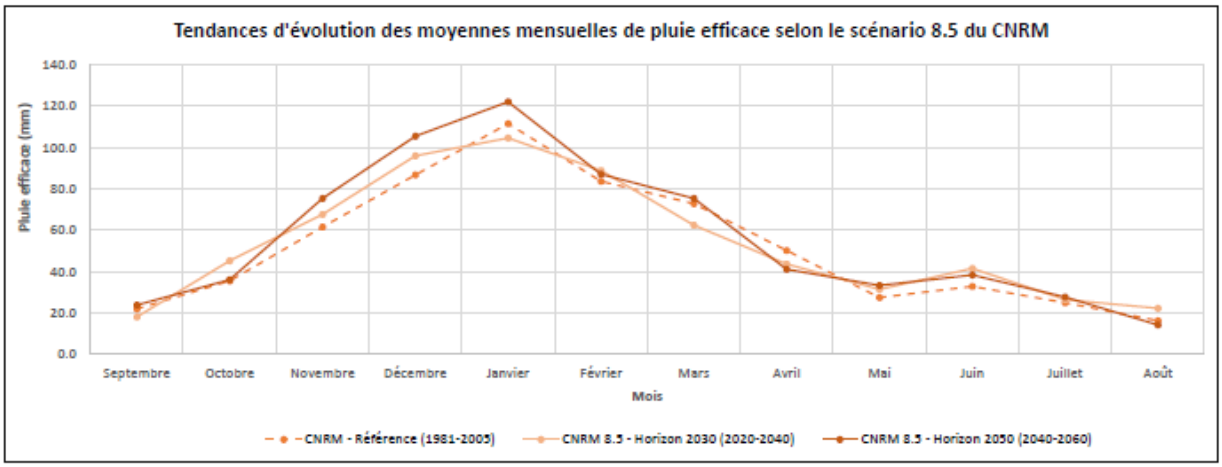


Figure 74 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA PLUIE EFFICACE AUX HORIZONS 2030 ET 2050





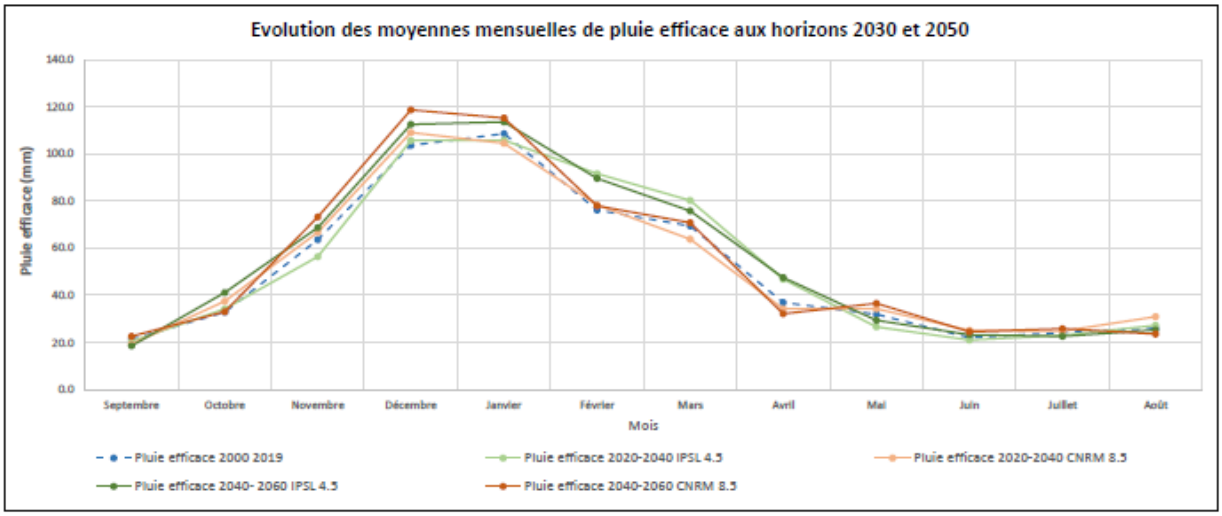
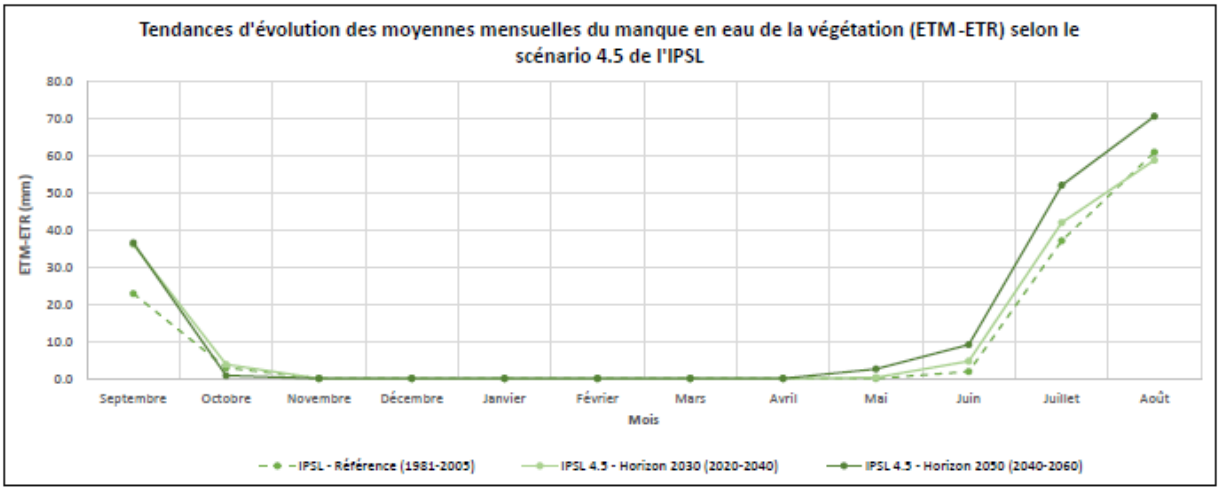
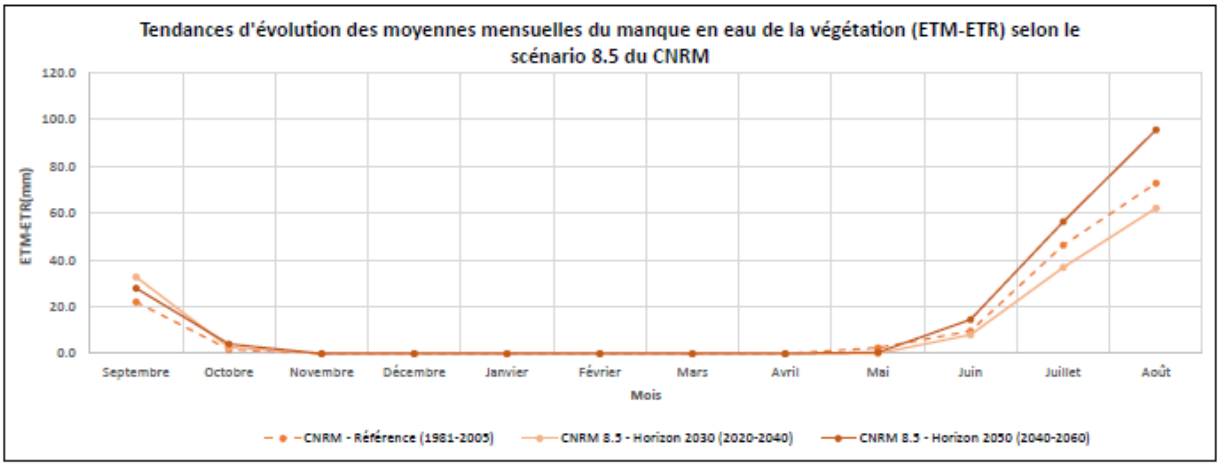
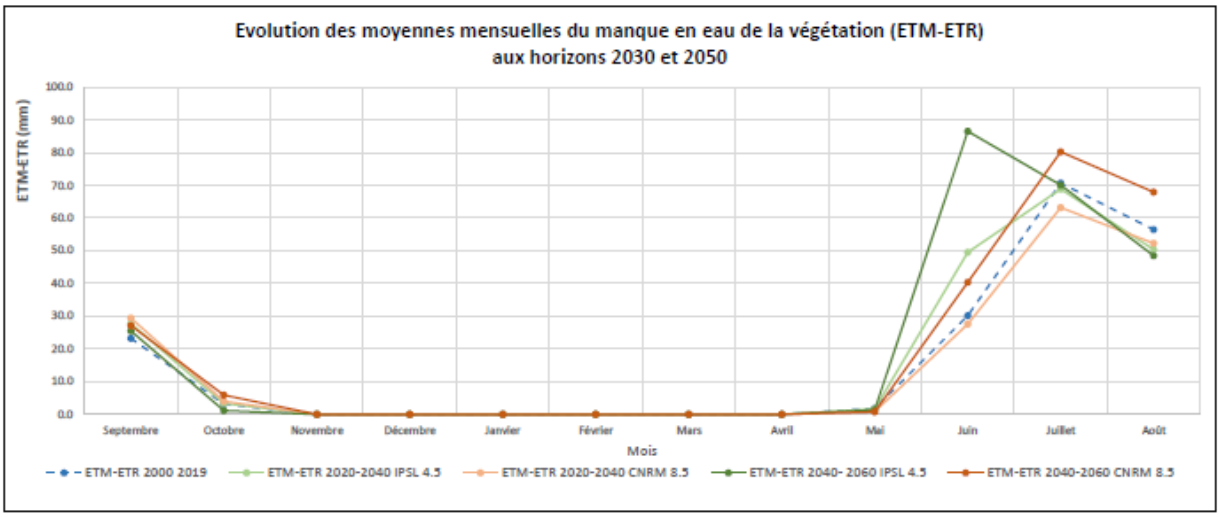


Figure 75 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DU STRESS HYDRIQUE DE LA VEGETATION AUX HORIZONS 2030 ET 2050







13.4 Retour sur le calcul de l'indicateur 7

L'indicateur 7, orienté « étiage », fait intervenir le QMNA5, pour lequel, à ce stade, une hypothèse de stabilité dans le temps a été considérée.

Or, à la lumière des résultats précédents – tension sur les pluies efficaces d'été ou d'automne et aggravation du stress hydrique sur l'automne, voire dès l'été – **il semble raisonnable de considérer que le QMNA5 a plutôt vocation à diminuer, et ce de manière assez sensible**. C'est d'ailleurs ce que suggère à peu près l'ensemble de la bibliographie consultée lors des phases précédentes.

Dans le cadre de la méthodologie simplifiée mise en œuvre ici, nous n'avons pas accès directement à l'évolution des débits aux horizons 2030 et 2050. Si l'évolution du module peut être valablement corrélée avec celle de la pluie efficace annuelle, aucun calcul simple de l'évolution du QMNA5 ne semble réaliste à ce stade.

Dans le cadre d'une hypothèse très simplificatrice, nous considérerons que le QMNA5 varie dans les proportions inverses de celle du stress hydrique annuel (diminution de x% du QMNA5 lorsque le stress hydrique augmente de x%, sauf si celui-ci diminue, auquel cas on conserve l'hypothèse de stabilité). Cette hypothèse, très simple, rejoint les ordres de grandeurs identifiés dans la bibliographie pour la diminution du QMNA5 (bien souvent de l'ordre de plusieurs dizaines de %). Ceci nous permet de mettre à jour l'indicateur 7 conformément à cette hypothèse. Les résultats sont explicités dans le dernier tableau de l'annexe 2, qui fournit pour chaque situation :

- La valeur de l'indicateur 7 recalculé,
- La mise à jour des écarts relatifs par rapport à la situation actuelle,
- L'évolution considérée pour le QMNA5.

Cette mise à jour de l'indicateur 7 montre que :

- Les secteurs déjà concernés par une hausse de cet indicateur lors de l'étape précédente voient généralement leur tension accentuée,
- Dès 2030, les tensions sont nettes **sur la craie pour les deux scénarios** et sur l'ensemble Doller / Thur / Fecht / Bruche pour le scénario 4.5 IPSL,
- En 2050, pour le scénario IPSL 4.5, des tensions apparaissent, en plus, sur les zones 34. Seine Amont, 8. Aube Amont, 22. Marne amont, 18. Haute Meuse, 21. à 27. En semble Meurthe et Moselle, 31. Saône amont et se généralisent sur l'ensemble Nied / Sarre / Plaine d'Alsace / Doller / Thur / Fecht / Bruche / Lauter.
- Enfin le scénario 8.5 CNRM fait apparaître une **hausse généralisée de l'indicateur 7** sur toutes les zones homogènes à l'horizon 2050, la hausse moyenne s'élevant à 26%, comprise entre 6% et 65%.

Ces résultats sont en adéquation avec les constats réalisés sur les pluies efficaces et le stress hydrique. Ils vont dans le sens d'une tension sur la ressource superficielle, qui apparaît sur certains secteurs dès 2030, s'amplifiant et se généralisant en 2050. La période critique clairement identifiée ici correspond à l'été et s'étend sur l'automne.

14. ANALYSE DE LA PRE-ESTIMATION DES VOLUMES PRELEVABLES POUR LA SITUATION ACTUELLE

14.1 Objectifs de la démarche

Les objectifs de la mise en œuvre de bilans type « volumes prélevables » sur les secteurs homogènes sont de définir :

- **Des valeurs de volumes disponibles au prélèvement**, tout en garantissant un débit minimum pour les milieux et espèces aquatiques,
- **De mesurer les pressions quantitatives générées par les prélèvements sur la ressource en eau superficielle ;**
- **De mesurer le niveau de disponibilité de la ressource** à l'échelle mensuelle et annuelle ;
- **D'identifier des secteurs en tension quantitative de ce point de vue.**

Le calcul est conduit uniquement **pour la situation actuelle**. Il n'est en effet pas possible de faire des projections dans le temps de cette approche, du fait de l'indisponibilité de chroniques de prélèvements et de rejets pour les horizons futurs.

Dans le cadre de cette étude, **nous parlons seulement d'une « pré-estimation des volumes prélevables »** car les objectifs du projet et l'échelle de réflexion ne sont pas les mêmes que ceux d'une étude des volumes prélevables « classique ». En particulier, les volumes prélevables sont ici déterminés à l'échelle des secteurs homogènes sans travail préalable pour obtenir de réels débits naturels désinfluencés. Les volumes calculés n'ont pas vocation à être valorisés comme des valeurs réglementaires. Néanmoins, il a été mis en œuvre une méthode conforme aux prescriptions générales en vigueur pour ce type d'approche, telles qu'elles ont notamment été déclinées dans la note « Calcul des volumes prélevables » produite par le Groupe de bassin Rhône-Méditerranée « gestion quantitative » en 2011.

14.2 Présentation des éléments illustratifs

La pré-estimation des volumes prélevables est développée sur la période actuelle 2000-2018. Les éléments illustratifs se trouvent en dernière page des fiches « actuelles » publiées pour chacun des secteurs homogènes. Les éléments illustratifs sont :

- **Le tableau de calcul des volumes prélevables :** le tableau présente plusieurs variables de calcul :
  - **Le débit naturel quinquennal sec** : il s'agit d'une estimation du débit naturel de la rivière sans les prélèvements nets effectués. Il est calculé de la manière suivante : on ajoute les volumes moyens mensuels interannuels des prélèvements nets au débit mesuré dans rivière (débit dit aussi « ré-influencé »).
  - **Le débit dit « ré-influencé »** : il s'agit du débit mesuré par les stations hydrométriques. Ce débit est « influencé » car il intègre les prélèvements et les rejets bruts.
  - **Le seuil statistique d'alerte** : il s'agit du débit de référence minimum choisi dans la première partie de l'étude. Ce débit est obtenu par une compilation des débits statistiques aux stations hydrométriques. Il s'agit d'un pseudo DOE (Débit Objectif d'Etiage) censé assurer l'atteinte du bon état des eaux. En toute rigueur, cette valeur devrait être obtenue à la suite de la mise en place d'un protocole Estimhab.

- Il existe deux situations hydrologiques possibles permettant de mesurer la disponibilité de la ressource actuelle :
  - Si le débit naturel quinquennal sec mensuel est supérieur au débit statistique d'alerte, cela signifie que des volumes peuvent être prélevés sans atteinte au milieu.
  - Si le débit naturel quinquennal sec mensuel est inférieur au débit statistique d'alerte, cela signifie qu'il n'est pas possible de prélever plus sur le secteur car le débit actuel naturel ne permet pas l'atteinte du bon état des eaux.

Cette démarche peut être mise en œuvre indifféremment :

- **Sur une année moyenne :** on considère alors les prélèvements mensuels moyens,
- **Sur une ou plusieurs années particulières**, caractérisées notamment par l'intensité des prélèvements :

Dans le cadre de cette étude, la méthodologie est mise en œuvre sur une année moyenne. Aussi, pour évaluer les volumes prélevables moyens mensuels sur la période 2008-2017, les termes de calculs Prélèvements nets, Débit réinfluencé et Débit naturel quinquennal correspondent à des moyennes mensuelles interannuelles sur la période 2008-2017 pour les prélèvements et sur une période minimale 2000-2020 pour les débits.

La quantification des impacts des prélèvements nets sur le milieu se traduit en termes de « réduction nécessaire des prélèvements ». Dans la première situation (débit naturel quinquennal sec mensuel supérieur au débit statistique d'alerte), le taux de réduction des prélèvements est nul, autrement dit, il n'est pas nécessaire de réduire les prélèvements globaux sur le secteur pour garantir le bon état des milieux. Dans le cas contraire, le taux de réduction nécessaire des prélèvements est supérieur à 0%, ce qui signifie qu'il faudrait réduire les prélèvements totaux globaux pour garantir un bon état des milieux.

Un exemple d'application de la méthode est donnée ci-dessous pour la zone homogène 26 (Moselle amont) ;

Tableau 78 : Extrait du tableau de calcul des volumes prélevables moyens mensuels sur une année moyenne de la période 2008-2017 pour le secteur 26.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne annuelle
Débit naturel quinquennal sec (L/s)	63 774	68 149	57 135	39 310	28 821	21 157	14 816	11 670	12 721	17 294	33 257	64 154	36 021
Prélèvements nets (L/s)	877	865	928	1187	1236	1311	1856	1859	1728	1937	1188	889	1322
Débit ré-influencé (L/s)	62 897	67 284	56 207	38 123	27 585	19 845	12 959	9 811	10 993	15 356	32 068	63 265	34 699
Taux de sollicitation	1%	1%	2%	3%	4%	6%	13%	16%	14%	11%	4%	1%	4%
Seuil statistique d'alerte (L/s)	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879	6 879
Débit naturel quinquennal sec – Seuil statistique d'alerte (L/s)	56 895	61 270	50 256	32 431	21 942	14 277	7 936	4 791	5 842	10 414	26 377	57 275	29 142
Réduction nécessaire des prélèvements	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

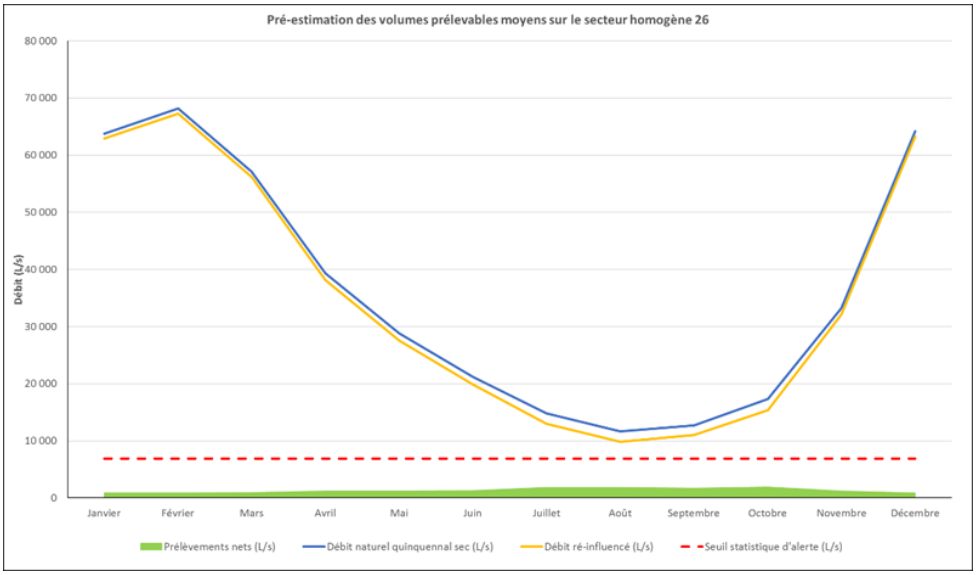
- **Le graphique des volumes prélevables pré-estimés sur le secteur :** les résultats sont présentés sous forme de graphique pour être interprétés facilement. Pour chaque secteur, le tableau de bilan s'accompagne d'un graphe illustrant mois par mois :
  - Le prélèvement net ;
  - Le QMN5 (débit naturel mensuel quinquennal sec),
  - Le QMN5 naturalisé ;

- Le débit plancher : les mois déficitaires correspondent à ceux pour lesquels la courbe du QMN5 passe sous le seuil statistique d'alerte.

Le graphique « volumes prélevables » du secteur 26 est présenté ci-après. Il s'interprète comme suit :

- Tant que le débit réinfluencé ne passe pas sous la droite symbolisant le seuil statistique, des volumes d'eau sur les cours d'eau peuvent être prélevés.
- Les volumes mensuels qu'il est possible de prélever en plus des prélèvements actuels sont plus importants sur la période automnale et hivernale qu'en période estivale.
- En période estivale (juillet, août, septembre), les volumes mensuels moyens disponibles sont de l'ordre de 3 m^3/s. Il existe donc encore ici une marge de prélèvement.

Figure 76 : Graphe de synthèse « volumes prélevables » sur le secteur 26.



14.3 Analyse

14.3.1 Illustrations sur deux situations spécifiques

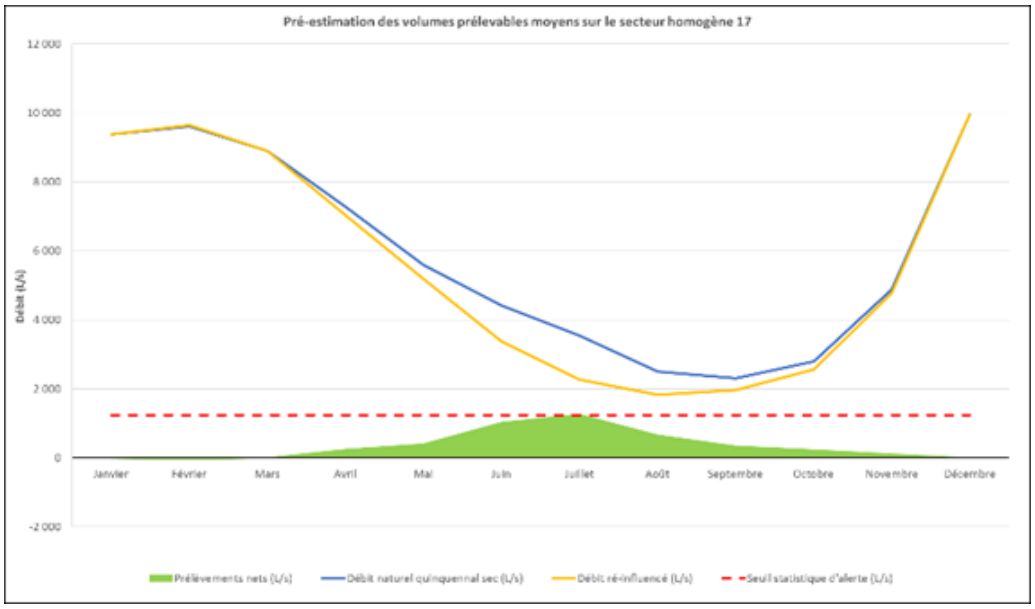
Pour illustrer la démarche, deux cas de figure sont comparés :

Analyse « Volumes prélevables » sur un territoire sans barrage de soutien d'étiage

Sur un secteur non influencé par un barrage de soutien du débit, le débit naturel est supérieur au débit influencé (la courbe bleue est au-dessous de la courbe jaune) toute l'année.

Dans le cas du secteur 17 (Figure suivante), les prélèvements nets impactent le débit global du secteur en période estivale principalement.

Figure 77 : Résultats des volumes prélevables sur le secteur 17

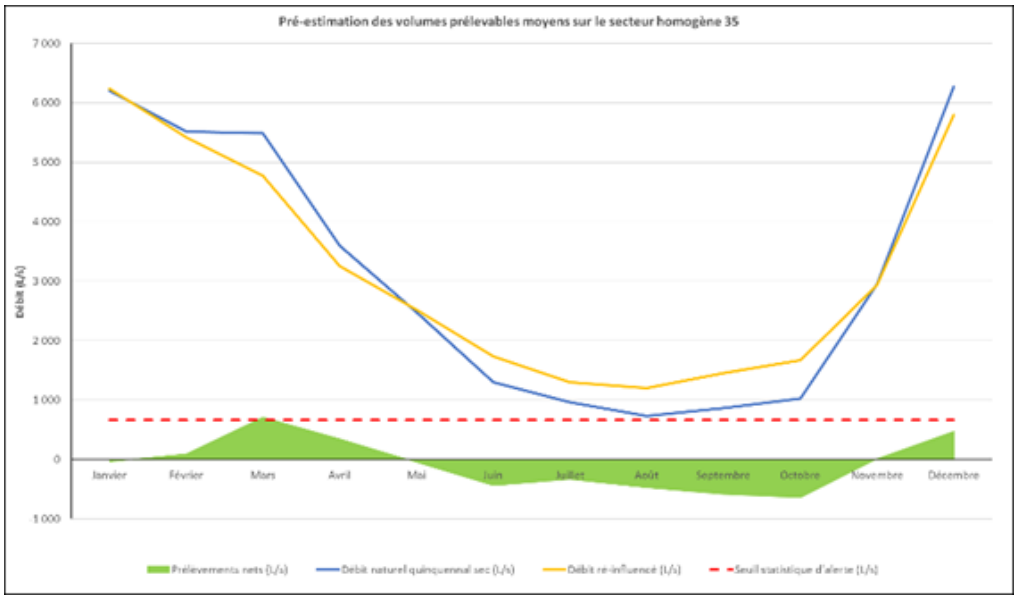


- **Analyse « Volumes prélevables » sur un territoire avec un barrage de soutien d'étiage**

La présence d'un barrage de soutien d'étiage influence le cycle hydrologique annuel, en combinant une période de prélèvement et une période de restitution. Sur le graphe « volumes prélevables » de la Thur (secteur 35, figure ci-après), on distingue nettement :

- La période hivernale de prélèvement, durant laquelle le débit ré-influencé est nettement inférieur au débit naturel. Le prélèvement net est positif.
- La période estivale durant laquelle le débit ré-influencé est nettement supérieur au débit naturel, ce qui est l'objectif premier d'un barrage de soutien d'étiage. Le prélèvement net est négatif (restitution au cours d'eau).

Figure 78 : Résultats des volumes prélevables pour le secteur 35.



14.3.2 Analyse générale

Nous proposons ici une analyse synthétique des « volumes prélevables » établis sur chaque secteur homogène. Cette analyse est présentée dans le Tableau 79 qui récapitule les éléments suivants :

- **Les taux de sollicitations mensuels** (Rapports du prélèvement mensuels moyen au QMN5 naturel),
- **Le nombre de mois durant lesquels ce taux de sollicitation excède les seuils suivants : 10%, 20%, 30%, 40%, 50%**.
- **Le nombre de mois dans l'année durant lesquels une réduction des prélèvements serait nécessaire**.

On distingue :

- Des secteurs pour lesquels les taux de sollicitation **sont soutenus ou importants toute l'année :**
  - 7. Aisne aval,
  - 16. Doller,
- Des secteurs sur lesquels les taux de sollicitation sont **très importants l'été**, en particulier :
  - 1. à 5. Secteurs crayeux,
  - 33. Saulx et Ornain,
  - 17. Fecht, Weiss et Lauch,
- Des secteurs sur lesquels les taux de sollicitation sont **très importants en période** hivernale (remplissage des barrages), en particulier :
  - 34. Seine amont,
  - 8. Aube amont,
  - 22. Marne amont,
  - 9. Blaise,
- **Des secteurs qui connaitraient des périodes <u>particulièrement critiques</u> durant lesquelles il conviendrait de diminuer les prélèvements :**
  - 3. Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe,
  - 4. Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre,
  - 10. Brie et Tardenois,
  - 18. Haute Meuse.

Tableau 79 : Vue globale des taux de sollicitation moyens mensuels des QMN5 des durées pendant lesquelles une limitation des prélèvements serait nécessaire

SITUATION ACTUELLE - Pré-estimation des volumes prélevables

		Zone Homgène	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	*taux de sollicitation des prélèvements nets mensuels moyens pour différents seuils* > 10%	> 20%	> 30%	> 40%	> 50%	Nombre de mois pendant lesquels une réduction du prélèvement est nécessaire
Craie	1 : Affluent Crayeux Aisne - Craie de Champagne Nord	1	3%	3%	3%	6%	9%	16%	28%	31%	30%	27%	12%	5%	6	4	1	0	0	0
	2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre	2	-1%	0%	0%	0%	3%	9%	19%	13%	8%	-1%	-1%	-1%	2	0	0	0	0	0
	3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe	3	2%	1%	1%	1%	4%	15%	36%	38%	26%	13%	5%	3%	5	3	2	0	0	2
	4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre	4	1%	1%	1%	1%	6%	25%	55%	48%	30%	9%	4%	2%	4	4	3	2	1	2
	5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud	5	2%	1%	1%	1%	6%	23%	48%	37%	23%	7%	3%	2%	4	4	2	1	0	0
	10 : Brie et Tardenois	10	1%	0%	1%	1%	1%	3%	6%	8%	5%	3%	1%	1%	0	0	0	0	0	1
Aisne	6 : Aisne amont	6	0%	0%	0%	0%	1%	3%	6%	11%	5%	2%	1%	0%	1	0	0	0	0	0
	7 : Aisne aval	7	3%	3%	3%	7%	11%	17%	29%	35%	29%	26%	10%	4%	6	4	1	0	0	0
Oise	30 : Oise	30	1%	0%	1%	1%	1%	2%	3%	3%	3%	3%	1%	1%	0	0	0	0	0	0
Seine Amont	34 : Seine amont	34	36%	47%	45%	24%	27%	-12%	-122%	######	-413%	-81%	-27%	38%	6	6	4	2	0	0
Aube amont	8 : Aube amont	8	30%	38%	25%	19%	32%	9%	6%	9%	5%	7%	7%	37%	6	5	3	0	0	0
Marne maont	22 : Marne amont	22	52%	56%	39%	23%	43%	-58%	-5638%	-288%	-267%	-251%	0%	40%	6	6	5	4	2	0
	9 : Blaise	9	43%	47%	31%	30%	38%	22%	18%	20%	9%	9%	8%	32%	9	8	6	2	0	0
	33 : Saulx et Ornain	33	3%	2%	3%	8%	13%	22%	37%	44%	34%	29%	8%	3%	6	5	3	1	0	0
Corridors	13 : Corridor Aube	13	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0	0	0	0	0	0
	14 : Corridor Marne	14	-1%	-1%	-1%	-3%	-5%	-7%	-10%	-10%	-6%	-5%	-2%	-1%	0	0	0	0	0	0
	15 : Corridor Seine	15	6%	4%	4%	5%	6%	8%	7%	7%	6%	7%	5%	8%	0	0	0	0	0	0
Meuse	18 : Haute Meuse	18	0%	0%	0%	1%	2%	3%	8%	10%	9%	1%	0%	0%	1	0	0	0	0	2
	25 : Meuse mediane	25	1%	0%	1%	1%	1%	2%	4%	4%	5%	6%	2%	1%	0	0	0	0	0	0
	24 : Meuse aval	24	1%	1%	1%	2%	3%	4%	6%	7%	7%	8%	3%	1%	0	0	0	0	0	0
	12 : Chiers	12	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	1%	0%	0	0	0	0	0	0
Moselle	23 : Meurthe	23	1%	1%	0%	1%	2%	-1%	4%	1%	-5%	-10%	-1%	2%	0	0	0	0	0	0
	26 : Moselle amont	26	1%	1%	2%	3%	4%	6%	13%	16%	14%	11%	4%	1%	4	0	0	0	0	0
	28 : Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille	28	-1%	-1%	-1%	-3%	-4%	-5%	-9%	-11%	-6%	-4%	-1%	-1%	0	0	0	0	0	0
	27 : Moselle aval	27	2%	1%	2%	3%	4%	6%	8%	10%	10%	10%	4%	2%	2	0	0	0	0	0
Nied et Sarre	29 : Nied	29	-3%	-3%	-4%	-5%	-6%	-6%	0%	-1%	-5%	-9%	-4%	-3%	0	0	0	0	0	0
	32 : Sarre	32	4%	2%	0%	-1%	-3%	-5%	-2%	-5%	-9%	1%	7%	7%	0	0	0	0	0	0
Plaine d'alsace	20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace	20	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0	0	0	0	0	0
Affluents vosgiens	19 : ill amont	19	-3%	-3%	-3%	-2%	-2%	-1%	4%	6%	1%	-4%	-3%	-3%	0	0	0	0	0	0
	16 : Doller	16	13%	16%	15%	13%	19%	24%	35%	5%	3%	4%	10%	8%	8	2	1	0	0	0
	35 : Thur (soutenue)	35	-1%	2%	13%	10%	-2%	-84%	-85%	-64%	-67%	-63%	0%	8%	1	0	0	0	0	0
	17 : Fecht, Weiss et Lauch	17	0%	0%	0%	3%	7%	23%	36%	27%	15%	9%	2%	0%	4	3	1	0	0	0
	11 : Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette	11	-3%	-3%	-3%	-2%	-1%	2%	10%	7%	2%	-3%	-3%	-3%	1	0	0	0	0	0
	21 : Lauter, Sauer, Moder, Zorn	21	-3%	-3%	-2%	0%	2%	6%	12%	9%	5%	4%	0%	-3%	1	0	0	0	0	0
Saone amont	31 : Saone amont	31	3%	3%	4%	7%	10%	15%	23%	27%	20%	18%	7%	5%	6	3	0	0	0	0

15. SYNTHESE ET HIERARCHISATION

15.1 Comparaison des indicateurs

Afin d'aider à la hiérarchisation des différentes zones homogènes vis-à-vis de l'ensemble des pressions, une présentation homogénéisée des indicateurs a été réalisée.

Cette homogénéisation est réalisée de la façon suivante, pour chaque zone homogène :

- **Pour chaque indicateur, une note est attribuée de 1 à 5 en fonction du niveau de pression observé**. Afin de s'affranchir des valeurs absolues des indicateurs, cette note est calculée de la façon suivante :
  - Les notes sont attribuées de 1 à 5 par pression croissante,
  - Les valeurs jusqu'à 20% reçoivent la note 1,
  - Les valeurs au-delà de 80% reçoivent la note 5 (y compris pour les valeurs supérieures à 100%),
  - Les notes sont données de manière croissante par intervalle de 20% (exemple : les indicateurs compris entre 20% et 40% reçoivent la note 2, puis la note 3 entre 40% et 60%, etc.).

- Une fois cette opération réalisée pour l'ensemble des indicateurs 2 à 9, **chaque zone homogène se voit affectée d'une série de notes correspondant à** :
  - La note moyenne obtenue pour les indicateurs 2 et 3, ces deux indicateurs donnant des résultats très voisins,
  - La note moyenne obtenue pour les indicateurs 4 et 5, ces deux indicateurs donnant également des résultats très voisins,
  - La note obtenue pour l'indicateur 6,
  - La note obtenue pour l'indicateur 7 (calculé dans sa version où le QMNA5 reste stable dans le temps),
  - La note obtenue pour l'indicateur 8,
  - La note obtenue pour l'indicateur 9.

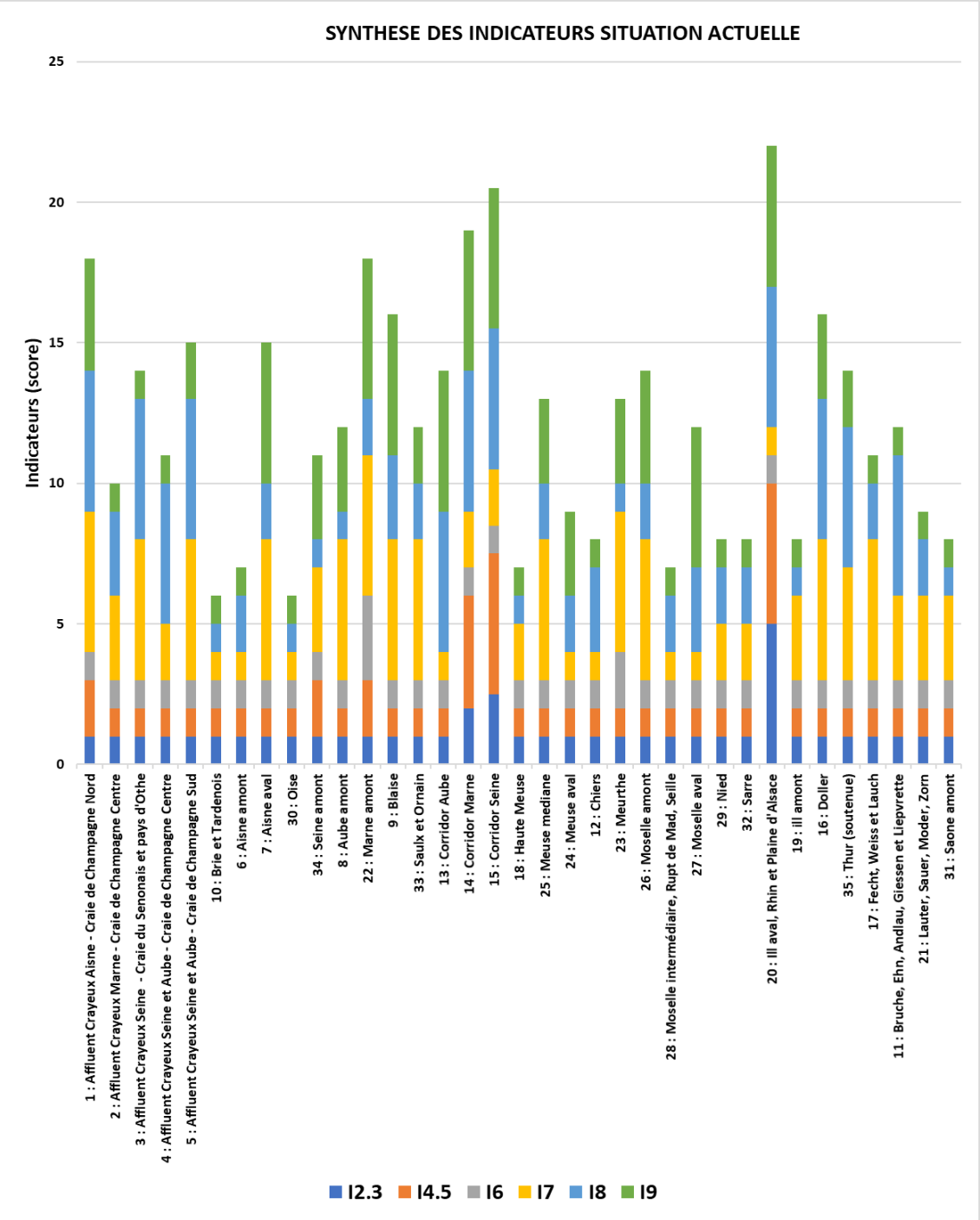
- Une représentation est ensuite effectuée pour chaque zone homogène sous la forme d'un graphe « camembert » (en prenant soin de faire systématiquement figurer une portion du graphe correspondant à [30 moins la somme des notes obtenues], une zone homogène pour laquelle toutes les notes seraient de 5 obtiendrait en effet la note maximale de 30, cette opération rendant les graphes comparables).

- On trouvera en fin d'annexe 2, la représentation graphique des indicateurs telle que présentées ci-dessus :
  - Pour la situation actuelle,
  - Pour le scénario 4.5 IPSL 2030,
  - Pour le scénario 8.5 CNRM 2030,
  - Pour le scénario 4.5 IPSL 2050,

- Pour le scénario 8.5 CNRM 2050.

Une représentation globale simplifiée est présentée sur la figure ci-dessous, dans lequel les 7 notes obtenues sont représentées pour chaque zone homogène sous la forme de barres « empilées ».

Figure 79 : Représentation graphique globale simplifiée des indicateurs



15.2 Analyse et première hiérarchisation des zones homogènes

La représentation graphique proposée pour les indicateurs s'interprète comme une synthèse « cumulative » de l'ensemble des pressions s'exerçant sur les zones homogènes. Elle permet donc de mettre en lumière les zones homogènes sur lesquelles les pressions ont tendance à s'additionner.

Elle ne doit cependant pas occulter les secteurs qui seraient particulièrement impactés par un type de pression sans subir d'effet de cumul.

- On retrouve **aux 5 places les plus élevées les zones homogènes suivantes** (niveau de pression cumulé **« très fort »**):
  - 20. Plaine d'Alsace (pression industrielle et prélèvements canaux),
  - 14. et 15 : Corridors Marne (VNF, AEP) et Seine (VNF, AEP, refroidissement),
  - 22. Marne amont (Pression VNF et Lacs Réservoirs),
  - 1. Affluents crayeux de l'Aisne - Craie de Champagne Nord (pression de l'AEP et des prélèvements VNF),

  qui sont également 5 secteurs sur lesquels les prélèvements annuels sont particulièrement importants.
- **Suivent ensuite,** avec un niveau de pression cumulé **« fort »** :
  - 5. Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud (poids de l'irrigation),
  - 3. Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe (poids de l'irrigation),
  - 7. Aisne aval (pression des prélèvements VNF)
  - 9. Blaise (le prélèvement des Lacs réservoirs induit certainement le rang constaté pour ce secteur),
  - 13. Corridor Aube (AEP, irrigation),
  - 25. Meuse médiane (VNF),
  - 23. Meurthe (VNF),
  - 26. Moselle amont (poids des prélèvements VNF),
  - 16. Doller (poids des prélèvements liés à l'AEP),
  - 35. Thur (pression Combinée / AEP / VNF soutien d'étiage).
- Puis, avec un niveau de pression cumulé **« significatif »**, viennent :
  - 2. Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre (irrigation),
  - 4. Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre (irrigation),
  - 34. Seine amont, 8. Aube amont : le prélèvement des Lacs réservoirs induit très certainement le rang constaté pour ces secteurs,
  - 33. Saulx et Ornain (VNF)
  - 27. Moselle aval (Refroidissement),
  - 11. Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette (AEP, Industrie)
- A l'inverse, les zones homogènes **qui apparaissent les moins exposées aux pressions des prélèvements sont les suivantes** (niveau de pression cumulé **« peu élevé »**) :
  - 10. Brie et Tardenois,
  - 6. Aisne amont,
  - 30. Oise,
  - 18. Haute Meuse,
  - 12. Chiers,

- 28. Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille,
- 29. Nied,
- 32. Sarre,
- 19. Ill amont,
- 31. Saône amont.

Sans surprise, ces secteurs, sont globalement ceux sur lesquels les prélèvements sont parmi les plus faibles en volume.

- On remarque d'autre part que **la hiérarchisation des zones homogènes reste stable dans le temps** : les évolutions prévues en 2030 et 2050 ne modifient pas le classement obtenu.

En repartant de la hiérarchisation présentée – tout engardant à l'esprit l'ensemble des indicateurs « unitaires » qui révèlent des pressions particulières – nous pouvons établir une première liste des zones homogènes **éligibles à une analyse quantitative plus poussée dans la suite de l'étude**. **Dans chaque catégorie, les secteurs sont cités par ordre de pression décroissant. Les secteurs entre parenthèse sont d'un degré de priorité plutôt inférieur aux autres.**

Tableau 80 : Première liste de zones homogènes éligibles à une analyse quantitative complémentaire

Typologie zone homogène	Typologie des pressions	Zones homogènes
Plaine alluviale aux ressources particulièrement sollicitées, notamment souterraines	Pression multiple (Industrie, Canaux, Irrigation, AEP, refroidissement)	**20. Plaine d'Alsace**
Corridor fluvial aux ressources particulièrement sollicitées	Prélèvements VNF importants, refroidissement (Seine) importance des prélèvements AEP (en volume)	**14. corridor Marne** **15. corridor Seine**
Bassins versants « amont » exposés à des prélèvements significatifs susceptibles de modifier les cycles hydrologiques	Bassins sur lesquels sont implantés des retenues modifiant le cycle hydrologique	**22. Marne amont (Pression VNF et Lacs Réservoirs)** **(9. Blaise)** **(34. Seine amont)** **(8. Aube amont)**
Bassins versants « amont » exposés à des prélèvements importants	Essentiellement VNF (zones 23. et 29) et AEP (16.)	**16. Doller** (zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables) **(29. Moselle amont, poids des prélèvements VNF),** **(23. Meurthe, pression des prélèvements VNF),**
Bassin versant en position intermédiaire soumis à des prélèvements significatifs	Essentiellement VNF	**25. Meuse médiane**
Bassin versant en position aval soumis à des prélèvements significatifs	Prélèvements divers de moyenne intensité (VNF, refroidissement…)	**27. Moselle aval** **7. Aisne aval** **(24. Meuse aval)**
Cours d'eau de taille intermédiaire au régime	Barrage, AEP, Irrigation, industrie	**35. Thur**

significativement modifié subissant des pressions multiples		
Secteur crayeux soumis à une pression importante des prélèvements estivaux	Irrigation	**3. Affluents Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe** (zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables) **5. Affluents crayeux Seine et Aube – Craie champagne sud** **(4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre** - zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables)
Secteur crayeux soumis à prélèvement AEP majoritaire	Prélèvement AEP majoritaire	**1. Affluents crayeux de l'Aisne (craie de champagne Nord)**
Secteurs divers soumis à des niveaux peu élevés de prélèvement	Secteurs « témoins » d'un faible niveau de pression ou secteurs non soumis à pression actuellement mais sur lesquels des projets particuliers pourraient générer des tensions	**18 : Haute Meuse** **12 : Chiers** **6 : Aisne amont** **19 : Ill amont**

15.3 Synthèse et conclusion

A la lumière de l'ensemble des résultats présentés précédemment, on peut dresser la synthèse suivante :

Concernant la situation actuelle : Les principaux secteurs concernés par des pressions actuelles sont :

- La craie (secteurs 1. puis 3. et 5. dans une moindre mesure), où les prélèvements souterrains prédominent et où la demande en irrigation et/ou AEP est proportionnellement élevée,
- Les secteurs Aube, Marne et Seine, incluant les bassins et affluents amont. Ceci s'explique d'une part par la présence des Lacs Réservoirs, qui modifient assez sensiblement les cycles hydrologiques, la présence de prélèvements VNF importants (sauf Aube), des prélèvements importants en volume sur les corridors Marne et Aube (AEP, Navigation, refroidissement…).
- On retrouve un constat assez similaire sur la plaine d'Alsace, qui cumule des prélèvements très significatifs (Canaux, AEP, irrigation…).
- La Doller, la Thur en relation avec des types de prélèvements bien identifiés,
- La Moselle amont, la Meurthe, la Meuse médiane en relation avec les prélèvements VNF, la Moselle aval (refroidissement),

Inversement, certains secteurs sont aujourd'hui relativement moins par la pression des prélèvements : Chiers, Nied, Saône amont, Aisne amont, Haute Meuse, Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille, Brie et Tardenois, Oise.

Pour le choix des 10 zones à retenir pour la suite pour une analyse plus approfondie, deux stratégies sont possibles :

- **Soit privilégier les zones caractérisées par des niveaux de tension déjà élevés,**
- **Soit retenir des zones en fonction des typologies mises en évidences dans le Tableau 80, ce qui présenterait l'avantage de décrire un panel de situations plus diversifié.**

Concernant les perspectives d'évolution :

- **L'évolution des précipitations attendues aux horizon 2030 et 2050**, en hausse légère ou plus significative sur l'ensemble de la région, **explique les augmentations constatées sur les recharges et les pluies efficaces annuelles, en hausse également partout**.
- Cette **tendance à la hausse des recharges et des pluies efficaces, conjuguée à une tendance orientée à la baisse de la grande majorité des prélèvements, à l'exception de l'irrigation, explique l'évolution des indicateurs 2 à 5**, en retrait sur toutes les zones homogènes en 2030 et 2050.
- **Ces évolutions impliquent qu'on ne perçoit pas de tensions particulières sur la ressource en eau souterraine et son renouvellement jusqu'en 2050**.
- Les **indicateurs orientés « étiage » (Δ7) ou « bilan net » (Δ8 et Δ9)**, en revanche, montrent selon les secteurs, les scénarios et les horizons **des orientations plus contrastées** :
  - **L'indicateur Δ7** traduit un surcroît de pression dès 2030 pour certaines zones homogènes (notamment sur la craie et l'est vosgien), avec une tendance à l'accentuation (4.5 ISPL) voire la généralisation (8.5 CNRM) à l'horizon 2050.
  - **L'indicateur Δ8** fait apparaître quelques augmentations de pression, en particulier en 2030, toujours sur la craie et l'est vosgien. Ces augmentations s'atténuent cependant en 2050.
  - **L'indicateur Δ9** est concerné très ponctuellement par de légères tendances à l'augmentation, plus disséminées et paraissant moins significatives.
- L'analyse des variations annuelles et saisonnières des diverses variables hydrométéorologiques a permis de progresser sur la compréhension et l'analyse des phénomènes perçus au travers des indicateurs. Elle montre :
  - Une **augmentation des températures assez homogène**, s'accentuant en 2050, conduisant à une augmentation en de l'ETP.
  - Une **augmentation de la pluviométrie annuelle avec des hétérogénéités saisonnières d'un scénario à l'autre**. En fonction des scénarios, 2 ou 3 saisons sont concernées par une augmentation nette de la pluviométrie.
  - **Des tensions saisonnières apparaissant cependant à certaines saisons, sur les pluies efficaces et sur le stress hydrique, potentiellement en nette augmentation**. **Tout semble ainsi indiquer une tension sur les ressources superficielles de fin d'été-début d'automne**, sur une période concernant a minima août-septembre, voir juin-septembre.
    Cette tension **pourrait également s'accompagner d'un glissement (recharge plus tardive) dans le temps, voire d'un allongement, de la période critique des besoins**.
  - **Pour la ressource souterraine**, il est assez probable qu'en dépit d'une augmentation des recharges, **cette tension nette sur les eaux superficielles s'accompagne en**

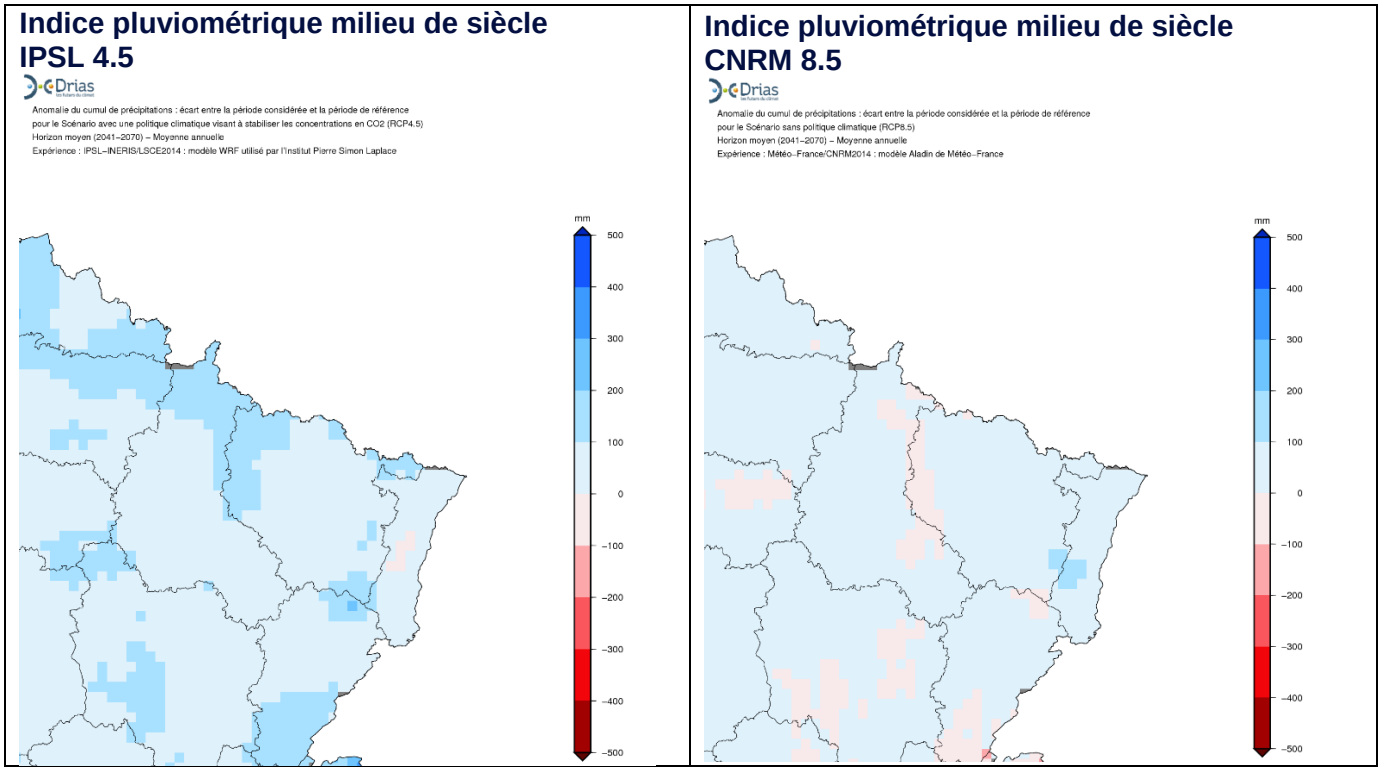
définitive d'une <u>tension sur la piézométrie d'étiage</u>, avec de possibles répercussions sur les milieux naturels et zones humides.

Ce constat peut, de prime abord, sembler optimiste. Il convient cependant de remarquer :

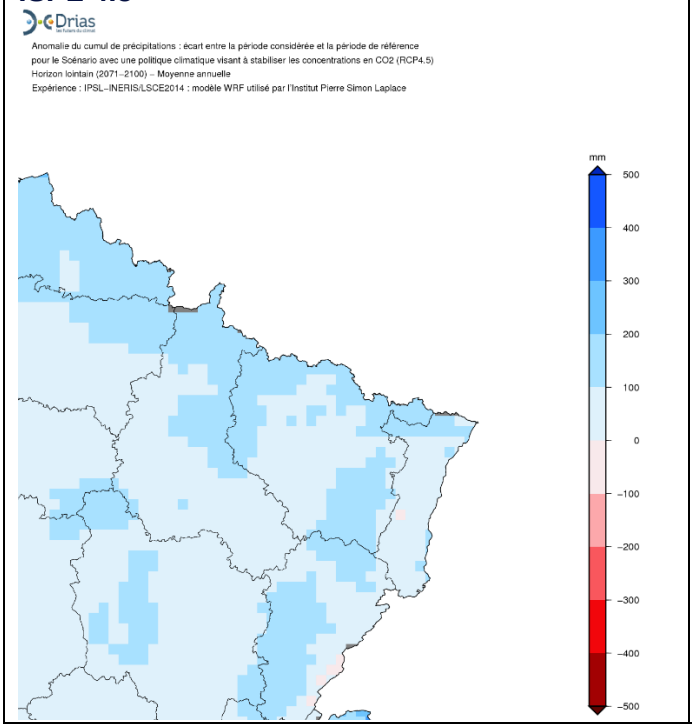
- Que, **faute de données disponibles sur les prélèvements-rejets, il n'intègre malheureusement pas les trois dernières années – 2018 / 2019 / 2020 –** pour lesquelles une aggravation des tensions liées aux sècheresses est constatée à l'échelle de la région,
- Il n'intègre pas les évolutions prévues à fin de siècle. Rappelons ici que les extraits réalisés à partir de la base de données DRIAS pour les horizons 2030 et 2050 montrent globalement une **augmentation assez sensible des précipitations sur la région jusqu'au milieu du siècle**. Or, si l'on investigue les champs des deux scénarios, toujours à partir des données DRIAS, mais à fin de siècle, on constate (Figure 80) :
  - Une **diminution sensible et généralisée de la pluviométrie pour le scénario 8.5 CNRM à l'exception de la plaine d'Alsace**,
  - Une augmentation plutôt plus marquée de la pluviométrie pour le scénario 4.5 IPSL.

L'analyse de l'horizon fin de siècle permettrait donc de dégager des tendances supplémentaires, et probablement plus nettes, pour chacun des deux scénarios.

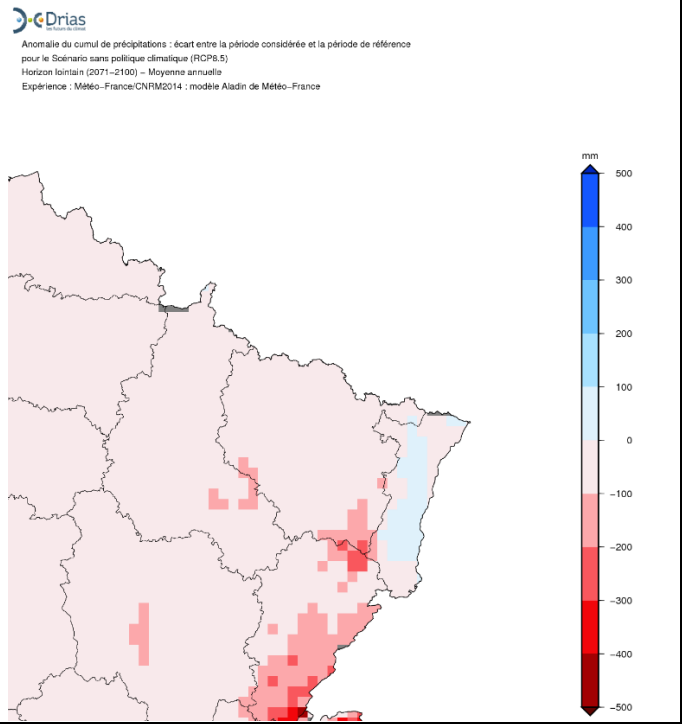
Figure 80 : évolution de l'indice pluviométrique en milieu de siècle (2055) et fin de siècle (2085) sur la région Grand-Est pour les scénarios 4.5 IPSL et 8.5 CNRM (source : DRIAS)



Indice pluviométrique fin de siècle ISPL 4.5



Indice pluviométrique fin de siècle CNRM 8.5



15.4 Eléments de choix des zones à étudier issus des concertations conduites à l'issue du COPIL du 06.01.2021

La Figure 81 récapitule les niveaux de pression identifiés dans le cadre du volet 1 de l'étude sur les 35 zones homogènes.

Les résultats de la première phase de l'étude ont été présentés en Comité de Pilotage le 06 janvier 2021.

Suite à ce COPIL, une concertation conduite par la Région Grand Est auprès des différents acteurs a permis **d'arrêter le choix de 13 zones homogènes à étudier plus en détail dans la suite du projet**.

D'une manière générale, la seconde phase de l'étude doit permettre aux territoires concernés de disposer d'éléments d'analyse suffisants pour évaluer la nécessité d'engager des études ou projets à une échelle opérationnelle. Ainsi, les secteurs sur lesquels des études de la gestion quantitative de la ressource (Volumes prélevables, SAGE…) sont déjà engagées ont été écartés, de manière à orienter la réflexion vers des zones homogènes pour lesquelles aucune étude n'est en cours.

Le tableau de synthèse présenté ci-après reprend l'argumentaire ayant conduit au choix des 13 zones retenues pour la phase 2 du projet. Ces zones sont listées ci-dessous et repérées sur la carte de la Figure 82 :

- Ill amont, nappe d'Alsace, Bruche,
- Meurthe, Moselle amont, Moselle aval,
- Haute Meuse, Meuse aval,
- Blaise, Marne amont, Saulx et Ornain,
- Aisne amont,
- Aube amont.

Figure 81 : Vue générale des niveaux de pression sur les 35 zones homogènes

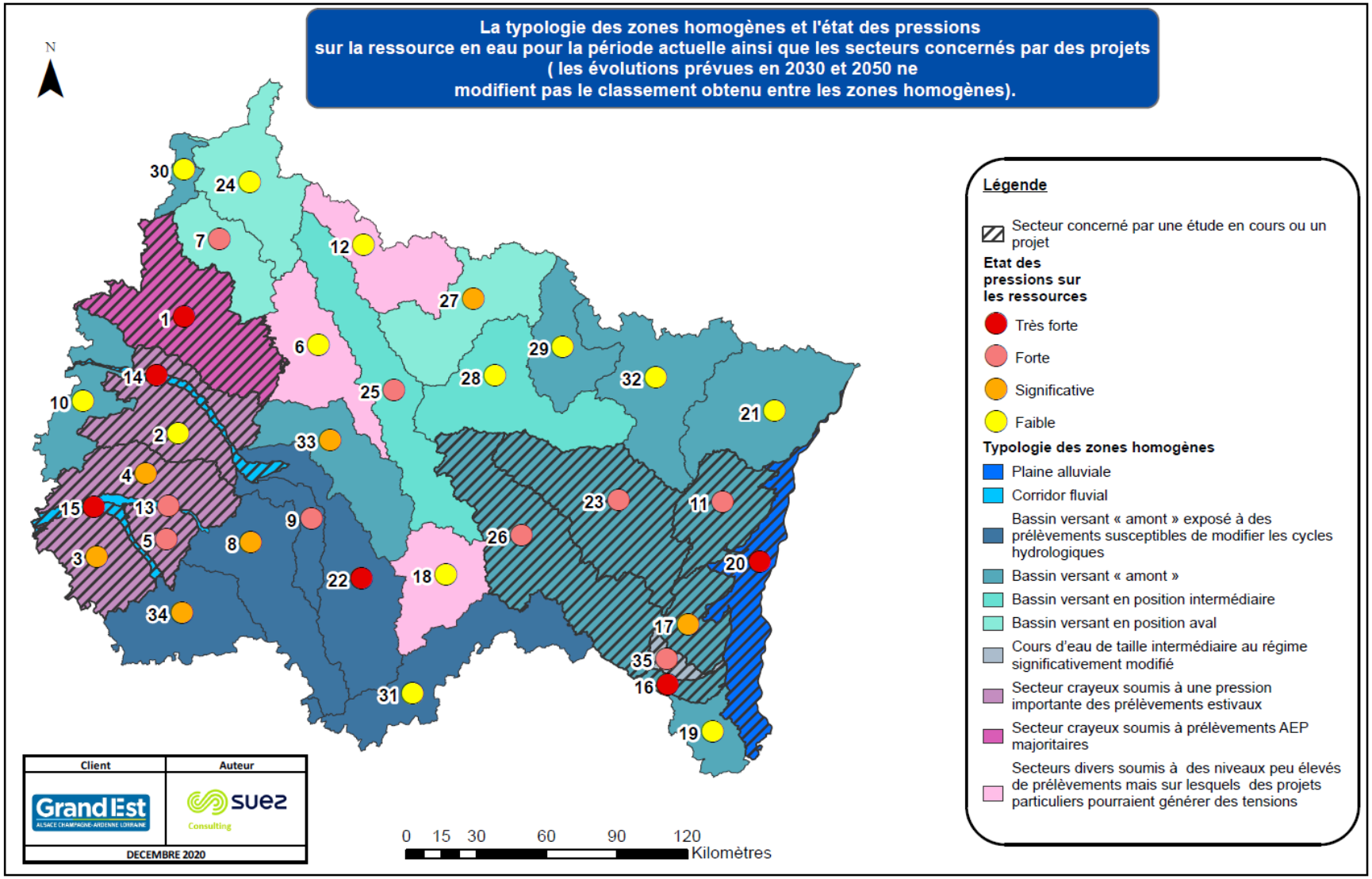


Figure 82 : Localisation des 13 zones Homogènes retenues pour la suite du projet

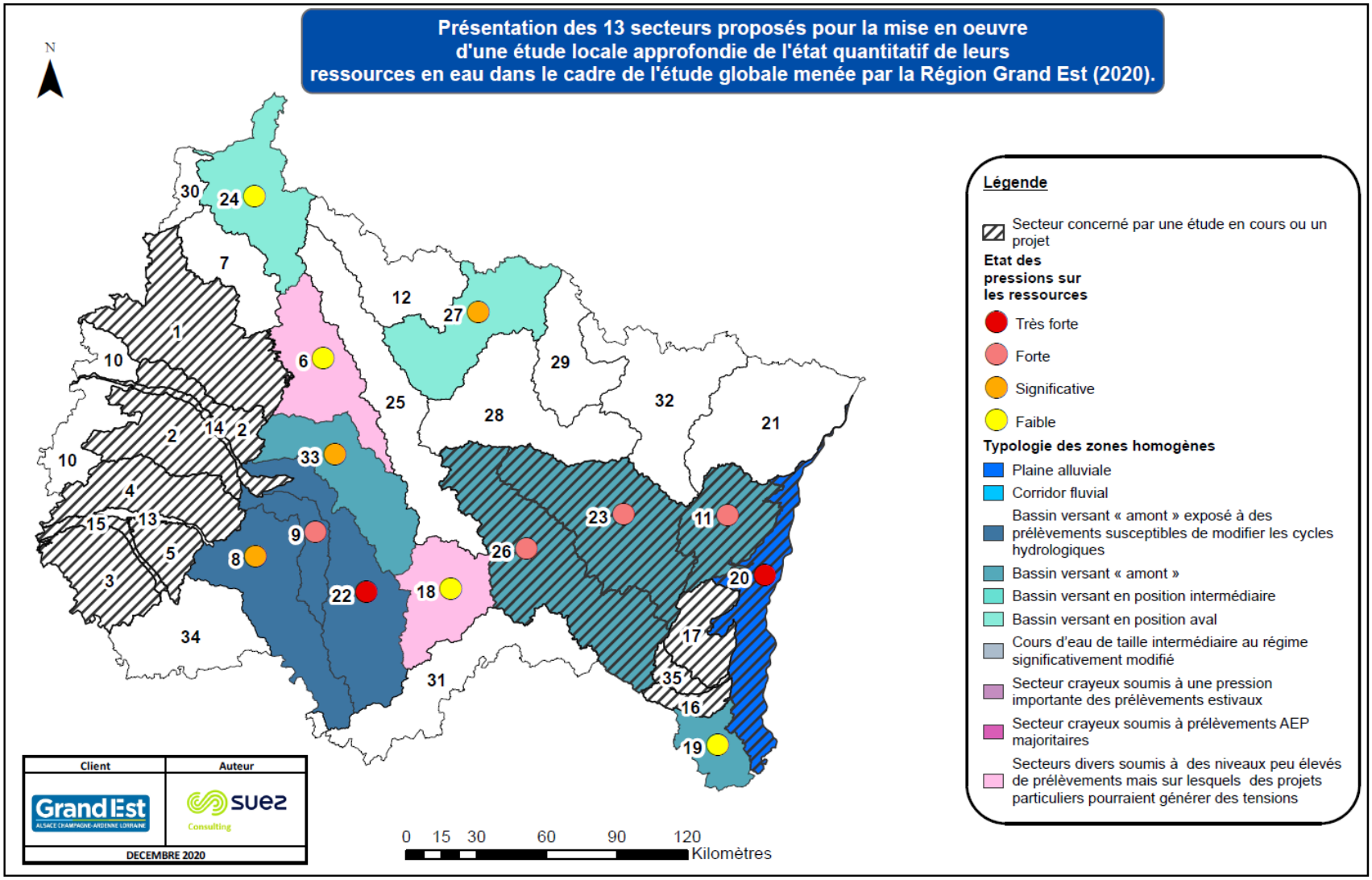


Tableau 81 : Sélection des zones homogènes étudiées dans la deuxième phase de l'étude

Zones homogènes	Enjeux quantitatifs	Etude dans la 2ème phase de l'étude	Critères ayant conduit à la sélection ou non pour la phase 2 de l'étude
Plaine alluviale aux ressources particulièrement sollicitées, notamment souterraines			
20. Plaine d'Alsace	Prélèvements importants (industrie, canaux, irrigation, AEP) ; ressource abondante	oui	Disposer d'une modélisation du fonctionnement de la nappe d'Alsace et cartographier les principaux prélèvements et la recharge de la nappe par les canaux issus du Rhin et les cours d'eau Vosgiens. Vue globale en complément du PTGE Ried en projet (suite GESEAUR).
Corridor fluvial aux ressources particulièrement sollicitées			
14. Corridor Marne	Prélèvements importants (VNF et AEP)	non	Périmètre de la zone homogène ne permettant pas une approche globale des enjeux, notamment vis-à-vis des usages aval (soutien d'étiage, AEP bassin parisien). Par ailleurs, étude en cours portée par l'EPTB Seine Grands Lacs visant à améliorer la prévision des étiages et évaluer l'incidence d'années sèches successives pour optimiser la gestion des lacs réservoirs qui apportera des éléments de connaissance sur ce territoire.
15. Corridor Seine	Prélèvements importants (VNF, refroidissement et AEP)	non	

Bassin versant « amont » exposé à des prélèvements significatifs susceptibles de modifier les cycles hydrologiques			
22. Marne amont	Prélèvements importants (VNF), hydrologie influencée par les lacs réservoirs. Sollicitation en période hivernale importante pour le remplissage des barrages	oui	Besoin d'une première approche sur un secteur où les enjeux sont de plus en plus prégnants (impacts des assecs sur les cours d'eau, problèmes d'alimentation des communes et du bétail, demandes croissantes d'irrigation des cultures). Evaluation des conséquences à venir. Tête de bassin influençant la situation aval.
9. Blaise	Pression des prélèvements forte, impactée par les lacs réservoirs. Sollicitation en période hivernale importante pour le remplissage des barrages	oui	
8. Aube amont	Pression des prélèvements significative, due aux lacs réservoirs. Sollicitation en période hivernale importante pour le remplissage des barrages	oui	
33. Saulx et Ornain	Pression des prélèvements importante (VNF, irrigation)	oui	
34. Seine amont	Pression des prélèvements significative, due aux lacs réservoirs	non	Pour l'essentiel hors Grand Est
Bassin versant « amont » exposé à des prélèvements importants			
16. Doller	Pression des prélèvements importante (AEP)	non	Problématique d'ores et déjà traitée dans le SAGE Doller.
29. Moselle amont	Pression des prélèvements importante (VNF)	oui	Disposer d'une approche globale du fonctionnement hydrologique du secteur pour alimenter une future étude plus précise sur la Moselle amont et la Meurthe (gestion Vieux Pré notamment) et à court terme les réflexions AEP.
23. Meurthe	Pression des prélèvements importante (VNF). Forte sollicitation de la retenue de Vieux-Pré avec des difficultés de recharge en période estivale. Projet de nouvelle prise d'eau pour la sécurisation de l'AEP de Nancy.	oui	

11. Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette	Pression des prélèvements significative (AEP, industrie)	oui	Caractériser le manque d'eau en période estivale et ses impacts pour engager une réflexion locale. Comprendre les apports des bassins versants vosgiens à la nappe.
Bassin versant en position intermédiaire soumis à des prélèvements significatifs			
25. Meuse médiane	Essentiellement VNF	non	Etude des zones médianes apporte peu d'informations quant au fonctionnement global par rapport à la zone amont.
28. Moselle intermédiaire		non	
Bassin versant « aval » soumis à des prélèvements significatifs			
27. Moselle aval	Prélèvements divers de moyenne intensité (VNF, refroidissement, …)	oui	Vue globale des enjeux sur le sillon lorrain (AEP, refroidissement CNPE, navigation) et à l'international avec les pays riverains de la Moselle.
7. Aisne aval	Prélèvements soutenus toute l'année	non	
24. Meuse aval	Prélèvements divers de moyenne intensité.	oui	Disposer de données pour alimenter les réflexions dans le cadre de projets transfrontaliers.
Cours d'eau de taille intermédiaire au régime significativement modifié subissant des pressions multiples			
35. Thur	Pression combinée barrage, AEP, Irrigation	non	
Secteur crayeux soumis à une pression importante des prélèvements estivaux			
3. Affluents Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe	Zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables. Pression importante (irrigation)	non	Etude volume prélevable en cours sur la nappe de la Craie qui fournira une caractérisation plus fine des enjeux.
5. Affluents crayeux Seine et Aube – Craie champagne sud	Zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables	non	

4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre -	Zone pré-identifiée comme critique pour les volumes prélevables	non	
Secteurs crayeux soumis à des prélèvements AEP majoritaires			
1. Affluents crayeux de l'Aisne (craie de champagne Nord)	Prélèvement AEP majoritaire	non	Etude volume prélevable en cours sur la nappe de la Craie qui fournira une caractérisation plus fine des enjeux.
Secteurs divers soumis à des niveaux peu élevés de prélèvement			
19. Ill amont	Baisse des niveaux piézométriques dans le Sundgau avec des enjeux AEP.	oui	Bassin amont à la nappe d'Alsace, vue globale du fonctionnement de la nappe d'Alsace. Etude de solutions fondées sur la nature/SAGE Largue.
18 : Haute Meuse	Secteurs « témoins » d'un faible niveau de pression ou secteurs non soumis à des pressions actuellement mais sur lesquels des projets émergent (irrigation notamment)	oui	Disposer d'une analyse sur un secteur peu influencé mais particulièrement sensible. Des solutions à trouver pour garantir des débits d'étiage suffisants et le bon état écologique sous climat changeant
12 : Chiers		non	Pas d'enjeu quantitatif identifié
6 : Aisne amont	Secteurs « témoins » d'un faible niveau de pression ou secteurs non soumis à des pressions actuellement mais sur lesquels des projets	oui	Disposer d'une analyse sur un secteur peu influencé.