21NHF035

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 1.3 : Adéquation entre ressources et besoins à fin de siècle

CONSULTING

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

Direction France

Version : 02

Date : 15 septembre 2022

Vérification des documents IMP411

Numéro du projet : 21NHF035

Intitulé du projet : Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est - Evaluation prospective 2080-2100 et proposition d'actions

Intitulé du document : Etape 1 – Analyse à l'échelle régionale

Version	**Rédacteur** NOM / Prénom	**Vérificateur** NOM / Prénom	**Date d'envoi** JJ/MM/AA	**COMMENTAIRES** Documents de référence / Description des modifications essentielles
1	CHEVALIER Anne NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	25/07/2022	Version initiale
2	CHEVALIER Anne NICOLAI Sophie RIGAUDIERE Pierre	RIGAUDIERE Pierre	15/09/2022	Version finale

Sommaire

1. INTRODUCTION 9

1.1 Contexte et objectifs de l'étude 9

1.2 Identification et organisation du présent rapport 12

PARTIE 1 Méthodologie et hypothèses 13

2. PREAMBULE 15

3. METHODOLOGIE GENERALE ADOPTEE : RAPPELS - INDICATEURS ET DONNES UTILISEES POUR LA SITUATION DE REFERENCE 16

3.1 Cadre général 16

3.2 Indicateurs utilisés pour caractériser la tension sur la ressource 17

3.3 Données météorologiques et hydrométriques 18
3.3.1 Données météorologiques 18
3.3.2 Données hydrométriques 20

3.4 Bilan hydrique et calcul de la recharge, de la pluie efficace et du stress hydrique 20

3.5 Estimation des usages : prélèvements et rejets 26
3.5.1 Détermination des prélèvements 26
3.5.2 Détermination des rejets 27
3.5.3 Analyse des prélèvements nets 28

3.6 Fiches de synthèse par secteur homogène 28

4. PROJECTION A L'HORIZON FIN DE SIECLE (2080-2100) ET PRESENTATION DES FICHES ... 30

4.1 Données générales 30

4.2 Extraction des données DRIAS : Températures et précipitations 30
4.2.1 Extraction DRIAS aux stations météorologiques 30
4.2.2 Correction de biais 31

4.3 Projection des variables climatiques 32

4.4 Mise à jour des variables recharge, pluie efficace et stress hydrique 34

4.5 Mise à jour du module et du QMNA5 37

4.6 Tentatives de projection des usages à fin de siècle 37
4.6.1 Méthode mise en œuvre 37
4.6.2 Prise en compte du changement climatique dans les scénarios 38
4.6.3 La consommation domestique d'eau potable 38
4.6.4 L'énergie 48
4.6.5 L'industrie 51
4.6.6 Les canaux 52
4.6.7 Synthèse des usages selon les hypothèses présentées 53
4.6.8 Conclusions sur l'évolution des usages 54

4.7 Mise en œuvre des hypothèses retenues pour les usages 55

4.8 Mise à jour des indicateurs pour les différents scénarios 56

PARTIE 2 Analyse des résultats 57

5. PREAMBULE 59

6. CATALOGUE DE FICHES DETAILLANT L'ENSEMBLE DES INFORMATIONS LOCALES A FIN DE SIECLE 61

7. LES PRELEVEMENTS : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE 62

7.1 Présentation des documents illustratifs 62

7.2 Analyse 63

7.3 Synthèse 66

8. LES INDICATEURS : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE 67

8.1 Présentation des éléments illustratifs 67

8.2 Analyse 68

8.3 Synthèse 71

9. PRELEVEMENTS, REJETS, VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE 72

9.1 Présentation des documents illustratifs 72

9.2 Analyse 73

9.3 Synthèse 78

10. VARIATIONS SAISONNIERES DES VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES PREVUES A FIN DE SIECLE 79

10.1 Présentation des documents illustratifs 79

10.2 Analyse 80

11. SYNTHESE ET CONCLUSION 87

11.1 Evolutions climatiques au XXIe siècle 87

11.2 Evolution des pressions jusqu'à la fin de siècle 93

11.3 Retour sur les hypothèses concernant les usages 96

11.4 Quelles évolutions des usages à prévoir face aux évolutions climatiques à la fin de siècle ? 97

12. EN CONCLUSION 99

Table des illustrations

Figure 1 : Evolution 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) ... 10
Figure 2 : les 35 secteurs homogènes ... 15
Figure 3 : Schématisation du système ... 16
Figure 4 : Postes pluviométriques et polygones de Thiessen associés ... 19
Figure 5 : Postes de mesure de l'ETP / température et polygones de Thiessen associés ... 19
Figure 6 : Stations hydrologiques de référence ... 20
Figure 7 : Le modèle de Thornthwaite (1948) : production de la Pluie Efficace. (Source : Vittecoq et Al, 2010) ... 21
Figure 8 : Schéma explicatif du calcul de la pluie efficace et de la recharge ... 22
Figure 9 : Graphes illustrant la projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26 ... 36
Figure 10 : Corrélation Pluie efficace et Module en valeurs annuelles sur les zones 2 et 18 ... 37
Figure 11 : Évolution de la population de la région Grand Est à l'horizon 2100 (source : INSEE, traitement ELC) ... 38
Figure 12 : Répartition de la population de la région Grand Est par département en 2100 (source : INSEE, traitement ELC) ... 39
Figure 13 : répartition de la consommation domestique par type d'usage et type de scénarios ... 41
Figure 14 : répartition proposée pour la SAU ... 47
Figure 15 : Schéma d'une centrale nucléaire avec un circuit de refroidissement fermé (source : EDF) ... 49
Figure 16 : Energie perdue par cause de 2015 à 2020 en fonction des centrales ... 49
Figure 17 : Puissance installée sur les sites nucléaires de la région Grand Est ... 50
Figure 18 : Estimation des volumes prélevés bruts par les sites nucléaires ... 51
Figure 19 : Le réseau navigable et les ports du Grand Est (Source : VNF) ... 52
Figure 20 : Évolution des usages selon les différents scénarios ... 53
Figure 21 : Évolution de l'hydroélectricité selon les différents scénarios ... 54
Figure 22 : Représentation graphique globale simplifiée des indicateurs ... 68
Figure 23 : Evolutions de la température pour les deux scénarios ... 74
Figure 24 : Evolutions de l'ETP pour les deux scénarios ... 75
Figure 25 : Evolutions des précipitations pour les deux scénarios ... 76
Figure 26 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 81
Figure 27 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 82
Figure 28 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 83
Figure 29 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 84
Figure 30 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 85
Figure 31 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons) ... 86
Figure 32 : Evolution des températures au cours du siècle ... 88
Figure 33 : Evolution de l'évapotranspiration au cours du siècle ... 89
Figure 34 : Evolution des précipitations au cours du siècle ... 90
Figure 35 : Variations saisonnières moyennes des températures par rapport à la période de référence (2000-2019) ... 91
Figure 36 : Variations saisonnières des précipitations par rapport à la période de référence (2000-2019) ... 92

Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des indicateurs utilisés pour estimer l'impact des prélèvements sur la ressource en eau ... 17
Tableau 2 : Répartition Ruissellement/ Recharge en fonction de l'IDPR (Source : BRGM) ... 24
Tableau 3 : Evaluation du RIPE en fonction de l'IDPR (Source : BRGM) ... 24
Tableau 4 : Calcul de la recharge sur la zone homogène 2, extrait du tableur ... 25
Tableau 5 : Prélèvements et rejets considérés dans le cadre des bilans besoins-ressources ... 26

Tableau 6 : Provenance et disponibilité des données mobilisées pour le calcul des prélèvements bruts mensuels et annuels 26
Tableau 7 : Provenance et disponibilité des données utilisées pour l'estimation des rejets bruts mensuels et annuels 28
Tableau 8 : Tableaux de projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26 35
Tableau 9 : volumes consommés à horizon 2090 selon le scénario IPSL 4.5 40
Tableau 10 : volumes consommés à horizon 2090 selon le scénario CNRM 8.5 41
Tableau 11 : consommation domestique selon les différents scénarios 41
Tableau 12 : Estimation du nombre d'animaux par type à horizon 2090 sur la région Grand Est 44
Tableau 13 : consommation d'eau annuelle du cheptel à horizon 2090 selon les 2 scénarios climatiques 44
Tableau 14 : Répartition des volumes par type d'alimentation pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE) 45
Tableau 15 : Répartition des volumes mensuels pour l'abreuvement du cheptel (Source : SAFEGE) 45
Tableau 16 : Caractéristiques des centrales nucléaires de la région Grand-Est (source : IRSN et AIAE) 48
Tableau 17 : volumes moyens prélevés en eau de surface sur la période 2012-2017 pour les industriels prélevant plus d'un million de mètres cubes par an 52
Tableau 18 : Évolution des volumes consommés (en millions de m^3) 53
Tableau 19 : présentation des résultats par secteurs hydrographique 60
Tableau 20 : Evolution du score de pression globale de la période actuelle à la fin du siècle 95

Table des annexes

ANNEXE 1 Vision globale des prélèvements : tendances d'évolution à fin de siècle 101
ANNEXE 2 Les indicateurs à fin de siècle et leurs évolutions par rapport à la situation de référence 103
ANNEXE 3 Prélèvements, rejets et variables hydro-métorologiques : moyennes annuelles et évolutions à fin de siècle 105
ANNEXE 4 Evolutions saisonnières attendues pour les variables hydro-métorologiques à fin de siècle 107
ANNEXE 5 Indicateurs estimés à l'horizon fin de siècle en conservant les usages actuels 109
ANNEXE 6 Fiches des résultats des bilans besoins / ressources à l'horizon fin de siècle 111

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.

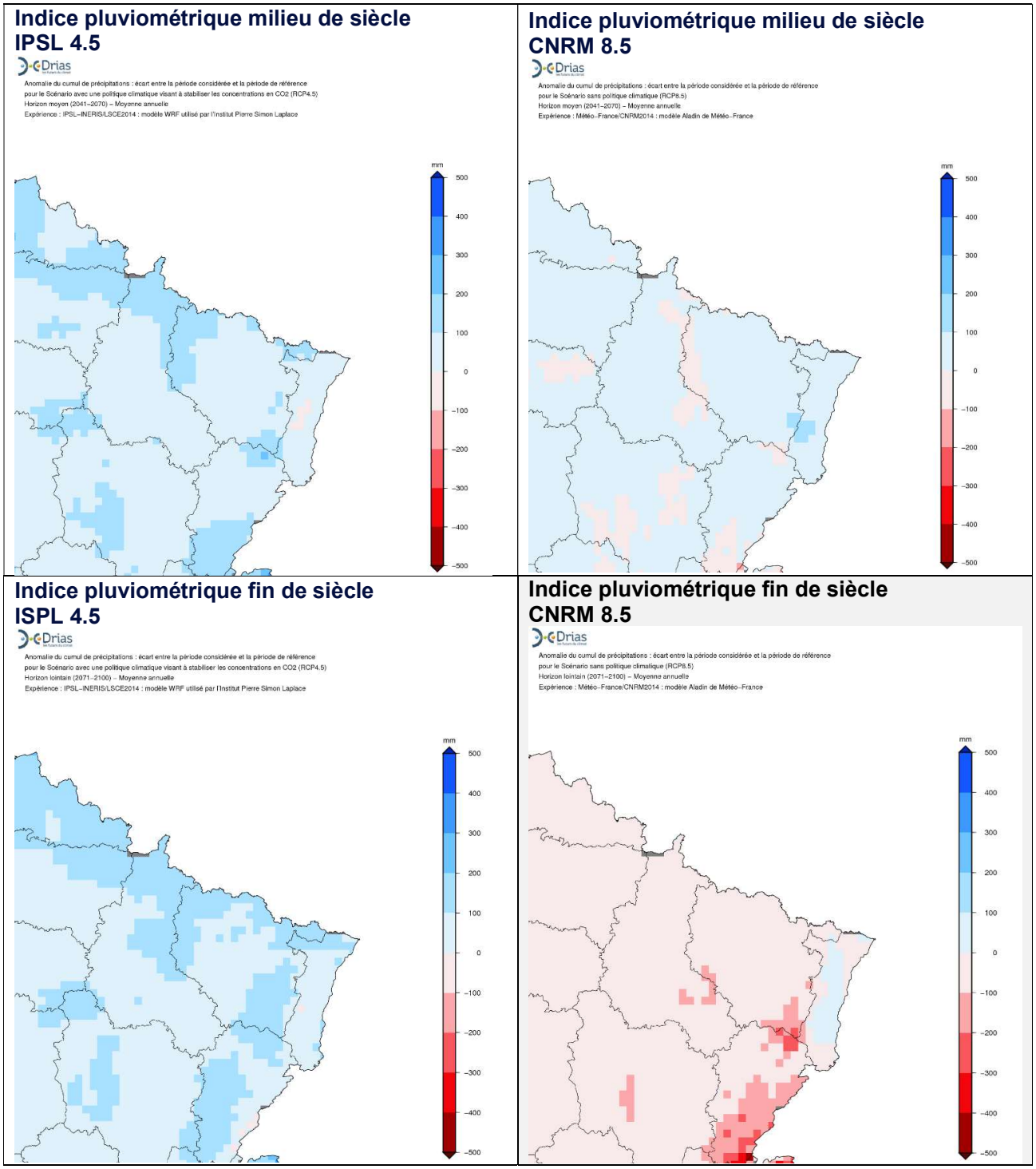
Le présent projet « **Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective à l'horizon fin de siècle (2080-2100) et propositions d'actions** » vient en complément du précédent « **Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions** », initié par la Région Grand Est fin 2019.

En effet, la première étude a considéré deux horizons opérationnels, 2030 et 2050, qui ont permis d'évaluer une première série d'impacts des changements climatiques sur les bilans besoins-ressource à l'échelle de la Région, dans un contexte d'augmentation probable des températures, mais de stabilité ou de légère augmentation de la pluviométrie. Or, des tendances de plus long terme, plus contraignantes, se dessinent pour la fin du 21ème siècle à l'échelle de la région : si l'on investigue les champs des deux scénarios (RCP 4.5 et 8.5) à partir des données DRIAS, mais à fin de siècle, on attend plutôt :

- 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 1 : Evolution 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)



Cette configuration plutôt plus défavorable que celle étudiée jusqu'au milieu du siècle, pourrait donc conduire à l'horizon « fin de siècle » à des situations de tensions exacerbées, qui pourraient amplifier les phénomènes déjà mis en évidence dans le cadre de la première étude. Pour cette raison, dans un souci pédagogique de démonstration et de préparation, la Région a souhaité répliquer la démarche conduite aux horizons 2030 et 2050 à la période 2080-2100.

Cette nouvelle étude doit permettre d'anticiper les enjeux en matière de déséquilibre hydrique en identifiant les secteurs de la Région Grand Est dont les ressources hydriques seront déficitaires d'ici la fin du siècle (horizon 2080-2100).

L'objectif transversal est d'anticiper les déséquilibres quantitatifs sur le territoire régional à horizon « fin de siècle », de manière à permettre l'adaptation des usages et ainsi limiter les impacts des épisodes de sécheresse futurs.

Pour ce faire, l'étude, qui a vocation à alimenter les SDAGE Rhin Meuse et Seine Normandie, repartira de la base fournie par l'étude précédente et en répliquera la méthode de manière à :

- **Identifier et caractériser les ressources superficielles et souterraines disponibles pour l'horizon considéré et détecter les tensions éventuelles sur ces ressources**,
- **Prendre en compte l'ensemble des besoins en eau** (AEP, industrie et artisanat, hydroélectricité, agriculture et aquaculture, navigation, loisirs…),
- **S'appuyer sur le découpage du territoire en 35 secteurs homogènes issu de la première étude** pour :
  - Identifier clairement :
    - Les secteurs dont les ressources hydriques seraient déficitaires à l'horizon 2080-2100,
    - 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 les 13 secteurs prioritaires représentatifs retenus pour une analyse plus fine**, des stratégies argumentées sur les aspects techniques, économiques, environnementaux permettant de répondre aux situations critiques mise en évidence

Pour répondre à ces objectifs, cette nouvelle étude s'organise en trois étapes, dont le contenu est décrit ci-dessous :

- **Etape 1 – Analyse à l'échelle régionale :** il s'agit d'analyser l'adéquation entre les ressources disponibles d'ici la fin de siècle (horizon 2080-2100) et les besoins en eau, à partir des éléments suivants :
  - Analyse des projections climatiques,
  - Analyse de l'évolution des besoins en eau,
  - Projection des bilans hydriques,
  - Caractérisation des secteurs en tension à l'échelle régionale.
- **Etape 2 – Analyse des 13 zones à risque ou déficitaires et définition d'un plan d'action :**
  - Exploitation des modèles hydrologiques développés sur ces zones à horizon fin de siècle, et conclusions complémentaires sur les débits des rivières et la recharge des nappes,
  - 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.

- **Etape 3** – Restitution territoriale : il s'agit, sur le modèle des ateliers déjà mis en œuvre dans le cadre de la première étude, de préparer et d'animer deux ateliers complémentaires sur les zones homogènes non couvertes.

1.2 Identification et organisation du présent rapport

Le présent document constitue le **rapport de l'étape 1.3 « Analyse à l'échelle régionale : adéquation en ressources et besoins à fin de siècle »**. Ce dernier présente la méthodologie adoptée, en cohérence avec la démarche conduite aux horizons 2030 et 2050, ainsi que les résultats obtenus sur l'ensemble de la région Grand Est.

Le présent rapport s'organise en deux parties.

- **La <u>Partie 1</u>** détaille les principales hypothèses mobilisées pour la mise en œuvre des calculs à l'échelle régionale. Ces hypothèses portent sur :
  - La méthodologie de calcul du bilan hydrique et les principaux paramètres qui lui sont associés (rappels),
  - Les évolutions des usages à l'horizon fin de siècle, ainsi que la méthodologie adoptée pour la projection des calculs pour cet horizon.

- **La <u>partie 2</u>** présente l'ensemble des résultats de la phase 1, obtenus après mise en œuvre des calculs finalisés. Y sont présentés :
  - Les prélèvements et leurs évolutions,
  - Les indicateurs de tension sur la ressource et leurs projections,
  - Les variables climatiques et leurs projections, à l'échelle annuelle et saisonnière, permettant de faire un retour sur les principales évolutions constatées au niveau des indicateurs.

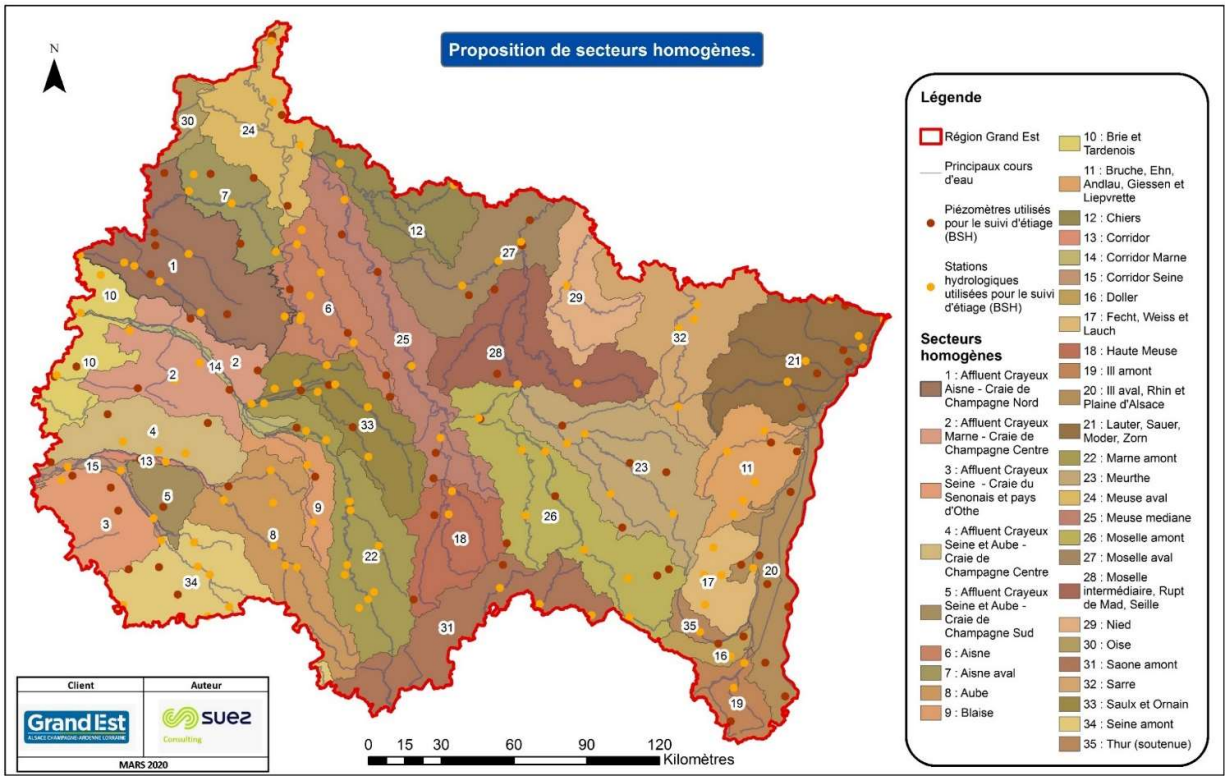
PARTIE 1

METHODOLOGIE ET HYPOTHESES

2. PREAMBULE

Cette première partie s'attache à présenter les différentes hypothèses retenues dans le cadre des calculs de bilan quantitatif à l'échelle régionale. Ces calculs s'appliquent aux **35 secteurs homogènes** définis dans le cadre de la première étude **« Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions »**, dont les délimitations sont rappelées ci-dessous (Figure 2).

Figure 2 : les 35 secteurs homogènes



Le chapitre 3 propose une **synthèse de la méthodologie générale** adoptée pour ces calculs, analogue à celle utilisée dans le cadre de la première étude, et rappelle brièvement les données utilisées pour la période de référence (2000-2019). Pour plus de détails, le lecteur pourra se référer au **rapport de l'étape 1.2 « Adéquation entre ressources et besoins »**.

Le chapitre 4 détaille quant à lui les **hypothèses retenues pour la projection des usages et des calculs à l'horizon fin de siècle (2080-2100)**, 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.

3. METHODOLOGIE GENERALE ADOPTEE : RAPPELS - INDICATEURS ET DONNES UTILISEES POUR LA SITUATION DE REFERENCE

L'analyse de l'impact des prélèvements et rejets à l'échelle régionale repose sur plusieurs critères d'évaluations de la pression anthropique des prélèvements par secteur homogène. Ces indicateurs, rappelés dans la suite du chapitre, ont été déterminé de manière à :

- **Être calculés de manière « globale » sur chacun des 35 secteurs homogènes** 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.

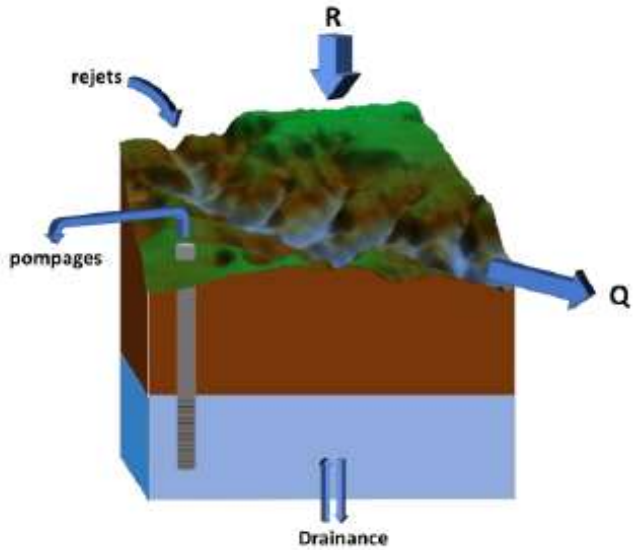
Cette méthodologie, rappelée succinctement ici, est détaillée dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude « Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions » auquel le lecteur pourra se référer.

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 3), à savoir :

- **La recharge de la nappe « R »** dont le calcul est présenté en détail dans la suite du chapitre,
- **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 3 : 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) = précipitations * 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 à l'alimentation par la nappe.

3.2 Indicateurs utilisés pour caractériser la tension sur la ressource

Afin de caractériser les impacts des prélèvements et rejets sur la ressource en eau, **neufs indicateurs** sont calculés sur chacun des 35 secteurs homogènes, puis cartographiés à l'échelle de la région. Ces indicateurs sont identifiés ci-dessous.

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.

Ces indicateurs sont :

- **Calculés en moyenne annuelle sur la période dite « actuelle » (2000-2019)** à partir des données météorologiques (pluie, température) et hydrométriques récupérées sur la période 2000-2019, et des données relatives aux usages (prélèvements et rejets) obtenues à défaut sur la période 20008-2017.
- **Projetés aux horizons futurs** souhaités grâce aux résultats des projections climatiques disponibles sur la plateforme DRIAS Les futurs du climat, extraites sur une période a minima de 20 ans – correspondant à la période 2080-2100 concernant l'horizon fin de siècle – selon deux scénarios climatiques, et suivant les hypothèses d'évolution des usages construites à partir de la bibliographie et d'entretiens réalisés avec certains acteurs clés du territoire. Les données et hypothèses concernant l'horizon fin de siècle sont présentées au chapitre 4.

Une comparaison peut alors être envisagée :

- Entre secteurs homogènes sur une période donnée ;
- Entre horizons, par l'analyse des variations relatives ou absolues constatées par rapport à la situation actuelle des indicateurs mis à jour pour chacun des scénarios.

3.3 Données météorologiques et hydrométriques

3.3.1 Données météorologiques

Le principe d'acquisition de données météorologiques (pluie et température) sur la période 2000-2019 a été proposé dans le **rapport d'étape 1.1 « Synthèse des données et définition des secteurs homogènes »** de la première étude. Il repose sur l'acquisition de **données mensuelles pour 50 postes pluviométriques** (Figure 4) et **10 stations de mesure de l'ETP** (Figure 5**).** Ces stations ont été équiréparties sur le territoire, puis un découpage en polygone de Thiessen a été proposé pour chaque variable.

Néanmoins, **les données de projection de l'ETP n'étant pas directement disponibles sur la plateforme DRIAS** Les futurs du climat lors de la réalisation des calculs de la première étude, **l'acquisition de la température a été préférée** afin d'uniformiser la méthode de calcul entre les différentes périodes et ainsi permettre une comparaison. L'ETP est alors calculées au pas de temps mensuel à l'aide 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 (°C) ;
N : nombre de jours dans le mois ;
L : longueur moyenne en heures de la journée ;
I : Indice de chaleur.

Figure 4 : Postes pluviométriques et polygones de Thiessen associés

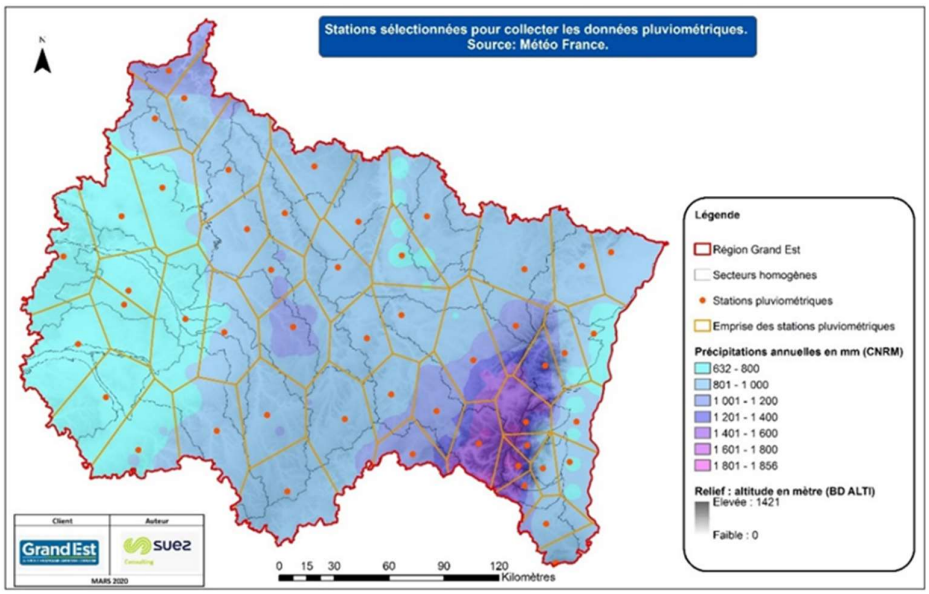
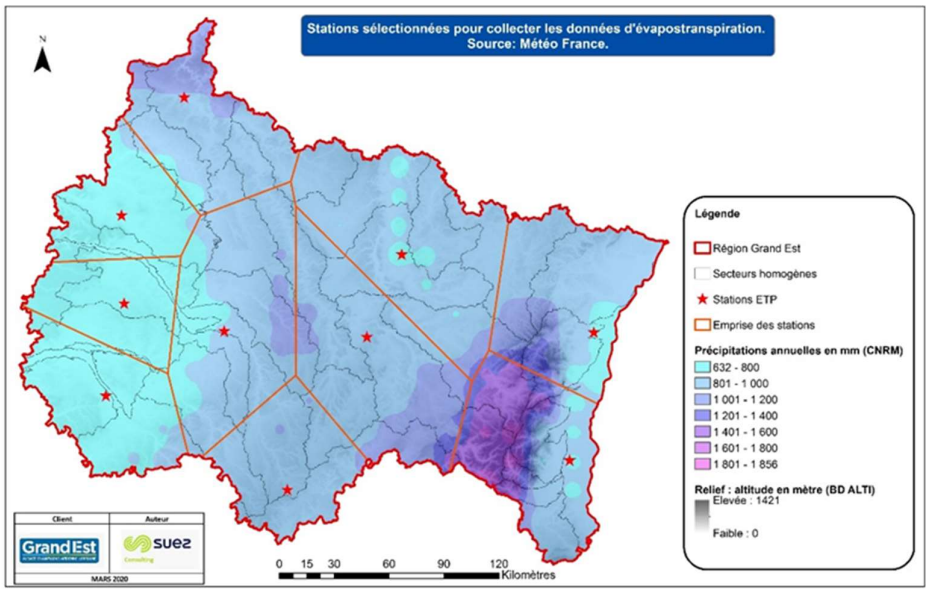


Figure 5 : Postes de mesure de l'ETP / température et polygones de Thiessen associés

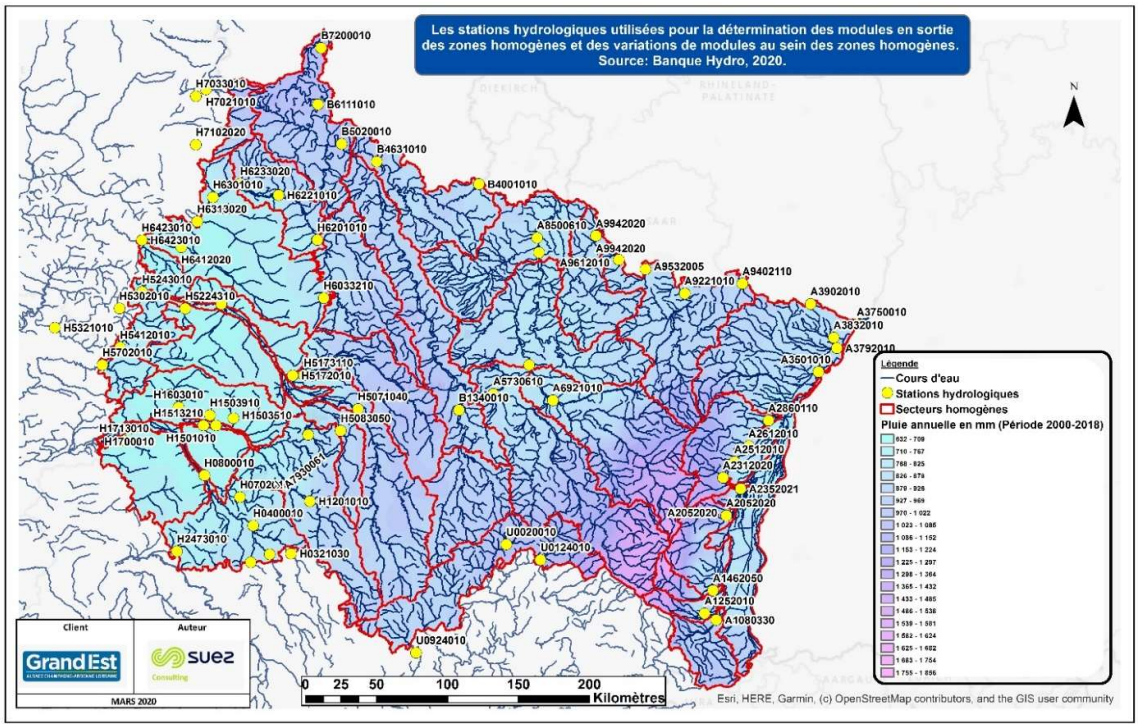


Le principe de calcul des précipitations mensuelles et de l'ETP mensuelle sur une zone homogène à partir des observations donnée repose sur une pondération des données ponctuelles (pluies ou ETP mensuelles observées aux postes sélectionnés) à l'intérieur et au voisinage du secteur à l'aide des polygones de Thiessen prédéfinis.

3.3.2 Données hydrométriques

Les débits de référence, dont le module (ou **ΔQ** le cas échéant) et le QMNA5, ont été estimés pour chacun des secteurs homogènes à partir des données disponibles sur la banque Hydro des stations hydrologiques de références, sur la période 2000-2019 a minima.

Figure 6 : Stations hydrologiques de référence



Afin de palier à l'absence de stations sur certains cours d'eau ou à la présence de multiples exutoires au sein de certaines zones homogènes, **le calcul des modules (Q) et des variations de module (ΔQ) a été approché au moyen de pondérations**. Les méthodes de calculs sont détaillées par secteur homogène dans l'annexe 8 du rapport de l'étape 1.2 de l'étude initiale.

3.4 Bilan hydrique et calcul de la recharge, de la pluie efficace et du stress hydrique

Une appréciation de la contribution des précipitations à la recharge des nappes, et par extension à la recharge du système, est réalisée à l'aide d'un bilan hydrique, dont la formule est la suivante :

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

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 des 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 9.

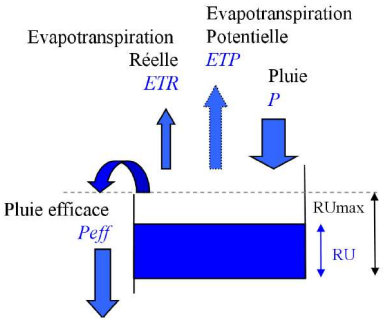


Figure 7 : Le modèle de Thornthwaite (1948) : production de la Pluie Efficace. (Source : Vittecoq et Al, 2010)

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 7, ceci revient à remplacer le terme ETP par l'ETM) :

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

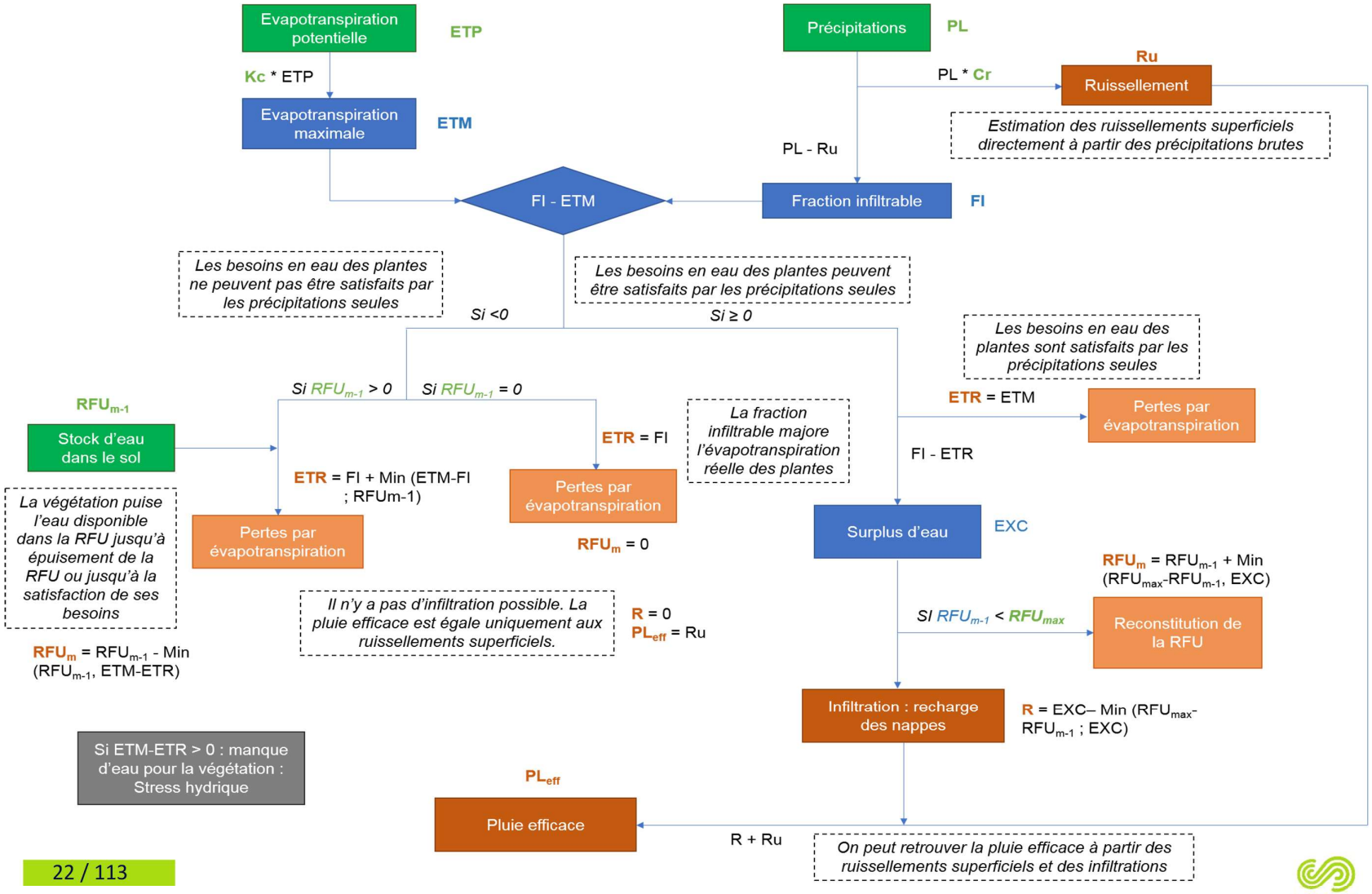
Dans certaines conditions, en fonction du couvert végétal, l'évaporation réelle ETR peut être égale à l'ETM, elle-même supérieure à l'ETP.

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 8 : Schéma explicatif du calcul de la pluie efficace et de la recharge



Les données d'entrées et paramètres nécessaires sont récapitulés ci-dessous, ainsi que certaines étapes clef du calcul.

- **Précipitations moyennes mensuelles**

Des chroniques moyennes par secteur sont obtenues via l'utilisation des polygones de Thiessen. *Voir paragraphe 3.3.1.*

- **Evapotranspiration potentielle (ETP) et évapotranspiration maximale (ETM)**

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. Les coefficients culturaux ont fait l'objet de nombreux tests lors de la première étude. Nous les réutilisons ici tels quels.

- **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 condition.

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 La donnée accessible est la réserve utile qui fait l'objet de cartographies locales ou nationales. Elle est **fonction du type de sol**. Nous proposons de conserver ici les valeurs de RU pour les sols de la région Grand Est issues de la première étude 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

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

- **Ruissellement superficiel**

Ce terme a fait l'objet de nombreuses analyses et corrections dans le cadre de la première étude.

Une recherche bibliographique nous a ainsi incités à nous rapprocher de la méthodologie du BRGM développée autour du concept d'IDPR. La méthodologie et la démarche associée sont rappelées ci-dessous.

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 (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 2 : 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 équilibré 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.

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 3 : 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%.

L'application de cette démarche a permis d'obtenir des valeurs de Cr conformes aux bilans hydriques attendus.

- **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.

- **Calcul de la recharge**

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 – 2019).

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 4 : 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.

3.5 Estimation des usages : prélèvements et rejets

Les catégories de prélèvements et rejets considérées dans le cadre de cette étude sont synthétisées dans le Tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5 : Prélèvements et rejets considérés dans le cadre des bilans besoins-ressources

Prélèvements	Rejets
- Alimentation en eau potable (AEP) - Industries - Agriculture (Irrigation et Abreuvement du bétail) - Energie (refroidissement des centrales de production d'électricité) - Alimentation des canaux de navigation - Stockage dans les lacs réservoirs - Surévaporation des plans d'eau et canaux	- Pertes des réseaux d'alimentation en eau potable - Assainissement collectif (AC) - Assainissement non collectif (ANC) - Industries - Pertes des canaux (fuites/percolation) - Restitution des canaux - Restitution en aval des lacs réservoirs

Des **chroniques mensuelles** ont été constituées sur une **période de 10 ans (2008-2017), en distinguant les prélèvement et rejets superficiels et ceux souterrains.**

3.5.1 Détermination des prélèvements

Les prélèvements ont été estimés à l'échelle de chaque secteur homogène sur la période 2008-2017 à partir de diverses données résumées dans le tableau suivant.

Tableau 6 : 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)

Types de prélèvements	Source des données	Période de disponibilité des données et échelle de temps
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 prélèvements 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)
Remplissage des retenues structurantes	Bulletins de situations hydrologique (BSH) : volume et niveau mensuel des retenues principales	2008-2017 (mensuel)

Les méthodes et hypothèse de calculs, de complétion des données et les hypothèses de répartition infra-annuelle sont explicitées dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude « Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions », auquel le lecteur pourra se référer.

3.5.2 Détermination des rejets

Les rejets ont été estimés à l'échelle de chaque secteur homogène sur la période 2008-2017 à partir de diverses données résumées dans le tableau suivant.

Tableau 7 : 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	-
Restitutions des canaux	Identification à partir d'un bilan entre les volumes prélevés (Agences de l'eau, stockage dans les réservoirs de soutien à la navigation estimés à partir du BSH) et les pertes par évaporation et percolation	-
Relargage au droit des retenues structurantes	Bulletins de situations hydrologique (BSH) : volume et niveau mensuel des retenues principales	2008-2017 (mensuel)

De même, les méthodes et hypothèses de calculs, de complétion des données et les hypothèses de répartition infra-annuelle sont explicitées dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude initiale.

3.5.3 Analyse des prélèvements nets

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 :

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

3.6 Fiches de synthèse par secteur homogène

A l'issu des calculs de l'étude initiale (projections aux horizons 2030 et 2050), deux fiches ont été éditée pour chacun des secteurs homogènes :

- Une première fiche « **période actuelle** » relative à la **période de référence (2000-2019)**, comprenant les éléments suivants :

- Une **synthèse des informations générales** sur la zone homogène considérée (localisation, population, surface, informations générales concernant l'hydrologie de surface et souterraine, stations de référence utilisées pour l'analyse hydrométrique, piézométrique et météorologique, occupation des sols, agriculture) ;
- Une **synthèse des résultats obtenus pour les neuf indicateurs** étudiés ;
- Une **synthèse des variables climatiques** utilisées (analyse de l'évolution annuelle et de la saisonnalité de la pluviométrie, des températures et de l'évapotranspiration) ;
- Une **caractérisation des ressources superficielles** (analyse des débits, comportant l'évolution annuelle et les débits statistiques mensuels et annuels) ;
- Une **analyse de la piézométrie** réutilisant directement les analyses mises à disposition sur la base de données ADES ;
- Une **caractérisation de la recharge des nappes et de la pluie efficace** estimées ;
- Une **analyse annuelle** (évolution des volumes par usage et par milieu) et **mensuelle** (répartition des volumes dans l'année par usage) **des prélèvements et rejets** ;
- Une **analyse des prélèvements nets** au niveau annuel et mensuel.

- La seconde fiche « **horizons futurs** » **relative aux horizons 2030 et 2050**, comprenant les éléments suivants :
  - Une **synthèse des informations générales mises à jour** selon les hypothèses réalisées aux horizons futurs sur la zone homogène considérée (évolution de la population, point SAFRAN au droit desquels les variables climatiques ont été récupérées sur DRIAS, hypothèses d'évolution des usages) ;
  - Une **synthèse de l'évolution de l'ensemble des variables utilisées** pour le calcul des indicateurs comparativement à la période actuelle, ainsi que les **résultats obtenus pour les différents indicateurs étudiés** ;
  - Une **synthèse des variables climatiques et de leurs évolutions** : analyse de l'évolution annuelle et de la saisonnalité de la pluviométrie, des températures et de l'évapotranspiration ;
  - Une **mise à jour des calculs de pluie efficace, recharge des nappes et stress hydrique** à partir des sorties des simulations ;
  - Une **estimation de l'évolution annuelle et mensuelle des prélèvements et rejets**, et en conséquence une **analyse des prélèvements nets**.

Ces fiches sont disponibles dans les annexes du **rapport de l'étape 1.2 de l'étude « Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions »**.

Dans le cadre de la présente étude, **de nouvelles fiches « Fin de siècle » sont rééditées pour l'horizon 2090 (2080-2100)**, sous un format rigoureusement similaire à celui adopté pour la seconde fiche (horizons futurs). Les fiches fournissent ainsi des projections aux horizons 2030 et fin de siècle.

4. PROJECTION A L'HORIZON FIN DE SIECLE (2080-2100) ET PRESENTATION DES FICHES

Ce chapitre détaille les hypothèses mises en œuvre pour conduire les calculs de bilans hydrologiques simplifiés et d'indicateurs présentés au chapitre précédent à l'horizon fin de siècle. Il renvoie directement aux fiches « fin de siècle » présentées plus tôt et disponibles en annexe.

Voir page « XXX » : ce cadre renvoie aux fiches « Zone homogène » fournies en annexe 6 du rapport

4.1 Données générales

Les sources de données ainsi que l'évolution de certaines variables générales nécessaires pour les calculs sont ici rappelées, en particulier :

- L'évolution de la population, sur laquelle certaines hypothèses concernant l'évolution des usages (AEP, assainissement) se basent en partie. Pour l'horizon fin de siècle, et en l'absence d'autres données, on considère une stabilisation de la population au niveau pressenti pour 2050 ;
- L'occupation du sol, nécessaire dans le cadre du calcul des coefficients culturaux : on considère une occupation des sols qui ne varie pas au cours du siècle (ce qui constitue une hypothèse simplificatrice).

4.2 Extraction des données DRIAS : Températures et précipitations

4.2.1 Extraction 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, en cohérence avec l'approche retenue pour l'évaluation des pluies et de l'ETP sur chaque secteur homogène pour la période de référence (2000-2019), et rigoureusement similaire à celle retenue pour les horizons 2030 et 2050 :

- Pour chaque scénario (IPSL RCP 4.5, CNRM RCP 8.5), **extraction des séries mensuelles** de pluies et de températures sur une période de **20 ans** centrée sur l'horizon étudié :
  - C'est-à-dire pour les périodes **1981-2005** (référence DRIAS), **2080-2100** pour l'horizon 2090 (fin de siècle),
  - **Aux points de grille DRIAS les plus proches des stations d'observations météorologiques retenues pour caractériser la situation actuelle** (Pour rappel : 50 postes pluviométriques (Figure 4) et 10 stations « ETP/Température » (Figure 5)),
- **Correction de biais éventuelle** (voir paragraphe suivant),
- **Calcul de l'ETP moyenne mensuelle** à partir de la formule de Thornthwaite,
- 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 4 (Pluie) et la Figure 5 (ETP).

Cette méthode permet la comparaison directe des précipitations et ETP moyennes annuelles et mensuelles projetées à l'horizon fin de siècle et observée sur la période de référence au droit de chaque zone homogène.

4.2.2 Correction de biais

Comme signalé dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude initiale (chapitre 4), la capacité des modèles climatiques 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.

Dans l'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**, deux méthodes de correction de ces biais qui peuvent être mises en place :

- **La méthode de correction des biais (Debiaising method)**, qui consiste à mettre en évidence l'écart constaté en moyenne (biais mensuel) entre les données observées et les données simulées par les modèles sur une même période, le biais étant ensuite enlevé mois par mois sur les chroniques simulées de manière à **recréer chroniques utilisables directement dans l'ensemble des calculs**.
- **La méthode des écarts (Delta method)**, qui consiste quant à elle à **procéder à l'ensemble des calculs avec les chroniques directement extraites sur DRIAS**, en comparant systématiquement une référence fournie par la base de données DRIAS et un horizon donné. L'évolution moyenne observée entre la période de référence de DRIAS et la période projetée pour l'horizon futur peut ensuite être appliquée aux données observées : nous ne disposons donc pas de chroniques mensuelles « corrigées », mais de moyennes mensuelles « futures » estimées à partir des résultats observés sur la période actuelle.

Ces deux méthodes ont fait l'objet d'une présentation détaillée et de comparaisons dans le rapport de l'étape 2 de l'étude initiale, **la « méthode des écarts » a été retenue**.

Dans ce cadre, la période de référence considérée sur DRIAS s'étend 1981 à 2005, qui diffère donc de la période de référence de l'étude (2000-2019) sur laquelle les données observées ont été récupérées. Une **hypothèse de linéarité entre l'année 1993** (année centre de la période 1981-2005) **et 2030** a été retenue afin de pouvoir appliquer les évolutions moyennes aux données observées.

Par exemple pour les précipitations, on calcule dans un premier temps l'évolution des pluies moyennes mensuelles interannuelles entre la chronique de référence 1981-2005 du modèle et la chronique du modèle à l'horizon 2030 :

$$\Delta P_{mois}(2030, modèle) = \frac{P_{mois}(2030, modèle) - P_{mois}(Référence, modèle)}{P_{mois}(Référence, modèle)}$$

En faisant les hypothèses ci-après, nous sommes en mesure de déterminer l'évolution des pluies moyennes mensuelles entre 2010 (année centre de la période 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 « observable » en 2030 :

$$P_{mois}^{corrigée}(2030, Observable) = P_{mois}(Actuelle, Observée) + P_{mois}(Actuelle, Observée) * \Delta P_{mois}(Horizon, modèle) * (\frac{20}{37})$$

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

Pour l'horizon 2090 - fin de siècle, on applique ensuite les évolutions moyennes constatées cette fois-ci entre l'horizons 2090 et l'horizon 2030, à partir des moyennes mensuelles interannuelles de 2030.

Pour l'horizon fin de siècle :

$$\Delta P_{mois}(2090/2030, modèle) = \frac{P_{mois}(2090, modèle) - P_{mois}(2030, modèle)}{P_{mois}(2030, modèle)}$$

$$P_{mois}^{corrigée}(2090, Observable) = P_{mois}^{corrigée}(2030, Observable) + P_{mois}^{corrigée}(2030, Observable) * \Delta P_{mois}(2090/2030, modèle)$$

Cette méthode de calcul est appliquée pour l'ensemble des variables précipitations, températures, recharge, pluie efficace et stress hydrique.

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, de l'ordre du centième de millimètre. 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.

4.3 Projection des variables climatiques

Pour chaque zone homogène, les fiches de résultats « fin de siècle » fournissent les projections des variables climatiques selon la méthode explicitée **au paragraphe précédent à l'horizon 2090 (période 2080-2100)**. Ces projections reposant sur une première estimation des variables à l'horizon 2030, les résultats pour cet horizon ont été conservés sur les fiches.

Voir page « Estimation de la pluviométrie aux horizons 2030 et 2090 »

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 2080-2100 (Horizon 2090) 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 2090,
- 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 2090 »

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 2080-2100 (Horizon 2090) par rapport à la période de référence,
- Un tableau **de projections** comparant :
  - Les valeurs moyennes mensuelles des températures sur la période d'observation 2000-2019,
  - Les valeurs moyennes mensuelles estimées après projection aux horizons 2030 et 2090,
- 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 2090 »

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 2080-2100 (Horizon 2080) 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 2090,
- Un tableau de bilan des taux d'évolution saisonniers et annuels constatés
- Des graphes reprenant les éléments fournis dans les tableaux précédents.

4.4 Mise à jour des variables recharge, pluie efficace et stress hydrique

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.

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 4.2.2 (méthode des écarts).**

Voir page « Estimation de la recharge aux horizons 2030 et 2090 »

Voir page « Estimation de la pluie efficace aux horizons 2030 et 2090 »

Voir page « Estimation du stress hydrique de la végétation aux horizons 2030 et 2090 »

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 2080-2100 (Horizon 2090) 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 2090,
- 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 2090

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 2090 Période 2080-2100
Septembre	0,0	0,0%	0,0%
Octobre	3,6	56,9%	17,2%
Novembre	43,8	-27,8%	-19,8%
Décembre	77,9	5,9%	12,7%
Janvier	79,7	-2,4%	-13,3%
Février	51,2	40,3%	15,5%
Mars	38,5	36,1%	5,5%
Avril	10,9	97,8%	-4,5%
Mai	10,1	-55,2%	-24,6%
Juin	1,3	-100,0%	192,1%
Juillet	0,0	0,0%	0,0%
Août	0,0	0,0%	0,0%
Moyenne annuelle	317,1	9,8%	0,6%

	Evolutions des moyennes mensuelles d'après les simulations CNRM (scénario 8.5)		
Mois	Référence (mm) Période 1981 - 2005	Horizon 2030 Période 2020-2040	Horizon 2090 Période 2080-2100
Septembre	0,0	0,0%	0,0%
Octobre	5,8	99,1%	59,2%
Novembre	36,2	4,1%	6,7%
Décembre	57,8	13,2%	32,1%
Janvier	79,5	-6,8%	-11,8%
Février	58,8	6,6%	-24,9%
Mars	47,0	-17,9%	-16,2%
Avril	25,9	-22,7%	-39,0%
Mai	3,9	32,7%	-46,4%
Juin	1,5	240,5%	-92,6%
Juillet	0,4	-100,0%	-100,0%
Août	0,0	0,0%	0,0%
Moyenne annuelle	316,6	1,1%	-6,6%

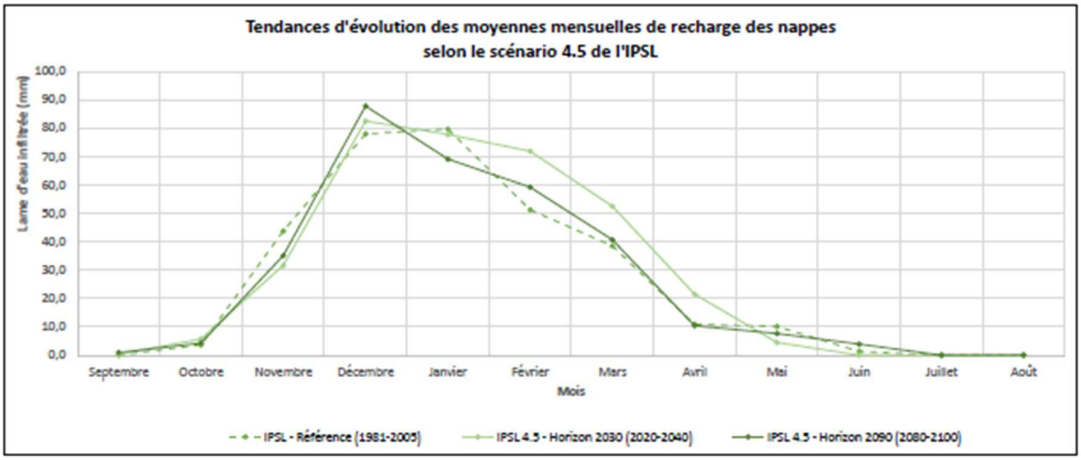
2. Evolutions estimées en comparaison avec la période actuelle (2000-2019)

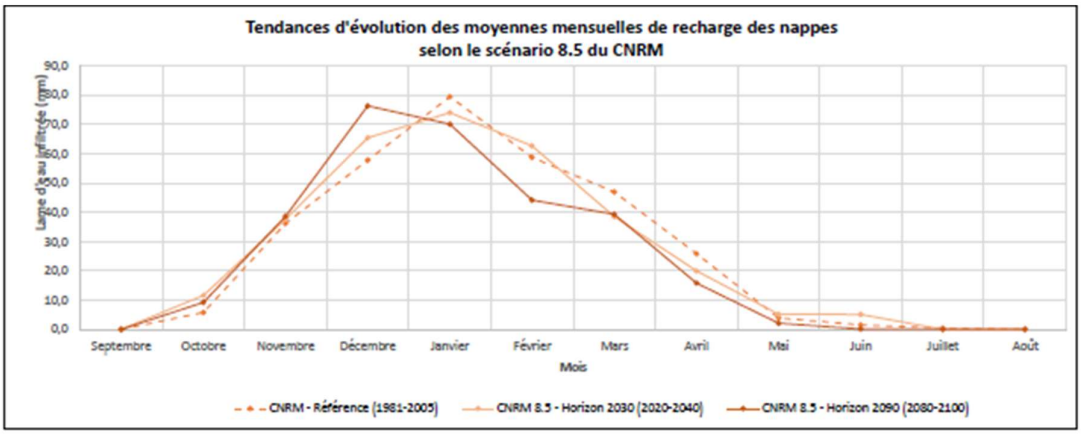
		Recharge à l'horizon 2030		Recharge à l'horizon 2090	
Mois	Moyennes mensuelles 2000-2019 (en mm)	IPSL 4.5	CNRM 8.5	IPSL 4.5	CNRM 8.5
Septembre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Octobre	5,4	6,9	8,3	5,3	6,4
Novembre	33,8	28,0	34,5	31,9	34,3
Décembre	70,5	70,8	75,4	77,5	85,3
Janvier	77,0	73,9	74,0	67,5	67,9
Février	53,1	62,9	54,9	53,3	37,5
Mars	44,0	51,2	39,7	40,8	39,3
Avril	16,9	25,1	14,8	12,5	11,3
Mai	5,5	3,7	6,4	6,5	2,5
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	295,3	284,5

		Taux d'évolution 2010/2030		Taux d'évolution 2010/2090	
		IPSL 4.5	CNRM 8.5	IPSL 4.5	CNRM 8.5
Année		5,3%	0,6%	-3,6%	-7,1%
Saisons	Printemps	20,6%	-8,2%	-10,0%	-20,0%
	été	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Automne	-11,2%	9,1%	-5,1%	3,8%
	Hiver	3,5%	1,9%	-1,1%	-4,9%

Tableau 8 : Tableaux de projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26

ESTIMATION DE LA RECHARGE AUX HORIZONS 2030 ET 2090





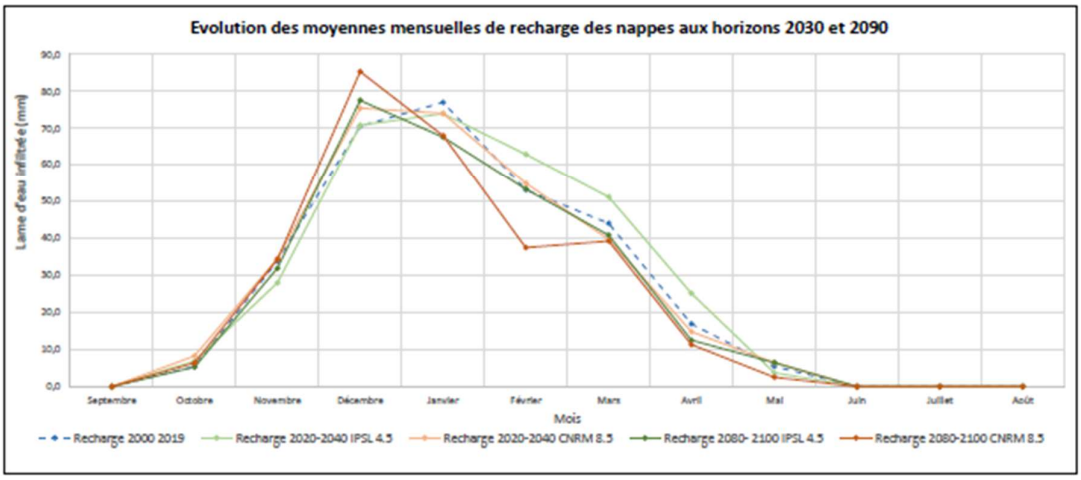


Figure 9 : Graphes illustrant la projection du calcul de la recharge pour la zone homogène 26

4.5 Mise à jour du module et du QMNA5

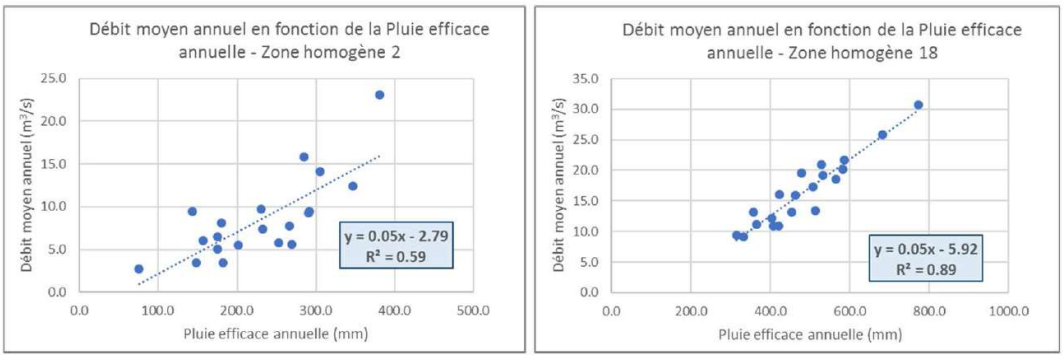
Dans le cadre de la méthodologie simplifiée mise en œuvre ici, nous n'avons pas accès directement à l'évolution des débits aux horizons futurs. Or le débit intervient **dans le calcul des indicateurs 1, 4, 5 et 6**, où deux grandeurs sont présentes :

- Le module interannuel,
- Le QMNA5.

Pour obtenir un ordre de grandeur de ces débits – qui devrait logiquement provenir de modélisations hydrologiques non prévues dans le cadre de l'analyse régionale – les hypothèses suivantes ont été faites :

- **Les modules suivent l'évolution de la pluie efficace.** Une analyse menée lors de l'étude initiale avait montré une corrélation généralement significative entre module et pluie efficace, ainsi que l'illustre la Figure 10 sur les zones 2 et 18

Figure 10 : Corrélation Pluie efficace et Module en valeurs annuelles sur les zones 2 et 18



- **Le QMNA5 varie dans les proportions inverses de celles 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 simplificatrice a été déterminée dans le cadre de l'étude initiale pour les horizons 2030 et 2050 à défaut de méthode plus satisfaisante. Les ordres de grandeurs identifiés dans la bibliographie pour ces horizons étaient néanmoins retrouvés.

4.6 Tentatives de projection des usages à fin de siècle

4.6.1 Méthode mise en œuvre

Ce paragraphe a pour objectif de présenter les réflexions préliminaires qui ont été proposées au COTECH de l'étude pour évaluer l'évolution des usages de l'eau à horizon fin de siècle (2070-2100) selon les deux scénarios climatiques IPSL 4.5 et CNRM 8.5 étudiés dans le cadre du projet.

Il convient de préciser que faire des projections à horizon fin de siècle comporte de nombreuses incertitudes. En effet, le pas de temps est très important (80 ans) et les hypothèses qui sont présentées ici sont établies en fonction des informations dont nous disposons à l'heure actuelle.

Ces hypothèses n'ont pas fait l'objet d'un consensus au sein du comité technique de l'étude, ainsi qu'il est expliqué en fin de chapitre. Il nous semble cependant intéressant de les restituer ici, car elles s'appuient sur un ensemble de documents et d'experts concernés. Elles illustrent à la fois l'intérêt de la réflexion engagée mais aussi ses limites.

4.6.2 Prise en compte du changement climatique dans les scénarios

La poursuite des scénarios climatiques utilisés pour la première phase de l'étude (IPSL 4.5 et CNRM 8.5) à l'horizon 2100 met en évidence les éléments suivants (éléments repris de l'analyse de l'évolution du climat présentée dans la suite du rapport) :

- **Scénario IPSL 4.5 :**
  - La hausse des températures sera en moyenne comprise entre 1,7 et 2 degrés supplémentaires par rapport à la période de référence 1981-2005.
  - L'augmentation des températures sera plus importante en hiver avec des hausses pouvant atteindre jusqu'à 2,7 degrés supplémentaires pour certaines zones homogènes.
  - Globalement les pluies seront plus importantes à horizon 2100 que sur la période de référence 1981-2005. L'ensemble des saisons affiche une pluviométrie supérieure à la période de référence. Cependant, pour certaines zones homogènes, notamment les affluents vosgiens la pluie devrait être plus rare en automne.
- **Scénario CNRM 8.5 :** ce scénario est considéré comme un des plus pessimistes du GIEC. Il vient d'être révisé et présente à présent des éléments un peu moins pessimistes. Cependant, afin de pouvoir comparer les éléments de la première phase de l'étude (horizon 2030-2050) et ceux de cette nouvelle phase (horizon fin de siècle), les données du scénario initial seront utilisées.
  - La hausse des températures devient préoccupante avec une moyenne annuelle supérieure d'un minima de 4,3 degrés.
  - La période estivale deviendra étouffante avec des variations de températures comprises entre 5,7 et 6,4 degrés supplémentaires.
  - La pluviométrie sera sur l'année inférieure à celle de la période de référence avec cependant des différences selon les saisons : l'hiver sera plus pluvieux mais l'été et l'automne devraient être très secs.

4.6.3 La consommation domestique d'eau potable

4.6.3.1 Évolution de la population

La population de la région Grand Est, selon les hypothèses du scénario central de l'INSEE, devrait décroître à partir de 2040. Les prévisions à l'horizon 2100 n'étant pas disponibles à l'échelle départementale, les taux d'évolution nationaux ont été appliqués pour les périodes 2050/2080 et 2050/2100. Les départements du Bas-Rhin et de la Moselle devraient être les départements les plus peuplés de la région.

Figure 11 : Évolution de la population de la région Grand Est à l'horizon 2100 (source : INSEE, traitement ELC)

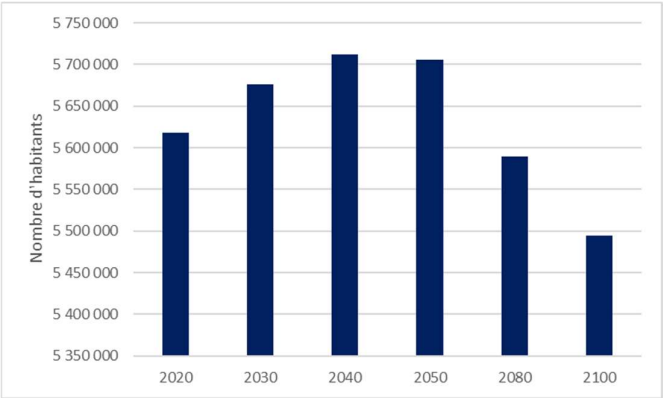
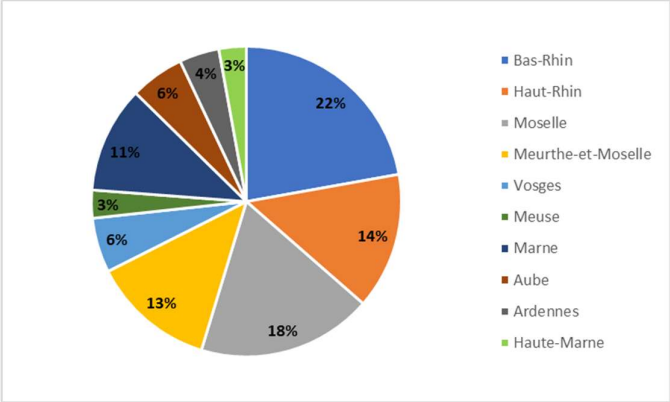


Figure 12 : Répartition de la population de la région Grand Est par département en 2100 (source : INSEE, traitement ELC)



4.6.3.2 Évolution des comportements

Les usages domestiques pourraient évoluer de la manière suivante :

- **Bains et douches :** les habitants de la région Grand Est poursuivent la diminution de leur consommation d'eau via un changement dans leur comportement (réduction du temps passé sous la douche) et l'installation d'outils hydro-économes (pomme de douche, robinet…). Sachant qu'une diminution de l'ordre de 1% annuel avait été proposée sur la période 2017/2030, il est encouragé une diminution plus faible à partir de 2050, afin de tenir compte d'un effet de seuil, sur la base annuelle de 0,04% pour le scénario IPSL et 0,02% pour le scénario CNRM. La diminution est moindre pour le scénario pessimiste car les températures estivales prévues à l'horizon 2100 étant élevées, la prise de douche pourrait être plus fréquente.
- **Sanitaire :** la quantité d'eau utilisée pour les sanitaires va poursuivre sa tendance à la baisse, grâce à la mise en œuvre de toilettes de plus en plus économe en eau, avec une diminution de l'ordre de 0,3% par an. Le taux proposé est identique pour les deux scénarios climatiques.
- **Le lavage du linge :**
  - Le taux d'équipement en lave-linge des ménages français en 2016 était de 96,2% (source : Insee, SRCV-SILC). Pour l'horizon fin de siècle, le taux de 99% est envisagé.
  - La consommation d'eau des lave-linges qui était proposée à 55 litres en 2050 devrait pouvoir atteindre 50 litres en 2090 grâce au progrès technique.
  - Le nombre de machines faites par ménage français reste à 3 lessives par semaine.
  - Pour le lavage du linge à la main, un volume de 40 litres sera pris en compte dans les calculs.
- **La vaisselle :**
  - Le taux d'équipement en lave-vaisselle des ménages français était en 2016 de 61,4% (source : Insee, SRCV-SILC). Un taux d'équipement de 80% est proposé pour l'horizon fin de siècle (pour mémoire, le taux était de 67% en 2050).
  - La consommation d'eau par cycle devrait encore se réduire grâce au progrès technique et un volume de 8 litres par cycle est proposé. Le nombre de lavages annuels réalisés par ménage reste de 220.
  - Le volume d'eau utilisé pour une vaisselle à la main diminue à 35 litres (au lieu de 45 en 2050) grâce au changement de comportement (arrêt de l'eau pendant le nettoyage) et reste considéré pour une journée (on suppose que les repas du midi sont majoritairement pris en dehors du foyer).

- **La cuisine :** la quantité d'eau utilisée pour la préparation des repas reste identique à celle d'aujourd'hui avec 6% de la consommation domestique totale.
- **La boisson :** la quantité d'eau du robinet bue par les ménages reste identique à celle d'aujourd'hui avec 1% de la consommation domestique totale.
- **Les consommations pour la voiture et le jardin :** l'augmentation des températures va générer une augmentation des volumes utilisés pour l'arrosage du jardin. Cependant le développement des récupérateurs d'eau de pluie permettra de limiter le développement des prélèvements dans le milieu naturel.
  - Pour le scénario IPSL, il est proposé de conserver l'évolution de 0,5% par an appliquée pour les scénarios à horizon 2030 et 2050.
  - Pour le scénario CNRM, l'évolution annuelle retenue pour les scénarios à horizon 2030 et 2050 était de 0,8% annuel. Le taux annuel appliqué à la période 2050 et 2090 sera de 1% au regard de l'élévation importante des températures et du manque de pluie en été.
- **Les piscines :** l'augmentation des températures va accroître les achats de piscines des ménages afin qu'ils puissent se rafraîchir lors des périodes de canicule.
  - Pour les piscines enterrées :
    - Scénario IPSL : le taux d'évolution annuel proposé sur la période 2050-2090 est de 0,5%. Il est moins élevé que celui présenté sur la période 2017-2050 (1%) car il est supposé que la majorité des piscines auront été construites sur la période précédente.
    - Scénario CNRM : le taux d'évolution présenté s'élève à 1% par an car les températures très élevées en été vont inciter les ménages à s'équiper en piscine. Il est fort probable qu'une majorité de nouvelles constructions de maison soit accompagnée d'une piscine.
    - Les dimensions prises en compte pour les scénarios 2050 restent identiques (27 m³).
  - Pour les piscines hors sol :
    - Scénario IPSL : le taux d'évolution annuel proposé est de 1% sur la période 2050-2090 contre 2% sur la période 2017-2050.
    - Scénario CNRM : le taux d'évolution pris en compte est de 2% par an.
    - Les dimensions prises en compte pour les scénarios 2050 restent identiques (12 m³).

4.6.3.3 Synthèse des volumes consommés

Les volumes dédiés à la consommation domestique, selon les deux scénarios climatiques, sont présentés ci-dessous.

Tableau 9 : volumes consommés à horizon 2090 selon le scénario IPSL 4.5

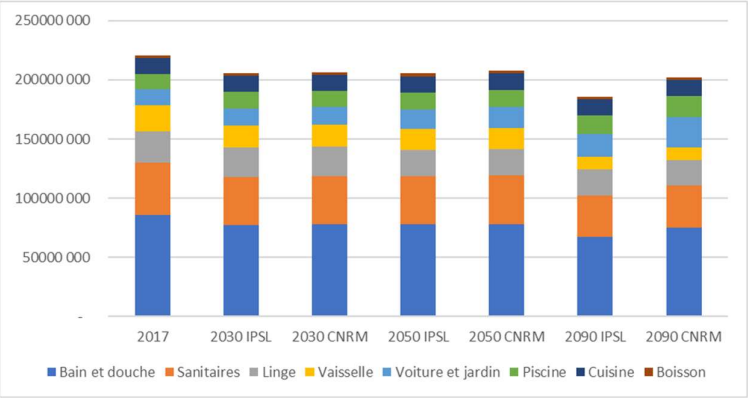
IPSL 2090		Usages domestiques								
Départements	Population 2090	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson	Total
8	230 786	2 734 385	1 421 641	898 265	457 302	767 262	669 642	533 115	88 853	7 570 465
10	313 022	4 724 265	2 654 428	1 218 345	620 253	1 432 599	908 256	995 410	165 902	12 719 458
51	616 238	7 301 281	3 796 026	2 398 522	1 221 076	2 048 722	1 788 059	1 423 510	237 252	20 214 447
52	158 647	2 394 370	1 345 327	617 486	314 359	726 075	460 326	504 498	84 083	6 446 524
54	713 329	8 451 632	4 394 108	2 776 420	1 413 462	2 371 508	2 069 776	1 647 791	274 632	23 399 329
55	161 560	1 914 185	995 208	628 823	320 131	537 116	468 777	373 203	62 201	5 299 644
57	1 013 050	12 002 767	6 240 387	3 942 993	2 007 358	3 367 948	2 939 436	2 340 145	390 024	33 231 060
67	1 229 369	14 565 751	7 572 914	4 784 951	2 435 995	4 087 115	3 567 102	2 839 843	473 307	40 326 977
68	787 992	9 336 253	4 854 033	3 067 024	1 561 407	2 619 730	2 286 416	1 820 263	303 377	25 848 503
88	315 838	3 742 093	1 945 561	1 229 304	625 833	1 050 022	916 426	729 585	121 598	10 360 421
Total	5 539 832	67 166 983	35 219 635	21 562 132	10 977 176	19 008 096	16 074 215	13 207 363	2 201 227	185 416 827

Tableau 10 : volumes consommés à horizon 2090 selon le scénario CNRM 8.5

CNRM 2090		Usages domestiques								
Départements	Population 2090	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Divers	Cuisine	Boisson	Total
8	230 786	3 036 463	1 421 641	898 265	457 302	1 032 461	752 167	533 115	88 853	8 220 267
10	313 022	5 669 556	2 654 428	1 218 345	620 253	1 927 768	1 020 187	995 410	165 902	14 271 849
51	616 238	8 107 881	3 796 026	2 398 522	1 221 076	2 756 849	2 008 414	1 423 510	237 252	21 949 530
52	158 647	2 873 466	1 345 327	617 486	314 359	977 039	517 055	504 498	84 083	7 233 313
54	713 329	9 385 316	4 394 108	2 776 420	1 413 462	3 191 204	2 324 850	1 647 791	274 632	25 407 783
55	161 560	2 125 652	995 208	628 823	320 131	722 766	526 548	373 203	62 201	5 754 533
57	1 013 050	13 328 759	6 240 387	3 942 993	2 007 358	4 532 057	3 301 685	2 340 145	390 024	36 083 409
67	1 229 369	16 174 885	7 572 914	4 784 951	2 435 995	5 499 799	4 006 703	2 839 843	473 307	43 788 396
68	787 992	10 367 664	4 854 033	3 067 024	1 561 407	3 525 223	2 568 188	1 820 263	303 377	28 067 179
88	315 838	4 155 497	1 945 561	1 229 304	625 833	1 412 956	1 029 364	729 585	121 598	11 249 696
Total	5 539 832	75 225 140	35 219 635	21 562 132	10 977 176	25 578 120	18 055 162	13 207 363	2 201 227	202 025 956

Le graphique suivant présente l'évolution de la consommation domestique selon les différents scénarios étudiés lors de la première phase de l'étude et les deux scénarios à horizon 2090. Les volumes du scénario IPSL 2090 sont en diminution par rapport à l'ensemble des autres scénarios. En revanche, le scénario CNRM 2090 met en évidence des volumes proches de ceux de 2030.

Figure 13 : répartition de la consommation domestique par type d'usage et type de scénarios



L'analyse détaillée permet d'identifier la consommation annuelle par an et par habitant, elle serait à horizon 2090, de 33 m³/an/hab avec le scénario IPLS et de 36 m³/an/hab avec le scénario CNRM.

Tableau 11 : consommation domestique selon les différents scénarios

Scénarios	Bain et douche	Sanitaires	Linge	Vaisselle	Voiture et jardin	Piscine	Cuisine	Boisson	Total	m3/hab/an
2017	86 056 812	44 131 698	26 479 019	22 065 849	13 239 510	13 239 510	13 239 510	2 206 585	220 658 492	40
2030 IPSL	77 201 068	40 909 848	24 882 011	18 520 196	14 441 464	13 732 943	13 534 818	2 255 803	205 478 151	36
2030 CNRM	77 709 482	40 909 848	24 882 011	18 520 196	15 012 027	13 732 943	13 534 818	2 255 803	206 557 128	36
2050 IPSL	77 590 221	41 116 065	22 191 931	17 880 551	16 036 742	14 715 857	13 603 044	2 267 174	205 401 586	36
2050 CNRM	78 101 198	41 116 065	22 191 931	17 880 551	17 694 311	14 715 857	13 603 044	2 267 174	207 570 132	36
2090 IPSL	67 166 983	35 219 635	21 562 132	10 977 176	19 008 096	16 074 215	13 207 363	2 201 227	185 416 827	33
2090 CNRM	75 225 140	35 219 635	21 562 132	10 977 176	25 578 120	18 055 162	13 207 363	2 201 227	202 025 956	36

4.6.3.4 L'abreuvement du cheptel

Estimation du nombre d'animaux

Résultats de l'analyse bibliographique et des entretiens

L'évolution des prairies : la réflexion sur l'évolution de l'élevage doit être menée en concordance avec l'évolution des prairies sur le territoire. La région Grand Est est un territoire sur lequel les animaux sortent de l'étable et restent une partie de l'année dans les prairies.

Des actions politiques sont actuellement en cours ou vont être menées afin de permettre aux agriculteurs de maintenir et conserver des surfaces en herbe. Peuvent notamment être citées : l'action 1.1 de l'axe 2 de la stratégie nationale bas carbone : déployer des dispositifs dans le cadre favorable à la préservation et au développement des prairies, en particulier, permanentes qui devrait permettre de réduire le retournement des prairies au profit de cultures plus rentables. Ainsi, les agriculteurs pourront conserver des prairies pour assurer l'autonomie alimentaire des élevages.

L'alimentation du bétail : les éleveurs doivent être en mesure de se procurer une alimentation à un prix raisonnable tout au long de l'année. L'évolution des températures et la diminution de la pluviométrie risquent de réduire la production locale de fourrage et d'accroître les coûts d'alimentation des éleveurs. Certaines solutions sont évoquées pour réduire ce risque :

- Les agriculteurs doivent pouvoir stocker le fourrage excédentaire obtenu lors des « bonnes années » afin d'être moins dépendants économiquement du marché. Ainsi, il serait opportun que l'action initiée sur le développement de l'autonomie alimentaire des élevages, incluant notamment le financement par la Région Grand Est des investissements liés au stockage du fourrage, soit poursuivie.
- La problématique de l'alimentation des méthaniseurs par du fourrage devrait encore exister ces prochaines années, notamment avec la situation géopolitique actuelle mais devrait se tasser à horizon fin de siècle car le nombre maximal de méthaniseurs installés devrait l'être à cette échéance.
- Le manque de pluie au printemps et en été ainsi que l'accroissement des températures vont impacter la quantité d'herbe disponible pour l'alimentation du bétail. Ainsi, certaines prairies devront certainement être irriguées, notamment au printemps, afin de permettre au bétail de s'alimenter. L'utilisation de certains étangs, comme cela a été évoqué au Varenne de l'eau, pourrait être une solution pérenne.
- L'abreuvement du bétail : le développement des poches souples qui seront remplies l'hiver devrait permettre aux agriculteurs de faire face à la pénurie d'eau des cours d'eau en été.
- L'adaptation du cheptel aux températures élevées :
  - Le développement de l'agroforesterie par l'implantation d'arbres permettrait aux animaux d'être à l'ombre et de mieux supporter les températures caniculaires.
  - Un changement de races pouvant mieux supporter la chaleur pourrait également être mis en œuvre sur le territoire.

L'écoulement de la production : L'action 1.3 de l'axe 3 de la stratégie nationale bas carbone qui vise à promouvoir les projets alimentaires territoriaux (PAT) permettra aux éleveurs de vendre leur production en local.

Au niveau de la filière lait : le prix du lait n'est pas suffisant et il est actuellement plus intéressant de produire des cultures que de faire de la viande. Cependant, conserver une partie de l'activité pour l'élevage, permet une garantie financière en cas de mauvaise année pour les cultures.

Le nombre d'animaux présents sur le territoire : Pour estimer le nombre d'animaux présents sur le territoire, il est possible de raisonner à partir de l'évolution du cheptel ces dernières années afin d'identifier les tendances mais également de se rapporter à des scénarios agricoles comme par exemple celui proposé par Solagro avec Afterres 2050. Dans ce scénario, la consommation de viande passerait de 185 g/jour/adultes à 94 g/jour/adultes en 2050, celle des produits laitiers de 235 g/jour/adultes à 122 et celle des œufs de 15 grammes à 11 grammes. Ce scénario propose de remplacer les protéines animales par des protéines végétales, permettant ainsi de réduire l'obésité observée ces dernières années.

Ce scénario propose également de développer l'économie circulaire et rejoint dans ce sens l'action 1.3 de l'axe 3 de la stratégie nationale bas carbone.

Si l'on souhaite produire uniquement la viande qui sera consommée sur le territoire il conviendrait de disposer :

- **Pour les bovins viandes :**
  - on considère un poids moyen de 700 kg par animal,
  - le coefficient poids vif/poids mort utilisé pour les bovins est de 0,5 (source : FranceAgriMer)
  - la population 2090 de la Région Grand Est est estimée à 5 539 832 habitants
  - la consommation journalière est de 94 grammes / jour / habitant
  - ⇨ (5 539 832 x 94g x 365 jours) / 1000000 = 190 071 tonnes / an
  - ⇨ 190 071 tonnes / 350 kg = 543 061 animaux

Il faut cependant tenir compte du cycle de vie de l'animal et considérer que pour 543 061 animaux qui seront envoyés à l'abattoir, le cheptel sera plus important car il intégrera les jeunes animaux mais également les vaches allaitantes qui contribuent à leur croissance. L'hypothèse proposée est de 30% d'animaux supplémentaires, soit environ 706 000 animaux par an. Cette hypothèse se base sur le nombre de vaches allaitantes présentes sur le territoire en 2020 (Source : RGA) au regard du nombre d'autres bovins.

- **Pour les vaches laitières :**
  - la consommation journalière est de 122 grammes / jour / habitant
  - la masse volumique d'un litre de lait est de 1030 grammes
  - une vache laitière produit en moyenne 5900 litres par an, soit 5900 x 1,03 = 6077 kg par an.
  - ⇨ (5 539 832 x 122 g x 365 jours) / 1000000 = 246 689 tonnes / an
  - ⇨ 246 689 tonnes / 6077 kg = 40 593 vaches laitières

La mise en œuvre de ce scénario d'une production consommée uniquement sur le territoire imposerait de diminuer par rapport aux effectifs du RGA 2020 :

- De 87% le cheptel laitier
- De 42% le cheptel viande bovine

La mise en œuvre d'un tel scénario impacterait directement les filières agricoles car un grand nombre d'industries agroalimentaires sont présentes sur la Région Grand Est et vendent leurs produits en France mais également à l'étranger.

Un scénario plus médian pourrait être proposé afin de conserver ces industries agroalimentaires sur le territoire :

- La diminution de la quantité de viande et de lait par habitant semble inévitable au regard des modes de consommation actuels et de l'impact environnemental des animaux, notamment les bovins.
- Le développement des protéines végétales souhaité par les politiques en cours va contribuer à la diminution de la consommation de viande.
- Cependant, grâce à ses pâturages, la région Grand Est est en mesure d'élever des animaux destinés à la consommation d'autres régions de France qui ne peuvent assurer leur autoproduction.
- Il est donc envisageable de considérer que sur le territoire de la Région Grand Est, le nombre de bovins sera plus important que celui strictement nécessaire à la consommation des habitants.

Proposition pour le scénario climatique médian (IPSL 4.5)

- Diminution de la filière lait suite aux risques énoncés précédemment (-25% entre 2020 et 2090)
- Diminution de 30% de l'ensemble des autres animaux (sachant que le scénario Afterres 2050 préconise une réduction de 49% des quantités consommées dès 2050) ;

Proposition pour le scénario climatique pessimiste (CNRM 8.5)

- Diminution de la filière lait de 30% car les températures élevées comportent un risque pour l'alimentation et le bien-être des vaches laitières.
- Diminution de 40% de l'ensemble des autres animaux

Synthèse des scénarios

Le tableau suivant présente la synthèse des résultats des scénarios pour l'évolution du cheptel sur le territoire.

Tableau 12 : Estimation du nombre d'animaux par type à horizon 2090 sur la région Grand Est

					Scénarios		IPSL	CNRM	IPSL	CNRM
		Nb de têtes en 2020 (RGA)	Evolution UGB 2010/2020	Evolution têtes 2010/2020	Evolution 2017/2030	Evolution 2017/2050	Evolution têtes 2020/2090	Evolution têtes 2020/2090	Tête de bétail 2090	Tête de bétail 2090
Bovins	vaches laitières	321 280	-5,7%	-5,7%	0,0%	0,0%	-25,0%	-30,0%	240 960	224 896
	vaches allaitantes	260 014	-1,9%	-1,9%	-9,9%	-23,3%	-30,0%	-40,0%	182 010	156 008
	autres	952 939	-11,5%	-13,5%	-9,9%	-23,3%	-30,0%	-40,0%	667 057	571 763
Ovins	brebis mères laitières	9 578	551,6%	551,6%	-29,9%	-59,5%	-30,0%	-40,0%	6 705	5 747
	brebis mères allaitantes	220 456	-25,5%	-25,5%	-29,9%	-59,5%	-30,0%	-40,0%	154 319	132 274
	autres	133 512	1,1%	1,9%	-29,9%	-59,5%	-30,0%	-40,0%	93 458	80 107
Caprins	chèvres	11 360	35,3%	35,3%	0,0%	0,0%	-30,0%	-40,0%	7 952	6 816
	autres	5 635	77,1%	70,2%	0,0%	0,0%	-30,0%	-40,0%	3 945	3 381
Equins	juments selle	3 669	-55,3%	-55,3%			-30,0%	-40,0%	2 568	2 201
	juments lourdes	614	-69,1%	-69,1%			-30,0%	-40,0%	430	368
	autres	12 689	-38,3%	-42,2%			-30,0%	-40,0%	8 882	7 613
Total porcins		408 451	-1,0%	4,9%	2,6%	6,8%	-30,0%	-40,0%	285 916	245 071
Total volailles		12 285 183	45,3%	39,0%	2,6%	6,8%	-30,0%	-40,0%	8 599 628	7 371 110
Total		14 625 380	-5,5%	28,2%					10 253 830	8 807 356

Consommation d'eau

Consommation d'eau globale annuelle

Tableau 13 : consommation d'eau annuelle du cheptel à horizon 2090 selon les 2 scénarios climatiques

Type de bétail	Consommation journalière moyenne (L/j)	Consommation journalière moyenne (L/j) IPSL 2090	Consommation journalière moyenne (L/j) CNRM 2090	Effectifs IPSL en 2090	Effectifs CNRM en 2090	Consommation IPSL en 2090 (en m3)	Consommation CNRM en 2090 (en m3)
Vaches laitières	100,00	100,00	110,00	240 960	224 896	8 795 040	9 029 574
Vaches allaitantes	50,00	50,00	55,00	182 010	156 008	3 321 679	3 131 869
Autres bovins	37,50	37,50	41,25	667 057	571 763	9 130 347	8 608 613
Caprins	10,00	10,00	11,00	11 897	10 197	43 422	40 941
Ovins	10,00	10,00	11,00	254 482	218 128	928 860	875 782
Equins	50,00	50,00	55,00	11 880	10 183	216 817	204 428
Porcins	17,50	17,50	19,25	285 916	245 071	1 826 287	1 721 927
Volailles	0,20	0,20	0,22	8 599 628	7 371 110	627 773	591 900
TOTAL	-	-	-	**10 253 830**	**8 807 356**	**24 890 225**	**24 205 034**

Répartition de la consommation d'eau selon la provenance

La consommation d'eau pour le bétail peut provenir des 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 suivant présente les hypothèses de répartition par saison et par type de bétail. Ces dernières sont identiques à celles prises en compte dans la première phase de l'étude.

Tableau 14 : 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%

Répartition mensuelle

La répartition des volumes mensuels pour l'abreuvement du cheptel est également identique à celle utilisée pour les scénarios aux horizons 2030 et 2050.

Tableau 15 : 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%

4.6.3.5 L'irrigation des cultures

Évolution des cultures

Résultats de l'analyse bibliographique et des entretiens

- Actions politiques mises en œuvre : Stratégie Climat et Varenne de l'eau
  - Action 3.1 de l'axe 1 : augmenter les surfaces de légumineuses (doubler les surfaces d'ici 2030) pour une alimentation riche en protéines pour les hommes et le bétail.
  - Actions pour développement de l'économie circulaire : cantine / restauration collective.
  - Mise en œuvre d'orientations pour soutenir l'agriculture de résilience plutôt que les systèmes à forte rentabilité.
  - Valoriser les eaux non conventionnelles.
  - Mobiliser les retenues existantes pour optimiser les usages dans la gestion des retenues hydroélectriques et réaliser un inventaire exhaustif des retenues d'eau (supérieures à 0,1 hectare) en France avec un suivi des volumes stockés.
- Les recherches d'eau envisagées pour pallier la sécheresse :
  - Réutilisation des eaux des toitures agricoles.

- Réutilisation des eaux de process industriels pour l'irrigation comme par exemple les effluents des distilleries de betterave. Cette utilisation devra cependant être accompagnée d'une solution de stockage car les besoins en irrigation ne seront pas forcément en adéquation avec la disponibilité en eau (les betteraves sont nettoyées en octobre, novembre).
- Réutilisation des eaux de STEP : possible uniquement pour les rejets qui n'alimentent pas des cours d'eau en souffrance avec une problématique de l'acceptation sociale.
- Utilisation de certains étangs fait partie des solutions proposées par l'AERM pour le Varenne de l'eau (étangs du Saulnois).
- Utilisation de l'eau disponible dans les canaux, notamment pour les canaux ayant peu de trafic.
- Création de petites retenues collinaires de substitution qui ne sont pas toujours connectées au cours d'eau (fermeture tant que le niveau d'eau n'est pas suffisant) et qui pourraient être remplies lors des évènements pluvieux importants des mois hivernaux.

- Cultures à forte valeur ajoutée et maraîchage :
  - Développement du maraîchage en lien avec l'économie circulaire pour assurer la souveraineté alimentaire mais tous les sols ne s'y prêtent pas, notamment les sols argileux calcaires.
  - Vignes : l'AOC interdit d'irriguer en Alsace. Changement des vignobles de Champagne avec des porte-greffes : les vignes sont plus hautes, plus espacées et moins sensibles au gel tardif de printemps et plus résistantes à la chaleur.
- Grandes cultures :
  - Il ne sera pas possible d'irriguer les surfaces des grandes cultures actuelles sans la mise en place de nouvelles solutions visant à optimiser l'usage de l'eau.
  - Blé, maïs, colza : proposer des variétés qui résistent mieux à la sécheresse et à la chaleur : forte réduction de la production de blé.
  - Développement du méteil : association d'une ou plusieurs graminées avec une ou plusieurs légumineuses : productivité moindre mais réimplantation plus rapide, soit 3 cultures en 2 ans (méteil d'hiver ou de printemps), avec un produit valorisable en fourrage ou pour la méthanisation.
  - Changement de cultures avec mise en œuvre de cultures moins gourmandes en eau : sorgo, silphie, chanvre, luzerne, sainfoin (légumineuse restant en place plusieurs années, aucun besoin en azote, haute valeur ajoutée dans le milieu équin, vertus médicinales).
  - Développement des légumineuses pour être autonome pour l'alimentation du bétail (afin de réduire l'exportation).
  - Nouvelles cultures grâce à la recherche génétique et optimisation des variétés existantes
  - Modification des périodes de récoltes.
  - La gestion optimisée de la matière organique permet de stocker 15% d'eau supplémentaire dans les sols.
- Cultures énergétiques :
  - Cultures pour l'alimentation des méthaniseurs : silphie, cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVEs) :
    - CIVEs d'été (sorgho),
    - CIVEs d'hiver (mélange de graminées : avoine, triticale, orge et de 20% de légumineuses : vesce velue, féverole…),

- Développement du tournesol qui supporte mieux la sécheresse que le colza.

Proposition pour le scénario climatique médian (IPSL 4.5)

- Diminution des céréales qui supporteront difficilement les conditions climatiques et mises en place de nouvelles céréales moins gourmandes en eau : sorgo, (-9,6% en 70 ans) et CIVEs.
- Développement des légumineuses : 8 % SAU en 2030 (stratégie nationale bas carbone) et développement des CIVEs avec une hypothèse de 10 % de la SAU en 2090.
- Développement du maraîchage avec système d'irrigation efficient (+0,7% de la SAU).
- Légère diminution des prairies grâce au développement des légumineuses pour l'alimentation du bétail (sainfoin, luzerne…) : -3% de la SAU.
- Développement des plantes à fibres et plantes industrielles avec notamment le chanvre (+1,3% de la SAU).
- Développement du tournesol pour le biocarburant : +2,4% de la SAU dédiée aux oléagineux.

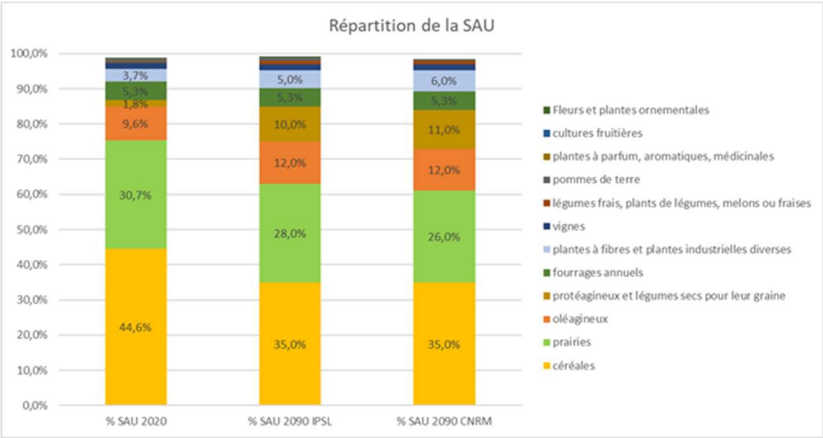
Proposition pour le scénario climatique pessimiste (CNRM 8.5)

- Diminution des céréales qui supporteront difficilement les conditions climatiques et mise en place de nouvelles céréales moins gourmandes en eau : sorgo, (-9% en 70 ans) et CIVEs pour réduire les surfaces de blé, maïs et orge qui supporteront difficilement les températures sans irrigation conséquente : surface du maïs conservé uniquement en Alsace.
- Développement des légumineuses : 8 % SAU en 2030 (stratégie nationale bas carbone) et développement des CIVEs avec une hypothèse de 11 % de la SAU en 2090.
- Développement du maraîchage avec système d'irrigation efficient (+0,7% de la SAU).
- Diminution des prairies mais développement des légumineuses pour l'alimentation du bétail (sainfoin, luzerne…) : -4,7% de la SAU.
- Développement des plantes à fibres et plantes industrielles avec notamment le chanvre (+2,3% de la SAU).
- Développement du tournesol pour le biocarburant : +2,4% de la SAU dédiée aux oléagineux
- Diminution des pommes de terre qui demandent trop d'irrigation : -0,5 % de SAU.

Synthèse des scénarios

Sur la base des réflexions présentées dans les paragraphes précédents, la SAU pourrait se répartir différemment de ce qui est actuellement observé sur le territoire de la région Grand-Est. Le graphique ci-dessous met en évidence les nouvelles répartitions proposées pour 2090.

Figure 14 : répartition proposée pour la SAU



Impacts sur les volumes prélevés pour l'irrigation

Lors des scénarios à horizon 2030 et 2050, les taux d'évolution proposés étaient les suivants :

- +5% à horizon 2030 et + 10% à horizon 2050 pour la nappe d'Alsace
- +10% à horizon 2030 et + 15% à horizon 2050 pour les autres territoires.

Il est difficile d'estimer, à l'heure actuelle, les besoins nécessaires pour l'irrigation à l'horizon 2090. Les hypothèses suivantes peuvent, cependant, être avancées :

- Les cultures situées à proximité de la Nappe d'Alsace pourraient continuer à être irriguées ;
- Pour les autres territoires, les solutions de recherche d'eau évoquées précédemment, devront être mises en œuvre car l'irrigation via les cours d'eau risque de devenir impossible au regard de la sévérité des débits d'étiage annoncés.
- Cependant, certaines cultures à forte valeur ajoutée pourraient continuer à être irriguées mais à partir de solutions plus économes en eau.

Les volumes prélevés dans les cours d'eau et nappe phréatique proposés sont :

- **Scénario IPSL 4.5 :**
  - +15% à horizon 2090 par rapport à 2020 pour la nappe d'Alsace (ZH 20, ZH 17 et ZH 4).
  - +15% à horizon 2090 par rapport à 2020 pour les autres zones homogènes. Pour ces territoires, les volumes seraient donc identiques à ceux prélevés en 2050 afin de tenir compte des débits d'étiage sévères attendus.
  - Les compléments d'irrigation se feront via les solutions présentées précédemment.
- **Scénario CNRM 8.5 :**
  - +15% à horizon 2090 par rapport à 2020 pour la nappe d'Alsace (ZH 20, ZH 17 et ZH 4).
  - +5% à horizon 2090 par rapport à 2020 pour les autres territoires car les cours d'eau ne supporteront pas de prélèvements trop élevés au regard des températures attendues et des soutiens d'étiages sévères qui vont en découler.
  - Il faudra donc mettre en place de nombreuses solutions pour compléter les besoins en irrigation, ce qui risque d'être délicat au regard de la diminution de la pluviométrie attendue.

4.6.4 L'énergie

4.6.4.1 Les centrales nucléaires

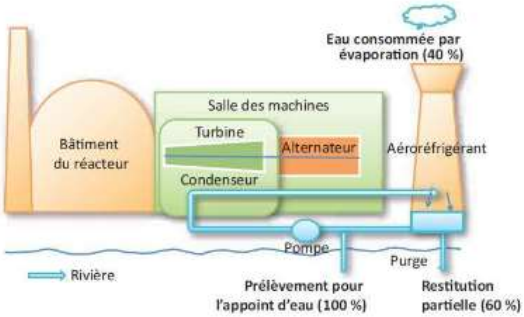
La région Grand-Est est équipée de 3 centrales nucléaires : Cattenom (57), Chooz (08), et Nogent sur Seine (10).

Tableau 16 : Caractéristiques des centrales nucléaires de la région Grand-Est (source : IRSN et AIAE)

Centrale	Type de refroidissement (circuit ouvert ou fermé)	Nombre et puissance des réacteurs	Age des réacteurs
Chooz	Circuit fermé	2 réacteurs de 1 450 MWe	25 et 26 ans
Cattenom	Circuit fermé	4 réacteurs de 1 300 MWe	31, 32, 35 et 36 ans
Nogent sur Seine	Circuit fermé	2 réacteurs de 1 300 MWe	32 et 33 ans

Ces trois centrales fonctionnent en circuit fermé, ce qui signifie que seule une partie de l'eau prélevée est restituée dans le milieu naturel, l'autre partie s'évaporant dans la tour aéroréfrigérante.

Figure 15 : Schéma d'une centrale nucléaire avec un circuit de refroidissement fermé (source : EDF)



A certaines périodes de l'année, certaines centrales nucléaires sont mises en arrêt pour cause de débit insuffisant de la rivière, température trop élevée pour un rejet dans les milieux aquatiques ou les deux simultanément.

Les centrales de Chooz et de Cattenom sont concernées par la problématique du débit des cours d'eau. Le graphique suivant met en évidence l'importance de cette problématique pour la centrale de Chooz qui résulte d'un accord de partage de l'eau entre la France et la Belgique et limite ainsi ses capacités de prélèvement[1].

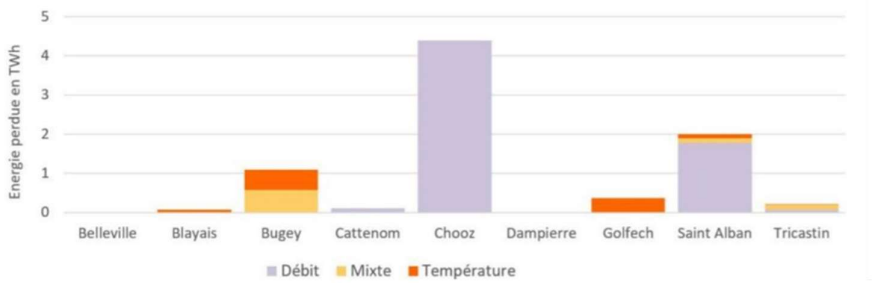


Figure 16 : Energie perdue par cause de 2015 à 2020 en fonction des centrales

D'après le rapport de RTE, Futurs énergétiques 2050[2], les pertes de production devraient être deux à trois fois plus importantes. L'impact du changement climatique va donc être important pour la centrale de Cattenom car des problématiques de débit vont survenir sur la Moselle.

Les centrales nucléaires ont été conçues et construites à l'origine pour fonctionner au moins 25, 30 ou 40 ans. Mais avec la progression des techniques et des connaissances, les centrales actuellement en fonctionnement ont été améliorées au fil des années pour continuer à fonctionner avec le plus haut niveau de sûreté possible, et elles pourraient donc éventuellement dépasser ces durées. Les autorisations de fonctionnement supplémentaires sont accordées par tranche de 10 ans (Source : IRSN). Aux Etats-Unis, certaines centrales ont été autorisées pour une durée de fonctionnement de 60 ans. Le rapport sur les futurs énergétiques 2050 (op.cité, page 12) évoque également cette limite de 60 ans. Les réacteurs des trois centrales de la région seront tous obsolètes d'ici 2100 (car ils ont entre 25 et 36 ans).

[1] www.bonpote.com : les centrales nucléaires vont-elles résister au changement climatique ?

[2] RTE – Futurs énergétiques 2050 – octobre 2021

Dès lors que les centrales actuelles ne seront plus en activité, il conviendra de se poser la question du remplacement de la production d'énergie qu'elles fournissaient car les besoins énergétiques de la France devraient rester importants, notamment si le développement de la voiture électrique s'accentue. Les scénarios présentés dans le rapport sur les futurs énergétiques 2050 (op.cité) mettent en évidence le développement d'autres sources d'énergie telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne terrestre et maritime, et l'énergie nucléaire (actuelle et nouvelle). Sur les 6 scénarios évoqués, 3 proposent une production en provenance de nouveaux EPR. Ainsi, à l'horizon 2100, si la France souhaite conserver une production d'origine nucléaire, elle devra envisager la construction de nouveaux EPR pour remplacer les centrales d'ancienne génération.

Il peut être envisagé la construction des EPR sur les sites existants afin d'éviter de reconstruire certaines infrastructures ou de construire sur un tout nouveau site. N'ayant aucune information permettant de déterminer l'emplacement des prochains EPR, l'emplacement des anciens sites est retenu pour cet exercice.

L'énergie nucléaire représente actuellement 77% de l'énergie électrique[3]. Ce pourcentage est voué à diminuer du fait de la volonté de la France de développer des énergies renouvelables. Les 6 scénarios proposés à horizon 2050 envisagent de développer l'énergie solaire (pouvant représenter de 13% à 36% de la production), l'énergie éolienne terrestre (entre 13% et 21% de la production), l'énergie éolienne maritime (entre 12% et 32% de la production), l'hydroélectricité restant stable avec 10% de la production. Ainsi, la production d'énergie renouvelable à l'horizon 2050 pourrait être comprise entre 50% et 100% (scénarios sans nucléaire).

Les dernières annonces gouvernementales indiquent que la France souhaite poursuivre la production d'énergie nucléaire avec notamment la construction d'EPR[4]. A l'horizon 2100, il est envisageable de considérer que la production nucléaire existera encore sur le territoire français mais qu'elle représentera une part moins importante de la production totale. Ainsi, l'hypothèse proposée est une diminution de 40% de la puissance installée sur la région Grand Est. Au regard des futures contraintes environnementales liées au débit d'étiage, il est probable que la majeure partie des sites nucléaires soit située en bord de mer afin d'utiliser cette eau pour le circuit de refroidissement.

Afin de tenir compte des problématiques évoquées précédemment (partage de l'eau pour la centrale de Chooz et débit insuffisant de la Moselle pour Cattenom), il est proposé de considérer une réduction de la puissance installée sur ces deux sites. La centrale de Nogent sur Seine verrait sa capacité augmenter de 23% avec deux réacteurs de 1600 MWe. La capacité de 1600 MWe par réacteur est proposée pour chaque centrale et se réfère à l'EPR de Flamanville qui est actuellement le seul réacteur EPR en construction en France.

Figure 17 : Puissance installée sur les sites nucléaires de la région Grand Est

	2022		Scénario 2100		
	Réacteurs	Puissance installée en Mwe	Réacteurs	Puissance installée en Mwe	Ecart de puissance entre 2022 et 2100
Chooz	2 réacteurs de 1 450 MWe	2 900	1 réacteur de 1 600 MWe	1 600	-45%
Cattenom	4 réacteurs de 1 300 MWe	5 200	2 réacteurs de 1 600 MWe	3 200	-38%
Nogent sur Seine	2 réacteurs de 1 300 MWe	2 600	2 réacteurs de 1 600 MWe	3 200	23%
		10 700		8 000	-25%

[3] https://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france

[4] Allocution du Président de la République du 10/02/2022 sur la création de 6 EPR2.

La consommation d'eau future de l'EPR de Flamanville peut difficilement être comparée à celle des futurs EPR de la région Grand-Est car l'eau utilisée provient de la mer et les normes environnementales de prélèvement et de température de l'eau rejetée dans le milieu naturel ne sont pas identiques.

Afin d'estimer la consommation d'eau des futurs réacteurs, il est proposé de calculer le volume d'eau prélevé au regard de la capacité des réacteurs.

Figure 18 : Estimation des volumes prélevés bruts par les sites nucléaires

	Volumes d'eau prélevés - moyenne 2012-2017	Puissance 2022	Puissance 2100	Volumes d'eau prélevés - 2100 - scénario 4.5	Volumes d'eau prélevés - 2100 - scénario 8.5	Ecart de volume entre 2012-2017 et 2100-scénario 4.5	Ecart de volume entre 2012-2017 et 2100-scénario 8.5
Chooz	137 492 168	2 900	1 600	75 857 748	60 686 198	-45%	-56%
Cattenom	269 259 106	5 200	3 200	165 697 911	132 558 329	-38%	-51%
Nogent sur Seine	135 674 794	2 600	3 200	166 984 361	133 587 489	23%	-2%
	542 426 068			408 540 021	326 832 016	-25%	-40%

Les volumes prélevés sur la période 2012-2017 intègrent les arrêts imposés afin de respecter le débit d'étiage minimum dans le cours d'eau et/ou la température de ce dernier. L'estimation des volumes prélevés à horizon 2100 pour le scénario climatique IPSL 4.5 intègre ces éléments via une règle de trois. Cette estimation est proposée car l'augmentation de la pluviométrie et l'accroissement non excessif des températures devraient permettre des arrêts similaires à ceux actuels puisque les volumes prélevés pour Chooz et Cattenom, qui sont les seules à subir des arrêts réglementaires, vont diminuer à horizon 2100 selon les hypothèses retenues.

En revanche, la situation climatique étant nettement plus alarmante pour le scénario CNRM 8.5, l'hypothèse proposée est celle d'arrêts correspondants à 20% du temps d'utilisation de la centrale. En effet, les fortes hausses de températures annoncées pour les saisons estivales et automnales, couplées à une nette diminution de la pluviométrie devraient générer des arrêtes durant ces périodes.

4.6.4.2 L'hydroélectricité

Au regard de la problématique du soutien d'étiage qui va s'accentuer entre 2050 et 2100, il semble peu probable que de nouvelles centrales hydroélectriques soient installées sur les cours d'eau de la région Grand-Est.

Il est donc proposé de conserver les volumes prélevés identifiés lors du scénario à horizon 2050.

4.6.5 L'industrie

Le réchauffement climatique du scénario CNRM 8.5 aura des conséquences sur les débits d'étiage. Les industries qui prélèvent dans les cours d'eau risquent de devoir mettre leur production à l'arrêt à certaines périodes de l'année. Une analyse rapide des industriels prélevant plus d'un million de mètres cube par an dans un cours d'eau superficiel (y compris les canaux) met en évidence l'importance du secteur des produits azotés et d'engrais (32% des volumes totaux), les produits chimiques organiques de base (26%) et les produits chimiques inorganiques de base (21%). La zone homogène la plus concernée par ces prélèvements est la ZH 20 (Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace) avec 59% des prélèvements totaux de ces gros industriels.

Cependant, l'évolution des besoins de l'espèce humaine à horizon 2090 est très difficile à imaginer. En effet, le progrès technique va certainement nous amener vers de nouveaux besoins, qui sont pour l'instant inconnus. Ainsi, la composition que l'on connaît actuellement des branches industrielles sur le territoire de la région Grand Est, risque d'évoluer considérablement. On peut ainsi s'interroger sur les produits qui seront proposés sur le marché automobile : l'intégralité du parc fonctionnera-t-il à l'électricité ? Est-ce que seuls des petits modèles seront fabriqués afin de

limiter la consommation d'énergie ? L'industrie du plastique sera-t-elle complètement remplacée par des produits à base d'amidon ?

Tableau 17 : volumes moyens prélevés en eau de surface sur la période 2012-2017 pour les industriels prélevant plus d'un million de mètres cubes par an

Activité principale de l'entreprise	Zone homogène											Total
	17	20	21	23	24	25	26	27	28	32	35	
Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles et de kaolin			1 375 694									1 375 694
Fabrication d'articles céramiques à usage domestique ou ornemental											9 057 936	9 057 936
Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a.				81 034 214								81 034 214
Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base		97 237 292										97 237 292
Fabrication de fours et brûleurs	1 261 827											1 261 827
Fabrication de matières plastiques de base										1 494 239		1 494 239
Fabrication de papier et de carton	2 111 612			2 766 940		3 331 098	1 631 243					9 840 893
Fabrication de produits amylacés			20 759 746									20 759 746
Fabrication de produits azotés et d'engrais		120 652 185										120 652 185
Fabrication de verre plat		7 748 902										7 748 902
Fonderie de fonte							1 834 868		7 023 774			8 858 642
Métallurgie du cuivre					2 406 922							2 406 922
Production de sel				3 861 148								3 861 148
Sidérurgie							1 154 596	14 393 489				15 548 085
Total des volumes moyens prélevés en eau de surface 2012-2017	3 373 439	225 638 380	22 135 440	87 662 302	2 406 922	3 331 098	4 620 707	14 393 489	7 023 774	1 494 239	9 057 936	381 137 725

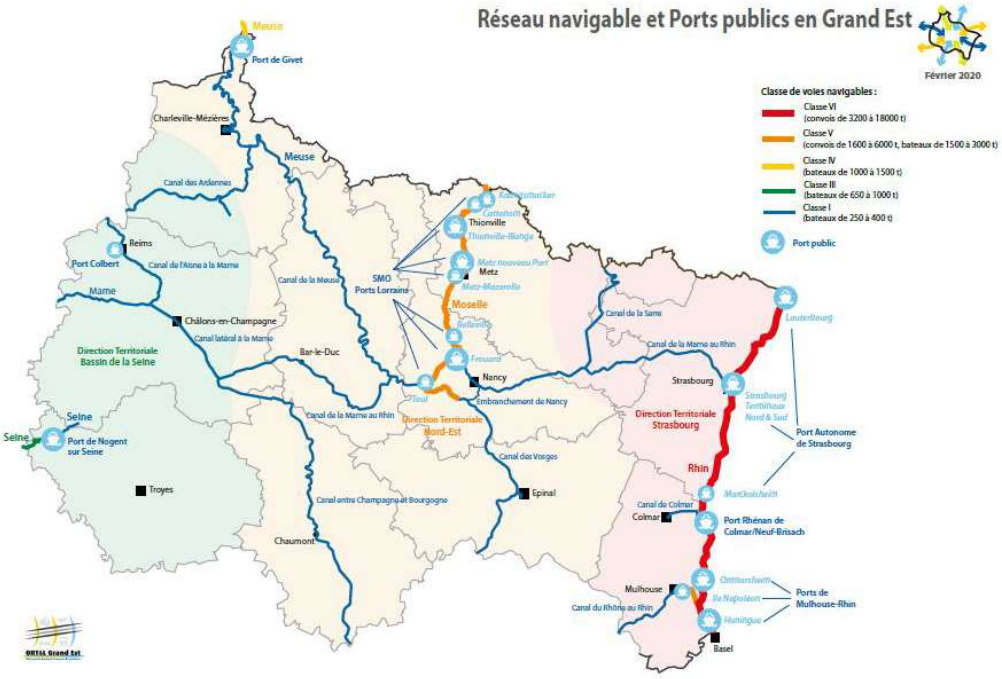
Se pose également la question des produits chimiques destinés à l'agriculture. Si le scénario identifié dans Afterres venait à se réaliser, ce type de produit ne serait plus utilisé et les usines pourraient se tourner vers la fabrication d'autres types de produits.

Face à cette difficulté nous proposons de conserver les volumes proposés pour les scénarios à horizon 2050 pour l'horizon 2090.

4.6.6 Les canaux

La navigation commerciale sur certains tronçons fluviaux s'est ralentie ces dernières années et on peut s'attendre à une poursuite de cette tendance, notamment sur les petits gabarits (inférieurs à 38,5 m). Les prélèvements dans les milieux aquatiques pour l'alimentation des canaux vont être de plus en plus difficiles à justifier, au regard notamment des futurs besoins agricoles. Certains tronçons pourraient donc être moins alimentés puisque la hauteur de mouillage ne pourra plus être garantie au regard des problématiques de pluviométrie et de soutien d'étiage sévère.

Figure 19 : Le réseau navigable et les ports du Grand Est (Source : VNF)



Les hypothèses suivantes sont proposées **pour le scénario IPLS 4.5** :

- Les prélèvements pour les classes de voies navigables VI (convois de 3200 à 18 000 tonnes) et de voies navigables V (convois de 1600 à 6 000 tonnes et bateaux de 1 500 à 3000 tonnes) seront conservés car la navigation sur ces canaux va perdurer.
- Les prélèvements pour le canal de la Seine restent identiques car ce canal pourrait être utilisé en 2090.
- Les canaux de classe 1 ne sont pratiquement plus utilisés et les prélèvements associés sont réduits de 20%.

Les hypothèses suivantes sont proposées **pour le scénario CNRM 8.5** :

- Les prélèvements pour les classes de voies navigables VI (convois de 3200 à 18 000 tonnes) et de voies navigables V (convois de 1600 à 6 000 tonnes et bateaux de 1 500 à 3000 tonnes) seront conservés car la navigation sur ces canaux va perdurer.
- Les prélèvements pour le canal de la Seine restent identiques car ce canal pourrait être utilisé en 2090.
- Les canaux de classe 1 ne sont pratiquement plus utilisés et les prélèvements associés sont réduits de 50%.

4.6.7 Synthèse des usages selon les hypothèses présentées

Le tableau suivant synthétise l'ensemble des résultats de l'analyse prospective menée aux horizons 2030, 2050 et 2090. A noter que les volumes présentés ne correspondent pas tous à des prélèvements nets (comme par exemple pour l'hydroélectricité). Les volumes associés à la consommation humaine indiquent les volumes réellement consommés et non les volumes prélevés dans le milieu naturel (l'impact sur les fuites des réseaux d'eau potable n'est pas présenté ici).

Tableau 18 : Évolution des volumes consommés (en millions de m³)

En millions de m3	Moyenne 2012-2017	2030		2050		2090		2012-2017/2090	
		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 AEP	221	205	205	207	208	185	202	-16,0%	-8,5%
Irrigation	122	129	135	129	135	134	137	10,4%	12,6%
Cheptel	26	25	26	23	24	25	24	-4,5%	-7,1%
Industrie	492	487	487	479	479	479	479	-2,6%	-2,6%
Centrale énergie	2 755	1 125	1 125	1 125	1 125	798	717	-71,0%	-74,0%
Hydroélectricité	289 890	305 483	305 483	330 225	330 225	330 225	330 225	13,9%	13,9%
Canaux	1 591	1 432	1 511	1 400	1 511	1 209	995	-24,0%	-37,5%
Total	295 096	308 886	308 973	333 588	333 707	333 056	332 779	12,9%	12,8%

Les volumes dédiés à l'irrigation, et à l'hydroélectricité devraient augmenter à l'horizon 2090 par rapport à la période de référence (2012-2017). Les volumes dédiés aux canaux, au refroidissement des centrales d'énergie, à l'industrie, à l'alimentation du cheptel et à la consommation domestique seront en diminution.

Figure 20 : Évolution des usages selon les différents scénarios

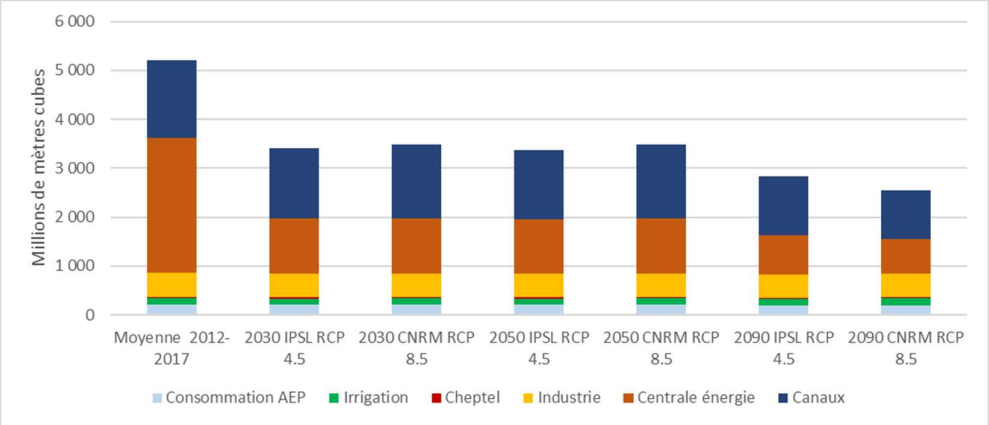


Figure 21 : Évolution de l'hydroélectricité selon les différents scénarios

4.6.8 Conclusions sur l'évolution des usages

Pour identifier les besoins en eau des différents usages à fin de siècle, de nombreuses hypothèses ont été posées. Elles sont majoritairement basées sur la connaissance des chercheurs et des experts des évolutions probables des différentes activités à ce jour.

Cependant ces hypothèses <u>n'ont pas permis d'obtenir un consensus</u> au sein des membres du comité technique de l'étude :

- **Pour la consommation domestique :** les hypothèses d'évolution de la population de l'Insee étaient validées mais l'évolution du comportement des consommateurs n'a pas semblé suffisamment fiable pour être retenue,
- **Pour les usages agricoles :** à ce jour les évolutions probables du système agricole et des solutions envisagées pour l'irrigation (stockage d'eau…) ne peuvent être déterminées précisément. En effet, l'importance du progrès technique ne peut être totalement identifiée et son impact sur les systèmes d'irrigation sera certainement non négligeable. Par ailleurs, le conflit Russo-Ukrainien va également impacter le choix des cultures et remettra en cause un certain nombre d'hypothèses basée sur une situation de paix.
- **Pour l'énergie :** les réacteurs des trois centrales nucléaires de la région Grand-Est seront obsolètes d'ici 2100 mais les hypothèses sur les EPR susceptibles de les remplacer ne peuvent être validées par EDF qui, bien qu'ayant été sollicitée, ne peut actuellement présenter une stratégie énergétique à un tel niveau de détail.
- **Pour l'hydroélectricité :** il a été convenu qu'il semble peu probable que de nouvelles centrales hydrauliques soient installées au regard de la problématique du soutien d'étiage d'ici 2100.
- **Pour l'industrie :** la méconnaissance des nouveaux besoins des consommateurs suite au progrès technique et à leur changement de comportement ne permet pas d'identifier les secteurs d'activités qui seront concernés par d'éventuels changements.
- **Les canaux :** les hypothèses proposées visent à conserver les canaux de gros gabarit (classe VI) et à fermer certains petits canaux (classe I). Mais VNF n'a pas encore établi de stratégie à l'horizon 2100 et ne peut donc valider ces hypothèses.

Face à ce constat, Il est donc proposé de <u>conserver pour 2090 les volumes estimés à l'horizon 2050</u>.

4.7 Mise en œuvre des hypothèses retenues pour les usages

L'estimation des **évolutions socio-économiques des usages de l'eau et de la population** à l'horizon fin de siècle a fait l'objet de nombreux débats : peu de données sont disponibles sur les possibles évolutions au-delà du moyen terme (horizon 2050), ces dernières étant difficilement perceptibles et approchables par les acteurs locaux eux-mêmes.

De ce fait, **une stabilité des usages à partir de l'horizon 2050 a été considérée (usages à fin de siècle identiques à ceux évalués en 2050).** Le détail des hypothèses est disponible dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude « Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et proposition d'actions ».

Seule la sur-évaporation des plans d'eau et canaux, estimée directement avec les données issues de DRIAS via un bilan hydrique, **sera mise à jour**.

Pour la projection des bilans hydrologiques et le calcul des indicateurs, les projections des usages 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 à l'horizon fin de siècle (le fait de déduire des chroniques projetées de prélèvements-rejets des chroniques observées n'aurait ici guère de sens).
- **On utilise les ratios d'évolution des prélèvements et des usages directement issus du volet socio-économique pour mettre à jour les valeurs annuelles moyennes puis les moyennes mensuelles**. 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 et des canaux est mise à jour à partir des nouvelles valeurs d'ETP.

Voir pages « Estimation des prélèvements/rejets annuels à l'horizon 2090 » et « Estimation des prélèvements/rejets mensuels à l'horizon 2090 »

Les fiches présentent par secteur :

- **Une synthèse de l'évolution annuelle des prélèvements / rejets** :
  - Un tableau des **pourcentages d'évolution de chacun des usages** estimés à l'horizon 2090 par scénario ;
  - Un tableau des **volumes annuels estimés par usages et par scénario** à l'horizon 2090 ;
  - Des graphiques montrant la **répartition des usages selon les scénarios** à l'horizon 2090.
- **Une synthèse de l'évolution mensuelle des prélèvements / rejets** :
  - Des tableaux explicitant la ventilation mensuelle de chacun des usages à l'horizon 2090 pour les deux scénarios ;
  - Des graphiques présentant les variations mensuelles des prélèvements/rejets et leur répartition par usage selon les scénarios ;
  - Un graphique comparant l'évolution des prélèvements/rejets mensuels des deux scénarios à l'horizon 2090 par rapport à la période de référence.

Enfin, une synthèse mensuelle et annuelle des prélèvements nets est proposée à l'horizon fin de siècle.

Voir page « Estimation des prélèvements nets à l'horizon 2090 »

4.8 Mise à jour des indicateurs pour les différents scénarios

Les différents indicateurs présentés au paragraphe 3.2 sont calculés à partir des variables projetées à l'horizon fin de siècle.

Voir page « Synthèse des indicateurs et évolution des caractéristiques climatiques, des prélèvements et des rejets à l'horizon 2090 »

PARTIE 2

ANALYSE DES RESULTATS

5. PREAMBULE

Dans cette partie du rapport, nous analysons l'ensemble des résultats de calculs produits par la mise en œuvre de la méthodologie présentée dans la partie 1.

Cette seconde partie analyse donc l'évolution des différentes tensions liées aux prélèvement effectués sur chacune des zones homogènes définies lors de l'étude initiale rappelées sur la Figure 2, à l'horizon fin de siècle et pour chacun des différents scénarios :

- Scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2090,
- Scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090.

Dans le but d'analyser les pressions envisageables à long terme sur les 35 secteurs définis sur la région grand Est, sont notamment passés en revue :

- L'évolution des **prélèvements,**
- 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 estimées et variations),
- Les différentes **variables hydrométéorologiques** permettant de calculer les indicateurs en **valeurs saisonnières** (valeurs estimées et variations).

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 19 : 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

6. CATALOGUE DE FICHES DETAILLANT L'ENSEMBLE DES INFORMATIONS LOCALES A FIN DE SIECLE

Les informations détaillées obtenues sur chaque secteur homogène à l'horizon fin de siècle sont consignées dans un ensemble de fiches, constituant un document annexé au présent rapport.

Pour rappel, ces fiches 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 estimée,
  - 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,**

7. LES PRELEVEMENTS : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE

Pour mémoire : ainsi qu'il a été vu précédemment, en l'absence de données permettant de fiabiliser des projections à fin de siècle, on a considéré une stabilité des prélèvements à fin de siècle (2090) par rapport à ceux du milieu de siècle (2050). Seuls les prélèvements correspondant à la sur évaporation des plans d'eau ont pu être actualisés (en lien direct avec l'augmentation des températures et de l'évaporation).

7.1 Présentation des documents illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des différentes variables annuelles et de leurs évolutions sont présentés en annexe 1, qui comprend successivement :

- **Les valeurs annuelles des prélèvements calculées sur chaque zone homogène pour les différentes situations :**
  - **La situation actuelle (à titre de rappel),**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2090,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090,**

  Pour chaque zone homogène, sont présentées les moyennes annuelles suivantes :
  - **Les prélèvements par usages :**
    - AEP (mm),
    - Industrie (mm),
    - Irrigation (mm),
    - Abreuvement du bétail (mm),
    - Alimentation des canaux (mm),
    - Refroidissement des centrales énergétiques (mm),
    - Surévaporation des plans d'eau et canaux (mm),
    - Stockage dans les réservoirs (mm),
    - Usages inconnus (mm).
  - **Les prélèvements totaux :**
    - Souterrains (mm),
    - Superficiels (mm),
    - Total général (mm).

    Ces variables sont signalées par un code couleur Vert (faible) / Jaune (moyen) / Rouge (Fort) relatif à chaque colonne.
- **Les écarts de prélèvements par rapport à la situation actuelle obtenus pour les différents scénarios :**
  - **Le scénario 4.5 IPSL à l'horizon 2090,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090,**

  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 vert pour diminution du prélèvement, rouge pour une augmentation)

- **Un tableau des écarts <u>absolus</u> (en mm).**
  Les échelles de curseurs sont définies sur l'ensemble des usages et prélèvements totaux, selon un code couleur vert (diminution) et rouge (augmentation).

7.2 Analyse

Une analyse des **prélèvements par secteur homogène <u>sur la période actuelle (2008-2017)</u>** est disponible dans le **rapport de l'étape 1.2** de l'étude « Etat quantitatif des ressources en eau du Grand Est : évaluation prospective 2030-2050 et propositions d'actions ». Quelques ordres de grandeurs sont rappelés ci-dessous :

- Sur l'ensemble des zones homogènes, les prélèvements totaux varient entre **3** mm et **500 mm**, avec une moyenne de **78.7 mm** et un prélèvement médian de 35.8 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).
- Par ordre décroissant en volume, les prélèvements se hiérarchisent comme suit (moyenne estimée sur la période 2008-2017) :
  - **1611 Mm3/an (Alimentation des canaux),**
  - **747 Mm3/an (industrie),**
  - **650 Mm3/an (Stockage dans les réservoirs),**
  - **487 Mm3/an (AEP),**
  - **263 Mm3/an (Energie – Refroidissement : prélèvement net),**
  - **120 Mm3/an (Irrigation),**
  - **41 Mm3/an (Surévaporation dans les plans d'eau et canaux),**
  - **14,6 Mm3/an (Abreuvement**),
- **Les prélèvements souterrains** (Moyenne 17.0 mm, médiane 7.6 mm) restent globalement **de moindre ampleur – en volume –** que les prélèvements de surface (Moyenne 64.57 mm, médiane 18.90 mm) :
- **Concernant les prélèvements estivaux :**
  - Les « prélèvements estivaux » correspondent, sur chaque zone homogène, au prélèvement <u>mensuel</u> 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 <u>annuel</u> 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 :
    - Affluents crayeux Marne, Seine et Aube (secteurs 2. à 5.),
    - 13 : Corridor Aube,

- 17 : Fecht, Weiss et Lauch.

Comme annoncé au paragraphe, **les usages à l'horizon fin de siècle (2090) sont considérés comme équivalents à ceux estimés à l'horizon 2050**. Les évolutions correspondantes sont rappelées ci-dessous :

- **Une diminution substantielle de la consommation AEP**, en moyenne de -7,2% pour le scénario RCP 4.5 (IPSL), et de -7.6% selon le scénario RCP 8.5 (CNRM), 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),
  - Les secteurs 23 (Meurthe) et 26 (Moselle amont), suite à un transfert de prélèvement de la Moselle vers la Meurthe pour l'AEP annoncé par la métropole du Grand Nancy.
  - Considérée en valeur absolue, cette baisse est de l'ordre de 1 à 3 mm selon les secteurs.
- **Une tendance généralisée à la baisse des besoins industriels**, à l'exception des secteurs suivants sur lesquels une hausse sensible (de +2 à +11%) est attendue :
  - 4. Affluent Crayeux Seine et Aube – Craie de champagne Centre,
  - 7. Aisne aval,
  - 10. Brie et Tardenois,
  - 15. Corridor seine,
  - 25. Meuse médiane,
  - 26. 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 35. Thur).
- Une **hausse sensible des besoins en irrigation** pour l'ensemble des secteurs concernés :
  - De +5 à +10% pour le scénario IPSL,
  - De +10 à +15% pour le scénario CNRM, caractérisé par une élévation de température légèrement supérieure en 2050.
  - Considérée en valeur absolue, cette hausse est de l'ordre de 1 à 4 mm selon les secteurs.
- **Une baisse des besoins pour l'abreuvement du bétail**, en lien avec les évolutions prévues pour le domaine agricole, de l'ordre de -10 à -20% à partir de l'horizon 2050. En lame d'eau, ces baisses restent marginales (de l'ordre du 10ème de mm).
- Une **baisse sensible des besoins pour l'alimentation des canaux** sur les secteurs concernés :
  - De -12% pour le scénario IPSL,
  - Plus modérée, de l'ordre de -5% pour le scénario CNRM, qui prévoit des températures plutôt plus élevées.
  - En valeur absolue, ces baisses peuvent correspondre à des volumes importants de 5 à 45 mm et concernent principalement les secteurs suivants :
    - 1. Affluents Crayeux Aisne – Craie de Champagne Nord
    - 7. Aisne aval,

- 22. Marne amont,
- 33. Saulx et Ornain,
- 14. et 15. Corridors Marne et Seine,
- 24. et 25. Meuse médiane et aval,
- 23. et 26. Meurthe et Moselle amont,
- 20. Plaine d'Alsace.

- **Une stabilité des besoins pour le refroidissement des centrales,** à l'exception notable du secteur 20. Plaine d'Alsace, du fait de la fermeture de la centrale de Fessenheim engendrant une chute drastique du besoin (baisse de 21 mm).

Concernant la surévaporation estimée au niveau des plans d'eau et canaux, directement liée aux évolutions climatiques, on constate des variations très importantes, contrastées selon les scénarios :

- Pour le **scénario RCP 4.5** (IPSL), une **baisse importante** de 4% à 61% de la surévaporation (moyenne à -35%), correspondant à une lame d'eau comprise entre 0 et 3mm.
- Pour le **scénario RCP 8.5** (CNRM), une **augmentation drastique** de la surévaporation comprise entre 95% et près de 400% (moyenne à +173%), correspondant à une lame d'eau de 0 à 13mm.

Pour rappel : la surévaporation des plans d'eau et canaux est calculée à partir de la différence entre l'ETM (évapotranspiration maximale) et l'ETR (évapotranspiration réelle) d'une prairie de même superficie (et de coefficient cultural Kc=1). Lorsque l'évaporation réelle ETR générée par la prairie est égale à l'ETM, la surévaporation considérée est nulle (un plan d'eau n'évapore pas plus que l'ETM). Lorsque l'évaporation réelle ETR générée par la prairie est inférieure à l'ETM (par exemple en cas de déficit pluviométrique et d'épuisement de la RFU), alors la surévaporation du plan d'eau est égale à ETM-ETR(prairie). Dans ces conditions on peut expliquer les baisses de surévaporation constatées pour le scénario 4.5 : l'évaporation augmente légèrement au printemps et en automne pour ce scénario, mais reste relativement stable en été, ce qui conduit à une légère augmentation du terme ETM sur l'année. D'un autre côté, la pluviométrie annuelle et estivale, plutôt en augmentation, permet à l'ETR(prairie) d'augmenter (en moyenne un peu plus que l'ETM), ce qui permet, en moyenne, au terme (ETM-ETR) – et donc à la surévaporation moyenne – de diminuer légèrement.

Tandis que les prélèvements totaux évoluaient à la baisse à l'horizon 2050 pour les deux scénarios (-5.3% pour le scénario RCP 4.5, -3.1% pour le scénario RCP 8.5), **cette dernière variable explique des évolutions des prélèvements totaux contrastées à l'horizon fin de siècle selon les scénarios**. On observe ainsi :

- **Pour le scénario RCP 4.5** :
  - Une **baisse globale des prélèvement totaux de -6.5% en moyenne**, pouvant atteindre près de -18% (6. Aisne Amont).
  - Trois secteurs voient leurs prélèvements légèrement augmenter (jusqu'à +6%), dans la Craie de champagne Sud et Centre (secteurs 2, 4 et 5), principalement du fait de l'augmentation des besoins pour l'irrigation (conformément aux hypothèses prises pour l'horizon 2050).
- **Pour le scénario RCP 8.5** :
  - Une augmentation moyenne des prélèvements de +1.6% : la baisse des prélèvements estimée en 2050 est en moyenne compensée par la surévaporation des plans d'eau.
  - Les situations sont contrastées selon les secteurs, selon le poids de la surévaporation face aux autres usages. On retiendra notamment :

- Une baisse significative (jusqu'à -12%) des prélèvements totaux sur les secteurs 30. Oise, 18. Haute Meuse, 12. Chiers, 26. Moselle Amont, 20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace, généralement liées aux baisses des prélèvement pour l'alimentation en eau potable ou pour l'alimentation des canaux considérées à l'horizon 2050.
- Une augmentation prononcée des prélèvements totaux (jusqu'à 26%) pour les secteurs de la Craie (2 à 5 et 10), 6. Aisne amont, 9. Blaise, 13. Corridor Aube et 29. Nied.

De même, les évolutions attendues durant la période estivale diffèrent selon les scénarios de changement climatique : de manière générale, les besoins en eau s'intensifient durant la période estivale, du fait notamment de l'irrigation et de la surévaporation des plans d'eau et canaux :

Pour le scénario RCP 4.5 :

- On observe une baisse moyenne des prélèvements estivaux de -8%.
- Seuls les secteurs sur lesquels l'irrigation est pratiquée voient leurs besoins augmenter significativement durant la période estivale (jusqu'à +12%) : Craie de champagne Sud et Centre (secteurs 2 à 5), ainsi que les affluents Vosgiens (secteurs 11, 16 et 17).

- **Pour le scénario RCP 8.5** :
  - Les prélèvements estivaux augmentent de façon importante, de +17% en moyenne et jusqu'à plus de +80% (secteurs 6. Aisne amont et 9. Blaise), notamment du fait de l'augmentation des besoins en irrigation et de la surévaporation des plans d'eau et canaux.
  - Seuls certains secteurs voient leurs prélèvements significativement baisser durant la période estivale : 18. Haute Meuse, 12. Chiers, 31. Saône amont.

7.3 Synthèse

A l'horizon fin de siècle, deux scénarios d'évolution des besoins en eau se dégagent selon les évolutions climatiques attendues :

- **Dans le cas du scénario « optimiste à médian » (IPSL RCP 4.5) :**
  - La baisse globale des prélèvements initiée aux horizons 2030 et 2050 – liée aux évolutions attendues sur l'AEP, l'industrie, l'alimentation des canaux ou l'abreuvement du bétail – s'accentue du fait de la baisse de la surévaporation des plans d'eau et canaux.
  - La hausse des besoins liés à l'irrigation reste significative, et induit une hausse des prélèvements estivaux par rapport à la situation de référence sur les secteurs concernés.
- **Dans le cas du scénario « pessimiste » (CNRM RCP 8.5),**
  - L'augmentation critique de la surévaporation des plans d'eau et canaux induit une augmentation générale des prélèvements, en moyenne annuelle et de façon plus prononcée encore durant la période estivale. Une baisse de niveau sévère des plans d'eau, voire un assèchement des petits plans d'eau de faible profondeur, semble probable en période estivale.
  - Seuls certains secteurs, sur lesquels les usages AEP, industrie, ou alimentation des canaux sont prépondérants, conservent une baisse des prélèvements par rapport à la situation actuelle.

8. LES INDICATEURS : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE

8.1 Présentation des éléments illustratifs

Les éléments synthétiques d'analyse des indicateurs et de leurs évolutions sont présentés en annexe 2, qui comprend successivement :

- Pour rappel : 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 quatre tableaux suivants fournissent les **valeurs des indicateurs mises à jour à l'horizon fin de siècle pour les deux scénarios étudiés**, ainsi que les **variations relatives** (en %, premier tableau pour chaque scénario) constatées par rapport à la situation actuell**e, 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 2090** (variations relatives puis variations absolues),
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090** (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 est 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%.

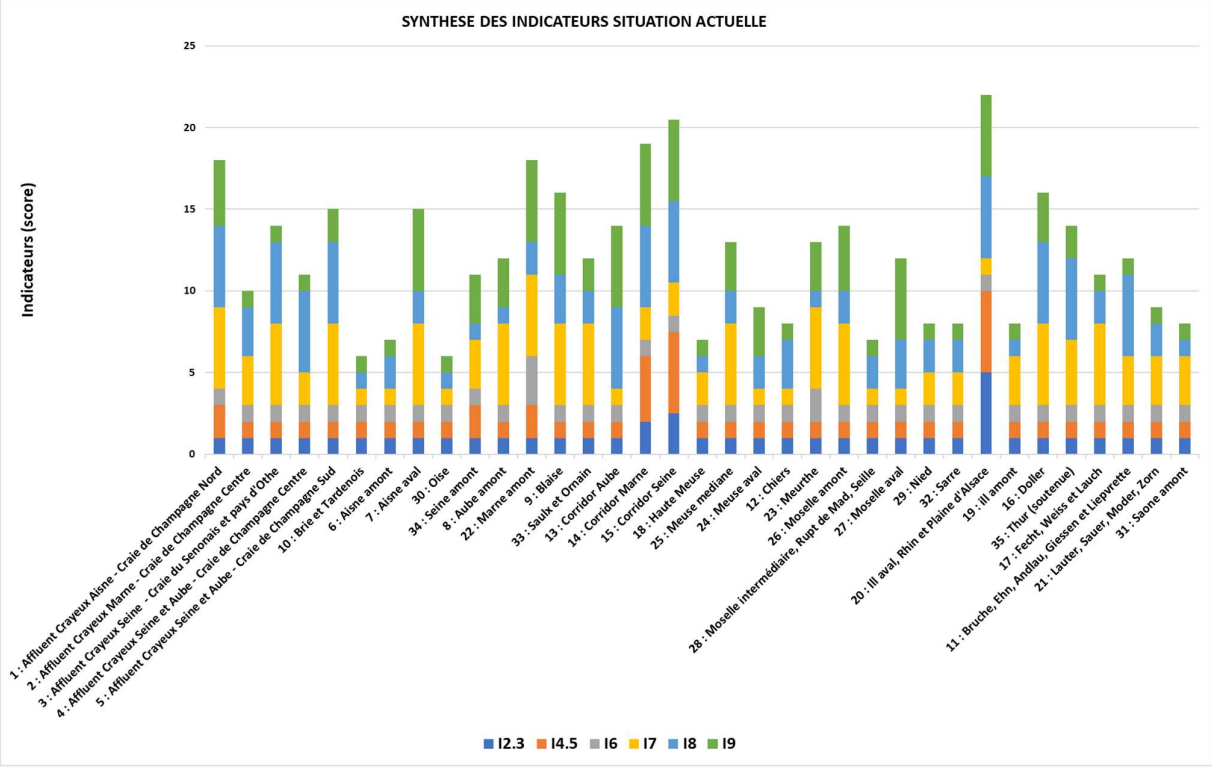
8.2 Analyse

Rappel : situation actuelle

Une analyse détaillée des indicateurs pour la **<u>période de référence</u> (2000-2019)** est disponible dans le rapport de l'étape 1.2 de l'étude initiale. On retiendra les points suivants :

- 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.
- Les indicateurs 2 à 9 permettent 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…).

Figure 22 : Représentation graphique globale simplifiée des indicateurs



Remarque : 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.

- 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…).
  - 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),
  - 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.
- Inversement, certains secteurs sont aujourd'hui relativement peu concernés par une pression des prélèvements : Chiers, Nied, Saône amont, Aisne amont, Haute Meuse, Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille, Brie et Tardenois, Oise.

Horizon fin de siècle

Pour le scénario RCP 4.5 IPSL, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- Une **baisse significative des indicateurs 2 à 6** (pression des prélèvements totaux/ souterrains sur la recharge du système/des nappes/les ressources superficielles, en prenant en compte ou non les rejets), en moyenne d'une dizaine de %, et comprise entre -1% et -24% (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. Une hausse de +1% à +13% peut néanmoins être constatée sur certains affluents vosgiens, notamment liée à une baisse de la recharge et de la pluie efficace sur ces secteurs (voir chapitre suivant) :
  - 16. Doller,
  - 35. Thur,
  - 17. Fecht, Weiss et Lauch,
  - 11. Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette.
- **L'indicateur 7 (situation estivale) est majoritairement en baisse**, en moyenne de -6,8% et pouvant atteindre -31,3% sur le secteur 6. Aisne Amont.
  - Les secteurs connaissant déjà une hausse de cet indicateur à l'horizon 2050 – très probablement du fait de l'augmentation des besoins pour l'irrigation – voient celle-ci se stabiliser :
    - Craie (secteurs 2 à 5),
    - 13. Corridor Aube,

- 16. Doller,
- 17. Fecht, Weiss et Lauch,
- 11. Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette.

- Les secteurs 35 (Thur), 21 (Lauter, sauter, Moder, Zorn) connaissent également une très légère augmentation de cet indicateur (moins de 1%).

- **L'indicateur 8** (pression des prélèvements souterrain sur la recharge nette des nappes) **connaît des évolutions très disparates**. Une majorité de secteur connaissent une baisse légère à sensible de l'indicateur comprise entre -2% et -50% en valeurs relatives. Le secteur 35. Thur est un cas particulier : on constate sur ce secteur une baisse de -2331%, liée à une recharge nette du système devenue négative. Enfin, une quinzaine de secteurs connaissent une augmentation modérée à très forte (de +5% à +7826%), généralement liée à une baisse conjuguée de la recharge et du module :
  - 6. Aisne Amont,
  - 33. Saulx et Ornain,
  - 14. Corridor Marne,
  - Meuse (secteurs 12, 18, 25),
  - 23. Meurthe,
  - 26. Moselle Amont,
  - 32. Sarre,
  - 20. Nappe d'Alsace,
  - Affluents vosgiens (secteurs 11, 16, 17, 19 et 35).
  - **L'indicateur 9** (pression des prélèvements sur la recharge nette du système) **est stable ou orienté à la baisse** sur l'ensemble des secteurs (jusqu'à -24% en valeur relative), hormis sur les secteurs 17. Fecht, Weiss et Lauch et 14. Corridor Marne qui connaissent respectivement une hausse de +5% et de +3.5% de cet indicateur.

Pour le scénario 8.5 CNRM, on relève, par rapport à la situation actuelle :

- **Une baisse légère à sensible des indicateurs 2 et 3** (comprise entre -1% et -19% en valeur relative), hormis sur les systèmes crayeux (secteurs 1. à 5. et 10.) et les secteurs 16. Doller et 35. Thur, en lien possible avec l'irrigation.
- **Concernant les indicateurs 4 à 6** :
  - Une **hausse légère à sensible est constatée sur une majorité des secteurs** (comprise entre +1% et +33%en valeur relative) liée à la baisse de la pluie efficace et du module. Elle est particulièrement marquée sur les secteurs 10. Brie et Tardenois, 6. Aisne Amont et 9. Blaise qui connaissent par ailleurs une augmentation sensible de leurs prélèvements.
  - Seuls six secteurs sont concernés par une baisse de ces indicateurs, comprise entre -1% et -13%.
- **L'indicateur 7 (situation estivale) augmente très fortement sur l'ensemble des secteurs**, avec des valeurs supérieures à 100% sur une grande majorité d'entre eux. Cette forte hausse est liée à l'augmentation nette du stress hydrique, qui impacte directement le QMNA5, celui-ci tendant généralement vers 0 dans le cadre des hypothèses réalisées (voir paragraphe suivant).
- **L'indicateur 8 connait de manière générale une baisse significative**, comprise entre -3% et -55%. Cette baisse est particulièrement marquée sur le secteur 20. Ill aval, Rhin et Plaine

d'Alsace, atteignant -88%. L'indicateur augmente néanmoins sur deux secteurs, de +9% sur le secteur 16. Doller, et de près de +100% sur le secteur 35. Thur.

- L'indicateur 9 évolue de manière identique à ce qui a pu être observé pour les indicateurs 4 à 6.

8.3 Synthèse

A l'horizon fin de siècle, **deux situations bien distinctes** sont décrites par les différents indicateurs de tension sur la ressource selon les scénarios étudiés. On constate ainsi :

- Pour le **scénario IPSL - RCP 4.5**, qui se situe dans la médiane de l'évolution de températures et des précipitations :
  - Une baisse générale des indicateurs et donc des tensions en moyenne annuelles, hormis sur les affluents vosgiens, du fait de l'augmentation des précipitations.
  - Une augmentation des tensions en période estivale (indicateur 7) sur une dizaine de secteurs, liée à une hausse des prélèvements pour l'irrigation sur cette période.
- Pour le **scénario CNRM - RCP 8.5**, qui correspond à un scénario pessimiste :
  - Une hausse plus fréquente et plus marquée des indicateurs sur les différents secteurs au niveau annuel, liée à la forte hausse des températures et à la baisse des précipitations.
  - Une situation critique en période estivale, liée en partie à une augmentation des prélèvements (irrigation et surévaporation des plans d'eau et canaux), mais surtout à la baisse des QMNA5 conséquente à la hausse du stress hydrique sur l'ensemble des régions.

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.

9. PRELEVEMENTS, REJETS, VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES : EVOLUTIONS PREVUES A FIN DE SIECLE

9.1 Présentation des documents illustratifs

Les tableaux 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 2090,**
  - **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090.**

  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 deux scénarios.** 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).

9.2 Analyse

L'analyse suivante portera dans un premier temps, sur les évolutions des variables climatiques en <u>moyennes annuelles</u>, puis sur les conséquences que leurs évolutions entraineront sur la recharge du système et la disponibilité des ressources en eau.

Variables climatiques

Les évolutions de ces deux variables (valeurs à l'horizon fin de siècle et variations par rapport à la situation actuelle) sont illustrées sur les cartes suivantes (températures puis ETP et pluies).

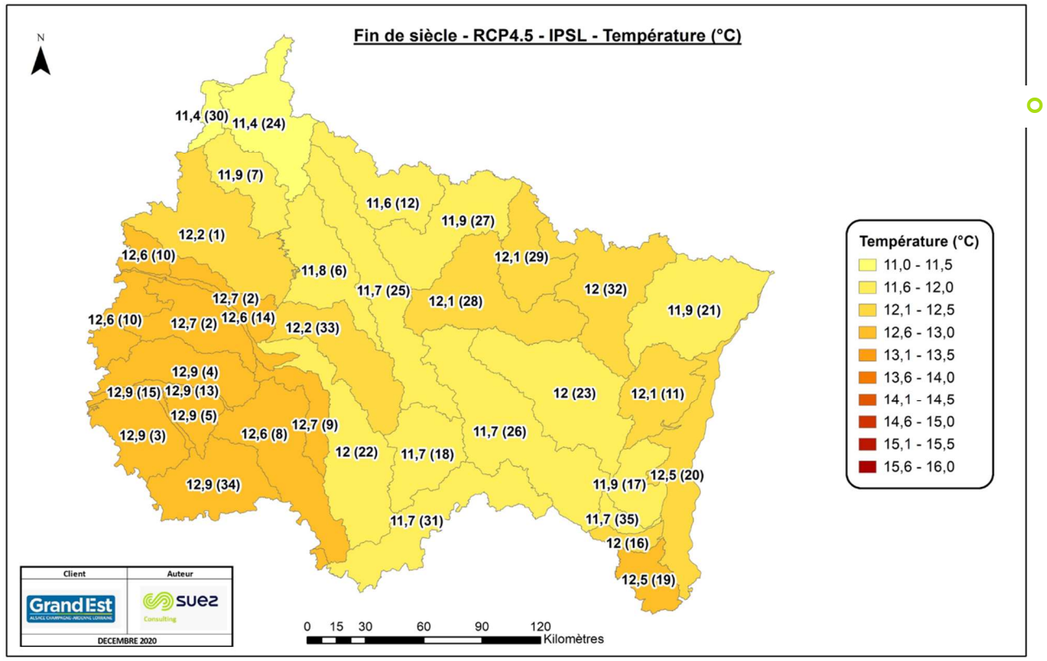
Concernant **<u>la température et l'évapotranspiration</u>**, on observe :

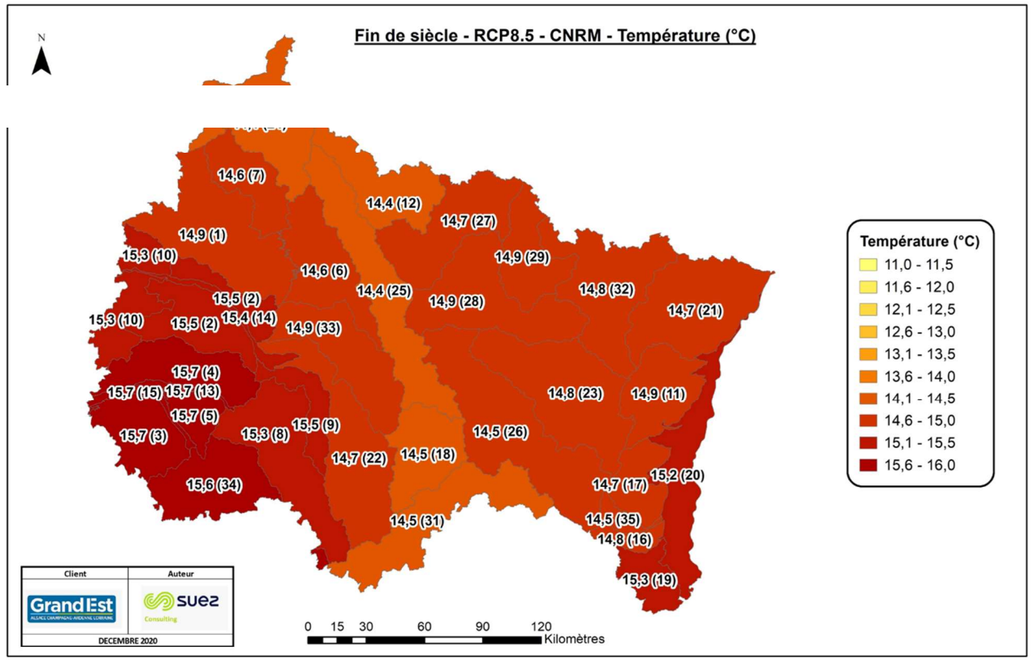
- **Pour le scénario 4.5 IPSL,** une **augmentation perceptible des températures sur toutes les zones**, en moyenne de +1.3°C et relativement homogène sur le territoire. Cette augmentation des températures **s'accompagne d'une augmentation – plus modérée – de l'ETP** (+4.9% en moyenne, soit +34.5 mm).
- **Pour le scénario 8.5 CNRM,** une **augmentation bien plus accentuée des températures sur toutes les zones** (en moyenne de +4.1°C) **s'accompagnant d'une augmentation de l'ETP** (+18.8% en moyenne par rapport à la situation actuelle soit +131mm).

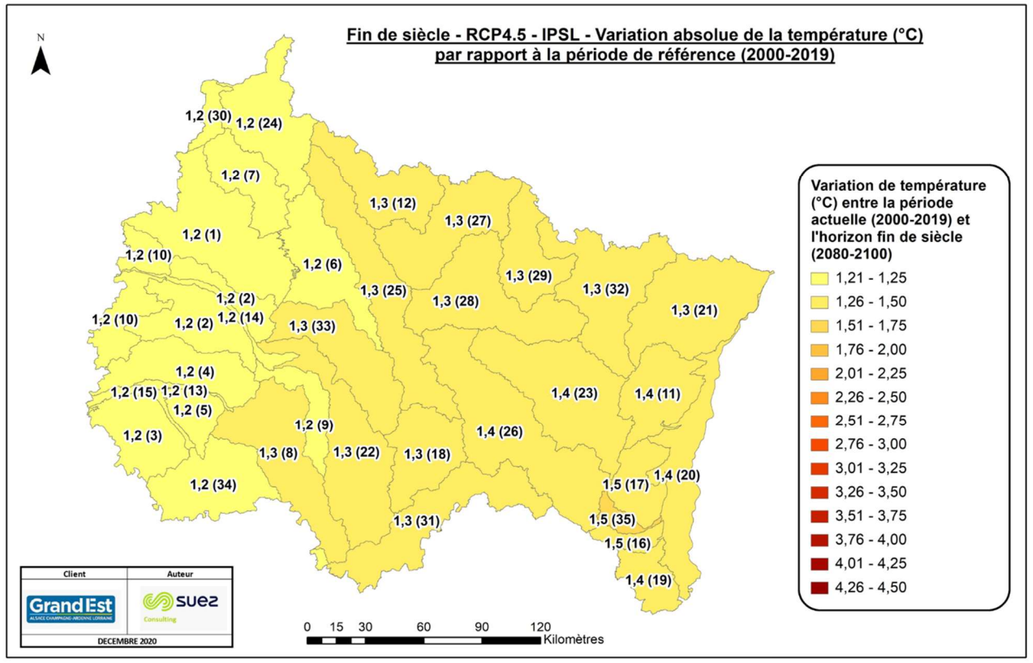
IPSL – RCP 4.5

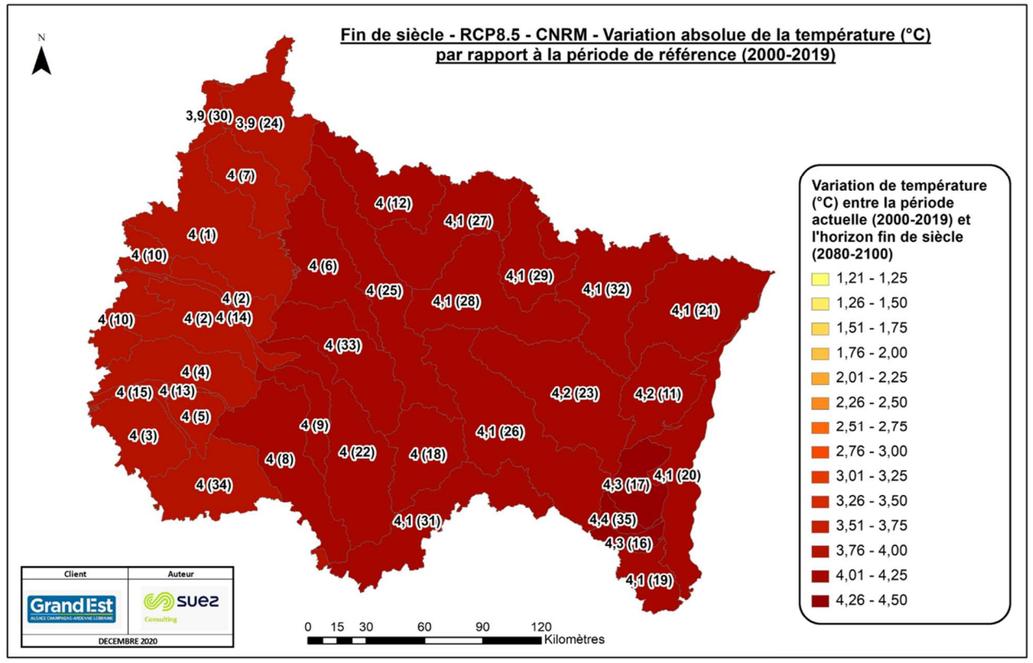
Figure 23 : Evolutions de la température pour les deux scénarios

CNRM – RCP 8.5





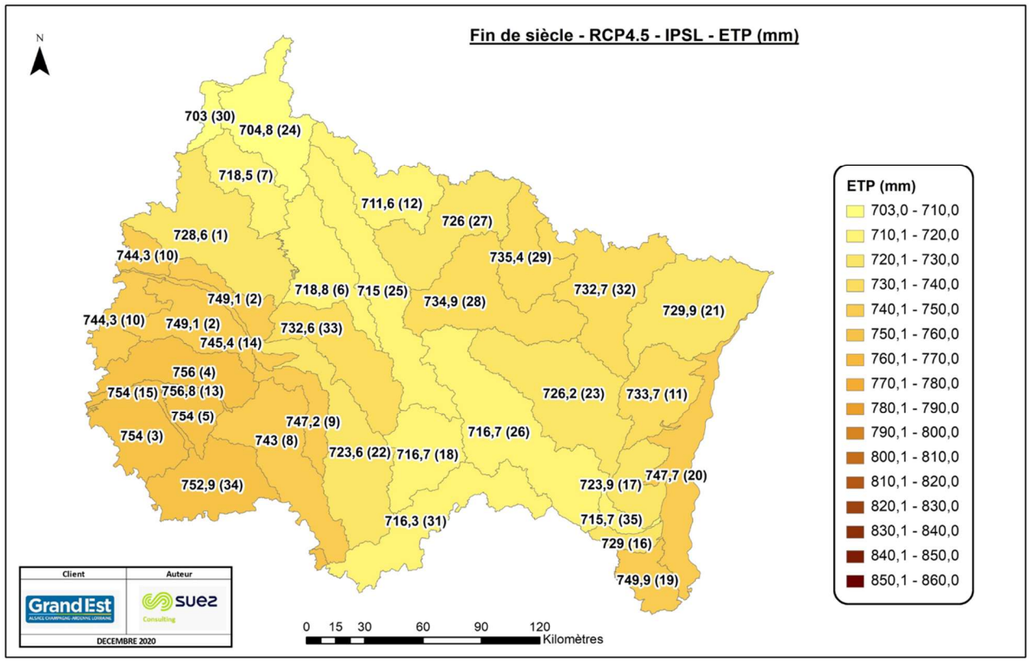


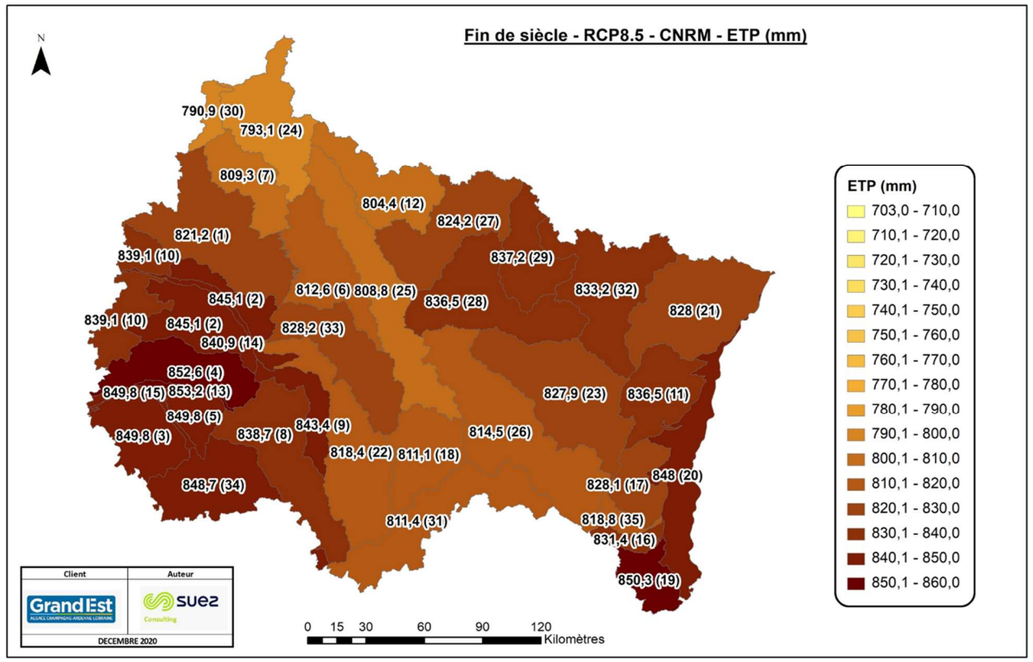


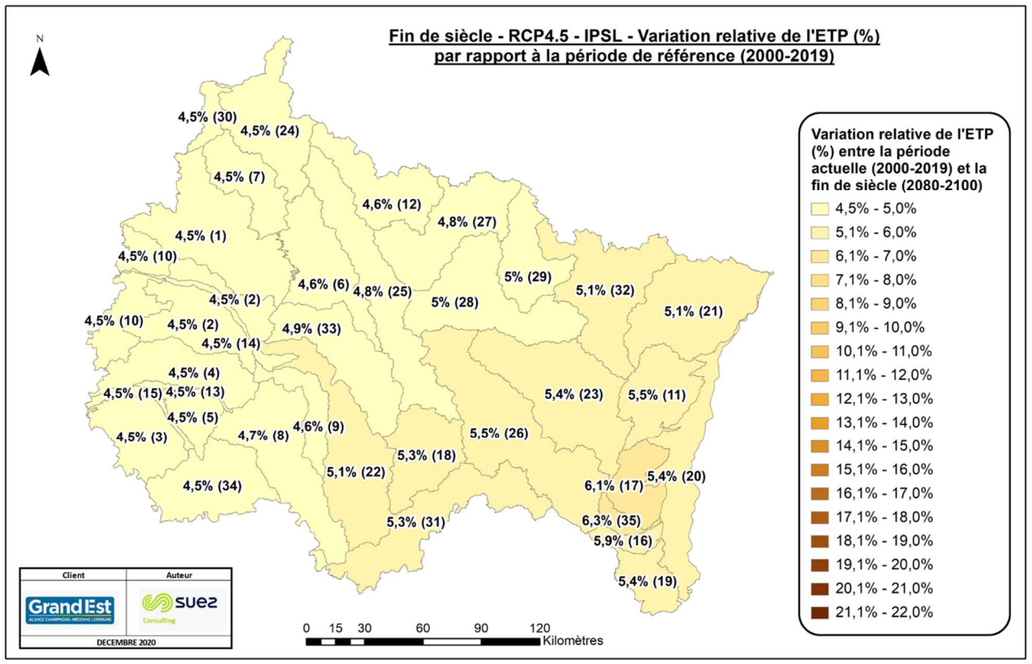
IPSL – RCP 4.5

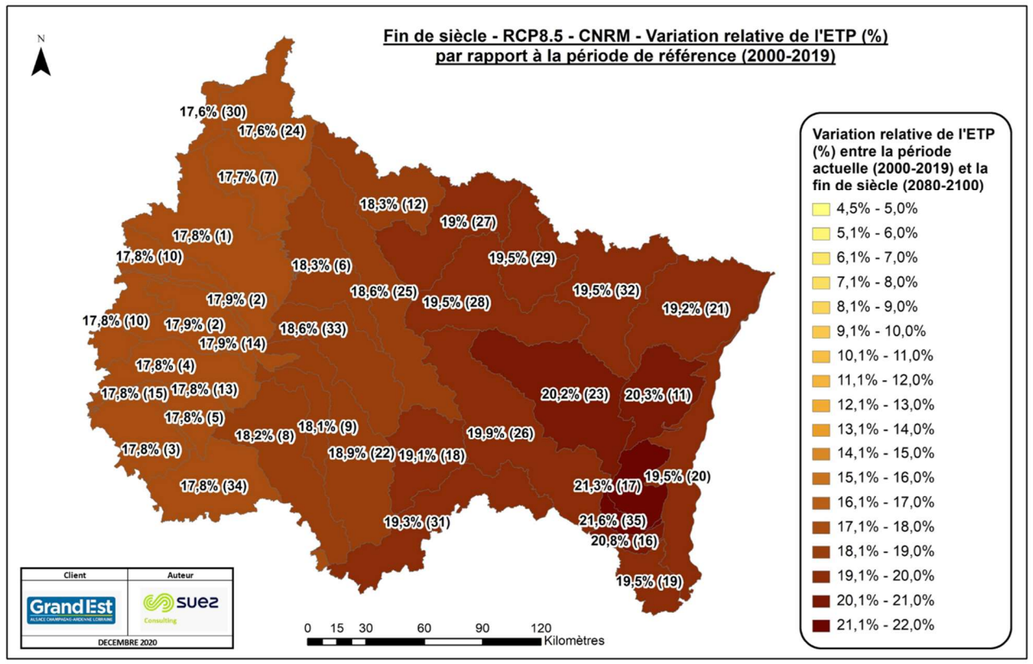
Figure 24 : Evolutions de l'ETP pour les deux scénarios

CNRM – RCP 8.5





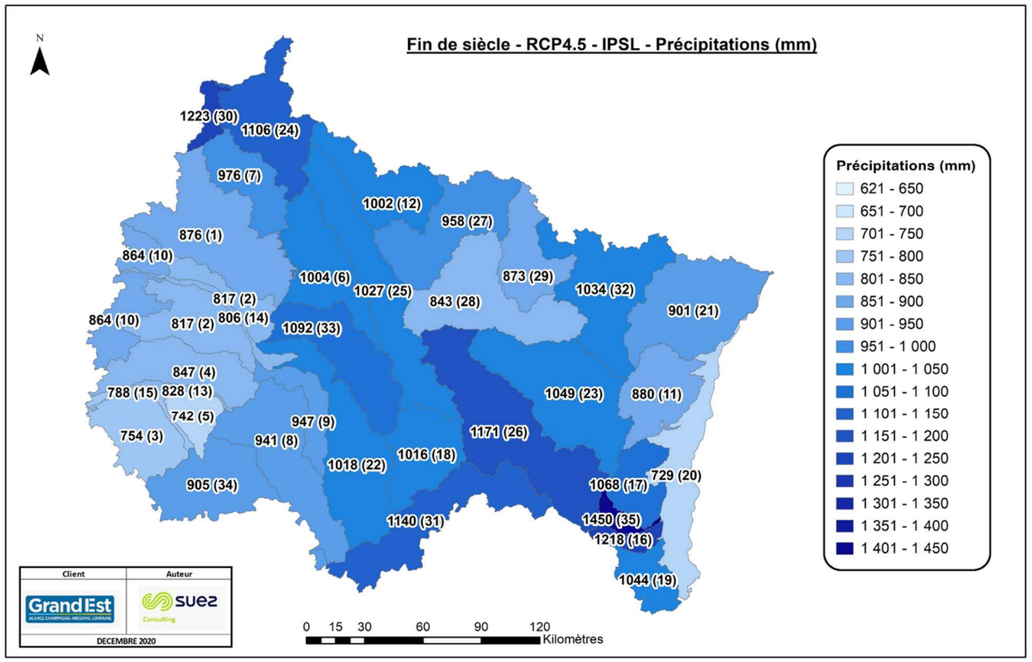


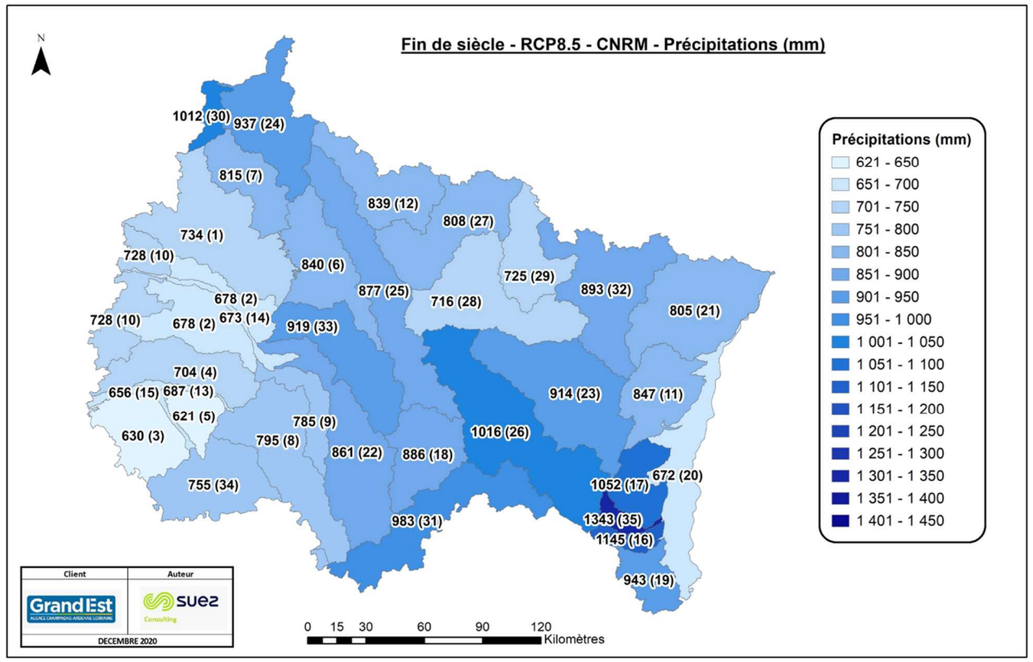


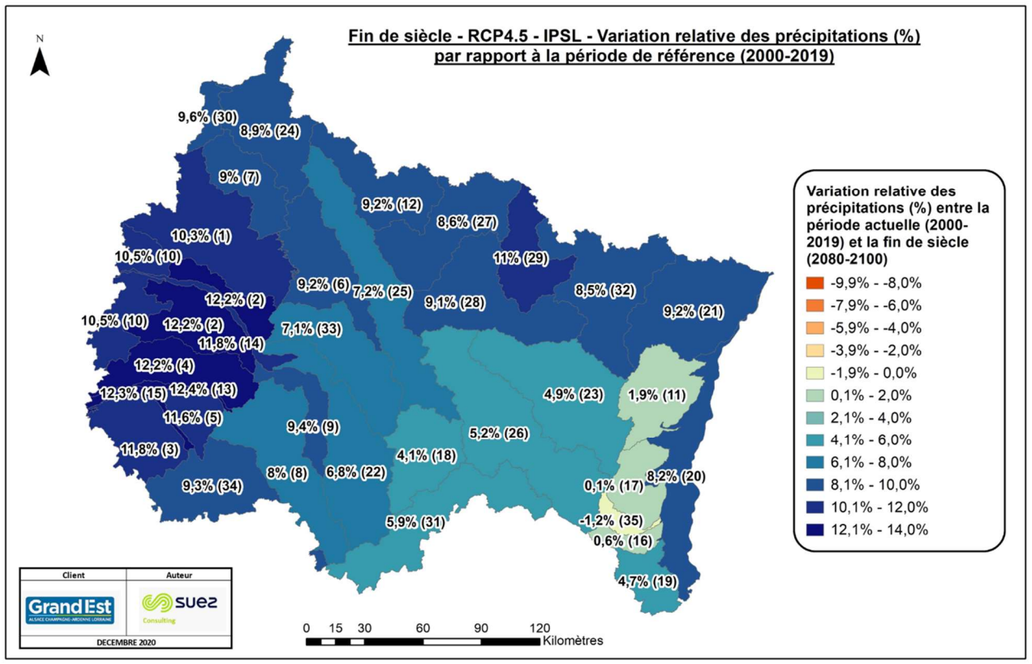
IPSL – RCP 4.5

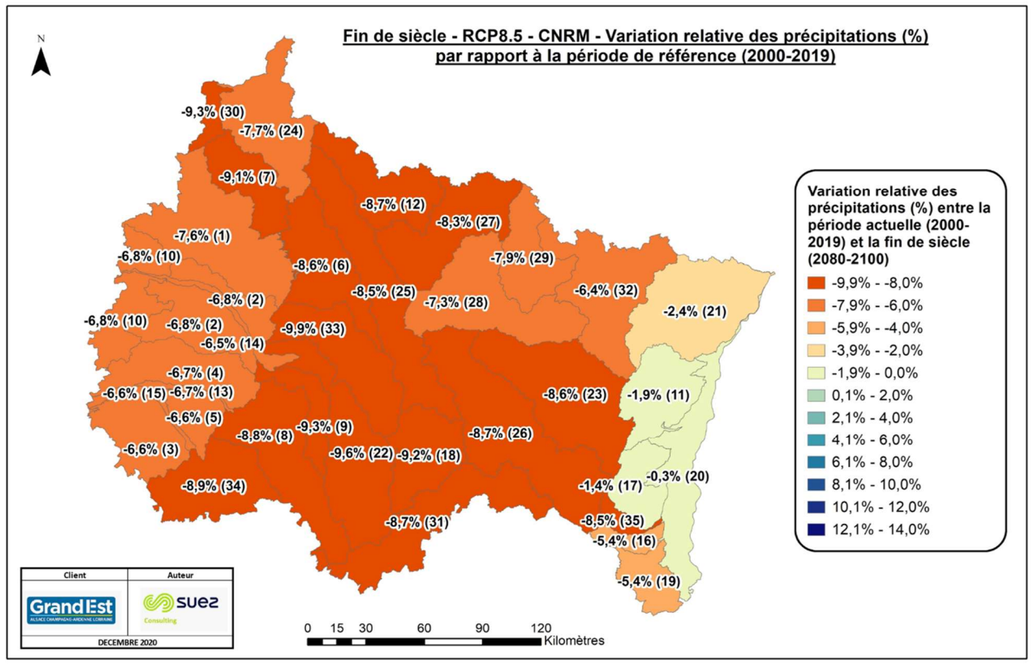
Figure 25 : Evolutions des précipitations pour les deux scénarios

CNRM – RCP 8.5









Concernant **les précipitations**, on observe :

- **Pour le scénario 4.5 IPSL, une augmentation de la pluviométrie annuelle sur l'ensemble de la région, (+8.0% en moyenne soit +67mm, localement jusqu'à +12.4%)**. Cette hausse est néanmoins moins marquée (inférieure à 5%) sur le secteur 18. Haute Meuse, les secteur 23 (Meurthe) et 26 (Moselle amont) et le flanc oriental des Vosges (secteurs 11., 16., 17., 19.). Le secteur 35. Thur connaît même une baisse des précipitations (-1.2% soit -17.8mm sur l'année).
- **Pour le scénario 8.5 CNRM, une baisse sensible de la pluviométrie annuelle généralisée à l'échelle de la région** (en moyenne -7.1% soit -65 mm par rapport à la situation actuelle), bien que moins accentuée sur la partie Alsacienne.

Conséquences sur les ressources

Pour le scénario 4.5 IPSL :

- L'augmentation sensible de la pluviométrie conduit, en dépit du réchauffement des températures **à une augmentation des recharges annuelles moyennes (+7.1% en moyenne, soit +8.7 mm) et des pluies efficaces (+7.7% en moyenne, soit +22.6 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 au niveau des corridors (secteurs 13. à 15.). Par ailleurs, consécutivement à la stabilisation (+/-5%) des précipitations sur la Haute Meuse (18.), la Meurthe (23.), la Moselle amont (26.) et le flanc oriental des Vosges (secteurs 11., 16., 17., 19., 35.) on observe une baisse de la recharge (-1% à -11%) et de la pluie efficace (de -1% à -6%) sur ces secteurs.
- Le **stress hydrique présente quant à lui une baisse quasi-généralisée, en moyenne de -4.1%** soit environ -9mm sur l'année, et jusqu'à -15%. La hausse des précipitations parviendrait ainsi à compenser la hausse de l'ETP. Cette variable augmente néanmoins sur les secteurs 18. Haute Meuse, 31. Saône amont et sur le flanc oriental des Vosges (secteurs 16., 35., 17., 11.), sur lesquels les précipitations étaient plus faibles.
- En ce qui concerne les débits :
  - Les **modules augmentent en proportion de l'augmentation constatée sur les pluies efficaces** (selon l'hypothèse réalisée).
  - Au regard de l'évolution à la baisse du stress hydrique, on considère une **stabilisation des QMNA5**. La hausse du stress hydrique sur les secteurs 18. Haute Meuse, 31. Saône amont et sur le flanc oriental des Vosges (secteurs 16., 35., 17.) se traduit néanmoins par une légère baisse du débit d'étiage (jusqu'à 4.2%) sur ces secteurs.

Pour le scénario 8.5 CNRM, le constat diffère nettement :

- La baisse de la pluviométrie **induit une baisse de la pluie efficace** (-3.3% en moyenne soit -18.4 mm, et atteignant -10% sur certains secteurs) **et du module** (évolution identique à la pluie efficace en valeur relative, ce qui correspond à une moyenne de -13,7 mm).
- En dépit de la forte hausse des températures et de la baisse des précipitations à l'échelle annuelle, on note une **relative stabilisation de la recharge annuelle sur la région** (+/- 5% généralement, jusqu'à -10% sur la Thur) et surtout une **augmentation très nette du stress hydrique** (+122,2% en moyenne, soit environ +270 mm), amenant à une **baisse critique du QMNA5** qui, évoluant en proportion inverse au stress hydrique selon les hypothèses définies, tendrait vers 0 sur l'ensemble de la région.

9.3 Synthèse

L'analyse des variables hydrométéorologiques annuelles, conjuguée à l'analyse des prélèvements menée au chapitre 7, permet de mettre en lumière les points suivants :

- **Pour le scénario IPSL - RCP 4.5**,
  - 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 annuels** sur l'ensemble des zones homogènes par rapport à la situation actuelle, hormis sur le flanc oriental des Vosges.
  - Les **dégradations constatées sur l'indicateur 7 (étiage)** sont liées à **l'augmentation des prélèvements estivaux** (irrigation) sur certains secteurs.
- **Pour le scénario CNRM - RCP 8.5**,
  - La **hausse importante des températures de l'ETP et la baisse significative de la pluviométrie, associées ponctuellement à une hausse des prélèvements**, contribuent, via une stabilisation de la recharge et une baisse des pluies efficaces, à une **dégradation des indicateurs annuels** sur de multiples secteurs.
  - La **chute critique des QMNA5** induite par la forte hausse du stress hydrique se traduit par des **tensions extrêmes sur la ressource en période estivale (indicateur 7**) sur l'ensemble des secteurs.

L'analyse des évolutions saisonnières conduite au paragraphe suivant permettra d'affiner ces résultats.

10. VARIATIONS SAISONNIERES DES VARIABLES HYDROMETEOROLOGIQUES PREVUES A FIN DE SIECLE

10.1 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 2090,**
- **Le scénario 8.5 CNRM à l'horizon 2090.**

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 »).

10.2 Analyse

L'analyse proposée se concentre sur l'évolution relative des différentes variables analysées – en moyennes annuelles et saisonnières - pour les horizons futurs :

Pour le scénario 4.5 IPSL, on note, par rapport à la situation actuelle, que :

- L'augmentation des températures concerne particulièrement l'hiver (+33% en moyenne), l'automne et le printemps (environ +15%). Elle est moins prononcée en été (près de +3%). Cela s'applique également à l'ETP.
- L'augmentation des précipitations constatée sur l'année est ici particulièrement marquée en été (+15% en moyenne) ainsi qu'au printemps et en hiver. Elle est moins prononcée sur certains secteurs, notamment à l'est des Vosges, avec parfois une baisse des précipitations sur les saisons automnes – hiver – printemps.
- Ces évolutions se répercutent sur les recharges et pluies efficaces qui augmentent de manière générale en hiver, mais connaissent quelques tensions sur certains secteurs au printemps et à l'automne. Les baisses significatives constatées en moyenne annuelle sur les secteurs avoisinant les Vosges apparaissent toute l'année sur ces secteurs, particulièrement l'été et l'automne.
- Une augmentation nette du stress hydrique apparaît en automne (de +11% à +57%) sur l'ensemble des secteurs, ainsi qu'au printemps pour une majorité d'entre eux.

Pour le scénario 8.5 CNRM, on relève, par rapport à la situation actuelle :

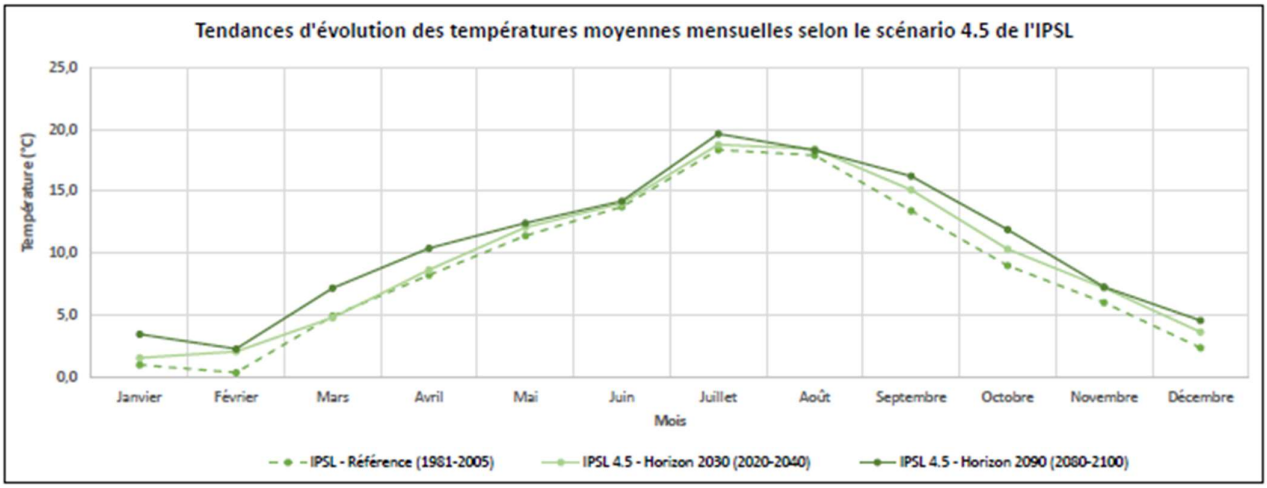
- Une augmentation très nette des températures tout l'année (autour de 30% en moyenne sur les saisons printemps-été-automne, et de +82% en hiver).
- Une baisse marquée de la pluviométrie en été (-27.1% en moyenne), ainsi qu'au printemps et à l'automne (respectivement -4.8% et -6.4%) ce qui induit une forte baisse de la recharge au printemps et à l'automne sur une majorité de secteurs. L'augmentation des précipitations en hiver compense cependant partiellement ce phénomène, et pourrait par ailleurs être à l'origine d'une augmentation du risque d'inondation et de ruissellement. Cette augmentation des pluies hivernales contribue à une augmentation significative de la recharge des nappes durant cette période particulièrement favorable (+3.5% en moyenne sur la région). Ceci explique que la recharge des nappes à l'échelle annuelle reste globalement stable ou en baisse limitée.
  La pluie efficace diminue également fortement l'été (près de -30% en moyenne) et de façon plus nuancée et plus localisée au printemps et à l'automne, tandis qu'elle augmente sensiblement en hiver (+6.6% en moyenne).
- Ces phénomènes induisent une situation de stress hydrique critique en été-automne sur l'ensemble de la région, ainsi qu'au printemps sur une dizaine de secteurs.

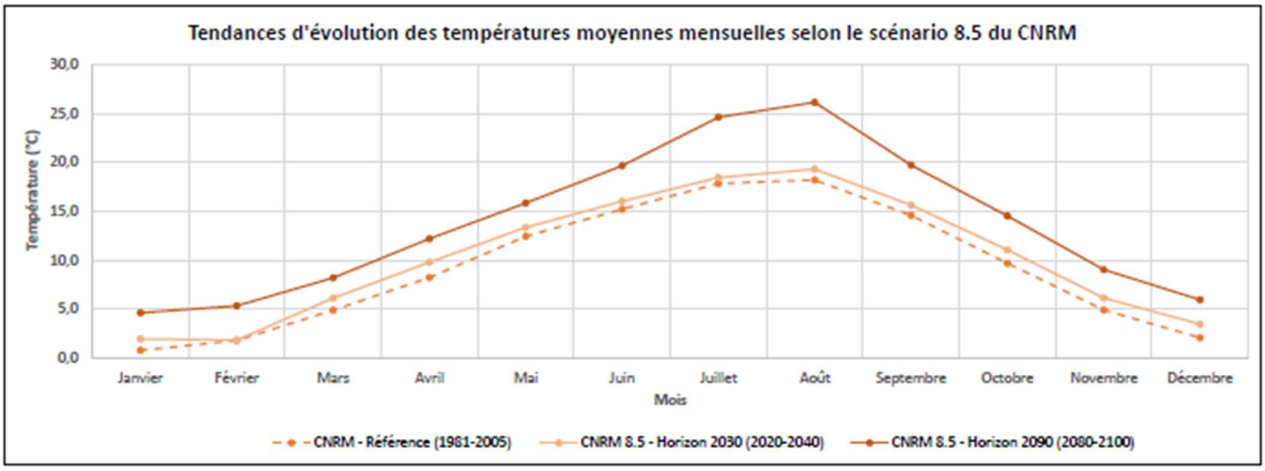
Afin d'illustrer les évolutions sur l'ensemble de l'année, différents exemples sont donnés pour les variables suivantes sur la zone homogène 26 (Moselle amont) :

- Figure 26 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 27 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 28 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 29 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 30 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)
- Figure 31 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

Figure 26 : Températures sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DES TEMPERATURES AUX HORIZONS 2030 ET 2090





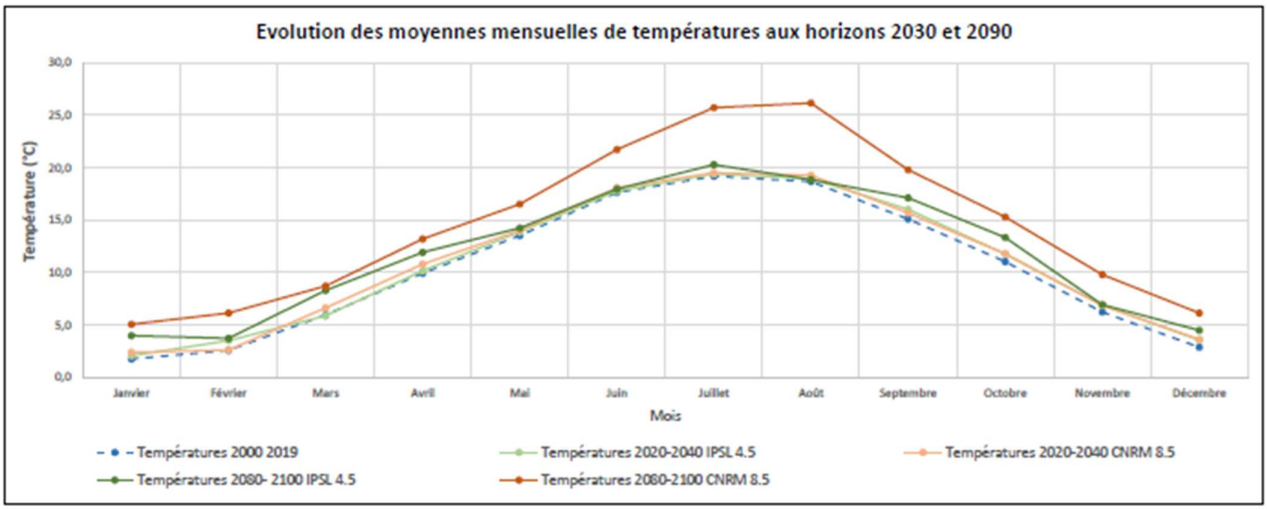
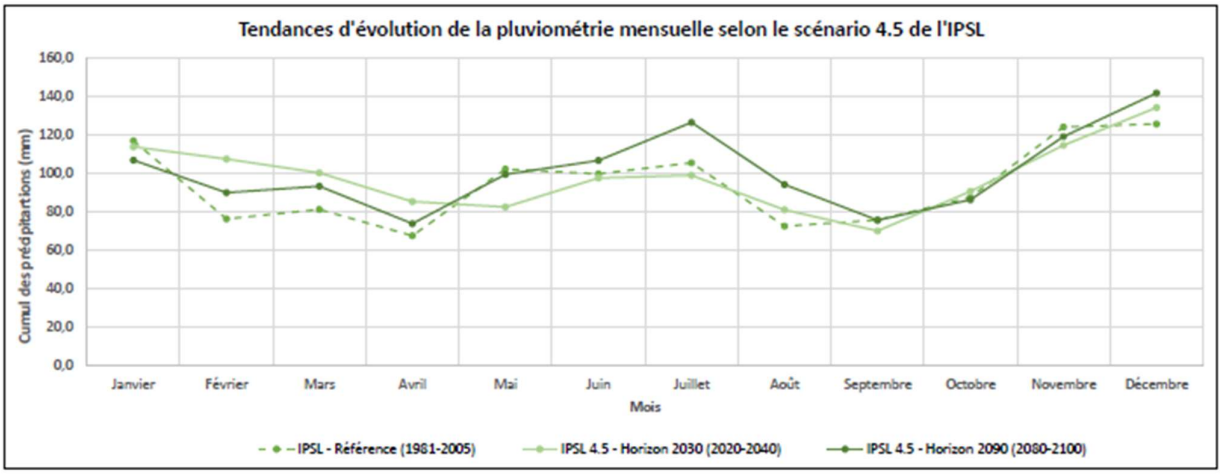
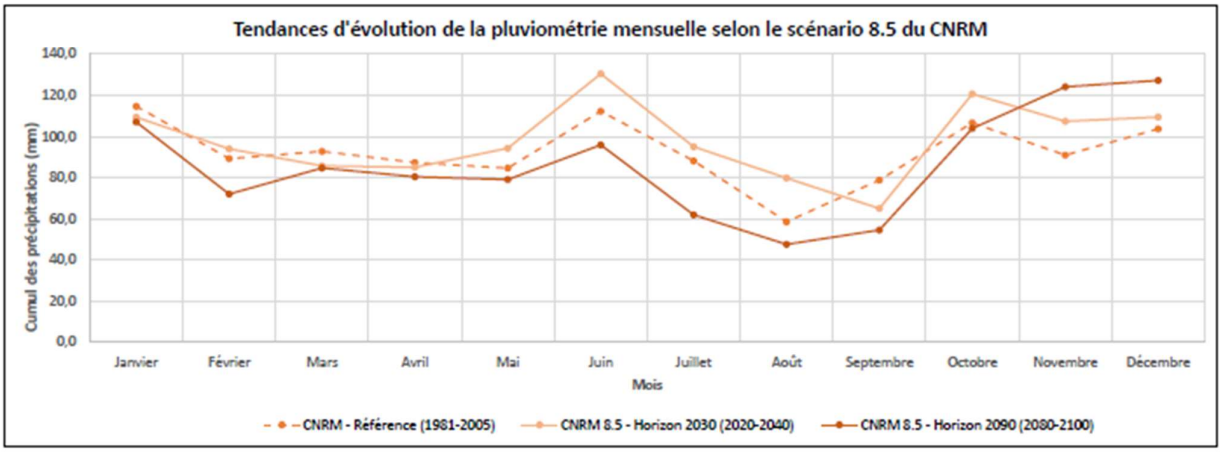


Figure 27 : Précipitations sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA PLUVIOMETRIE AUX HORIZONS 2030 ET 2090





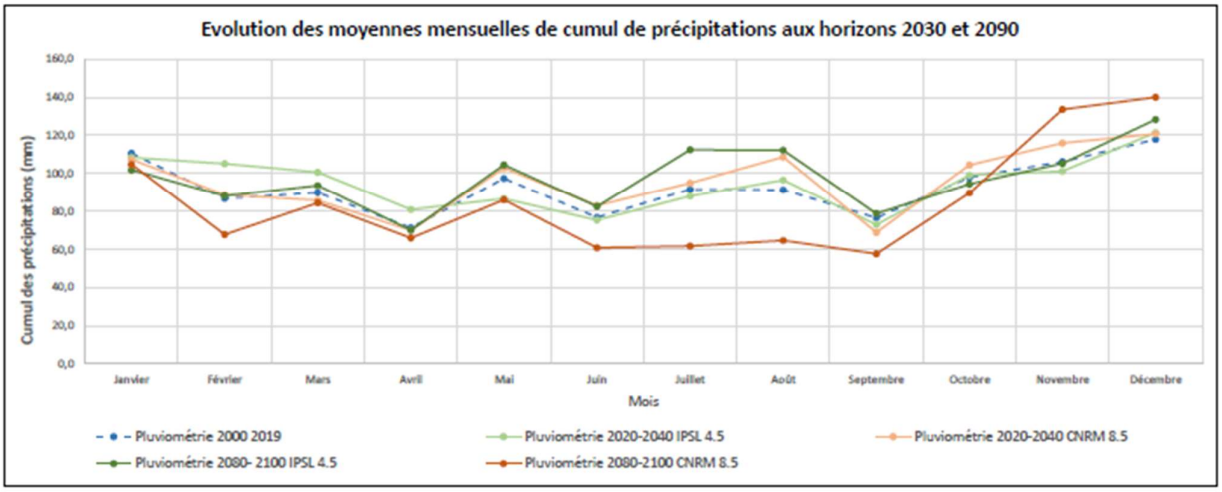
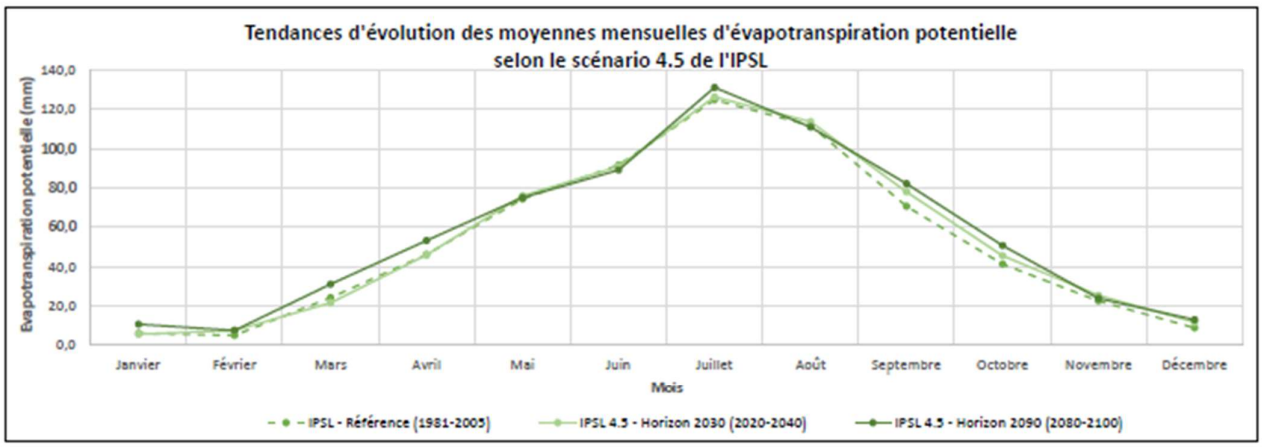
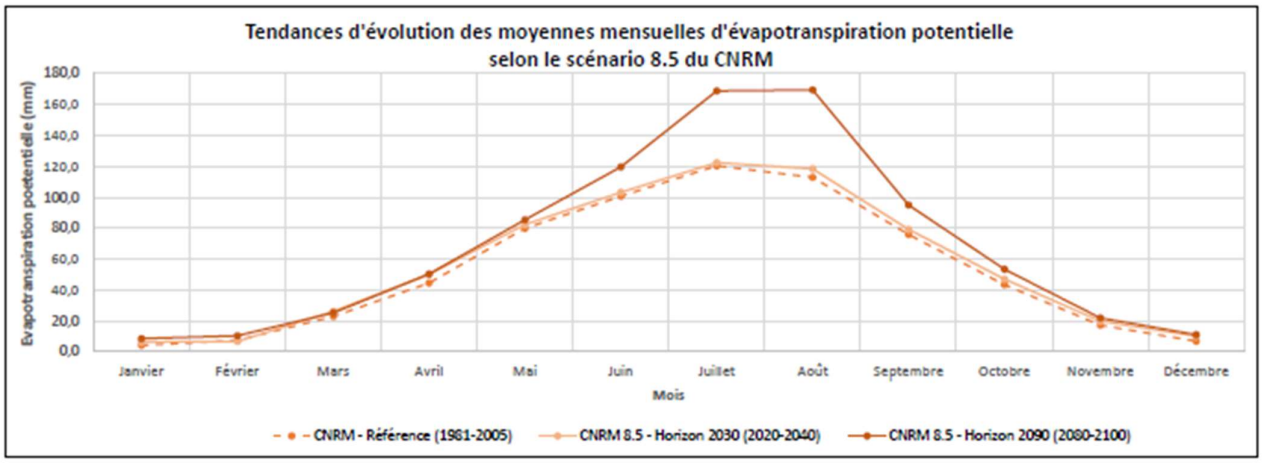


Figure 28 : ETP sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE AUX HORIZONS 2030 ET 2090





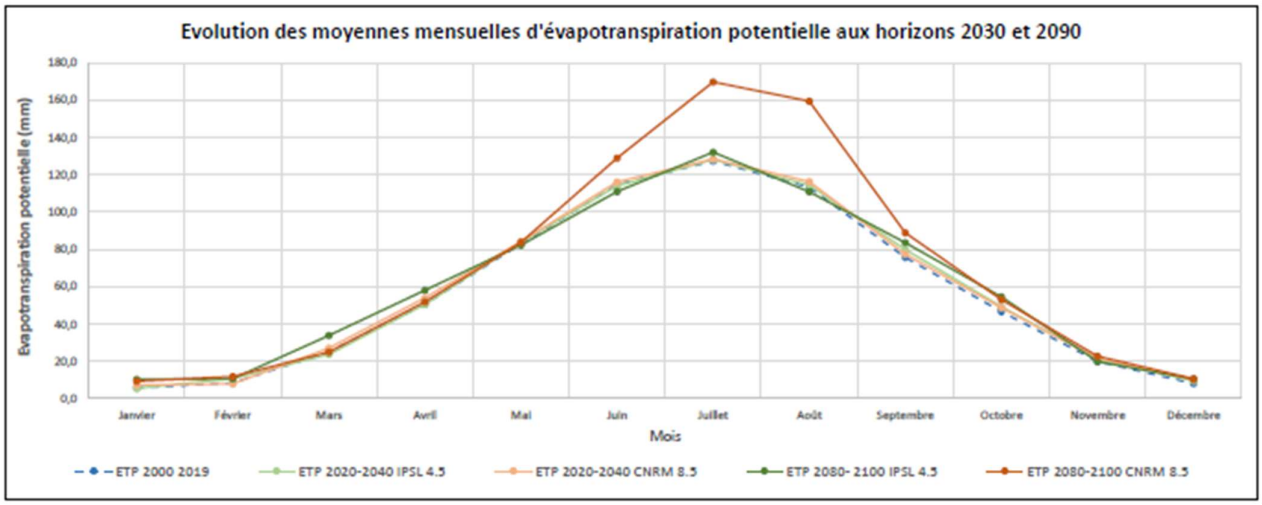
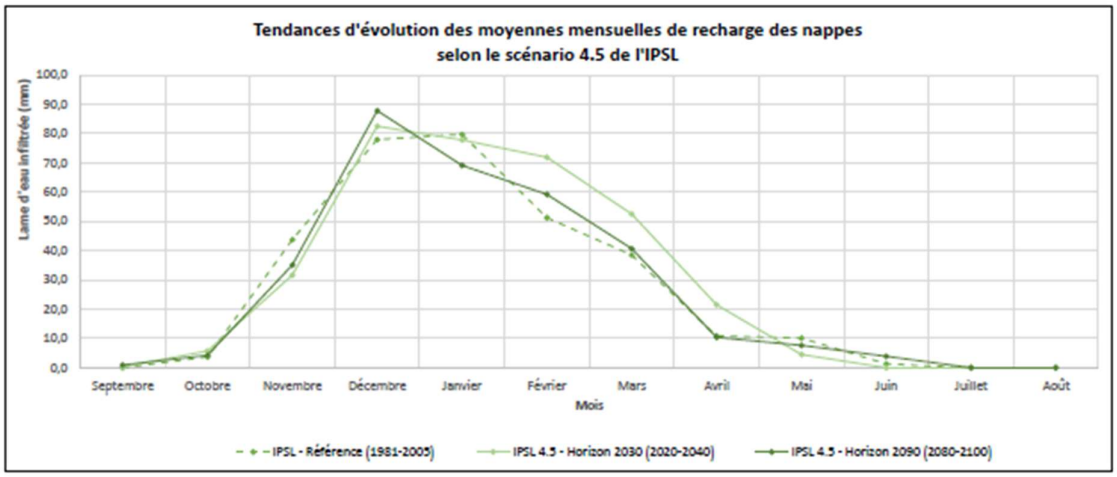
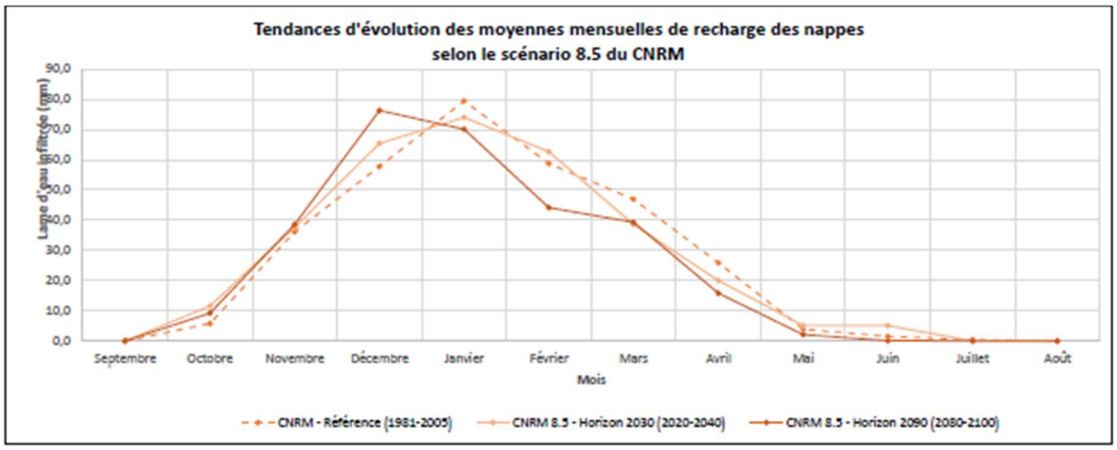


Figure 29 : Recharge sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA RECHARGE AUX HORIZONS 2030 ET 2090





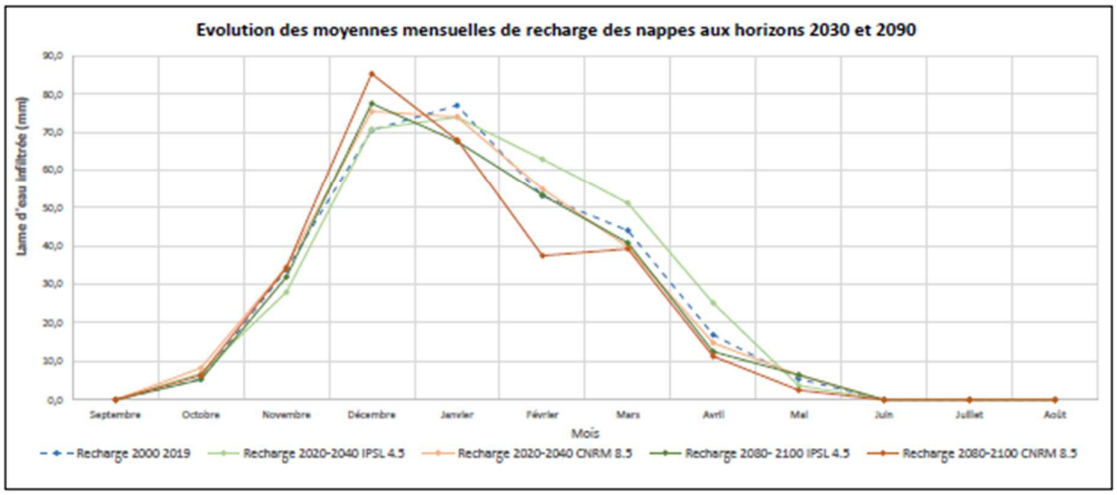
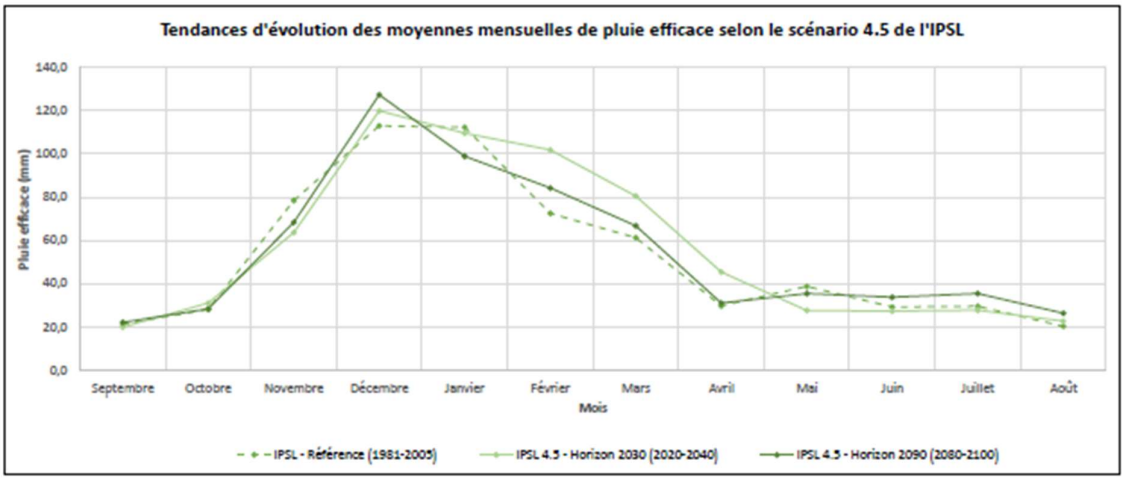
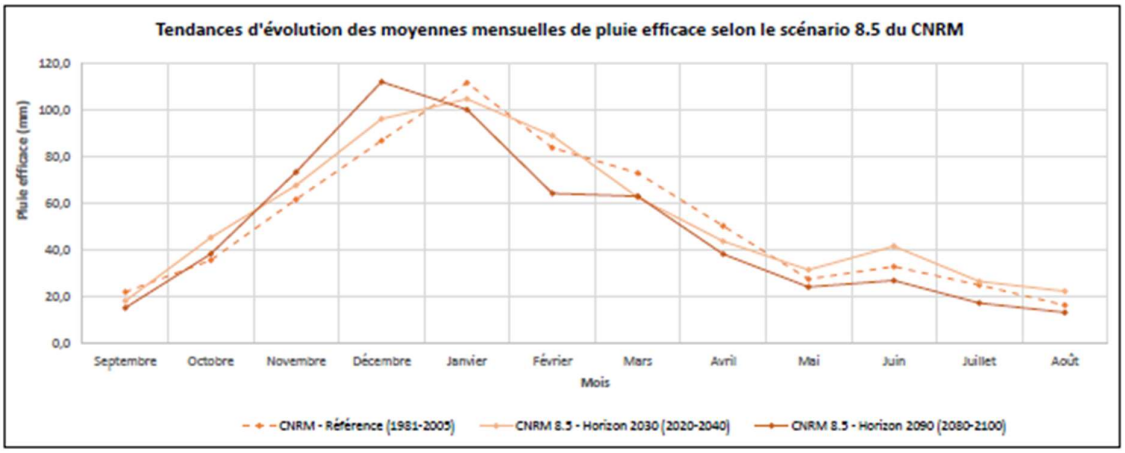


Figure 30 : Pluie efficace sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DE LA PLUIE EFFICACE AUX HORIZONS 2030 ET 2090





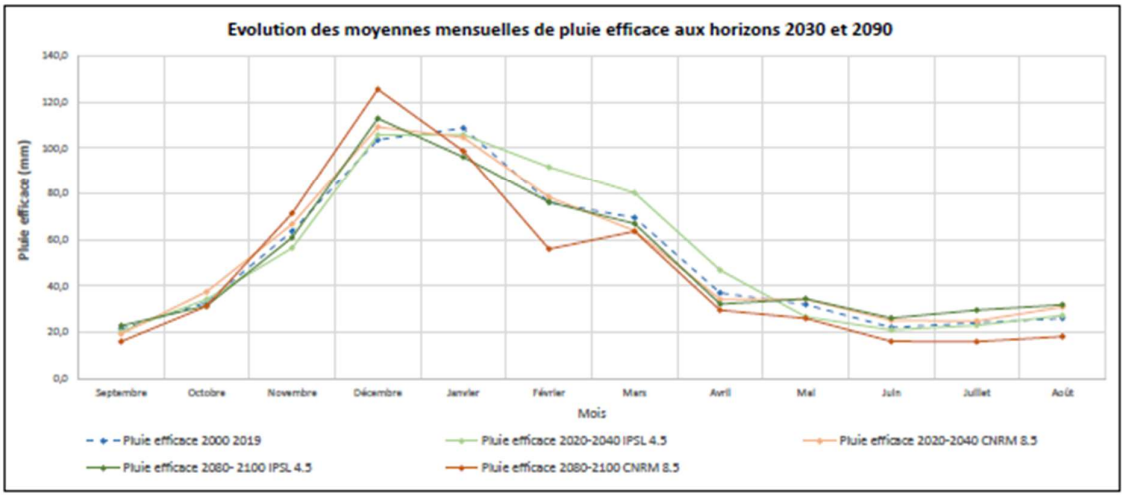
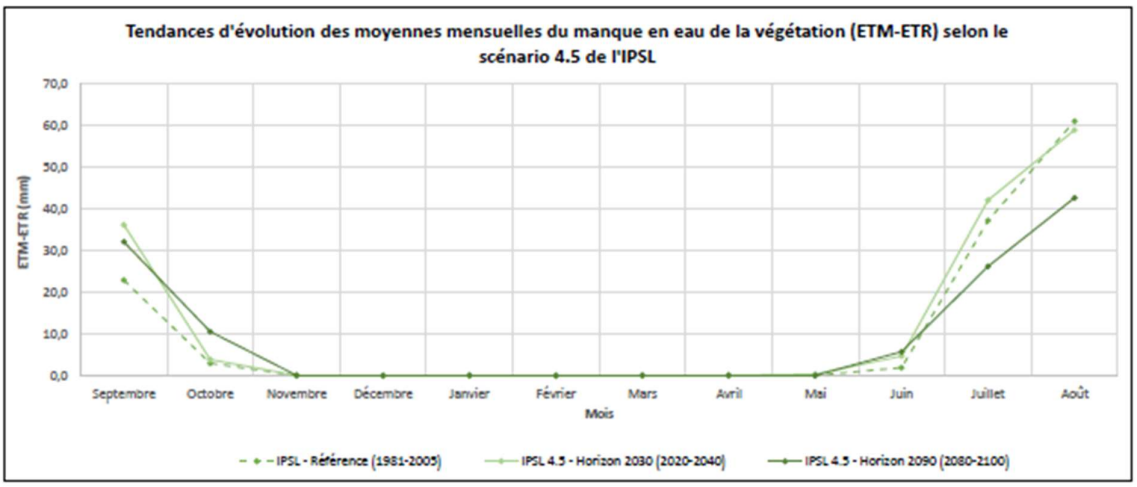
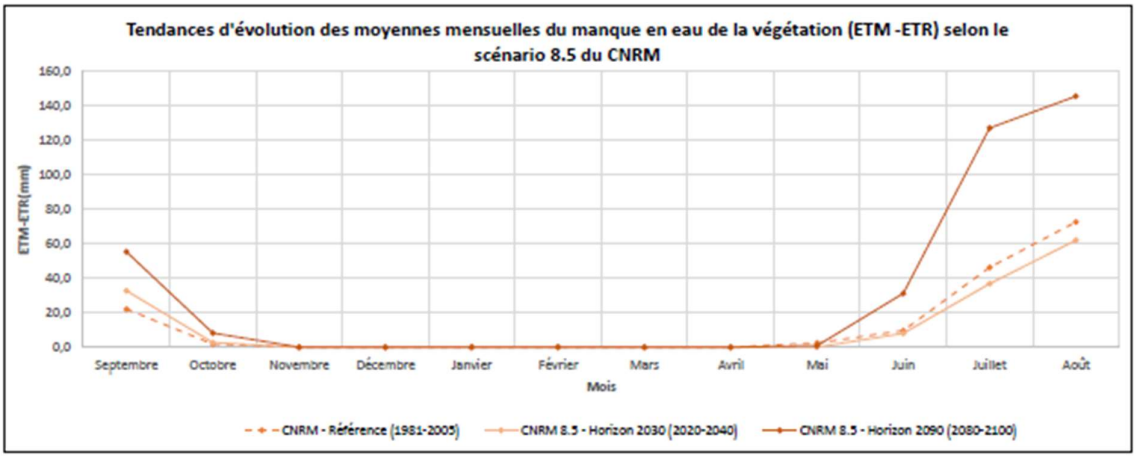
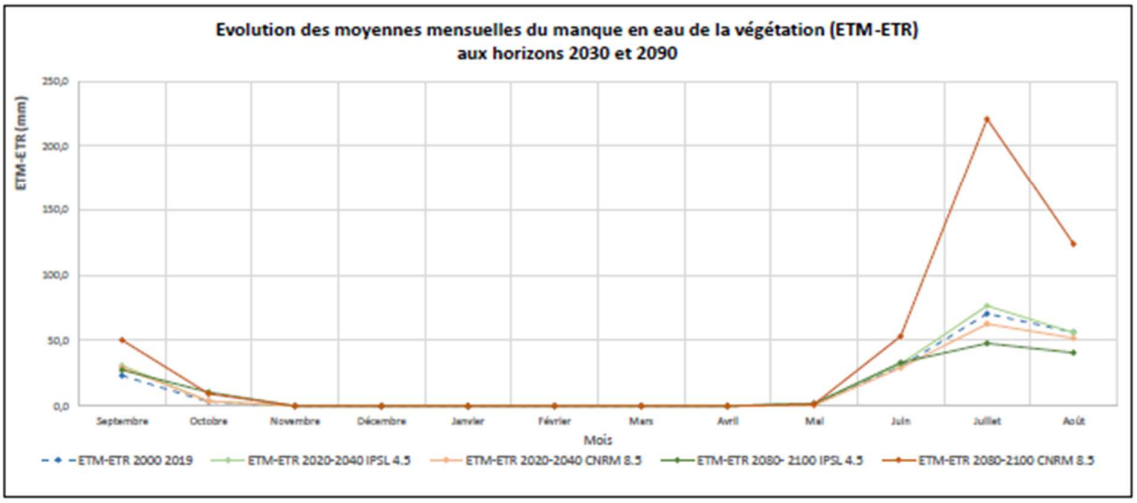


Figure 31 : Stress hydrique sur la zone homogène 26 (situation actuelle et différents horizons)

ESTIMATION DU STRESS HYDRIQUE DE LA VEGETATION AUX HORIZONS 2030 ET 2090







11. SYNTHESE ET CONCLUSION

11.1 Evolutions climatiques au XXIe siècle

Une synthèse cartographique de l'évolution des variables climatiques – Température, ETP, Précipitations – au cours du siècle, en moyennes annuelles, est proposée de la Figure 32 à la Figure 34.

Pour chacune des variables, sont ainsi présentées cinq cartes :

- La carte des moyennes annuelles sur la période de référence (2000-2019) ;
- Les variations relatives moyennes annuelles à milieu de siècle (horizon 2050) pour chacun des scénarios (IPSL RCP 4.5 et CNRM RCP 8.5) ;
  NB : ces valeurs sont extraites de l'étude initiale portant sur les horizons 2030 et 2050.
- Les variations relatives moyennes annuelles à fin de siècle pour chacun des scénarios (IPSL RCP 4.5 et CNRM RCP 8.5).

Une légende uniformisée permet une comparaison aisée des quatre dernières cartes (variations relatives moyennes annuelles).

On constate :

- Deux scénarios relativement convergents à milieu de siècle ;
- De fortes divergences apparentes à fin de siècle ;
- Le caractère alarmant du scénario 8.5 à fin de siècle, qui montre de fortes hausses de températures (+4°C) avec des diminutions de précipitations sensibles sur une grande partie du territoire (jusqu'à -10%).

Les variations saisonnières des températures (moyennes régionales - Figure 35) et des précipitations (par zone homogène - Figure 36) sont également rappelées à la suite de la synthèse cartographique, aux horizons milieu de siècle (2050) et fin de siècle.

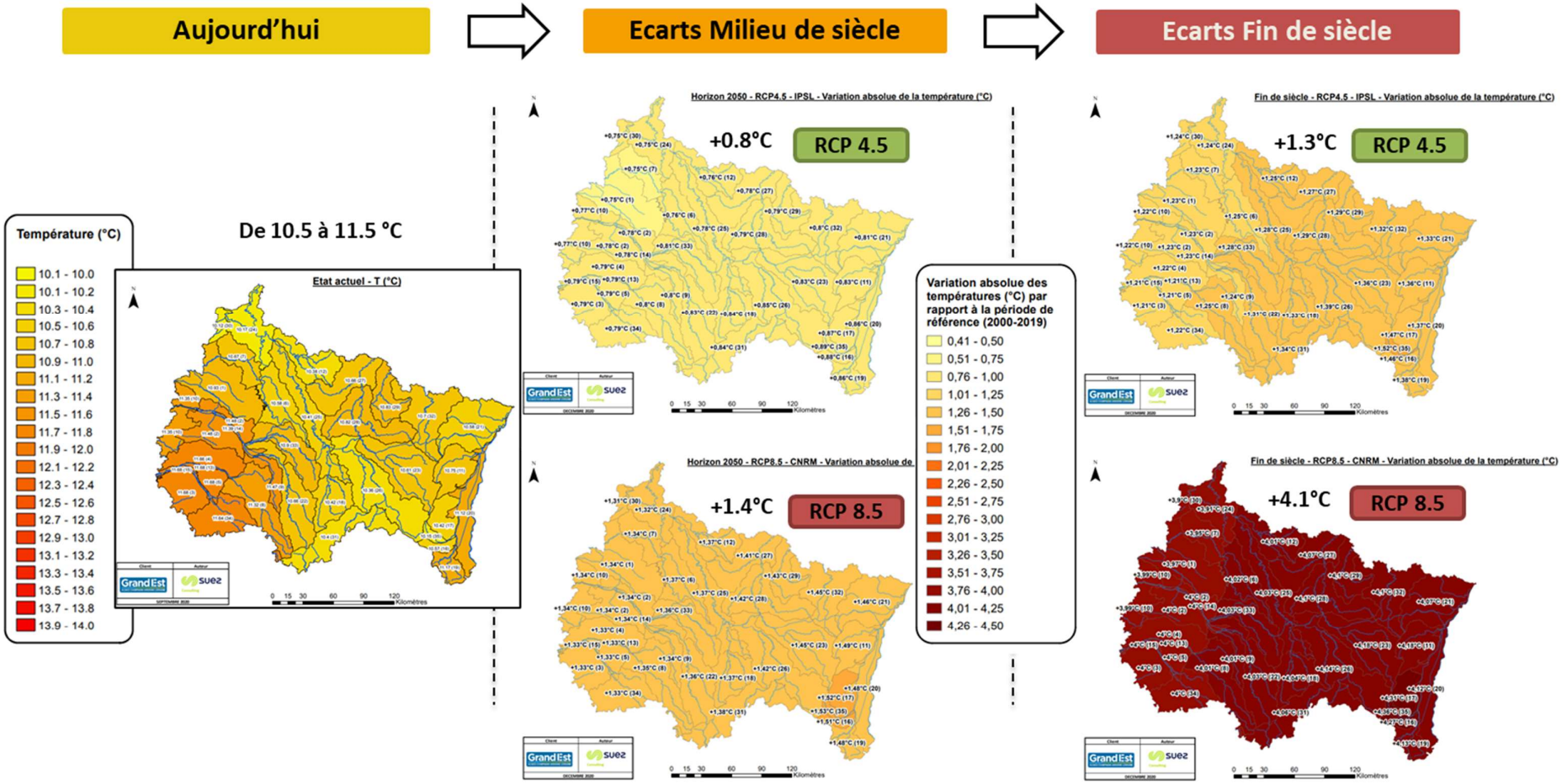


Figure 32 : Evolution des températures au cours du siècle

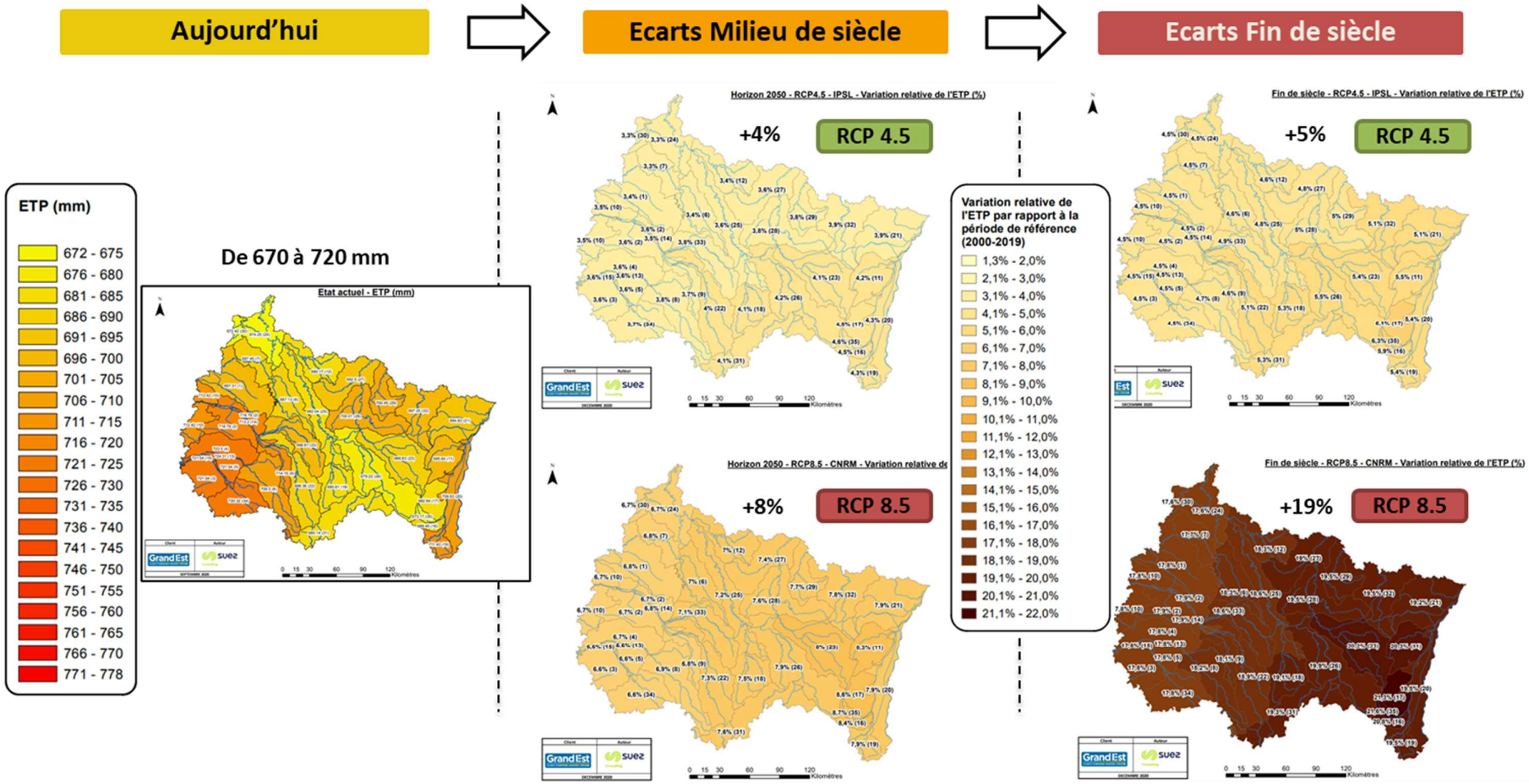


Figure 33 : Evolution de l'évapotranspiration au cours du siècle

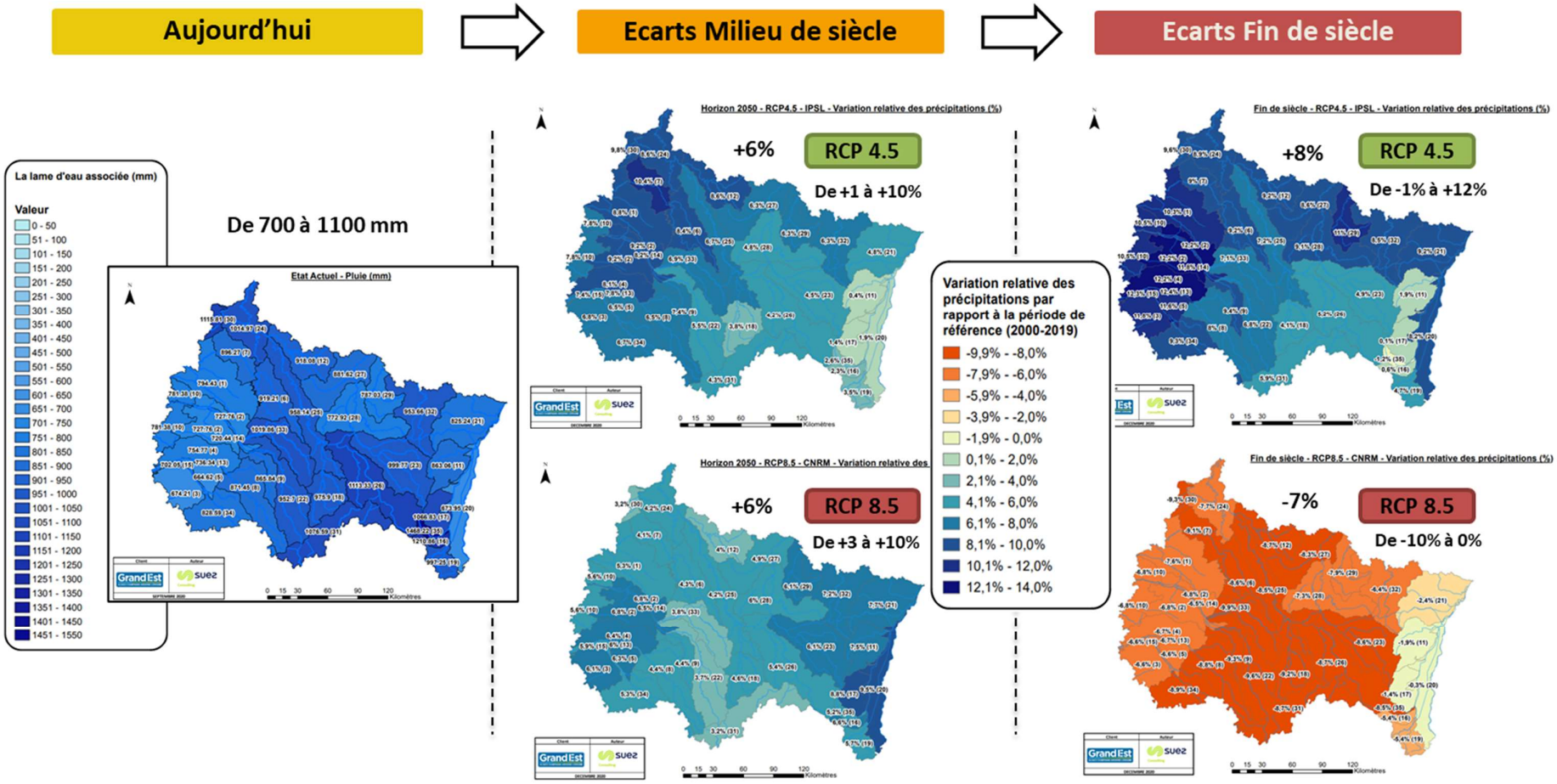


Figure 34 : Evolution des précipitations au cours du siècle

Ecarts Milieu de siècle

RCP 4.5

An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
+0.8°C	+0.8°C	+0.7°C	+1.0°C	+0.2°C

RCP 8.5

An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
+1.4°C	+1.1°C	+1.7°C	+1.5°C	+0.9°C

Ecarts Fin de siècle

RCP 4.5

An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
+1.3°C	+1.5°C	+0.5°C	+1.6°C	+1.0°C

RCP 8.5

An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
+4.1°C	+2.9°C	+5.9°C	+4.0°C	+2.5°C

Figure 35 : Variations saisonnières moyennes des températures par rapport à la période de référence (2000-2019)

Ecarts Milieu de siècle

RCP 4.5

ZH	An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
1	9%	3%	11%	9%	5%
2	9%	3%	8%	10%	6%
3	7%	-1%	1%	12%	7%
4	8%	2%	7%	10%	4%
5	7%	-1%	0%	13%	8%
10	8%	4%	8%	8%	3%
6	8%	5%	9%	6%	5%
7	10%	5%	14%	13%	5%
30	10%	5%	14%	14%	3%
34	7%	2%	-2%	13%	8%
8	6%	5%	-1%	11%	7%
22	5%	4%	0%	8%	6%
9	7%	5%	4%	9%	6%
33	7%	4%	6%	6%	4%
13	8%	1%	6%	10%	4%
14	8%	3%	7%	9%	5%
15	7%	0%	5%	11%	5%
18	4%	2%	-4%	5%	5%
25	7%	4%	6%	5%	4%
24	9%	4%	12%	12%	3%
12	9%	5%	11%	9%	4%
23	5%	6%	-1%	5%	7%
26	4%	4%	-2%	5%	5%
28	5%	1%	2%	4%	6%
27	6%	3%	5%	5%	5%
29	6%	1%	3%	6%	7%
32	6%	7%	1%	3%	8%
20	2%	3%	-4%	7%	3%
19	3%	6%	-4%	7%	6%
16	2%	2%	-5%	5%	0%
35	3%	3%	-4%	5%	-1%
17	1%	1%	-5%	4%	0%
11	0%	0%	-6%	4%	2%
21	5%	7%	-1%	3%	8%
31	4%	1%	-3%	8%	7%

RCP 8.5

ZH	An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
1	5%	2%	-4%	5%	17%
2	6%	5%	-3%	6%	18%
3	6%	2%	0%	8%	21%
4	6%	4%	-2%	8%	20%
5	6%	2%	1%	8%	22%
10	6%	2%	-3%	6%	17%
6	4%	2%	-4%	6%	16%
7	4%	0%	-3%	5%	14%
30	3%	-1%	-3%	5%	11%
34	5%	0%	0%	9%	19%
8	4%	-1%	-2%	8%	18%
22	4%	-2%	-1%	7%	17%
9	4%	0%	-2%	7%	18%
33	4%	0%	-4%	7%	17%
13	6%	3%	-2%	8%	20%
14	7%	5%	-2%	8%	19%
15	6%	2%	-1%	8%	20%
18	5%	-1%	-1%	9%	18%
25	4%	0%	-3%	7%	17%
24	4%	-1%	-2%	6%	13%
12	4%	-1%	-2%	6%	14%
23	6%	5%	3%	10%	14%
26	5%	3%	1%	9%	14%
28	6%	0%	1%	10%	20%
27	5%	-1%	1%	8%	18%
29	6%	2%	3%	9%	18%
32	7%	5%	5%	10%	16%
20	10%	5%	13%	9%	19%
19	6%	5%	7%	5%	13%
16	7%	5%	9%	8%	12%
35	5%	3%	7%	7%	11%
17	9%	6%	9%	10%	17%
11	8%	3%	5%	10%	18%
21	8%	7%	4%	10%	15%
31	3%	-1%	0%	7%	14%

Ecarts Fin de siècle

RCP 4.5

ZH	An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
1	10%	9%	18%	2%	9%
2	12%	11%	18%	2%	12%
3	12%	7%	13%	9%	13%
4	12%	9%	17%	4%	13%
5	12%	7%	12%	10%	13%
10	11%	10%	18%	0%	8%
6	9%	7%	22%	1%	4%
7	9%	8%	15%	5%	8%
30	10%	9%	17%	9%	8%
34	9%	7%	12%	5%	8%
8	8%	7%	15%	0%	7%
22	7%	5%	15%	-1%	7%
9	9%	7%	20%	-1%	8%
33	7%	3%	22%	-2%	3%
13	12%	8%	17%	6%	14%
14	12%	11%	18%	1%	12%
15	12%	7%	16%	7%	15%
18	4%	2%	11%	-3%	5%
25	7%	3%	19%	2%	4%
24	9%	7%	17%	9%	6%
12	9%	7%	20%	7%	5%
23	5%	4%	20%	-1%	-4%
26	5%	4%	18%	-1%	0%
28	9%	5%	18%	7%	8%
27	9%	8%	15%	6%	6%
29	11%	8%	17%	10%	10%
32	8%	7%	19%	6%	5%
20	8%	10%	9%	8%	14%
19	5%	6%	6%	3%	9%
16	1%	1%	5%	1%	0%
35	-1%	-1%	3%	-1%	-3%
17	0%	2%	6%	-1%	-3%
11	2%	5%	7%	2%	-1%
21	9%	12%	15%	4%	11%
31	6%	3%	13%	1%	7%

RCP 8.5

ZH	An.	Pr.	Eté	Aut.	Hiv.
1	-8%	-4%	-28%	-11%	18%
2	-7%	-1%	-26%	-15%	18%
3	-7%	1%	-28%	-10%	20%
4	-7%	0%	-26%	-13%	19%
5	-7%	1%	-28%	-9%	20%
10	-7%	-1%	-27%	-14%	18%
6	-9%	-6%	-32%	-9%	15%
7	-9%	-6%	-31%	-12%	15%
30	-9%	-6%	-33%	-12%	13%
34	-9%	-9%	-25%	-6%	14%
8	-9%	-7%	-29%	-6%	14%
22	-10%	-9%	-29%	-6%	14%
9	-9%	-6%	-28%	-9%	14%
33	-10%	-6%	-34%	-7%	13%
13	-7%	0%	-26%	-14%	19%
14	-7%	-2%	-26%	-12%	20%
15	-7%	1%	-27%	-13%	19%
18	-9%	-12%	-31%	-2%	15%
25	-9%	-7%	-34%	-5%	17%
24	-8%	-6%	-33%	-10%	16%
12	-9%	-8%	-34%	-9%	16%
23	-9%	-7%	-25%	1%	11%
26	-9%	-9%	-28%	0%	13%
28	-7%	-7%	-33%	-1%	21%
27	-8%	-7%	-34%	-6%	18%
29	-8%	-7%	-32%	-2%	19%
32	-6%	-5%	-27%	0%	16%
20	0%	1%	-13%	0%	33%
19	-5%	-2%	-20%	-5%	21%
16	-5%	-7%	-16%	-4%	13%
35	-8%	-11%	-18%	-5%	8%
17	-1%	-4%	-17%	0%	23%
11	-2%	-1%	-22%	1%	26%
21	-2%	2%	-22%	2%	21%

Figure 36 : Variations saisonnières des précipitations par rapport à la période de référence (2000-2019)

11.2 Evolution des pressions jusqu'à la fin de siècle

Synthèse de l'évolution des pressions à la fin du siècle

L'analyse des prélèvements et des variables à l'horizon fin de siècle a permis de dégager deux situations contrastées selon les scénarios d'évolution climatique :

- **Dans le cas du scénario « optimiste à médian » (IPSL RCP 4.5)** :
  - L'augmentation conséquente des précipitations sur l'ensemble de l'année, en particulier en été et en hiver, conjuguée à une augmentation modérée de la température (en-deçà de +1,5°C) se répercute sur les recharges et pluies efficaces qui augmentent en moyenne annuelle, et plus particulièrement en hiver. De même, une augmentation du débit moyen annuel serait perceptible.
  - Des tensions sur les ressources disponibles (pluie efficace, recharge) semblent toutefois apparaître sur certains secteurs au printemps et à l'automne. Le flanc est des Vosges, au niveau duquel les précipitations n'augmenteraient que peu, voire diminueraient par rapport à la période 2000-2019, est quant à lui concerné par une augmentation des tensions perceptible toute l'année.
  - Le stress hydrique, bien qu'apparaissant en légère baisse en moyenne annuelle du fait de l'augmentation des pluies en été, augmenterait de manière sensible à l'automne, voire au printemps.
  - Le débit d'étiage retrouverait un niveau équivalent à celui observé ces dernières années. Quelques secteurs – flanc est des Vosges notamment – verraient néanmoins des tensions apparaître sur les ressources superficielles à l'étiage avec une baisse du QMNA5.
  - Parallèlement à ces évolutions climatiques, une baisse globale des prélèvements est attendue, notamment sur l'AEP, l'industrie, les canaux ou l'abreuvement du bétail, ainsi que concernant la surévaporation des plans d'eau. L'augmentation du stress hydrique au printemps et à l'automne laisse néanmoins présager une hausse des besoins pour l'irrigation.
  - Ces différents points permettent d'expliquer une légère résorption des tensions observées sur la période actuelle en moyenne annuelle (indicateurs 2 à 6, 8 et 9) sur une majorité de secteurs. L'augmentation des prélèvements liés à l'irrigation est néanmoins susceptible d'entrainer une légère aggravation des tensions en période d'étiage (indicateur 7).
- **Dans le cas du scénario « pessimiste » (CNRM RCP 8.5) :**
  - La forte hausse de la température (de l'ordre de +4°C) et de l'ETP, associée à une baisse de la pluviométrie – dont la répartition serait elle-même fortement modifiée dans l'année, avec des diminutions de cumul de précipitations du printemps à l'automne incluant une baisse conséquente l'été, contre une forte augmentation l'hiver – conduirait à des changements importants des cycles hydrologiques sur l'ensemble des secteurs.
  - La baisse marquée de la pluviométrie du printemps à l'automne induirait une forte baisse de la recharge et de la pluie efficace sur cette période pour une majorité de secteurs. L'augmentation des précipitations en hiver compenserait partiellement ce phénomène, et pourrait par ailleurs être à l'origine d'une augmentation du risque de ruissellement et d'inondation hivernale.

- Ces phénomènes induisent une situation de stress hydrique critique en été-automne sur l'ensemble de la région, ainsi qu'au printemps sur une dizaine de secteurs (Meuse, Moselle, flanc est des Vosges).
- De ce fait, la baisse des prélèvements initialement estimée pour l'AEP, l'industrie, les canaux ou l'abreuvement serait largement compensée par l'augmentation de la surévaporation au niveau des plans d'eau et canaux et des besoins pour l'irrigation. Cette augmentation prononcée des prélèvements, qui concerne principalement la période estivale, pourrait être à l'origine de tensions extrêmes sur la ressource à l'étiage.
- Une aggravation des tensions sur les ressources en eau est ainsi probable en moyenne annuelle (indicateurs 2 à 6, 8 et 9), et plus particulièrement en période estivale (valeurs extrêmes de l'indicateur 7).

Score de pression global et analyse des pressions de la période actuelle à la fin du siècle

L'analyse des différents indicateurs (chapitre 8) a montré l'amélioration ou la dégradation des tensions selon les scénarios de changement climatique, en moyenne annuelle ou en période d'étiage. Une concaténation de ces indicateurs sous la forme d'un « score de pression global » permet une comparaison plus aisée des secteurs, et une visualisation de l'évolution des tensions pour un même secteur.

Ce score de pression est calculé à partir des indicateur 2 à 9 de la manière suivante :

- **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,
  - La note obtenue pour l'indicateur 8,
  - La note obtenue pour l'indicateur 9.
- Le score de pression global résulte de la somme de ces six notes : il est ainsi compris entre 6 et 30.

Le tableau en page suivante synthétise l'évolution des pressions de prélèvement depuis la période de référence (2000-2019) jusqu'à la fin du siècle (horizon 2030, 2050 et 2090).

SCORE GLOBAL DE PRESSION - Evolution au cours du siècle

Calculé à partir des indicateurs 2 à 9

				SCORE GLOBAL DE PRESSION						VARIATION ABSOLUE PAR RAPPORT A LA SITUATION ACTUELLE					
				Scénario RCP 4.5 - IPSL			Scénario RCP 8.5 - CNRM			Scénario RCP 4.5 - IPSL			Scénario RCP 8.5 - CNRM		
		Zone Homogène	Situation actuelle	2030	2050	2090	2030	2050	2090	2030	2050	2090	2030	2050	2090
Craie	1 : Affluent Crayeux Aisne - Craie de Champagne Nord	1	18	17	16	17	16	17	18	-2	-2	-2	-2	-2	0
	2 : Affluent Crayeux Marne - Craie de Champagne Centre	2	10	9	9	9	9	9	11	-1	-1	-1	-1	-1	1
	3 : Affluent Crayeux Seine - Craie du Senonais et pays d'Othe	3	14	12	11	12	11	12	12	-2	-3	-2	-3	-2	-2
	4 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Centre	4	11	9	8	9	8	9	12	-2	-3	-2	-3	-2	1
	5 : Affluent Crayeux Seine et Aube - Craie de Champagne Sud	5	15	13	12	13	12	13	13	-2	-3	-2	-3	-2	-2
	10 : Brie et Tardenois	10	6	6	6	6	6	6	10	0	0	0	0	0	4
Aisne	6 : Aisne amont	6	7	6	6	9	6	6	10	-1	-1	2	-1	-1	3
	7 : Aisne aval	7	15	13	13	14	13	14	14	-2	-2	-1	-2	-1	-1
Oise	30 : Oise	30	6	6	6	6	6	6	10	0	0	0	0	0	4
Seine Amont	34 : Seine amont	34	11	11	11	11	11	11	13	0	0	0	0	0	2
Aube amont	8 : Aube amont	8	12	12	12	12	12	12	13	0	0	0	0	0	1
Marne amont	22 : Marne amont	22	18	17	16	17	16	17	19	-1	-2	-1	-2	-1	1
	9 : Blaise	9	16	15	14	16	14	15	16	-1	-2	0	-2	-1	0
	33 : Saulx et Ornain	33	12	10	10	11	10	10	11	-2	-2	-1	-2	-2	-1
Corridors	13 : Corridor Aube	13	14	14	14	14	14	14	15	0	0	0	0	0	1
	14 : Corridor Marne	14	19	19	19	19	19	19	22	0	0	0	0	0	3
	15 : Corridor Seine	15	21	20	20	20	20	20	24	-1	-1	-1	-1	-1	3
Meuse	18 : Haute Meuse	18	7	7	7	7	7	7	10	0	0	0	0	0	3
	25 : Meuse mediane	25	13	13	11	14	11	13	12	0	-2	1	-2	0	-1
	24 : Meuse aval	24	9	7	7	8	7	9	12	-2	-2	-1	-2	0	3
	12 : Chiers	12	8	7	7	8	7	7	11	-1	-1	0	-1	-1	3
Moselle	23 : Meurthe	23	13	12	11	13	11	12	13	-1	-2	0	-2	-1	0
	26 : Moselle amont	26	14	14	14	16	14	14	14	0	0	2	0	0	0
	28 : Moselle intermédiaire, Rupt de Mad, Seille	28	7	7	7	7	7	7	11	0	0	0	0	0	4
	27 : Moselle aval	27	12	12	13	10	13	11	15	0	1	-2	1	-1	3
Nied et Sarre	29 : Nied	29	8	6	7	6	7	7	10	-2	-1	-2	-1	-1	2
	32 : Sarre	32	8	8	8	8	8	8	11	0	0	0	0	0	3
Plaine d'alsace	20 : Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace	20	22	22	22	22	22	22	26	0	-1	-1	-1	-1	4
Affluents vosgiens	19 : ill amont	19	8	8	8	8	8	8	10	0	0	0	0	0	2
	16 : Doller	16	16	16	16	16	16	16	16	0	0	0	0	0	0
	35 : Thur (soutenue)	35	14	13	13	14	13	14	15	-1	-1	0	-1	0	1
	17 : Fecht, Weiss et Lauch	17	11	11	11	12	11	11	11	0	0	1	0	0	0
	11 : Bruche, Ehn, Andlau, Giessen et Liepvrette	11	12	12	12	12	12	12	13	0	0	0	0	0	1
	21 : Lauter, Sauer, Moder, Zorn	21	9	9	9	9	9	9	11	0	0	0	0	0	2
Saone amont	31 : Saone amont	31	8	8	8	8	8	8	10	0	0	0	0	0	2

Tableau 20 : Evolution du score de pression globale de la période actuelle à la fin du siècle

Dans un premier temps, on constate que les écarts observés d'un horizon à un autre restent relativement faibles (de -3 à +4 en variation absolue) : l'homogénéisation des résultats par tranche de 20% a pour effet de fortement lisser les résultats.

Ceci permet néanmoins de **confirmer les résultats issus de l'analyse des variables et indicateurs** :

- D'une **part l'amélioration globale (ou du moins sa stabilisation) de la situation en moyenne annuelle aux horizon 2030 et 2050, démontrée lors de l'étude initiale, et ce quel que soit le scénario**. **Quelques aggravations** des pressions sur certains secteurs particuliers avaient néanmoins déjà pu être pressentie **en période estivale**, sous l'effet d'une augmentation de l'irrigation et/ou de la sur-évaporation.
- **A l'horizon fin de siècle** :
  - **Pour le scénario RCP 4.5** : on conserve dans la majorité des secteurs une stabilisation des pressions, voire une diminution de ces dernières sur une douzaine de secteurs (secteurs de la Craie, 7. Aisne aval, 22. Marne amont, 33. Saulx et Ornain, 15. Corridor Seine, 27. Moselle aval, 29. Nied, 20. Ill aval, Rhin et Plaine d'Alsace et 31. Saône amont). Quatre secteurs connaissent quant à eux une augmentation des pressions : 6. Aisne amont, 25. Meuse médiane, 26. Moselle amont et 17. Fecht, Weiss et Lauch.
  - **Pour le scénario RCP 8**.5, l'aggravation des pressions concerne une majorité des secteurs, en particulier du fait de l'atteinte systématique de la note maximale pour l'indicateur 7 (tension critique en période estivale).

11.3 Retour sur les hypothèses concernant les usages

Comme annoncé au paragraphe 4.6, une stabilisation des usages à partir de l'horizon 2050 a été prise en compte dans les calculs de bilan besoins/ressources à l'horizon 2090. Toutefois, **au vu des tensions extrêmes attendues à la fin du siècle** dans le cas du scénario pessimiste (RCP 8.5), voire en période estivale pour le scénario médian (RCP 4.5), **cette stabilisation des usages** tels qu'estimés à l'horizon 2050 – pour lequel il n'avait pas été révélé de raréfaction des ressources, mais plutôt une amélioration de la disponibilité en eau, au moins en moyenne annuelle – **semble peu réaliste**, notamment concernant l'alimentation des canaux.

Dans le but d'estimer la sensibilité des indicateurs face à la diminution initialement prévue de ces prélèvements, les **calculs ont été réitérés en considérant cette fois-ci des usages équivalents à ceux observés aujourd'hui** (hors surévaporation).

Une comparaison des indicateurs ainsi obtenus avec ceux estimés à partir des usages « 2050 » est proposée en annexe 5. On constate :

- **Pour le scénario RCP 4.5**, **une augmentation généralisée des pressions** (en moyenne de près de 6%, et jusqu'à 16,5% en valeur relative) hormis sur les secteurs de la Craie (secteurs 2 à 5) et sur le corridor Aube (secteur 13).
- **Pour le scénario RCP 8.5, une augmentation sensible** (+6,4% en valeur relative) **des indicateurs 2, 3 et 8**, relatifs aux prélèvements et ressources souterrains, et **plus modérée des indicateurs 4 à 6 et 9** (de l'ordre de 3% en valeur relative). **La situation reste critique sur une grande majorité de secteurs en période estivale** (indicateur 7).
- Les écarts constatés de l'ordre de quelques % sont moins visibles au niveau du score de pression global, mais suffisent à faire varier ce score (jusqu'à +1) sur une petite dizaine de secteurs.

Les variations restent toutefois conséquentes et montrent l'intérêt de tendre vers une diminution des prélèvements.

11.4 Quelles évolutions des usages à prévoir face aux évolutions climatiques à la fin de siècle ?

L'analyse conduite permet de déterminer deux trajectoires concernant les usages de l'eau, selon les possibles évolutions climatiques et leurs répercussions sur les ressources en eau et les milieux naturels :

- **Pour le scénario RCP 4.5 (médian)** :
  - La disponibilité des ressources reste assurée à l'année, aussi bien concernant les ressources superficielles que souterraines (augmentation de la recharge, de la pluie efficace et du module), avec une situation globalement plutôt favorable qu'à milieu de siècle. De ce fait, peu d'impact significatifs sont attendus pour les usages AEP, industrie, canaux et retenues (soutien d'étiages ou hydroélectricité). Des économies d'eau restent néanmoins souhaitables, des assecs locaux ou sécheresses ponctuelles restant envisageables.
  - Toutefois, en dépit du maintien de la ressource en eau (QMNA5 stable), l'augmentation du stress hydrique au printemps et à l'automne rend prévisible une augmentation des besoins en eau pour l'irrigation, du fait d'un accroissement de la sécheresse des sols. Des adaptations supplémentaires (techniques d'irrigation, adaptation des variétés et des techniques culturales) sont nécessaires.
  - Des tensions locales restent possibles, une gestion concertée des usagers est à privilégier.
- **Pour le scénario RCP 8.5 (pessimiste)** :
  - **AEP** : des difficultés majeures d'approvisionnement sont à prévoir suite à la multiplication des assecs au niveau des sources et la baisse du niveau des nappes. Des économies d'eau sont nécessaires, et doivent être portées à la fois à la source aussi bien par les prestataires et les collectivités (entretien des réseaux, limitations des fuites et autres pertes de réseau) que par les usagers (privés, mais également industriels, agriculteurs, artisans se fournissant sur le réseau).
  - **Industrie** : la raréfaction des ressources superficielles et souterraines est susceptible d'amplifier ou de faire apparaître de nouvelles tensions selon les filières, avec des impacts économiques majeurs :
    - Agroalimentaire, chimie, fonderie, industries manufacturières et extractives, production et distribution d'eau ou d'électricité, gestion des déchets, etc. : les « gros préleveurs » ayant besoin de volumes conséquents (circuits de refroidissement, hydroélectricité, lavage, etc.) devront envisager des adaptations de leurs process.
    - Pour certaines filières, non directement préleveuses mais dépendant par exemple du bon état du milieu naturel : face à l'augmentation des sécheresses et le dépérissement de certaines espèces, des réflexions devront être menées par exemple pour la filière bois.
  - **Agriculture** : Les fortes tensions sur les ressources en eau en période estivale, déjà pressenties en milieu de siècle, nécessiteront une mutation complète et profonde de l'agriculture afin de faire face à la sécheresse des sols et aux difficultés d'approvisionnement en eau pour l'irrigation ou pour l'abreuvement du bétail.
  - **Canaux** : les tensions sur les ressources superficielles et l'augmentation sévère de l'évaporation auront des impacts importants sur la navigation. Les possibles difficultés d'alimentation des canaux en été ayant déjà pu apparaître en milieu de siècle s'accroitront, et de véritables difficultés à assurer la navigation sont envisageables du

printemps à l'automne. Une réflexion sur le devenir de certains itinéraires sera incontournable.

- **Retenues** : la gestion des réservoirs risque de se complexifier sous l'effet de la forte altération du régime pluviométrique : sollicitation plus fréquente pour le stockage de crues en hiver, difficulté d'être au plein en début de période estivale. La gestion des grands réservoirs devra sans doute être repensée dans sa globalité.
- **Milieux naturels** : l'augmentation du stress hydrique, du printemps à l'automne, implique une augmentation de la sécheresse des sols sur cette période. Des conséquences majeures sont à prévoir sur l'état des milieux naturels – assèchement des plans d'eau, zones humides, forêts, prairies, etc. – avec des impacts certains sur la survie de certaines espèces. Un changement profond de la biodiversité et des paysages semble probable.
- **Tourisme vert, loisirs** : Les impacts évoqués précédemment toucheront a fortiori le secteur touristique, aussi bien estival (sports nautique, baignade, etc.) qu'hivernal (ski sur le massif des Vosges notamment).
- **Afin de limiter les impacts sur les différents secteurs, une gestion concertée de l'ensemble des acteurs apparaît essentielle**.

12. EN CONCLUSION

Il est possible à ce stade de dresser une synthèse des évolutions attendues sur le climat et la ressource en eau à l'échelle de la Région Grand Est.

- **A milieu de siècle**, **les deux scénarios étudiés** (RCP 4.5 (IPSL) « médian » ; RCP 8.5 (CNRM) « pessimiste ») **convergent** vers une légère hausse des températures compensée par une hausse des précipitations (en particulier hivernales), induisant une hausse des débits moyens et de la recharge des nappes annuelle.
  Néanmoins, une modification de la saisonnalité des pluies pourrait engendrer une augmentation sensible du stress hydrique (plus précoce par ailleurs) et de la sécheresse des sols, voire une baisse du débit d'étiage sur certains secteurs.

- **A fin de siècle**, **les deux scénarios divergent** :
  - **Scénario RCP 4.5 « médian »** : on attend une augmentation conséquente des précipitations sur l'ensemble de l'année, en particulier en hiver et en été, conjuguée à une hausse des températures modérée (en-deçà de 1,5°C). Cette hausse des précipitations se répercute sur les recharges et pluies efficaces qui augmentent en moyenne annuelle, et plus particulièrement en hiver. De même, une augmentation du débit moyen annuel serait perceptible. Des tensions sur les ressources disponibles (pluie efficace, recharge) semblent toutefois apparaître sur certains secteurs au printemps et à l'automne. Le stress hydrique, bien qu'apparaissant en légère baisse en moyenne annuelle du fait de l'augmentation des pluies estivales, augmenterait de manière sensible à l'automne, voire au printemps. Enfin, le débit d'étiage retrouverait un niveau équivalent à celui observé ces dernières années

    Le flanc est des Vosges, au niveau duquel les précipitations n'augmentent que peu, voire diminueraient par rapport à la période de référence (2000-2019), est quant à lui concerné par une augmentation des tensions perceptible toute l'année. Des tensions pourraient apparaître sur les ressources superficielles à l'étiage avec une baisse du QMNA5.

  - **Scénario RCP 8.5 « pessimiste »** : on attend une forte hausse de la température et de l'évapotranspiration (ETP), associée à une baisse de la pluviométrie – dont la répartition serait elle-même fortement modifiée dans l'année, avec des diminutions de cumul de précipitations du printemps à l'automne et une baisse conséquente l'été, contre une forte augmentation l'hiver – conduisant à des changements importants des cycles hydrologiques sur l'ensemble des secteurs.
    On observerait ainsi une baisse marquée de la recharge et des débits au printemps et à l'automne, tandis que la hausse des précipitations hivernales pourrait être à l'origine d'une augmentation du risque de ruissellement et d'inondation. Ces phénomènes conduisent à une forte hausse du stress hydrique, qui double sur l'année, avec une situation critique en été-automne sur l'ensemble de la région, s'étendant possiblement au printemps sur certains secteurs (Meuse, Moselle, Flanc est des Vosges).