



72 rue Riquet - Bat A
31000 Toulouse
Tél : 05 61 62 50 68
E-mail : eaucea@eaucea.fr
www.eaucea.fr



Le Vexin 1 - 8, place de la Fontaine
95000 CERGY
Tél : 01 30 32 33 30
E-mail : ecodecision@ecodecision.fr
www.ecodecision.fr



Phase 4 : Identification de pistes d'actions potentielles et synthèse

Novembre 2022

*Etude globale sur l'incidence socio-économique et
environnementale des étiages sévères sur le bassin
amont de la Seine*



« Ce projet est cofinancé par le Fonds Européen du Développement Régional »

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	9
2	EVALUATION DES REGLES DE GESTION ACTUELLES DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS-RESERVOIRS.....	11
2.1	SYNTHESE DE L'ANALYSE DES DONNEES EXISTANTES.....	11
2.1.1	<i>Données hydrométriques actuelles.....</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Données de reconstitution et réanalyses des débits naturels du passé.....</i>	<i>12</i>
2.1.3	<i>Données hydrologiques du climat futur.....</i>	<i>13</i>
2.1.4	<i>Données météorologiques.....</i>	<i>15</i>
2.1.5	<i>Données de qualité des eaux.....</i>	<i>16</i>
2.1.6	<i>Données d'usages.....</i>	<i>17</i>
2.2	SYNTHESE DE LA CARACTERISATION DES ETIAGES PASSES DU BASSIN.....	20
2.2.1	<i>La compréhension des phénomènes d'étiage.....</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Les indicateurs de débit et les étiages sévères retenus.....</i>	<i>24</i>
2.2.3	<i>La qualité des eaux.....</i>	<i>26</i>
2.3	SYNTHESE DE LA CARACTERISATION DES ETIAGES FUTURS DU BASSIN.....	33
2.3.1	<i>Les débits.....</i>	<i>33</i>
2.3.2	<i>La qualité de l'eau.....</i>	<i>34</i>
2.4	SYNTHESE DES USAGES ACTUELS ET DE LEURS IMPACTS HYDROLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES.....	41
2.4.1	<i>Synthèse des usages actuels.....</i>	<i>41</i>
2.4.2	<i>Enjeux liés aux besoins en eau des usages socio-économiques relatifs à chaque axe réalimenté.....</i>	<i>43</i>
2.4.3	<i>Analyse des impacts des usages.....</i>	<i>48</i>
2.5	SYNTHESE DE L'ANALYSE DES REGLES DE GESTION ACTUELLES DES LAC-RESERVOIRS.....	51
2.6	SYNTHESE DE L'ANALYSE DES REGLES DE GESTION ACTUELLES DES LACS-RESERVOIRS POUR LES ETIAGES SEVERES PASSES.....	55
2.7	SENSIBILITE DES RESULTATS HYDROLOGIQUE DE LA GESTION ACTUELLE APPLIQUEE SELON LE TAUX DE REMPLISSAGE.....	58
2.7.1	<i>Test des règles de gestion actuelles pour les étiages du passé avec des hypothèses de remplissage variables.....</i>	<i>58</i>
2.7.2	<i>Test des règles de gestion actuelles des lacs-réservoirs pour les étiages futurs avec des hypothèses de remplissage variables.....</i>	<i>60</i>
2.7.3	<i>Comparaisons des scénarios passés et futurs.....</i>	<i>62</i>
2.7.4	<i>Conséquences socio-économiques projetées : une forte sensibilité au taux de remplissage.....</i>	<i>65</i>
2.8	CE QU'IL FAUT RETENIR DU DIAGNOSTIC.....	67
3	EVALUATION DES REGLES DE GESTION ENVISAGEES DANS LE CADRE DE LA REVISION DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS-RESERVOIRS.....	68
3.1	REVISIONS ENVISAGEES DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS-RESERVOIRS MARNE, SEINE ET AUBE.....	68
3.1.1	<i>Objectifs des révisions envisagées.....</i>	<i>68</i>
3.1.2	<i>Synthèse de la révision envisagée du règlement d'eau du lac-réservoir Marne.....</i>	<i>69</i>
3.1.3	<i>Synthèse de la révision envisagée du règlement d'eau des lac-réservoirs Seine et Aube.....</i>	<i>70</i>
3.2	ANALYSE DES NOUVELLES REGLES DE GESTION ENVISAGEES POUR LES ETIAGES SEVERES DU PASSE POUR LES LACS-RESERVOIRS MARNE, SEINE ET AUBE.....	72
3.3	CE QU'IL FAUT RETENIR DES REVISIONS ETUDIEES.....	82
4	PROPOSITION DE MESURES D'ADAPTATION.....	83
4.1	CE QUE NOUS ENSEIGNENT LES TESTS DES ETIAGES DU FUTUR.....	83
4.2	ADAPTATIONS RELEVANT DU CHAMP OPERATIONNEL DE L'EPTB.....	84
4.2.1	<i>La révision des courbes de gestion des lacs réservoirs Marne, Seine et Aube : une action potentiellement d'application immédiate.....</i>	<i>84</i>
4.2.2	<i>L'adaptation conjoncturelle en gestion de crise : qualifier le risque et améliorer l'efficacité des lâchers par rapport à un ou plusieurs objectifs aval.....</i>	<i>96</i>
4.2.3	<i>Anticipation du risque à moyen terme : mise en place d'indicateurs piézométrique de « risque d'intensité potentielle de l'étiage à venir » pour le pilotage stratégique.....</i>	<i>99</i>
4.3	ADAPTATIONS STRUCTURANTES DU BASSIN.....	100
4.3.1	<i>Les économies d'eau : une action sans regret.....</i>	<i>100</i>
4.3.2	<i>La planification des volumes prélevables.....</i>	<i>103</i>

4.3.3	<i>La révision des seuils de gestion une nécessité pour demain qui se prépare aujourd'hui : une co-adaptation avec la ressource</i>	104
4.3.4	<i>Actions à mener pour la qualité des eaux</i>	107
4.4	ACTIONS DE CONCERTATION ET DE COMMUNICATION	108
4.4.1	<i>Tenue d'ateliers collectifs de réflexion</i>	108
4.4.2	<i>Validation statistique des hypothèses retenues sur la base des dernières données disponibles</i>	109
4.4.3	<i>Diffusion des connaissances</i>	109
4.5	CE QU'IL FAUT RETENIR DES OPTIONS D'ADAPTATIONS	109

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques actuelles et des particularités du territoire (extrait du rapport de phase 1)	11
Figure 2 : Répartition des 35 stations hydrométriques et 44 piézomètres du bassin de la reconstitution AQUI-FR (extrait du rapport de phase 1)	13
Figure 3 : Synoptique simplifié de l'élaboration des données hydrologiques du climat futur (extrait du rapport de phase 3)	14
Figure 4 : Localisation des stations Météo France (convention EPTB / Météo France) (extrait du rapport de phase 1)	15
Figure 5 : Localisation des stations d'enregistrement de la température du réseau Naïades (extrait du rapport de phase 1)	16
Figure 6 : Localisation des stations de mesure de l'oxygène dissous du réseau Naïades (extrait du rapport de phase 1)	17
Figure 7 : Localisation des points de prélèvement (données AESN 2008-2017)	18
Figure 8 : L'hydrogéologie en lien avec l'hydrologie (extrait du rapport de phase 1)	20
Figure 9 : Analyse des données des ouvrages de la nappe de la craie (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)	21
Figure 10 : Bilan des différentes zones productives et capacitives du périmètre de l'EPTB (extrait du rapport de phase 1)	22
Figure 11 : Analyse des relations nappe/rivière entre la Seine et la nappe de la Craie (période 1944-1952 – données AQUI-FR, extrait du rapport de phase 1)	23
Figure 12 : Analyse des temps de retours des étiages à Paris Austerlitz (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)	24
Figure 13 : Analyse du déficit moyen mensuel interannuel par rapport aux QMNA5 sur la Seine à Paris-Austerlitz (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)	25
Figure 14 : Calage du modèle de température de l'eau pour la station de la Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry à partir des données de la station météorologique de Melun (extrait du rapport de phase 1)	27
Figure 15 : Comparaison entre les concentrations simulées théoriques en O ₂ dissous à saturation et les données mesurées pour la station de la Seine à Poses (extrait du rapport de phase 1)	29
Figure 16 : Bilan des transferts d'azote et de phosphore pour la Seine (fascicule PIREN Seine « l'Eutrophisation des cours d'eau du bassin de la Seine », 2009 – extrait du rapport de phase 1)	30
Figure 17 : Evolution des teneurs en NO ₃ ⁻ des principaux cours d'eau du périmètre de l'EPTB de 2016 à 2020 (extrait du rapport de phase 1)	31
Figure 18 : Evolution des teneurs en PO ₄ des principaux cours d'eau du périmètre de l'EPTB de 2008 à 2020 (extrait du rapport de phase 1)	32
Figure 19 : Evolution globale et moyenne des VCN10 entre les périodes de référence passées et les périodes futures au niveau de la station de Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)	33
Figure 20 : Evolution globale et moyenne des durées des étiages par rapport aux QMNA5 des périodes de références, entre les périodes de référence passées et les périodes futures au niveau de la station de Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)	33
Figure 21 : Evolution de la température de l'eau de la Seine à Suresnes 2 à l'horizon 2040-2070 comparativement à la période 1985-2005 (extrait du rapport de phase 1)	37
Figure 22 : Evolution de la concentration en O ₂ dissous à saturation de l'eau de la Seine Suresnes à l'horizon 2040-2070 comparativement à la période 1985-2005 (extrait du rapport de phase 1)	38
Figure 23 : Trajectoires d'évolution en azote et phosphore des réponses aux intrants agricoles (The Seine Watershed Water-Agro-Food System : Long-Term Trajectories of C, N and P Metabolism, G. Billen et al., 2019) – extrait du rapport de phase 1	39
Figure 24 : Part de recyclage de l'azote et du phosphore dans les excréments humains pour le scénario futur de « circulation » (Past and future Trajectories of Human Excreta Management Systems : paris in the Nineteenth to Twenty-first Centuries, F. Esculier et al., 2019) – extrait du rapport de phase 1	40
Figure 25 : Estimation des prélèvements des usages sur tout le bassin d'étude	41
Figure 26 : Estimation des consommations des usages sur tout le bassin d'étude	42
Figure 27 : Taux de réduction du nombre de jours sous le seuil de crise grâce au soutien d'étiage à chaque station pilote	43

Figure 28 : Schéma des enjeux liés à l'AEP et aux activités de service desservies en eau potable (sources : rapport de phase 3, données AESN 2008-2017)	44
Figure 29 : Schéma des enjeux liés aux activités industrielles préleveuses et/ou desservies en eau potable (source : rapport de phase 3)	44
Figure 30 : Schéma des enjeux liés à l'irrigation (sources : Ecodecision, rapport de phase 3, données AESN 2008-2017)	45
Figure 31 : Schéma des enjeux liés à la navigation	46
Figure 32 : Schéma des enjeux liés à l'assainissement	47
Figure 33 : Impacts des prélèvements en eau souterraine sur le débit de la rivière (BRGM, modifié) – extrait du rapport de phase 1	49
Figure 34 : Impacts des usages actuels sur l'axe Seine à Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)	50
Figure 35 : Analyse statistique de l'historique de la gestion des courbes du lac-réservoir Marne (extrait du rapport de phase 3)	52
Figure 36 : Analyse statistique de l'historique de la gestion des courbes et des tranches du lac-réservoir Marne (extrait du rapport de phase 3)	52
Figure 37 : Analyse des déficits par rapport au débit de vigilance à Gournay-sur-Marne (extrait du rapport de phase 3)	53
Figure 38 : Analyse des déficits par rapport au débit de vigilance à Pont-sur-Seine (extrait du rapport de phase 3)	53
Figure 39 : Analyse du déficit par rapport au seuil de vigilance pour la station de Gournay-sur-Marne en 2011 (extrait rapport de phase 3)	54
Figure 40 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Paris-Austerlitz, avec et sans soutien d'étiage théorique (extrait rapport de phase 3)	57
Figure 41 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Gurgy, avec et sans soutien d'étiage théorique (extrait rapport de phase 3)	57
Figure 42 : nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation sur les étiages passés	59
Figure 43 : Aggravation du nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation pour les étiages du futur 2050	61
Figure 44 : Aggravation du nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation entre les étiages passés et futurs	62
Figure 45 : Courbes d'accroissement du risque cumulé sur tout le bassin selon le taux de remplissage	63
Figure 46 : Diagramme hiérarchisant les stations en fonction du nombre de jours de crises	64
Figure 47 : Chiffrage des incidences socio-économiques des scénarios sans soutien d'étiage et avec (pour deux taux de remplissage), pour l'étiage sévère de 1921 sur les usages tributaires du soutien d'étiage sur l'ensemble du bassin amont de la Seine	65
Figure 48 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions de juin à décembre pour un taux de remplissage de 50% des lacs-réservoirs, pour les scénarios d'étiage passé et futur basés sur l'étiage sévère de 1949	66
Figure 49 : Courbe de gestion du lac-réservoir Marne envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)	69
Figure 50 : Courbe de gestion du lac-réservoir Seine envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)	71
Figure 51 : Courbe de gestion du lac-réservoir Aube envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)	71
Figure 52 : Comparaison entre l'application théorique des anciennes (à gauche) et des nouvelles courbes de gestion (à droite) envisagées pour les 4 années d'étiages sévères retenues	79
Figure 53 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Pont-sur-Seine, avec et sans soutien d'étiage théorique et avec les nouvelles courbes de gestion	81
Figure 54 : Propositions d'adaptations de la courbe théorique de gestion pour le réservoir Marne	93
Figure 55 : Propositions d'adaptations de la courbe théorique de gestion pour le réservoir Seine	94
Figure 56 : Propositions d'adaptations de la courbe théorique de gestion pour le réservoir Aube	95
Figure 57 : Adaptation conjoncturelle de la gestion : illustration	97
Figure 58 : Déficit à Paris associé au débit visé pour chacun des 4 étiages sévères.	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparatif des données de naturalisation des débits disponibles (extrait rapport de phase 1)	12
Tableau 2 : Synthèse des indicateurs d'étiages à Paris Austerlitz (données AQUI-FR – extrait du rapport de phase 1)	25
Tableau 3 : Bilan des évolutions de températures de l'eau simulées à l'horizon 2040-2070 (extrait du rapport de phase 1)	35
Tableau 4 : Bilan des évolutions des concentrations en O ₂ dissous à saturation simulées à l'horizon 2040-2070 (extrait du rapport de phase 1)	36
Tableau 5 : Estimation des consommations d'eau par usage sur tout le bassin d'étude.....	42
Tableau 6 : Niveaux de remplissages théoriques de la tranche d'exploitation atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3).....	55
Tableau 7 : Niveaux de remplissages théoriques des lacs-réservoirs atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3).....	55
Tableau 8 : Débits de déstockages théoriques atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3).....	56
Tableau 9 : Evolution du volume stocké dans les lacs-réservoirs avec l'application des nouvelles courbes de gestion (si négatif, baisse du volume stocké).....	72
Tableau 10 : Evolution des débits de déstockage dans les lacs-réservoirs avec l'application des nouvelles courbes de gestion (si négatif, baisse du débit de restitution)	72
Tableau 11 : Evolution du nombre de jours sous les seuils réglementaires avec l'application des nouvelles courbes de gestion, durant toute la durée de l'étiage (si négatif, baisse du nombre de jours sous les seuils)	80
Tableau 12 : Evolution du nombre de jours sous les seuils réglementaires avec l'application des nouvelles courbes de gestion, pour la gestion tardive de l'étiage uniquement (si négatif, baisse du nombre de jours sous les seuils).....	80
Tableau 13 : Propositions de valeurs de remplissage de tranches de réserves variables des réservoirs Marne, Seine et Aube	88
Tableau 14 : Bilan des pertes par fuites et projections des pertes évitées en fonction des rendements moyen par département des réseaux de distribution d'eau potable sur le territoire d'EPTB Seine Grands Lacs. *Pour le 78 et le 94 il s'agit de la moyenne nationale de 2016 (79,6%) arrondie à 80%.	101
Tableau 15 : Synthèse des enjeux des autres usages économiques et de l'alimentation en eau potable quantifiés à l'échelle de chaque tronçon (sources : SIPSEA 2018, INSEE 2018, Eau de Paris, SEDIF, données AESN)	102

1 INTRODUCTION

La phase 1 de cette étude a consisté en la caractérisation des étiages du bassin au travers de :

- la collecte, l'expertise et l'analyse des données des débits actuels, de reconstitution du passé et de prospective du temps futur ;
- la collecte, l'expertise et l'analyse des données de météorologie et de qualité des eaux du bassin ;
- la caractérisation du fonctionnement de l'hydrosystème et la compréhension des mécanismes à l'origine des étiages sévères ;
- une analyse statistique et détaillée des étiages du passé afin d'identifier plusieurs étiages historiques d'intérêt ;
- une analyse détaillée des données disponibles sur l'hydrologie future et les limites des données associées ;
- une analyse prospective de l'évolution de la qualité des eaux ;
- la construction d'outils de modélisation et de calculs des impacts hydrologiques des usages actuels sur l'hydrologie ;

La phase 2, portant sur la caractérisation des usages socio-économiques et des enjeux environnementaux exposés au risque d'étiage a permis de réaliser :

- la collecte, l'expertise et l'analyse des données historiques des usages actuels, qu'il s'agisse d'usages pour l'eau potable, l'industrie, l'irrigation ou l'alimentation des canaux de navigation ;
- le bilan des prélèvements, transferts et rejets afin de caractériser précisément les consommations en eau de chacun des usages ;
- pour les usages nécessitant des compléments de données (irrigation et CNPE notamment), à la réalisation de modèles d'analyse et de reconstitution des besoins ;
- l'analyse des seuils des arrêtés cadres définissant les règles d'application des mesures de restrictions ;
- une analyse de l'adaptation des usages en période de sécheresse ;
- l'établissement de scénarios prélèvements/transferts/rejets pour les temps présent et futurs ;

La phase 3, sur l'évaluation des incidences socio-économiques et des enjeux environnementaux exposés au risque d'étiage consistait à :

- analyser et décrire précisément les règles de gestion actuelles des lacs-réservoirs ainsi que les franchissements de seuils à l'aval de ces derniers ;
- analyser et décrire l'impact des usages actuels sur les étiages actuels, passés et futurs ;
- analyser et décrire l'application des règles de gestion actuelles sur les 4 étiages sévères du passé retenus, impactés des usages présents ;
- Evaluer sur les étiages extrêmes du passé, les étiages actuels et les étiages futurs, l'incidence du taux de remplissage des réservoirs avant l'étiage.
- évaluer les incidences socio-économiques de l'application des règles de gestion actuelles sur les étiages extrêmes du passé, les étiages actuels et les étiages futurs.

Ce rapport de phase 4 reprend et synthétise les principaux éléments des phases précédentes. Il analyse les limites des règles de gestion actuelles et propose des mesures d'adaptions argumentées sur la base des éléments détaillés dans les précédentes phases, et rappelés dans ce rapport.

Ce rapport a vocation à être « auto-porteur », à destination des gestionnaires de la ressource souhaitant disposer d'une vision synthétique et succincte de l'étude et des résultats obtenus, sans nécessiter au préalable la lecture de plusieurs centaines de pages de rapports techniques. Le lecteur souhaitant plus de précision pourra cependant se rapporter aux rapports détaillés des phases précédentes.

2 EVALUATION DES REGLES DE GESTION ACTUELLES DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS-RESERVOIRS

2.1 Synthèse de l'analyse des données existantes

2.1.1 Données hydrométriques actuelles

Les données mesurées sur les stations actuellement en service et les stations historiques sont disponibles via l'interface Hubeau (<https://hubeau.eaufrance.fr/>). Pour le territoire de l'EPTB Seine Grands Lacs, les données mobilisables sont celles de nombreuses stations hydrométriques sur des périodes différentes selon chaque station (cf. figure 1).

Les données mesurées, disponibles ne représentent pas les écoulements journaliers naturels puisque de nombreux usages de l'eau impactent les débits des cours d'eau (prélèvements divers, présence de canaux court-circuitant certains secteurs, stockages et déstockages d'eau depuis les lacs réservoirs...).



Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques actuelles et des particularités du territoire (extrait du rapport de phase 1)

2.1.2 Données de reconstitution et réanalyses des débits naturels du passé

L'hydrologie « désinfluencée » et « naturalisée » du bassin de la Seine en amont de Paris a été reconstituée par plusieurs organismes selon plusieurs méthodes et hypothèses, aboutissant à des jeux de données bien distincts (**cf. tableau 1**).

SOURCE	PERIODE	NB POINTS	HYPOTHESES
DONNEE EPTB	1900-2009	25	Débits naturalisés, désinfluencés des lacs-réservoirs et des influences AEP Paris mais pas les influences locales. Succession de travaux basés sur l'évolution des données disponibles et de modèles variés.
AQUI-FR CERFACS	1852-2008	35 (superficiels) 44 (souterrains)	Débits naturalisés reconstitués à partir d'une réanalyse météorologique et d'un modèle hydrogéologique. Reconstitution des niveaux piézométriques en lien avec les débits simulés. Cohérence dans le temps et l'espace.
INRAE	1871-2012	41	Débits naturalisés ou faiblement influencés (attention pour l'Yonne – influence de <u>Pannecière</u>). Résultats uniquement sur des petits bassins hors stations Seine et Marnes.

Tableau 1 : Comparatif des données de naturalisation des débits disponibles (extrait rapport de phase 1)

Suite à différents travaux de comparaisons de ces jeux de données, la reconstitution AQUI-FR, du CERFACS (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique) (**cf. figure 2**) a été retenue pour la suite de l'étude, du fait :

- de la simulation de débits sur l'ensemble des axes réalimentés Seine, Aube, Yonne et Marne ;
- de la cohérence globale liée à la méthode de reconstitution ;
- de l'absence totale de prise en compte d'influences superficielles et souterraines (prélèvements, canaux, lacs-réservoirs) ;
- du nombre de points hydrologiques de sortie plus élevé (35) que pour les autres reconstitutions ;
- de sorties de données piézométriques sur de nombreux points (44) (absence de ce type de données pour les autres reconstitutions).

A noter que des travaux de différents organismes de recherche (Centre de Géosciences Mines ParisTech et CERFACS) sont actuellement en cours et devraient permettre dans les prochains mois la mise à disposition de données issues :

- d'une recalibration et une amélioration significative du modèle AQUI-FR via le passage au nouveau modèle CaWaQS-Seine (Flipo et al, 2020) ;
- la simulation de chroniques longue durée suivant les projections climatiques du nouvel exercice du GIEC (Boé, 2020).

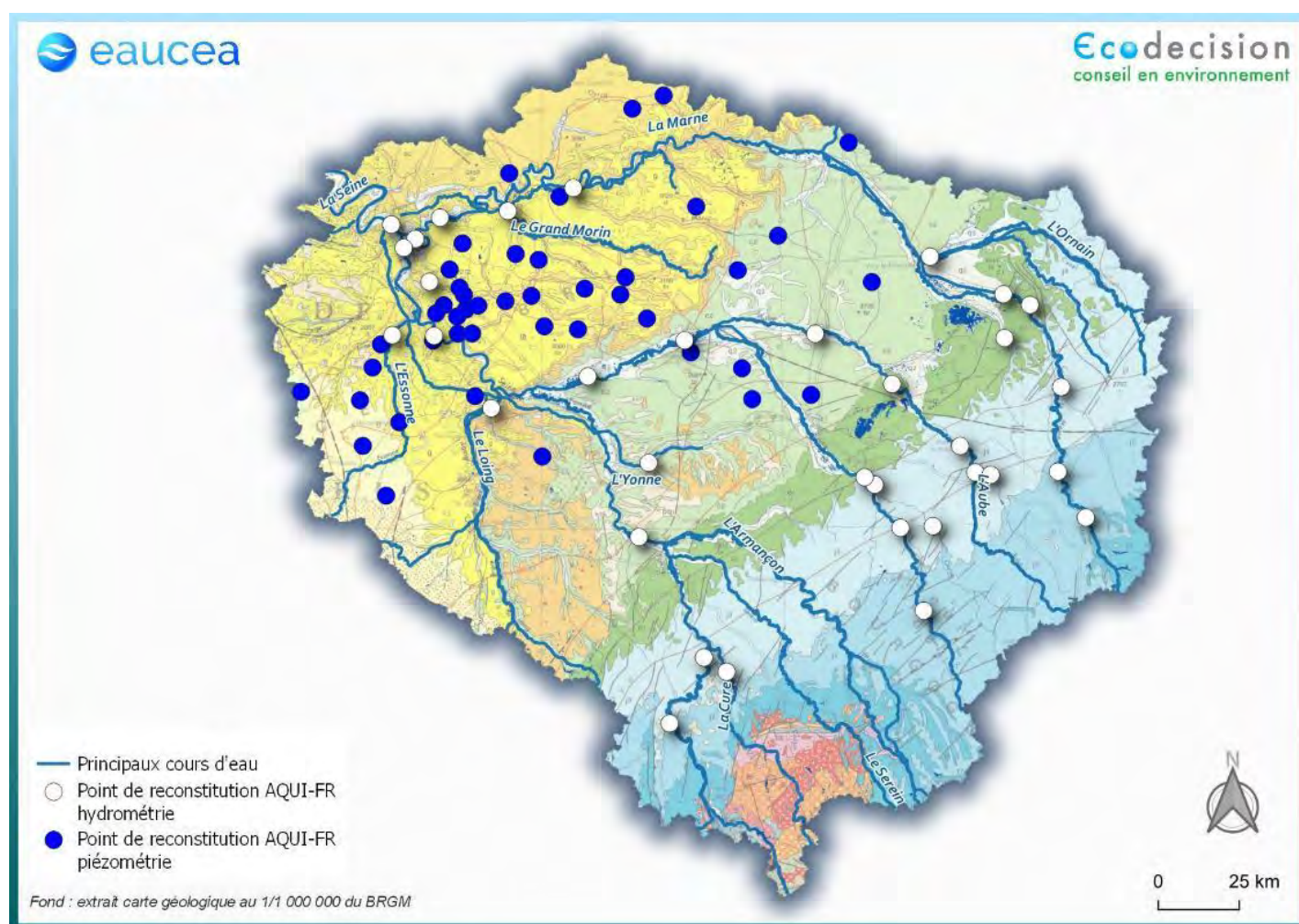


Figure 2 : Répartition des 35 stations hydrométriques et 44 piézomètres du bassin de la reconstitution AQUI-FR (extrait du rapport de phase 1)

2.1.3 Données hydrologiques du climat futur

Les données hydrologiques de perspectives futures mises à disposition de l'EPTB Seine Grands Lacs proviennent de l'étude de descriptions des « scénarios sécheresse » plausibles du bassin Seine-Normandie réalisée en 2018. Les documents de références décrivant l'étude sont les suivants :

- *Scénarios sécheresse sur le bassin Seine-Normandie*, Julien Boé, Milka Radojevic, Rémy Bonnet et Gildas Dayon, 2018 ;
- *Impacts of climate change on the hydrological cycle over France and associated uncertainties*, Gildas Dayon, Julien Boé, Eric Martin, Joel Gailhard, C.R. Géoscience 350 pp 141-153, 2018.

Ces données de débits sont le résultat de simulations de l'hydrologie naturelle sans forçage par des effets anthropiques tels que la gestion des barrages, les prises d'eau et les rejets... Les données à disposition correspondent à 4 épisodes hydrologiques futurs de 6 ans, issus de 4 modèles différents (cf. figure 3).

Ces données permettent d'apprécier :

- la variabilité des résultats des modèles ;
- une évolution relative de l'hydrologie avec les périodes de référence théoriques (1950 à 2005) correspondant aux résultats de l'initialisation de ces mêmes modèles. Le taux

Ces données ne permettent cependant pas :

- la reconstitution d'une chronique statistique longue période de l'hydrologie future ;
- la comparaison avec les données du modèle AQUI-FR de reconstitution des débits naturels passés (modèles et hypothèses d'entrées différentes) ;
- la comparaison avec des débits naturels recalculés à partir des mesures actuelles.

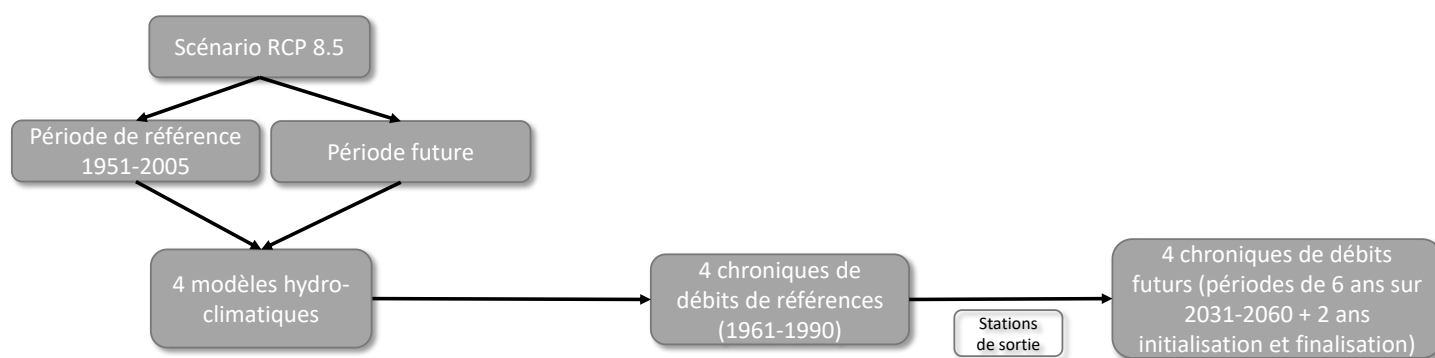


Figure 3 : Synoptique simplifié de l'élaboration des données hydrologiques du climat futur (extrait du rapport de phase 3)

Pour dépasser cette difficulté il a été convenu d'affecter les étiages sévères du passé d'un coefficient réducteur de – 20%. Cette valeur est directement issue des projections hydro-climatiques modélisées pour les QMNA entre les périodes de références passées et les périodes futures (à l'horizon 2050).

2.1.4 Données météorologiques

De nombreuses données météorologiques mesurées (précipitations, températures, évapotranspirations) ont été mise à disposition dans le cadre de cette étude. Ces données sont issues (cf. figure 4) :

- de 11 stations météo France dans le cadre d'une convention EPTB Seine Grands Lacs/ météo France ;
- de pluviomètres gérés par l'EPTB Seine Grands Lacs situés au niveau des grands lacs-réservoirs ou en amont.

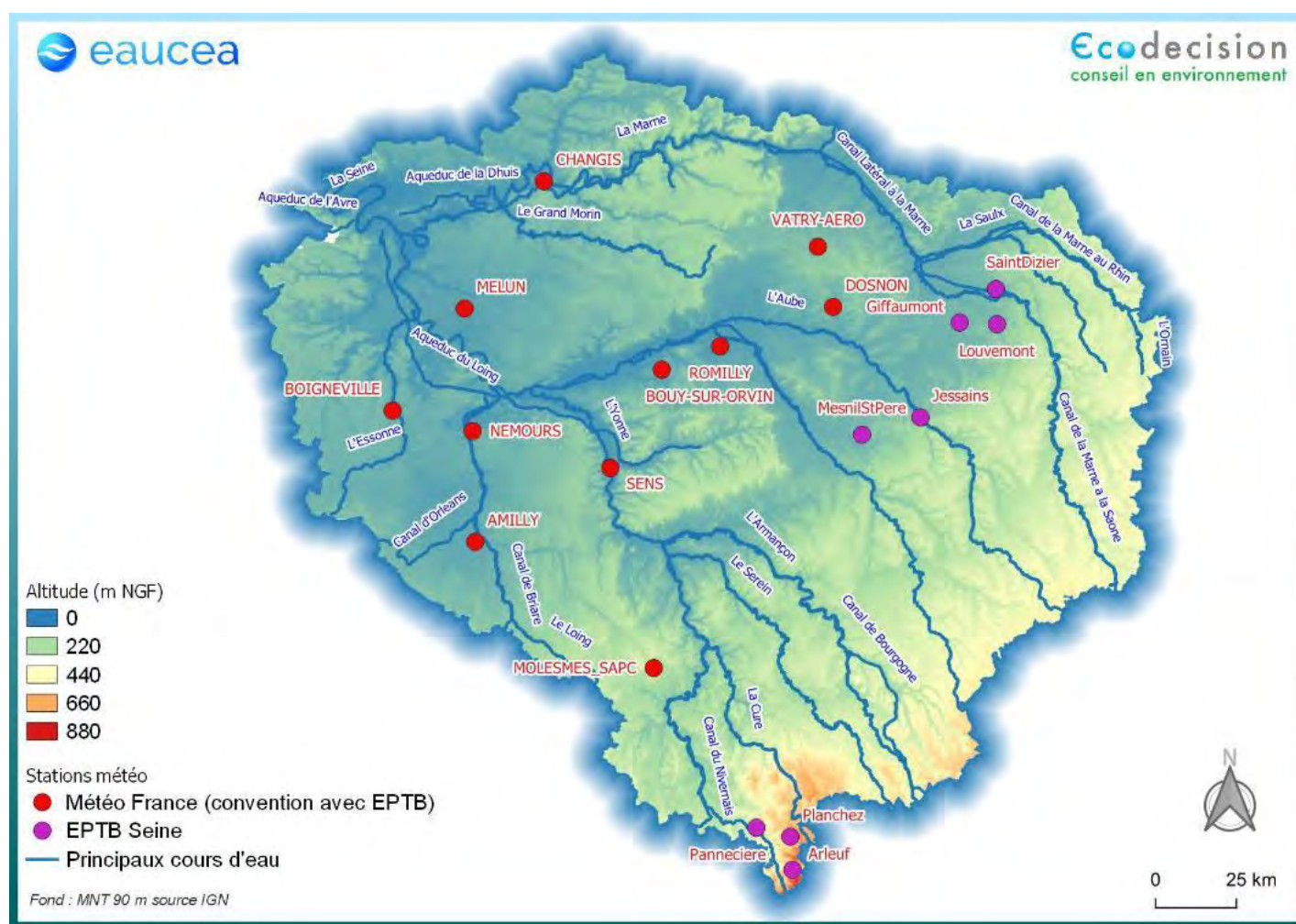


Figure 4 : Localisation des stations Météo France (convention EPTB / Météo France) (extrait du rapport de phase 1)

2.1.5 Données de qualité des eaux

Les stations du réseau Naïade présentant, depuis 2000, des enregistrements de températures ont été recherchées sur le territoire de l'EPTB. Au total 47 stations d'enregistrement sont présentes sur les différents cours d'eau du territoire de l'EPTB (cf. figure 5).

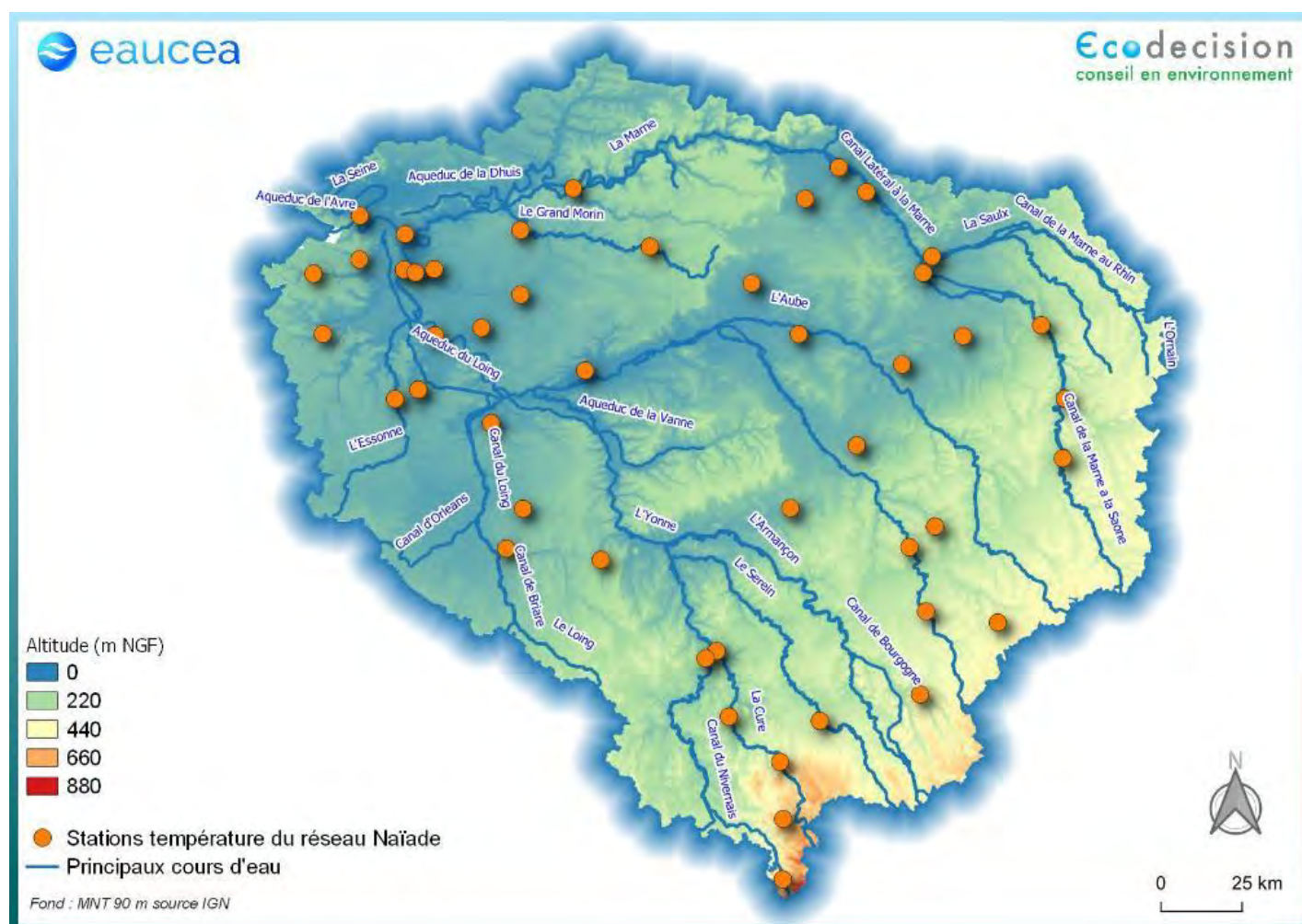


Figure 5 : Localisation des stations d'enregistrement de la température du réseau Naïades (extrait du rapport de phase 1)

Concernant des données relatives à l'oxygène dissous. Au total, 1244 stations sont présentes sur les différents cours d'eau du territoire de l'EPTB (cf. figure 6). A noter que contrairement aux stations températures, il ne s'agit non pas d'enregistrements mais de données ponctuelles.

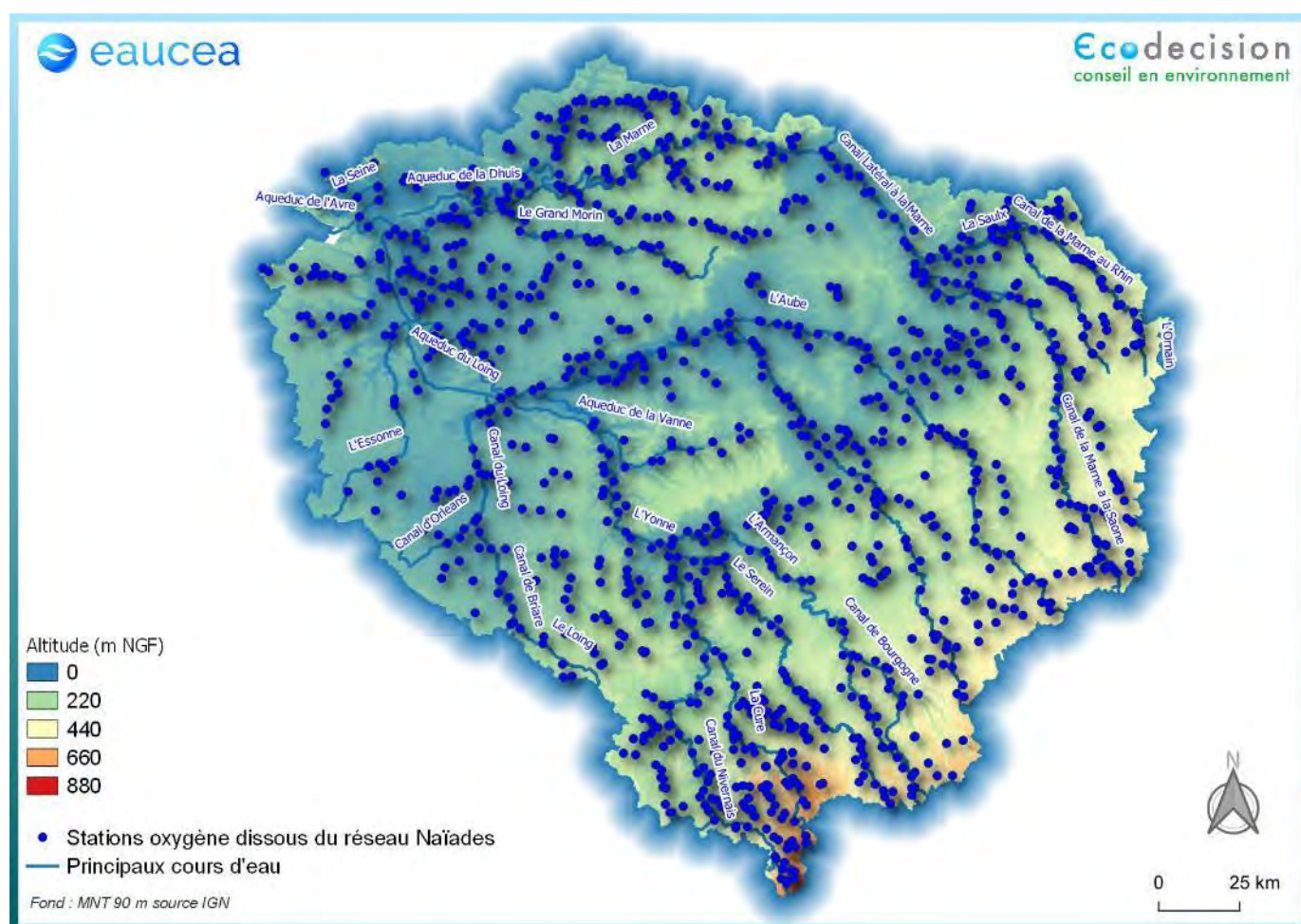


Figure 6 : Localisation des stations de mesure de l'oxygène dissous du réseau Naïades (extrait du rapport de phase 1)

2.1.6 Données d'usages

Les assiettes de redevances de l'AESN sur la période 2008-2017, donnant des volumes annuels par point de prélèvement (cf. **Figure 7**), ont été privilégiées pour la caractérisation des usages car l'indication de la masse d'eau permet de distinguer les prélèvements (superficiels et souterrains) en masses d'eau réalimentées et de mieux retracer le fonctionnement hydrologique du territoire.

Localisation des points de prélèvement

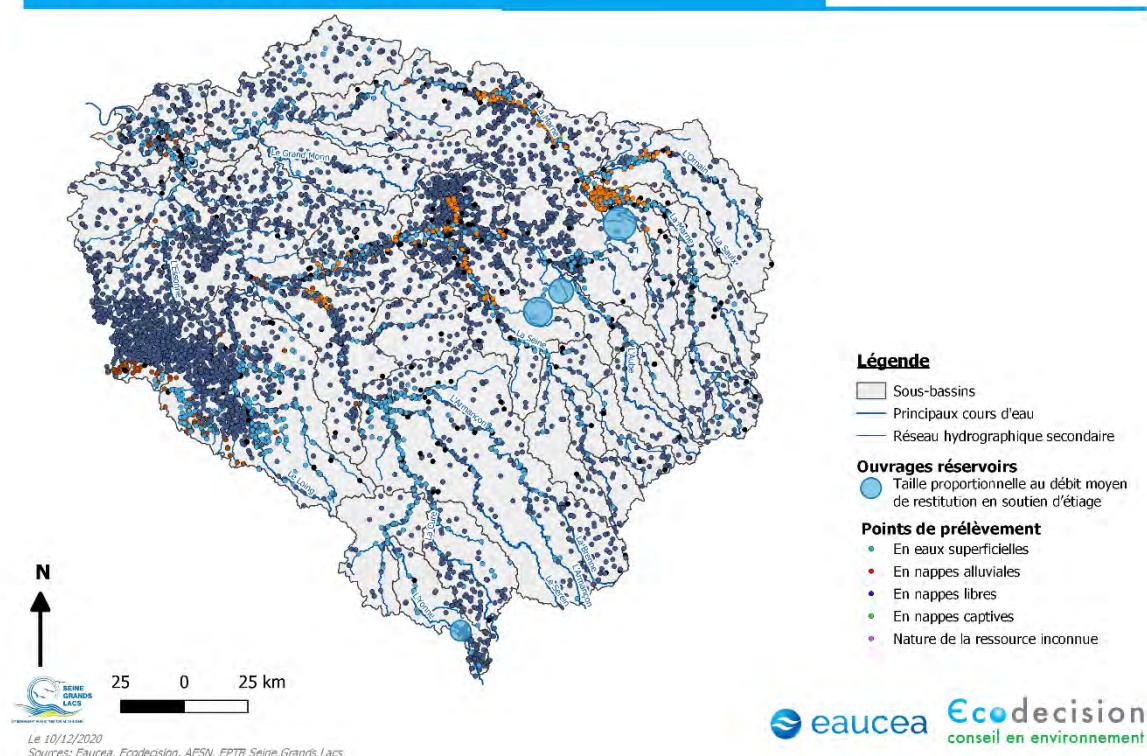


Figure 7 : Localisation des points de prélèvement (données AESN 2008-2017)

Pour mieux cerner les usages économiques de l'eau et retracer le fonctionnement hydrologique du territoire, des enquêtes auprès d'acteurs préalablement identifiés ont été effectuées.

L'objectif de ces échanges a été d'abord de recueillir des informations et/ou d'en préciser certaines concernant les prélèvements, les restitutions, les consommations, la saisonnalité et la sensibilité de ces acteurs aux épisodes secs.

Les acteurs interrogés ont été :

- Eau de Paris :
- Le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF)
- SUEZ
- Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)
- Voie Navigable de France (VNF – Direction Territoriale Centre Bourgogne, Grand Est et Bassin de la Seine)
- Ville de Paris (Service des Canaux) :
- CLIMESPACE :
- Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Nogent-sur-Seine.

En ce qui concerne l'irrigation, un modèle agricole, le modèle Irrid, développé par Eaucea a été mobilisé. Ce modèle permet de reconstituer un régime de prélèvement pour l'irrigation et d'appréhender en détail l'intensité et le régime des prélèvements des différents sous-bassins.

Pour l'établissement des scénarios de prélèvements/rejets futurs, le travail s'est essentiellement basé sur la bibliographie, mais aussi en poursuivant les échanges avec les acteurs et l'exploitation des données hydrologiques du climat futur.

De l'analyse de ces données, il a été possible de dresser un bilan hydrologique de usages sur l'ensemble du bassin amont de la Seine et à l'échelle de chaque sous-bassin, reconstituant une répartition moyenne dans le temps des prélèvements et des consommations actuels et futurs, par grande catégorie d'usage.

2.2 Synthèse de la caractérisation des étiages passés du bassin

2.2.1 La compréhension des phénomènes d'étiage

Les caractéristiques des formations géologiques rencontrées et notamment leurs capacités à infiltrer de l'eau ou au contraire au ruissellement, influent fortement sur l'hydrographie de surface et l'occupation des sols. En effet, au niveau des formations calcaires ou sableuses présentant de fortes capacités d'infiltrations (calcaires du Jurassique, calcaires du Crétacé supérieur, sables du Miocène), le réseau hydrographique est peu dense (**cf. figure 8**). A l'inverse, quand des formations de socle ou marneuses sont à l'affleurement (affleurement du socle à l'amont du bassin, marnes du Crétacé inférieur, marnes des formations Eocène et Oligocène), le réseau hydrographique forme un chevelu très dense.

Ainsi, la présence ou non de grands cours d'eau et de zones avec des disponibilités en eau superficielle importantes ou non, a de tous temps façonné l'occupation du sol par l'homme pour arriver à celle que l'on connaît aujourd'hui. La tectonique des plaques et la dynamique de mise en place des formations géologiques ainsi que leurs caractéristiques aquifères ou imperméables est donc le principal moteur de l'hydrographie et de l'hydrologie actuelles, ainsi que de l'occupation humaine du territoire.

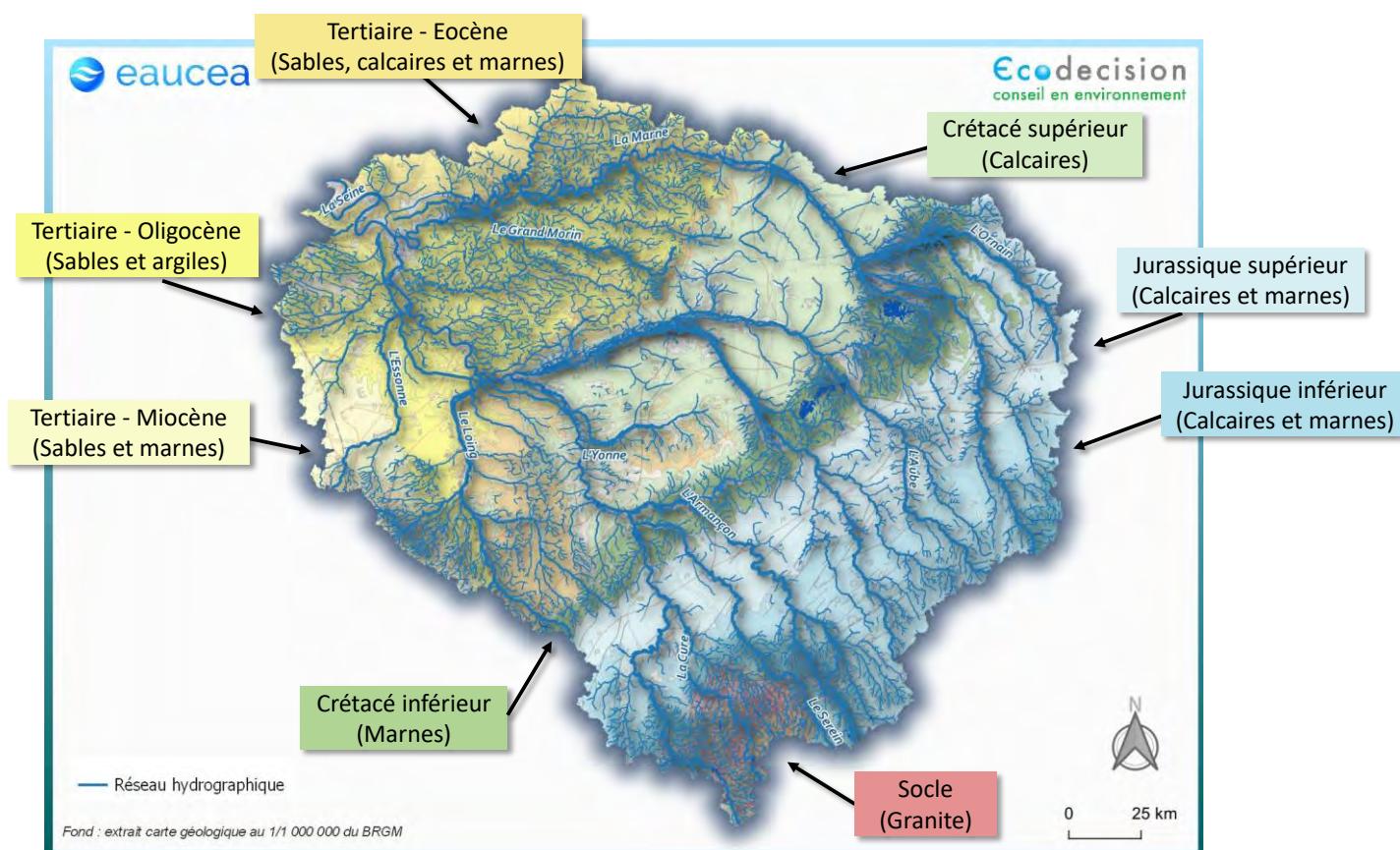


Figure 8 : L'hydrogéologie en lien avec l'hydrologie (extrait du rapport de phase 1)

Les données de sortie du modèle AQUI-FR comprennent non seulement des données hydrologiques, mais aussi de nombreuses données piézométriques. L'analyse des données de ces ouvrages montre (cf. figure 9) :

- des grands cycles globalement similaires entre tous les ouvrages avec :
 - une période de niveaux bas de 1900 à 1909,
 - une période de niveaux élevés de 1910 à 1942 avec deux sous-périodes très basses en 1922 et 1935,
 - une période de niveaux bas avec 3 sous-périodes très basses en 1951, 1965 et 1974,
 - une période de niveaux modérés avec une sous-période basse en 1993 et une tendance à la baisse à partir de 2005,
- des amplitudes de variations variables selon les ouvrages comprises entre 4 et 40 m (nappe de la Craie).

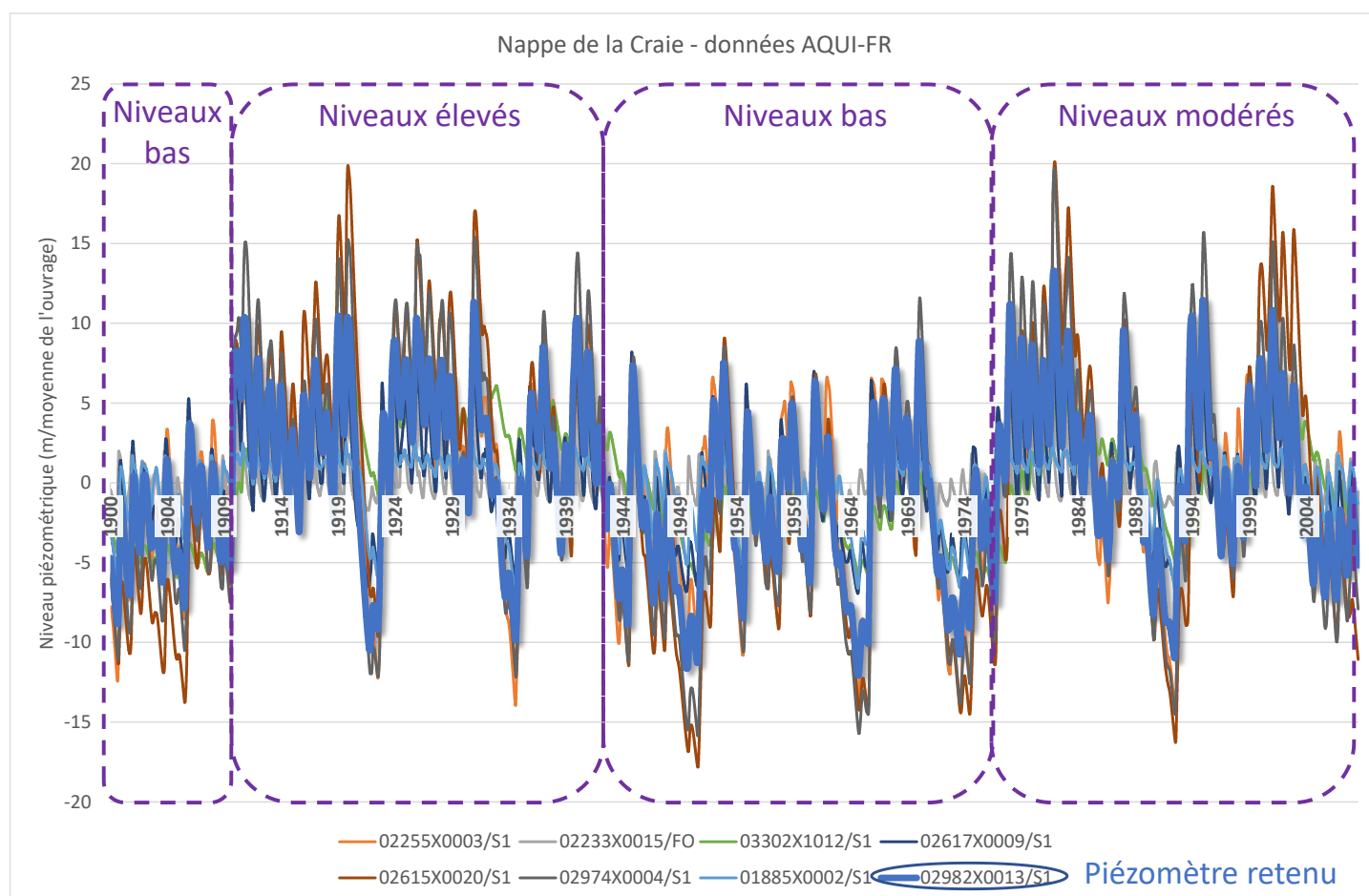


Figure 9 : Analyse des données des ouvrages de la nappe de la craie (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)

L'analyse des données piézométriques et hydrologique présentée dans le rapport de phase 1 a montré que, la dynamique « naturelle » de mise en place des étiages sévères du bassin dépend (cf. **figures 10 et 11**) :

1. des précipitations sur l'amont du bassin (zone productive) ;
2. de la durée de l'étiage ;
3. du niveau piézométrique de la zone centrale correspondant à la nappe de la craie (zone capacitive), qui est lui-même fonction :
 - o de la recharge hivernale des années N-1 et N-2 ;
 - o de la recharge hivernale des années précédentes.

Les relations nappe/rivière avec la partie plus en aval des aquifères du Tertiaire sont difficilement étudiables du fait notamment de l'influence des parties amont et de la diversité des niveaux aquifères rencontrés dans ces secteurs et ne sont donc pas présentées ici. L'hydrographie de surface semble cependant indiquer :

1. pour l'aquifère multicouche de la Beauce une infiltration prédominante et donc une fonction capacitive (en lien avec les nombreux points de prélèvements agricoles souterrains) ;
2. pour les formations de l'Oligocène et de l'Eocène, un ruissellement majoritaire et donc une fonction préférentielle de production.

A cette dynamique naturelle s'ajoutent bien entendu les effets anthropiques (prélèvements, canaux...) détaillés dans la phase 2 de cette étude.

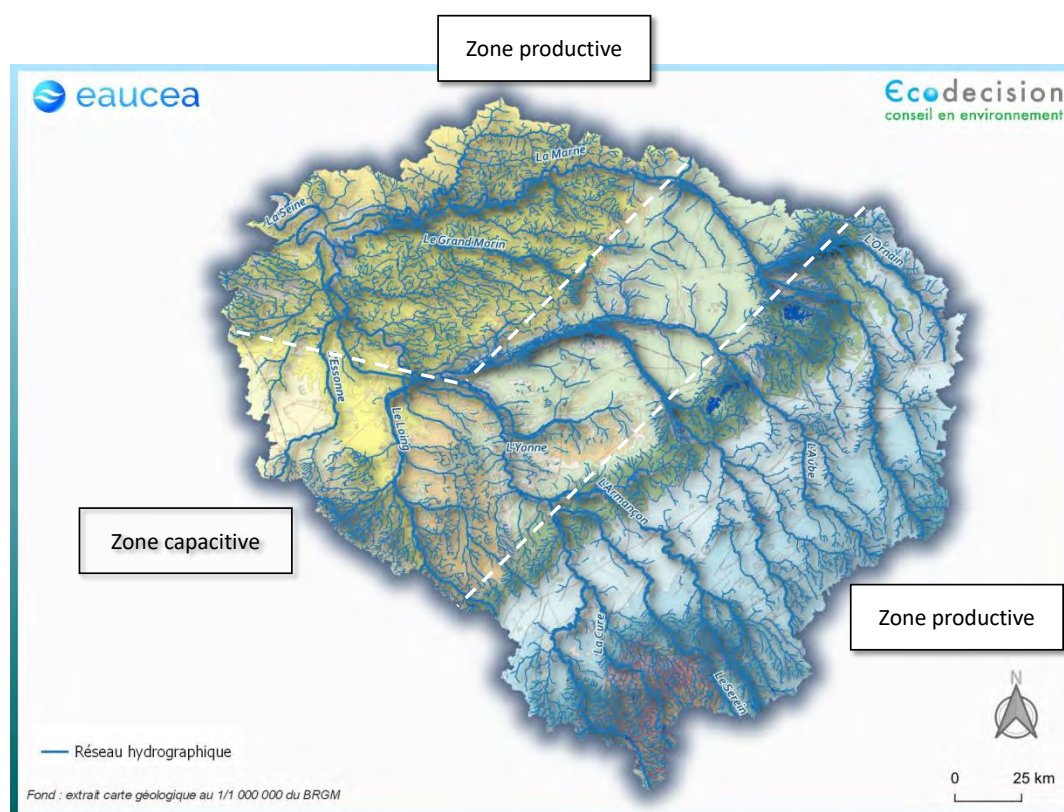


Figure 10 : Bilan des différentes zones productives et capacitives du périmètre de l'EPTB (extrait du rapport de phase 1)

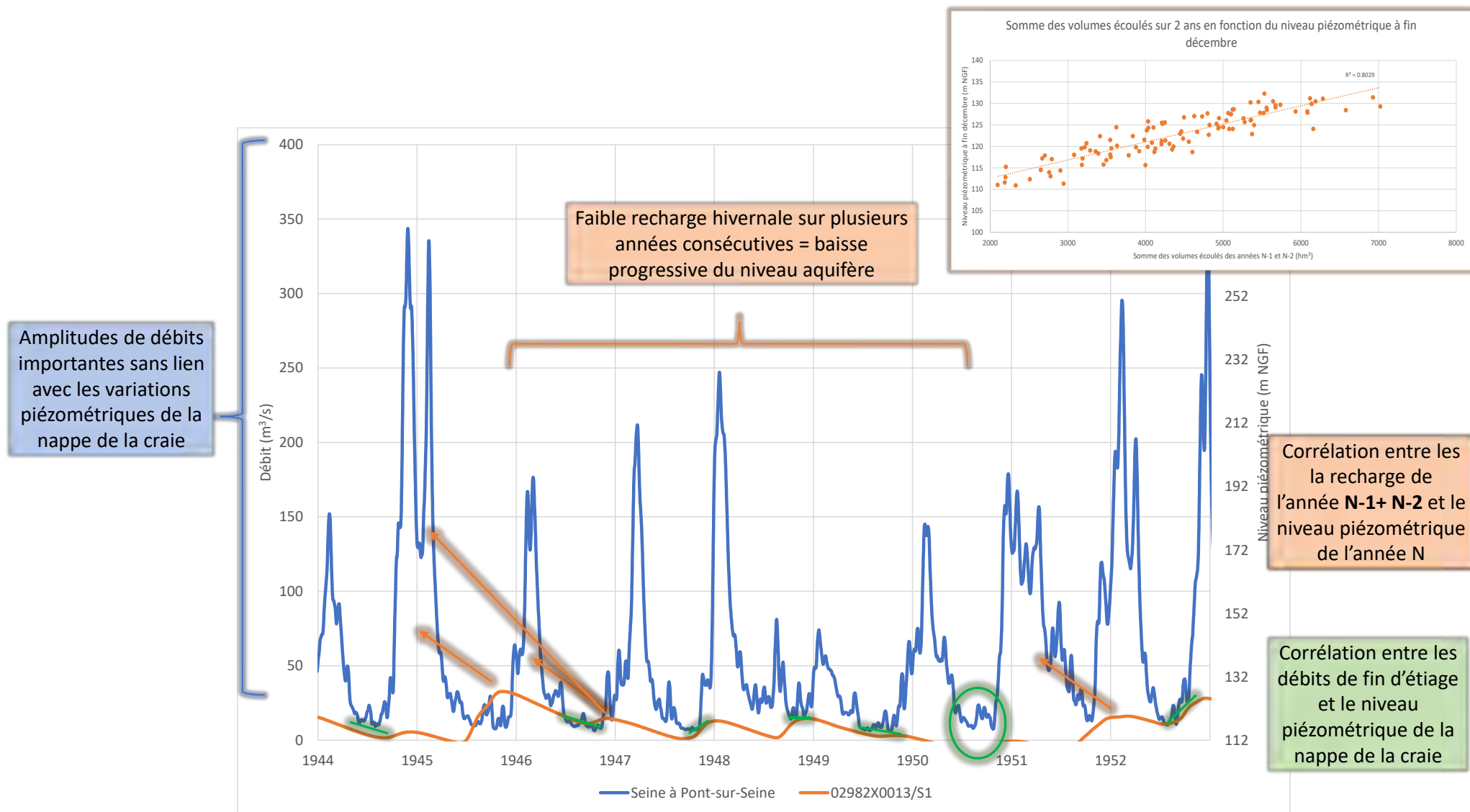


Figure 11 : Analyse des relations nappe/rivière entre la Seine et la nappe de la Craie (période 1944-1952 – données AQUI-FR, extrait du rapport de phase 1)

2.2.2 Les indicateurs de débit et les étiages sévères retenus

Sur la base des données de reconstitution des débits naturels du passé de la série AQUI-FR, plusieurs indicateurs ont été utilisés pour caractériser les différents étiages (QMNA – minimum annuel du débit moyen mensuel calendaire, VCN10 - minimum annuel des moyennes glissantes sur 10 jours consécutifs du débit moyen journalier, déficits par rapport au QMNA5, déficits mensuels, durée des étiages).

Plusieurs étiages historiques sévères et représentatifs ont ainsi été sélectionnés (cf. **figure 12**). Les 4 étiages retenus correspondent aux quatre valeurs de VCN10 les plus bas selon la série AQUI-FR :

- **1921** : étiage précoce, intense, long et tardif ;
- **1949** : étiage précoce, intense et long ;
- **1976** : étiage précoce, court et intense ;
- **1991** : étiage intense, court et récent.

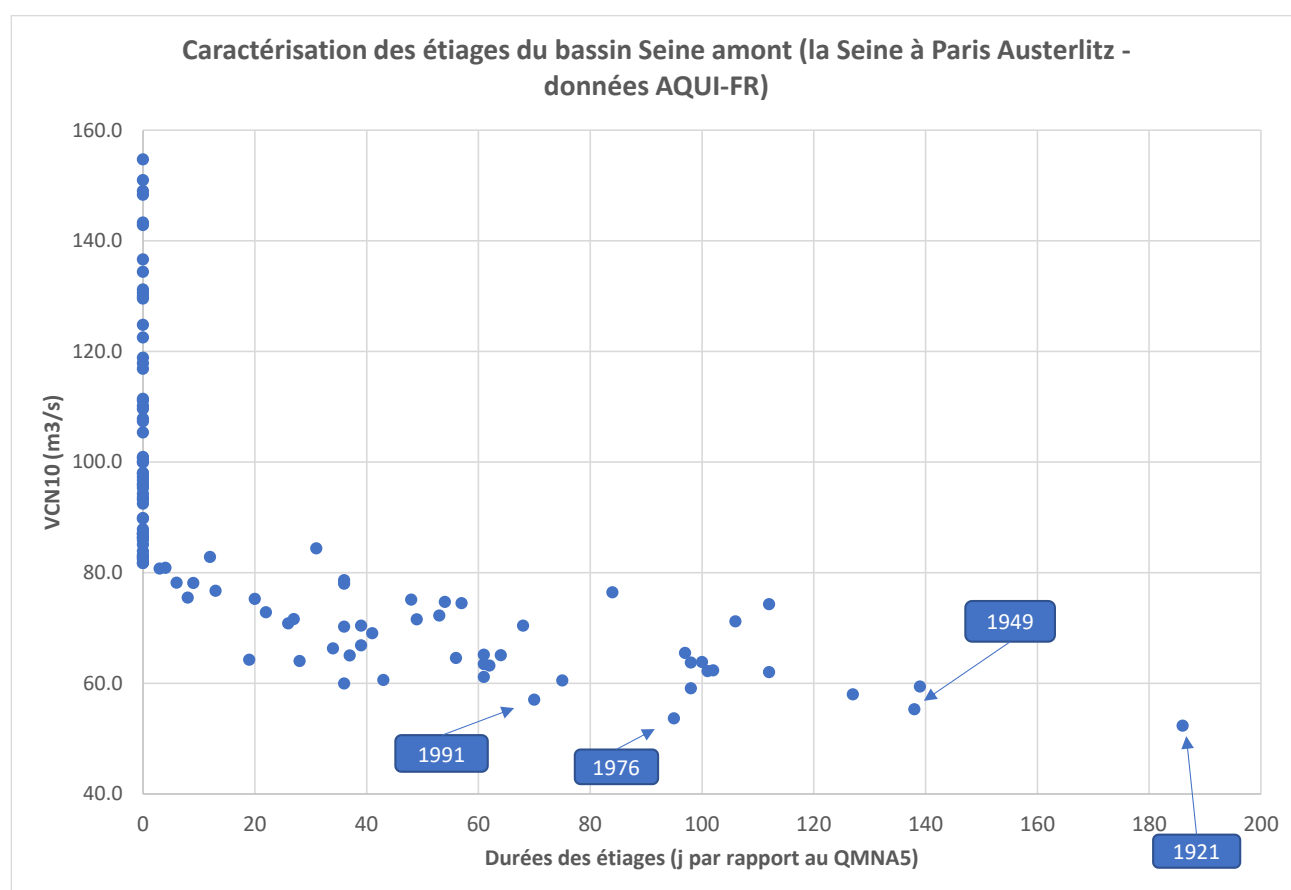


Figure 12 : Distribution des étiages à Paris Austerlitz (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)

La synthèse des indicateurs précédemment rappelés pour ces 4 étiages est présentée dans le **tableau 2** ci-dessous

Etiage	VCN10 (m3/s)	Période retour [intervalle de confiance] (années)	QMNA (m3/s)	Déficit / QMNA5 (hm3)	Durée de l'étiage (jours)
1921	52.3	28 [20;44]	57.0	128.4	186.0
1949	55.3	23 [17;35]	59.4	174.9	138.0
1976	53.7	19 [14;27]	56.4	136.0	95.0
1991	57.1	15 [11;21]	65.0	81.2	70.0

Tableau 2 : Synthèse des indicateurs d'étiages à Paris Austerlitz (données AQUI-FR – extrait du rapport de phase 1)

La fréquence de retour est calculée sur le VCN10 qui mesure l'intensité de l'étiage, sachant que les valeurs mensuelles du QMNA apportent une information complémentaire fréquemment utilisée ; la durée de l'étiage a été évaluée par convention en regard du franchissement durable du QMNA5. 1921 et 1949 sont les deux étiages les plus longs de la chronique.

L'analyse mensuelle de la répartition des déficits par rapport au QMNA5 (représentant les faibles débits) montre à Paris Austerlitz (cf. **figure 13**), un déficit s'exprimant de façon variable selon les années avec **un maximum généralement atteint en septembre**. Les mois d'**août et d'octobre** viennent ensuite, puis dans une moindre mesure ceux de **juillet et novembre**. A noter que le déficit moyen mensuel interannuel est légèrement plus important en novembre qu'en juillet. Ces mêmes périodes de déficits sont observées sur les axes Marne et Aube et un peu plus tôt dans l'année sur l'axe Yonne avec des mois d'août et septembre majoritaires.

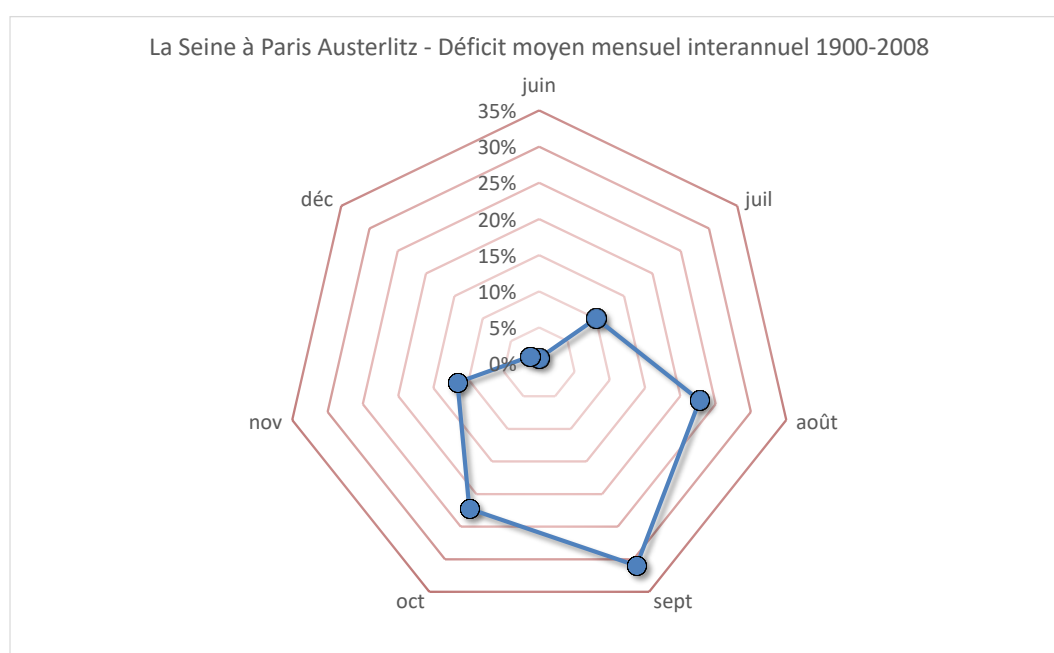


Figure 13 : Analyse du déficit moyen mensuel interannuel par rapport aux QMNA5 sur la Seine à Paris-Austerlitz (données AQUI-FR) (extrait du rapport de phase 1)

2.2.3 La qualité des eaux

2.2.3.1 La température

La température de l'eau est un des paramètres majeurs qui détermine les conditions de la vie aquatique.

La température de l'eau en régime naturel est influencée par deux séries de facteur :

- les facteurs météorologiques :
 - la température de l'air,
 - l'intensité des radiations solaires,
 - la vitesse du vent,
 - la pression de vapeur d'eau dans l'air,
- les facteurs physiques :
 - les dimensions de la surface libre,
 - la profondeur d'eau,
 - Le degré de turbulence (mélange),
 - le débit,
 - la température des apports souterrains et superficiels.

Parmi tous ces facteurs, le principal correspond à la température de l'air, les autres facteurs influençant à la marge la température de l'eau. Il est ainsi possible sur la base d'une relation température de l'air/température de l'eau de reconstituer des chroniques passées et futures au niveau de stations disposant de chroniques actuelles (**cf. figure 14**).

De plus, du fait de la faible variabilité climatique du bassin, cette relation est aussi valable pour les stations température ne disposant pas de données météorologiques proches à condition que les températures de l'air prises en compte proviennent de stations météorologiques présentant des conditions atmosphériques similaires aux conditions locales (pluviométrie, relief...). Il est possible d'extrapoler cette relation à d'autres stations de mesure de la température situées en aval du périmètre de l'EPTB à partir de stations météorologiques localisées dans ce périmètre.

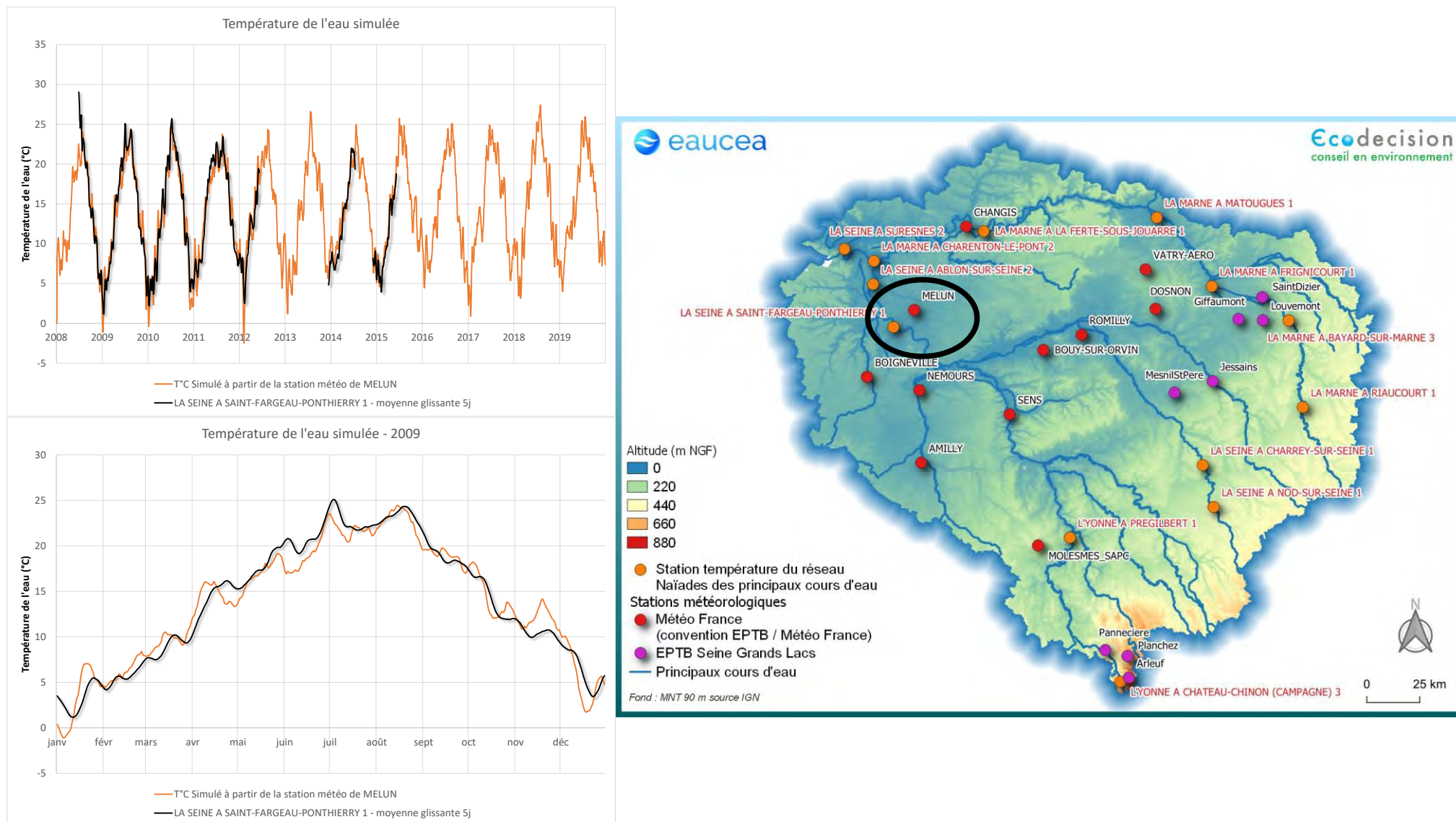


Figure 14 : Calage du modèle de température de l'eau pour la station de la Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry à partir des données de la station météorologique de Melun (extrait du rapport de phase 1)

2.2.3.2 L'oxygène dissous

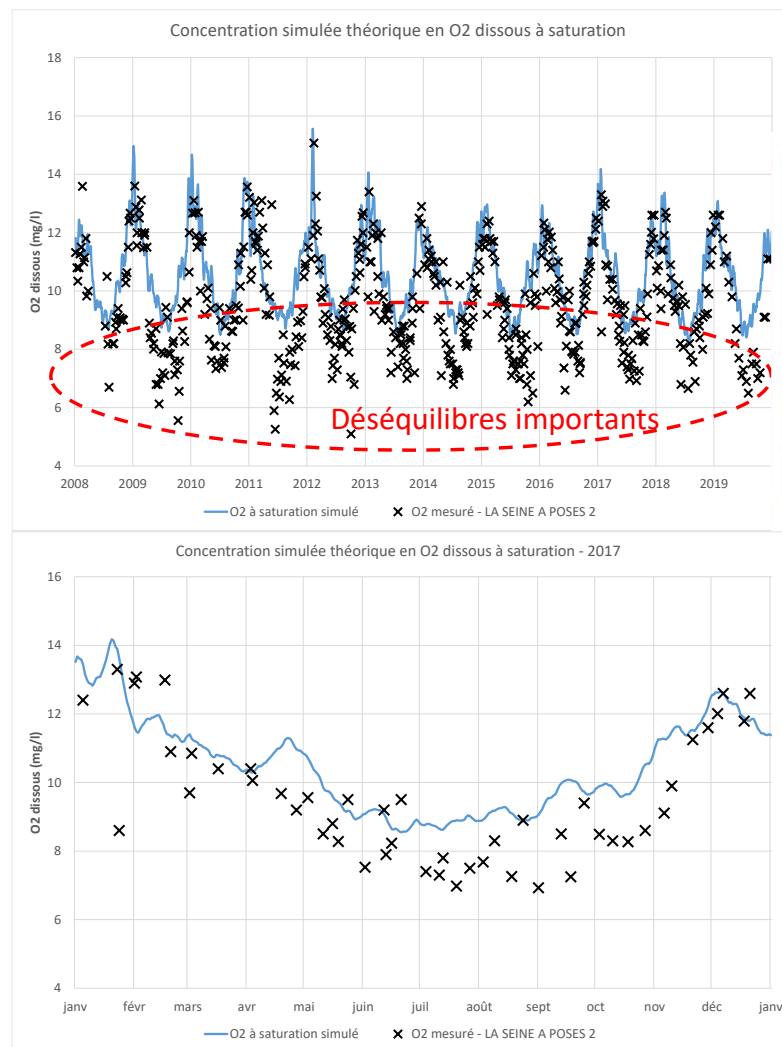
Avec la température, la concentration en oxygène dissous de l'eau constitue l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques.

Un déséquilibre des mesures in-situ (sur le terrain) par rapport à l'état de saturation (concentration maximale) théorique de l'eau en oxygène dissous indique un déséquilibre du système, en général lié aux activités anthropiques (rejets de stations d'épuration, apports par lessivage des sols...). La teneur à saturation de l'eau en oxygène dissous sur les grands cours d'eau du territoire de l'EPTB est très fortement liée à la température de l'eau et donc indirectement à la température de l'air comme détaillé dans le paragraphe précédent.

Les résultats des calculs réalisés dans la phase 1 montrent :

- pour les stations de mesures localisées en amont du territoire de l'EPTB et en amont des lacs réservoirs, des situations contrastées avec localement des déséquilibres importants pouvant avoir été corrigés ou non. A noter aussi que ce secteur amont correspond à un secteur karstique avec de nombreuses pertes et résurgences et donc une alternance de l'eau en milieu superficiel et souterrain, pouvant entraîner des modifications locales importantes de l'équilibre théorique à saturation ;
- pour les stations de mesures localisées dans le territoire de l'EPTB et en aval des lacs réservoirs, des situations majoritairement à l'équilibre avec cependant quelques déséquilibres ponctuels pouvant avoir lieu en période estivale.

Les principaux déséquilibres sont présents à l'aval de l'emprise de l'EPTB, notamment au niveau de la ville de Rouen (station qualité de Poses 2), à l'aval des rejets de l'agglomération parisienne et de la confluence avec l'Oise. Les teneurs en oxygène dissous les plus faibles sont mesurées de **début juillet à fin septembre (cf. figure 15)**.



Déséquilibres passés et actuels en aval du périmètre de l'EPTB (sous influence des lacs réservoirs)

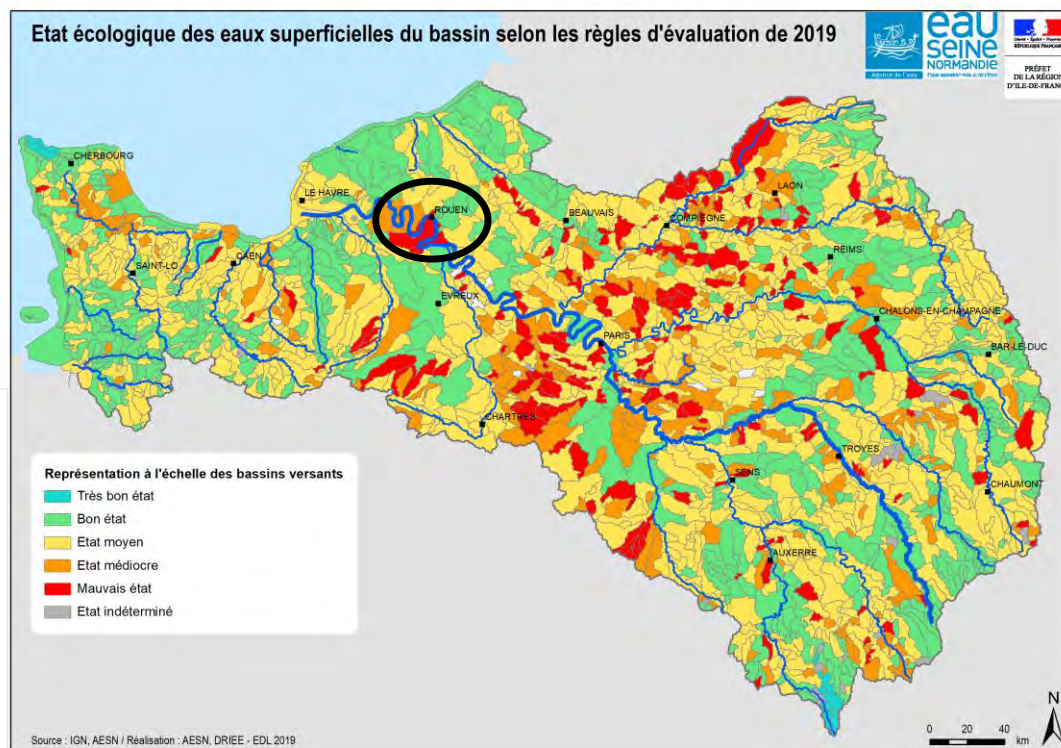
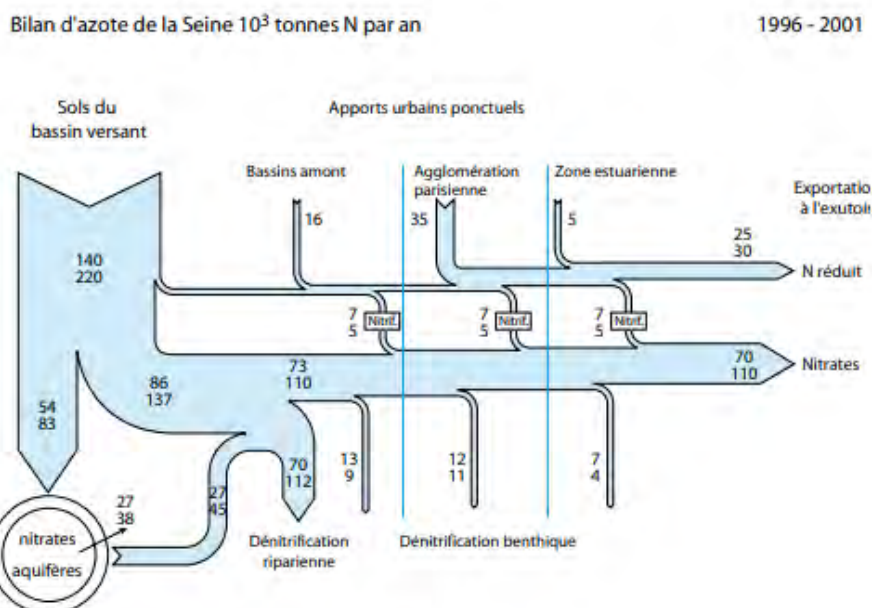


Figure 15 : Comparaison entre les concentrations simulées théoriques en O2 dissous à saturation et les données mesurées pour la station de la Seine à Poses (extrait du rapport de phase 1)

2.2.3.3 Nitrates et phosphore

Les études menées par le PIREN Seine montrent que les apports à la Seine en azote proviennent principalement des sols des bassins versants amont et sont donc d'origine agricole. A l'inverse, les apports en phosphore sont majoritairement issus des rejets urbains et plus spécifiquement de l'agglomération Parisienne (cf. figure 16).

Figures 10 b : Bilan des transferts d'azote pour la Seine en année sèche (1996, chiffres au-dessus) et humide (2001, chiffres en dessous).



Figures 10 c : Bilan des transferts de phosphore pour la Seine en année sèche (1996, chiffres au-dessus) et humide (2001, chiffres en dessous).

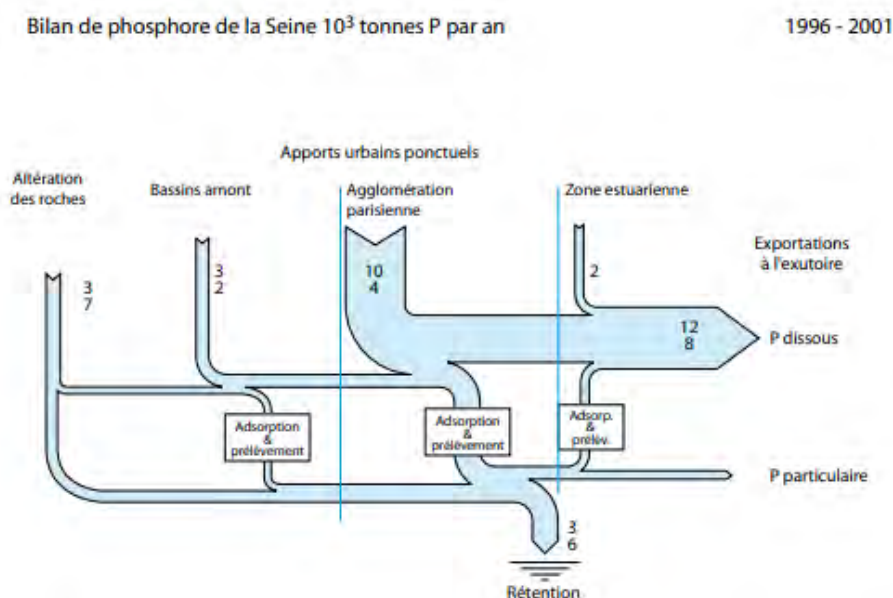


Figure 16 : Bilan des transferts d'azote et de phosphore pour la Seine (fascicule PIREN Seine « L'Eutrophisation des cours d'eau du bassin de la Seine », 2009 – extrait du rapport de phase 1)

Sur le périmètre de l'EPTB, l'analyse des données du réseau Naiades montre (cf. figure 17) :

- pour les paramètres azotés, des teneurs en nitrates (NO_3^-) en phase aqueuse :
 - variables selon les cours d'eau ;
 - pouvant localement atteindre près de 40 mg/l ;
 - plus importantes à l'amont (couleurs claires) qu'à l'aval (couleurs sombres) ;
 - présentant des variations saisonnières marquées avec **des valeurs fortes en hiver et faibles en été** ;
 - ces variations illustrent bien l'origine des apports issue majoritairement du lessivage des sols agricoles, en période hivernale c'est à dire de faible couvert végétal et provenant majoritairement de la partie amont du bassin (pentes importantes, épaisseurs de sols faibles, aquifères avec des circulations rapides et des phénomènes « d'effets pistons »).

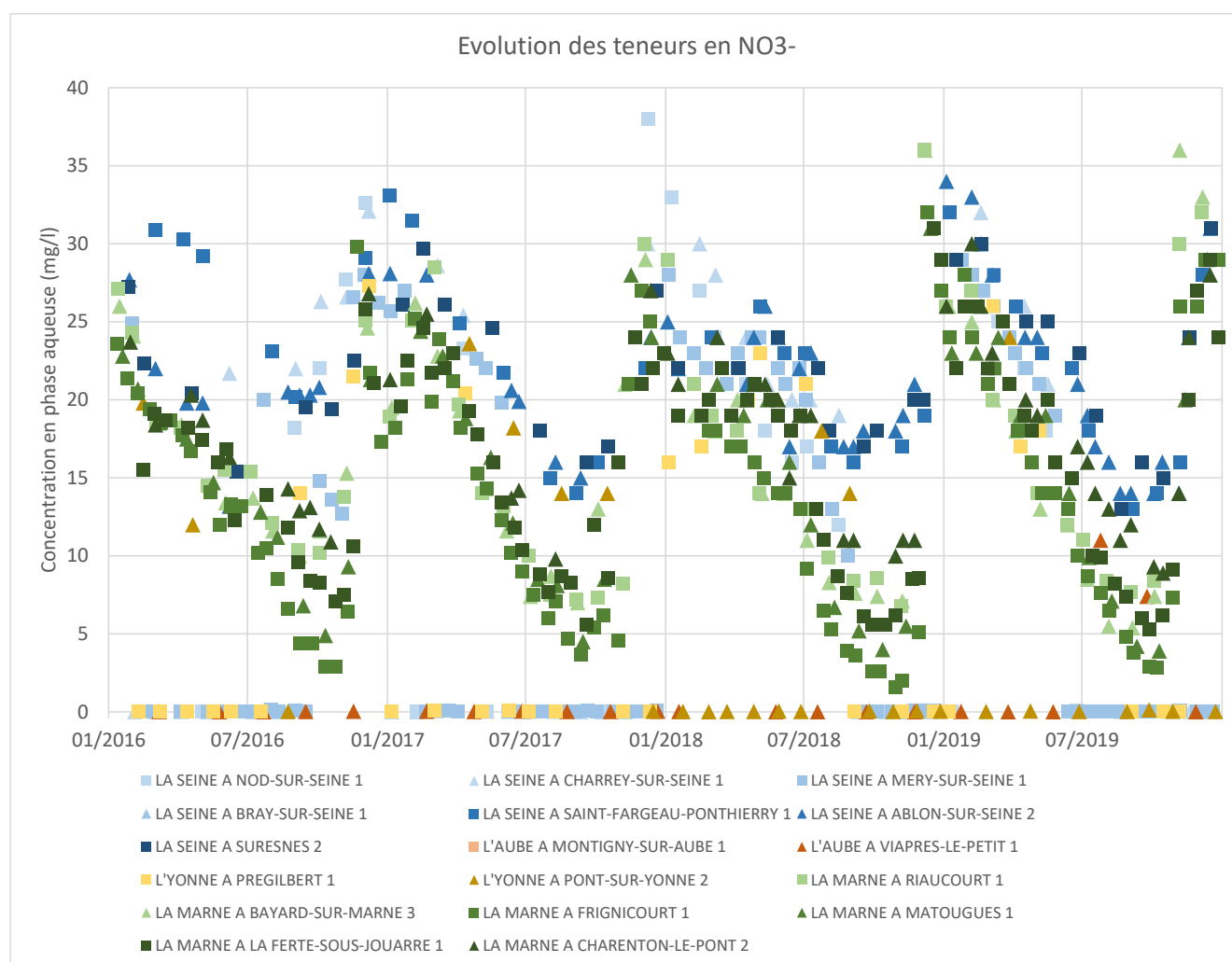


Figure 17 : Evolution des teneurs en NO_3^- des principaux cours d'eau du périmètre de l'EPTB de 2016 à 2020 (extrait du rapport de phase 1)

- pour les paramètres phosphorés, des teneurs en orthophosphates (PO_4^{2-}) en phase aqueuse (cf. figure 18) :
 - variables selon les cours d'eau ;
 - dépassant très exceptionnellement 0,5 mg/l (bon état de la DCE) ;
 - plus importantes à l'aval (couleurs sombres) qu'à l'amont (couleurs claires) ;
 - ne présentant pas de variations saisonnières marquées ;
 - ces teneurs relativement faibles et constantes au cours de l'année illustrent bien l'origine des apports correspondant pour le territoire de l'EPTB à des rejets des stations de traitement et à l'altération des roches présentes ou l'érosion des sols agricoles.

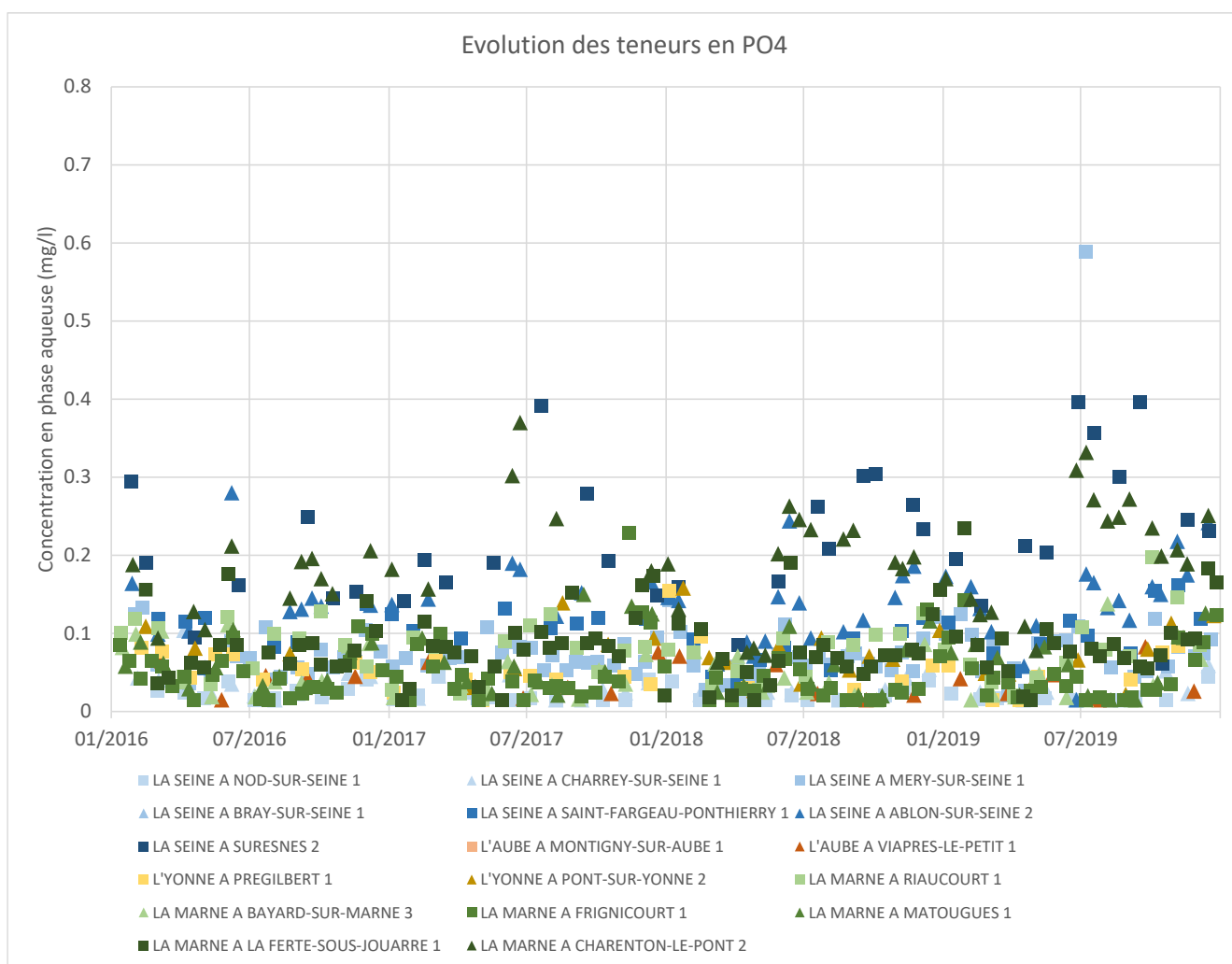


Figure 18 : Evolution des teneurs en PO_4 des principaux cours d'eau du périmètre de l'EPTB de 2008 à 2020 (extrait du rapport de phase 1)

2.3 Synthèse de la caractérisation des étiages futurs du bassin

2.3.1 Les débits

Sur la base des données des débits futurs présentées dans les rapports de phases 1 et 3 de l'étude et des incertitudes associées, une baisse globale des débits d'étiage de de l'ordre de 20 % semble à prévoir (cf. **figure 19**) avec un allongement potentiel de la durée de ces étiages (cf. **figure 20**). Ainsi, les étiages extrêmes reconstitués du passé devraient devenir de plus en plus fréquents par le futur.

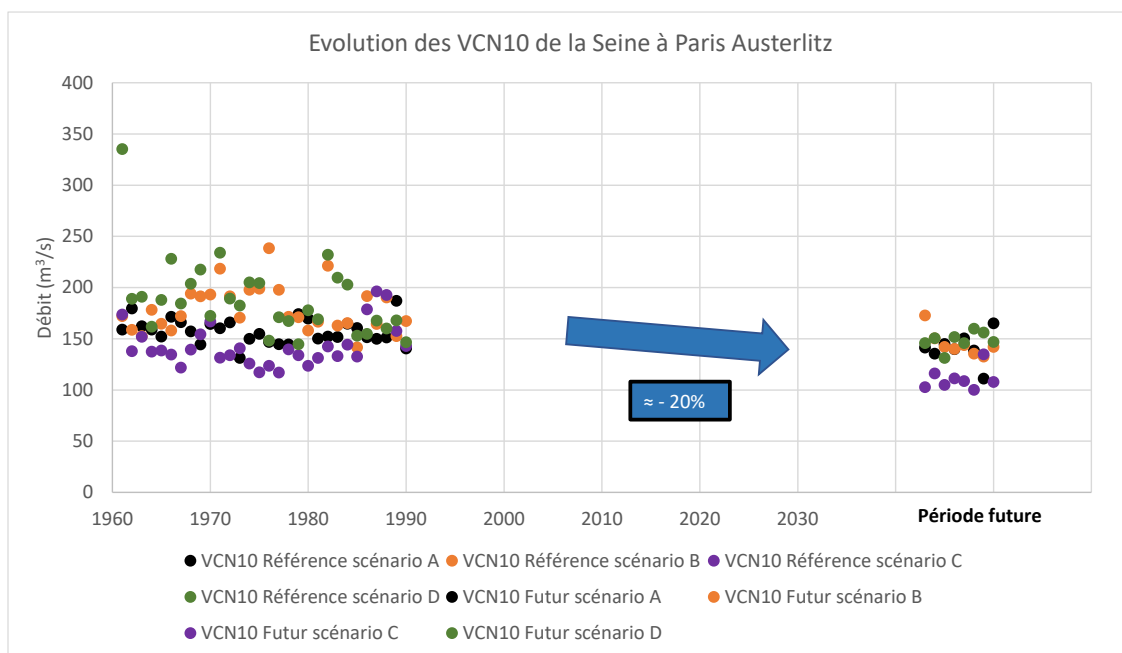


Figure 19 : Evolution globale et moyenne des VCN10 entre les périodes de référence passées et les périodes futures au niveau de la station de Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)

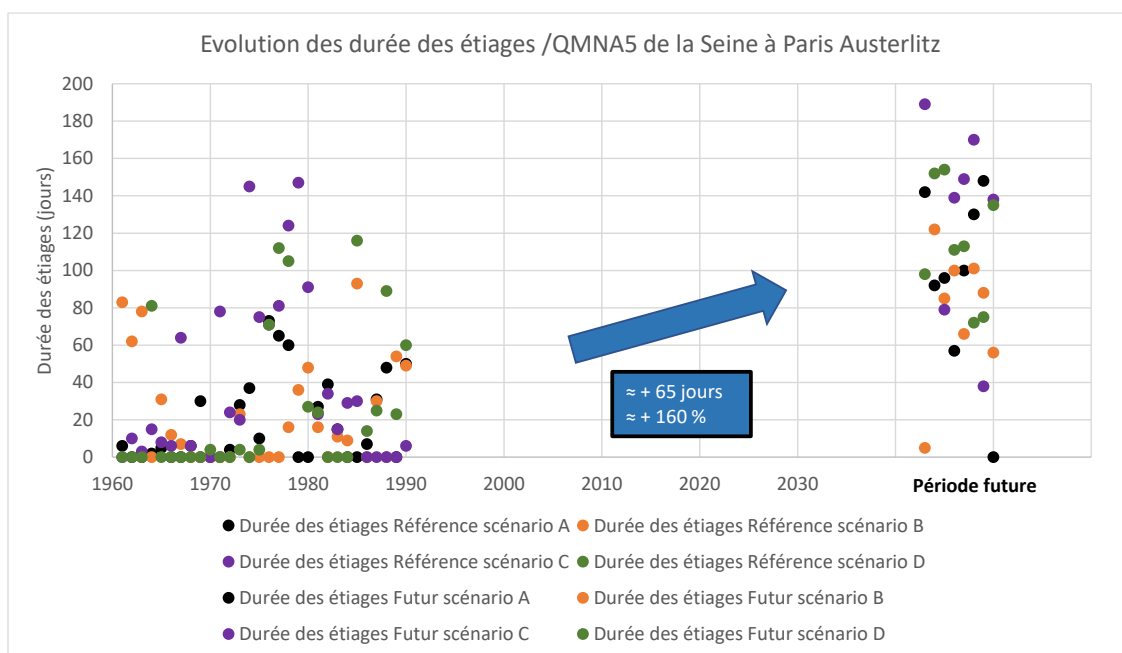


Figure 20 : Evolution globale et moyenne des durées des étiages par rapport aux QMNA5 des périodes de références, entre les périodes de référence passées et les périodes futures au niveau de la station de Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)

A noter que ces courtes périodes futures (épisodes de 6 ans) comparativement à des périodes longues passées (ici des périodes statistiques de 30 ans) et issues de différents modèles, limitent fortement la représentativité statistique à des comparaisons relatives et les évolutions présentées comportent de nombreux biais statistiques. **Il s'agit donc uniquement d'ordres de grandeurs sur la base des données disponibles.** Les débits simulés ne peuvent pas servir tels quels aux tests de gestion. En revanche, un affaissement de 20% des débits d'étiages peut constituer une hypothèse crédible. Ce taux sera donc appliqué aux chroniques historiques pour évaluer la sensibilité du modèle de gestion à une aggravation hydrologique en étiage.

2.3.2 La qualité de l'eau

2.3.2.1 La température

Les modélisations de la température de l'eau pour la période 2040-2070 montrent (cf. **figure 21 et tableau 3**) :

- pour la partie amont du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Charrey-sur-Seine) :
 - une augmentation moyenne de la température de l'eau comprise entre +0,4 et +0,6°C, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette augmentation s'exprimerait majoritairement pour les mois de **mai à novembre** avec des augmentations pouvant atteindre de +0,4 à +0,7°C selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 (cas le plus défavorable) des températures de l'eau en **juillet et août** pouvant atteindre près de 16 °C pour des périodes décennales chaudes (temps de retour de 10 ans) ;
- pour la partie aval du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Suresnes) :
 - une augmentation moyenne de la température de l'eau comprise entre +1,2 et +1,9°C, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette augmentation s'exprimerait majoritairement pour les mois de **mai à novembre** avec des augmentations pouvant atteindre de +1,5 à +2,3°C selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 des températures de l'eau en **juillet et août** supérieures à 25°C pour des périodes quinquennale et décennale chaudes ;
- pour la partie à l'aval du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Poses) :
 - des augmentations similaires à la station de Suresnes ;
 - une augmentation moyenne de la température de l'eau comprise entre +1,2 et +1,9°C, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette augmentation s'exprimerait majoritairement pour les mois de **mai à novembre** avec des augmentations pouvant atteindre de +1,5 à +2,3°C selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 des températures de l'eau en **juillet et août** supérieures à 25°C pour des périodes quinquennale et décennale chaudes.

2040-2070			
Partie du bassin	Amont périmètre EPTB	Aval périmètre EPTB	Aval hors périmètre EPTB
Augmentation moyenne annuelle (°C)	+0,4 à +0,6	+1,2 à +1,9	
Augmentation maximale mensuelle (°C)	Mai à novembre +0,4 à +0,7	Mai à novembre +1,5 à +2,3	
Périodes de températures maximales	Près de 16°C en juillet et août decennal chaud	Supérieure à 25°C en juillet et août quinquennal et decennal chaud	

Tableau 3 : Bilan des évolutions de températures de l'eau simulées à l'horizon 2040-2070 (extrait du rapport de phase 1)

2.3.2.2 L'oxygène dissous

Dans une rivière l'oxygène dissous dans l'eau est consommé par la dégradation de la matière organique et apporté par la photosynthèse des algues ou par échange avec l'atmosphère. Ces bilans sont très sensibles à la température de l'eau mais aussi à une multitude de facteurs liés à la pollution ou la courantologie. En particulier, quand la température augmente (situation attendue avec les changements climatiques) la concentration maximale à saturation diminue et la consommation d'oxygène s'accélère. Sous ce double effet ciseaux, la vulnérabilité aux pollutions et les risques pour la biologie augmentent.

Les modélisations d'évolution de la température de l'eau puis d'évolution de l'oxygène dissous à saturation (rapport de phase 1) pour la période 2040-2070 montrent (cf. **figure 22 et tableau 4**) :

- pour la partie amont du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Charrey-sur-Seine) :
 - une diminution moyenne de la concentration en oxygène dissous à saturation comprise entre -0,10 et -0,16 mg/l, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette diminution s'exprimerait majoritairement pour les mois **d'avril à novembre** avec des diminutions pouvant atteindre -0,10 à -0,18 mg/l selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 (cas le plus défavorable) des concentrations en oxygène dissous à saturation de l'eau en **août** pouvant encore atteindre près de 10 mg/l (en baisse de 0,1 mg/L environ) pour des périodes décennales chaudes, (temps de retour de 10 ans) ;
- pour la partie aval du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Suresnes) :
 - une diminution moyenne de la concentration en oxygène dissous à saturation comprise entre -0,25 et -0,45 mg/l, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette diminution s'exprimerait de façon **hétérogène sur l'année** avec des diminutions pouvant atteindre -0,2 à -0,5 mg/l selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 des concentrations en oxygène dissous à saturation de l'eau en **août** pouvant encore atteindre près de 8 mg/l (en baisse de 0,2 mg/L environ) pour des périodes décennales chaudes

- pour la partie à l'aval du périmètre de l'EPTB (exemple de la Seine à Poses) :
 - des diminutions similaires à la station de Suresnes ;
 - une diminution moyenne de la concentration en oxygène dissous à saturation comprise entre -0,25 et -0,45 mg/l, toutes saisons confondues, selon les scénarios pris en compte,
 - cette diminution **s'exprimerait de façon hétérogène sur l'année** avec des diminutions pouvant atteindre -0,2 à -0,5 mg/l selon les scénarios,
 - pour le scénario RCP8.5 des concentrations en oxygène dissous à saturation de l'eau en **août** pouvant atteindre près de 8 mg/l (en baisse de 0,2 mg/L environ) pour des périodes décennales chaudes.

2040-2070			
Partie du bassin	Amont périmètre EPTB	Aval périmètre EPTB	Aval hors périmètre EPTB
Baisse moyenne annuelle (mg/l)	-0,10 à -0,16	-0,25 à -0,45	
Augmentation maximale mensuelle (mg/l)	Avril à novembre -0,10 à -0,18	Hétérogène sur l'année -0,2 à -0,5	
Périodes d'O ₂ dissous minimales	Près de 10 mg/l en août decennal chaud	Près de 8 mg/l en août decennal chaud	

Tableau 4 : Bilan des évolutions des concentrations en O₂ dissous à saturation simulées à l'horizon 2040-2070 (extrait du rapport de phase 1)

Ces baisses prévisionnelles pour la Seine à Poses (maximum mensuel de -0,5 mg/l pour la période 2040-2070) restent faibles par rapports aux baisses liées aux effets anthropiques directs qui peuvent atteindre plus de 2 à 3 mg/l malgré des teneurs en nutriments en fortes baisses. **Les valeurs les plus faibles sont simulées pour le mois d'août.**

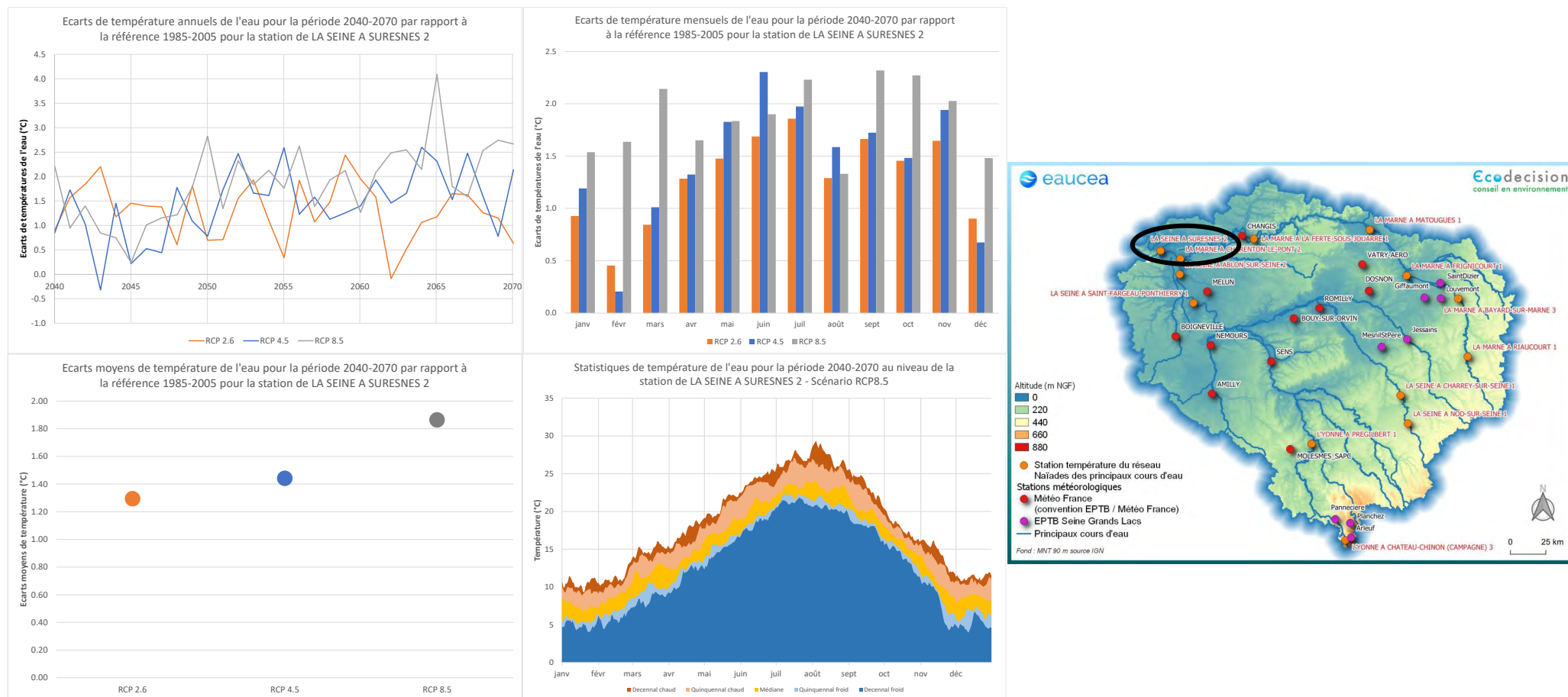


Figure 21 : Evolution de la température de l'eau de la Seine à Suresnes 2 à l'horizon 2040-2070 comparativement à la période 1985-2005 (extrait du rapport de phase 1)

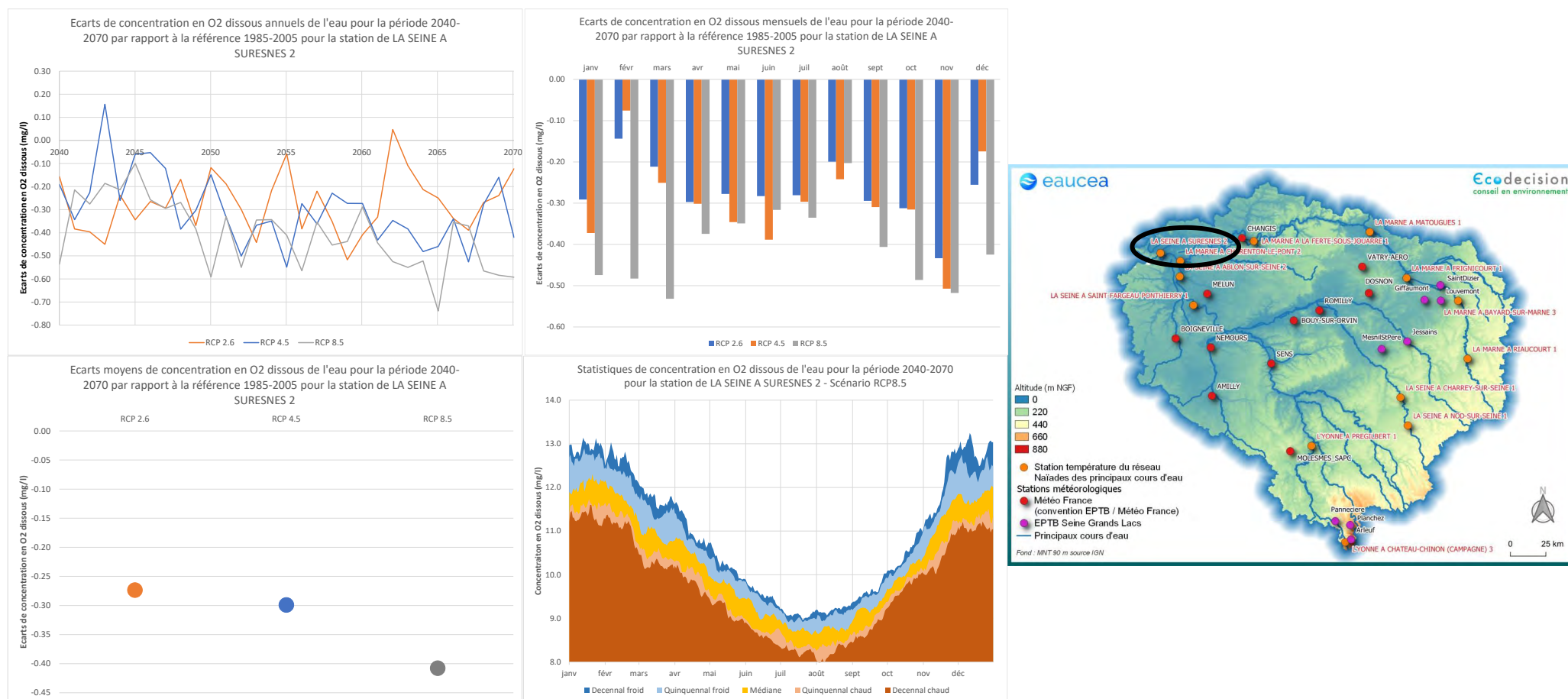


Figure 22 : Evolution de la concentration en O2 dissous à saturation de l'eau de la Seine Suresnes à l'horizon 2040-2070 comparativement à la période 1985-2005 (extrait du rapport de phase 1)

2.3.2.3 Azote et phosphore

Concernant les pratiques agricoles, les tentatives antérieures de reconstitution de l'état chimique passé de la Seine reposaient sur le l'hypothèse implicite d'une relation directe et à court terme entre l'utilisation des terres (et des pratiques agricoles) et les sources diffuses de nutriments dans le réseau hydrographique. Cette approche n'avait cependant pas tenue compte des retards liés au stockage des nutriments dans le sol, la zone non saturée et les aquifères. Compte tenu de la durée de ces délais, la prise en compte des variations historiques à longs termes des apports et pratiques agricoles est nécessaire pour comprendre l'évolution des concentrations actuelles et futures (effet mémoire).

Ainsi, 3 phases peuvent être envisagées (cf. **figure 23**) :

- une phase I, du milieu du XIX au début du XXe siècle correspondant à une augmentation modérée des intrants et une absorption par les processus de rétention ;
- la phase II, courte de 1950 à 1975 caractérisée par une augmentation importante des apports en nutriments avec une réponse visible au niveau du fleuve ;
- la phase III, de réduction des intrants, avec une réponse, fortement tamponnée pour l'azote du fait de l'importance des sources diffuses, et retardée pour le phosphore dans la mesure où les sources ponctuelles sont réduites aux apports d'engrais bien qu'un potentiel stock soient encore présent dans les sédiments des cours d'eau.

Ces mécanismes empêchent une amélioration rapide des concentrations dans les cours d'eau. Les réponses aux changements des pratiques agricoles peuvent ainsi être retardées de plusieurs décennies.

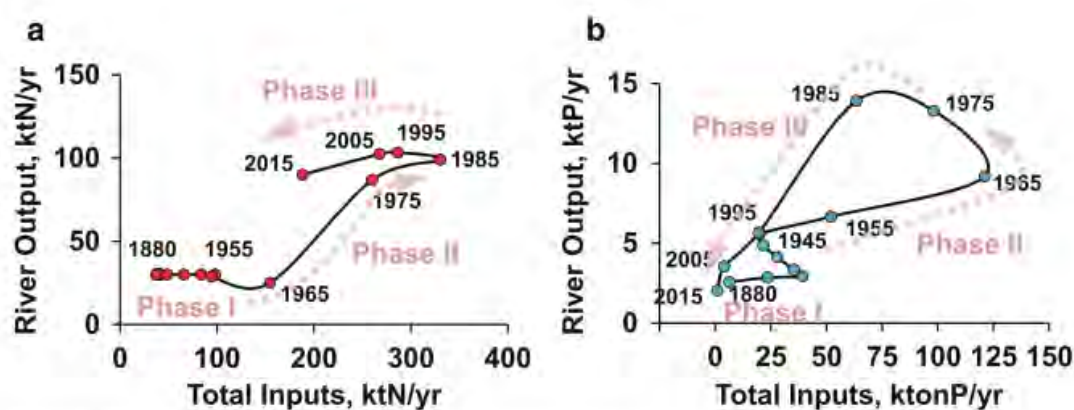


Fig. 14 Trajectory of the Seine River N (a) and P (b) delivery in response to total inputs to the water-agro-food system from 1850 to 2015 (the data shown represent an average over a 10-year period)

Figure 23 : Trajectoires d'évolution en azote et phosphore des réponses aux intrants agricoles (The Seine Watershed Water-Agro-Food System : Long-Term Trajectories of C, N and P Metabolism, G. Billen et al., 2019) – extrait du rapport de phase 1

Concernant les rejets sur le périmètre de l'EPTB, mais aussi au niveau de l'agglomération Parisienne, ainsi que l'efficacité des filières de traitement. Là encore l'évolution future dépendra fortement des modifications des pratiques. Différents scénarios sont envisagés. La **figure 24** représente cette évolution pour le scénario dit de « circularité » correspondant à une combinaison de solutions de séparation de sources (généralisation de systèmes de toilettes avec séparation des urines et des matières fécales) et de recyclage des boues d'épuration permettant la réduction forte des quantités et des concentrations des rejets au milieu naturel.

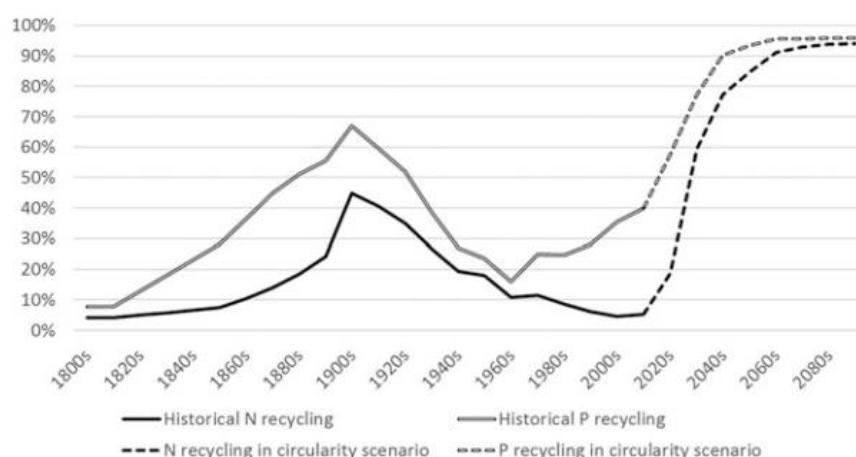


Fig. 15 Past N and P circularity of human excreta in the Paris conurbation and future N and P circularity in the “Circularity” scenario (see text for data sources)

Figure 24 : Part de recyclage de l'azote et du phosphore dans les excréments humains pour le scénario futur de « circulation » (Past and future Trajectories of Human Excreta Management Systems : paris in the Nineteenth to Twenty-first Centuries, F. Esculier et al., 2019) – extrait du rapport de phase 1

2.4 Synthèse des usages actuels et de leurs impacts hydrologiques et hydrogéologiques

2.4.1 Synthèse des usages actuels

De l'analyse des données et des modèles de prélèvement des usages et de leur saisonnalité, présentés dans le rapport de phase 2, un premier bilan a pu être dressé, reconstituant une répartition moyenne dans le temps des prélèvements actuels (cf. **Figure 25**).

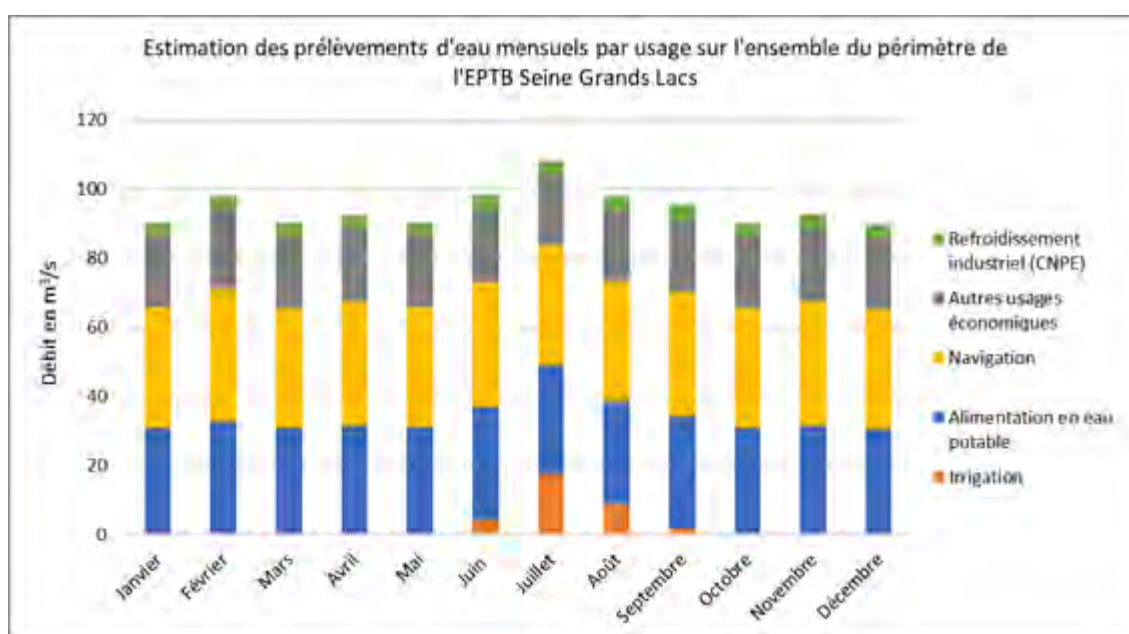


Figure 25 : Estimation des prélèvements des usages sur tout le bassin d'étude

La répartition moyenne dans le temps des prélèvements reflète la saisonnalité des besoins en eau des usages. Le total des prélèvements oscille autour d'une valeur moyenne mensuelle de 95 m³/s, avec des hétérogénéités selon l'usage.

Selon certaines considérations présentées dans le rapport de phase 2, il a ensuite été possible de chiffrer les consommations en étiage, et d'en proposer également une répartition dans le temps sur le bassin amont de la Seine (cf. **Figure 26**).

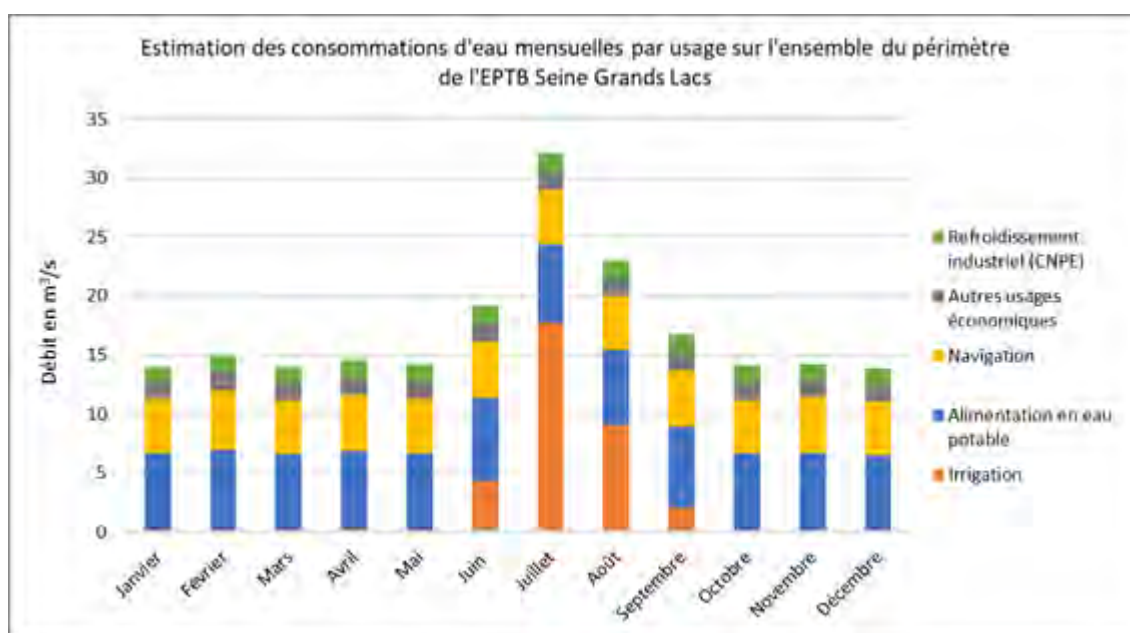


Figure 26 : Estimation des consommations des usages sur tout le bassin d'étude

Les débits d'eau consommés par chaque usage (cf. **Tableau 5**) sont des débits agrégés à l'ensemble du bassin amont de la Seine. Des hétérogénéités existent selon la répartition des usages sur les territoires.

La répartition dans le temps des consommations représente l'impact anthropique quantitatif des usages sur la ressource.

Par rapport à la répartition dans le temps des prélèvements totaux, la répartition des consommations est significativement plus influencée par l'irrigation, car les consommations des autres usages et leur part dans le total fluctuent peu en comparaison.

Usage de l'eau	Estimation des consommations d'eau mensuelle par usage sur l'ensemble du périmètre de l'EPTB Seine Grands Lacs (en m3/s)												Part dans le total
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
Irrigation	0	0	0	0	0	4,4	17,7	9,1	2,1	0	0	0	16%
Alimentation en eau potable	6,7	7	6,6	6,7	6,7	7	6,7	6,3	6,9	6,6	6,7	6,5	39%
Navigation	4,6	5	4,6	4,7	4,6	4,7	4,6	4,6	4,7	4,6	4,7	4,6	27%
Autres usages économiques	1,4	1,6	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	9%
Refroidissement industriel (CNPE)	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	9%

Tableau 5 : Estimation des consommations d'eau par usage sur tout le bassin d'étude

L'exploitation des données collectées permet de rendre compte des besoins en eau et de l'impact quantitatif des différents usages sur l'hydrologie du territoire, en termes de consommations et de transferts, avec un détail mensuel ou journalier pour les plus gros volumes.

Pour l'analyse des impacts des usages, les consommations nettes ont été calculées sur chaque sous-bassin.

2.4.2 Enjeux liés aux besoins en eau des usages socio-économiques relatifs à chaque axe réalimenté

Les résultats des travaux effectués en phase 3 ont été repris pour offrir une vision synthétique et schématique d'une part, de l'analyse des scénarios d'étiages sévères passés (cf. **figure 27**) et d'autre part, des enjeux socio-économiques à l'aval des lacs-réservoirs (cf. **figures 28 à 32**).

Pour chacun des 4 étiages sévères passés, les taux de réduction du nombre de jours sous le seuil de crise grâce au soutien d'étiage ont été calculés à chaque station pilote (cf. **figure 27**). Sous cette représentation, trois conclusions sont tirées :

1. Le soutien d'étiage offre un bon niveau de protection sur la quasi-totalité des tronçons de la Seine, sur l'Aube et sur la Marne avec une réduction jusqu'à 100% du nombre de jour sous le seuil de crise ;
2. Sur l'Yonne, le soutien d'étiage est insuffisant pour la tenue des objectifs pour des étiages comme ceux de 1921, 1949, 1976 et 1991 ;
3. Pour l'étiage de 1921, le soutien d'étiage aurait été insuffisant pour tenir les objectifs.

Ces conclusions restent conformes à l'évaluation des incidences des étiages sévères passés effectuée dans le rapport de phase 3.

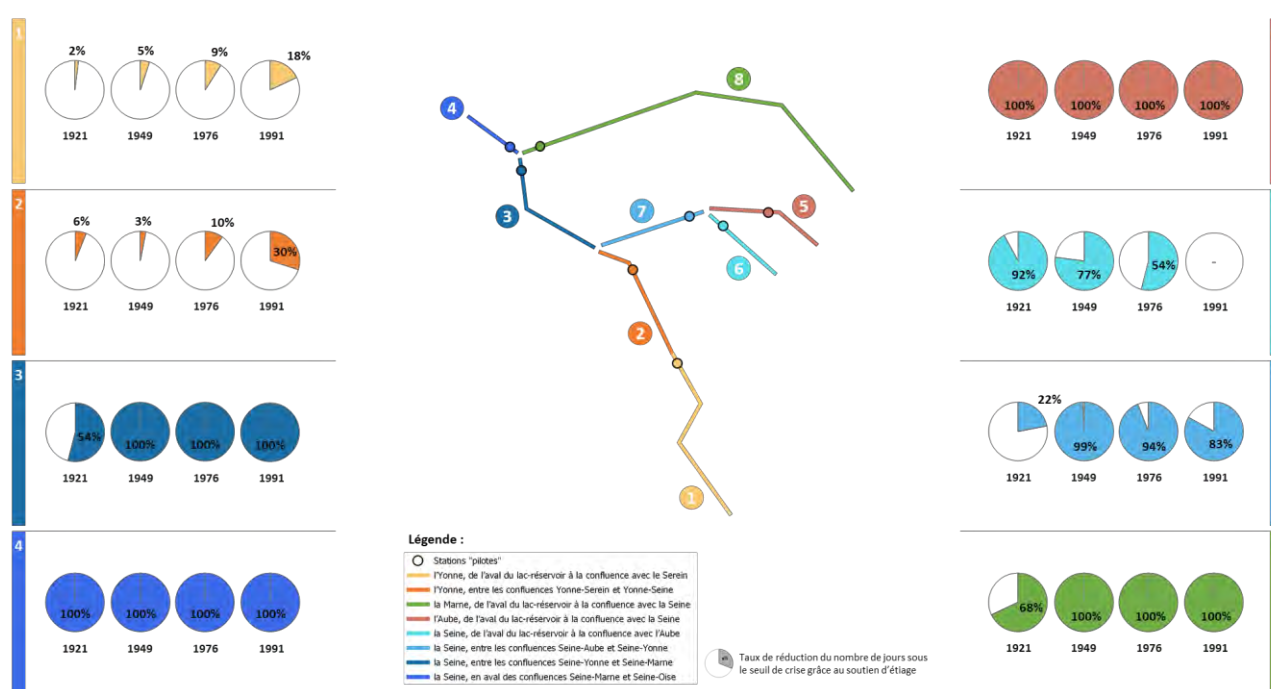


Figure 27 : Taux de réduction du nombre de jours sous le seuil de crise grâce au soutien d'étiage à chaque station pilote

En ce qui concerne les enjeux liés aux prélèvements sur les ressources réalimentées destinés à l'AEP, ils ont d'abord été appréhendés selon (cf. **figure 28**) :

- la population desservie,
- et l'activité des établissements de service également desservis.

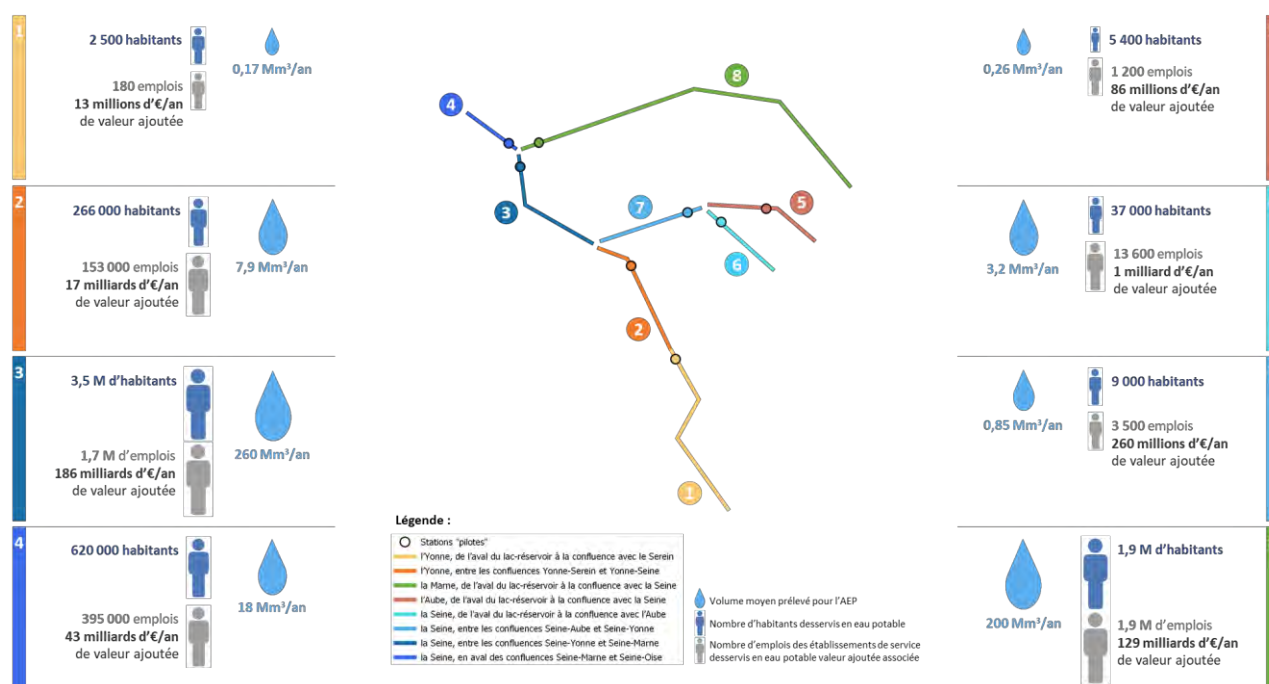


Figure 28 : Schéma des enjeux liés à l'AEP et aux activités de service desservies en eau potable (sources : rapport de phase 3, données AESN 2008-2017)

Outre la population desservie et les activités de service, des activités industrielles (dont le CNPE) dépendent des ressources réalimentées, soit via les services d'AEP soit directement du fait de leurs prélèvements sur une ressource réalimentée (cf. figure 29).

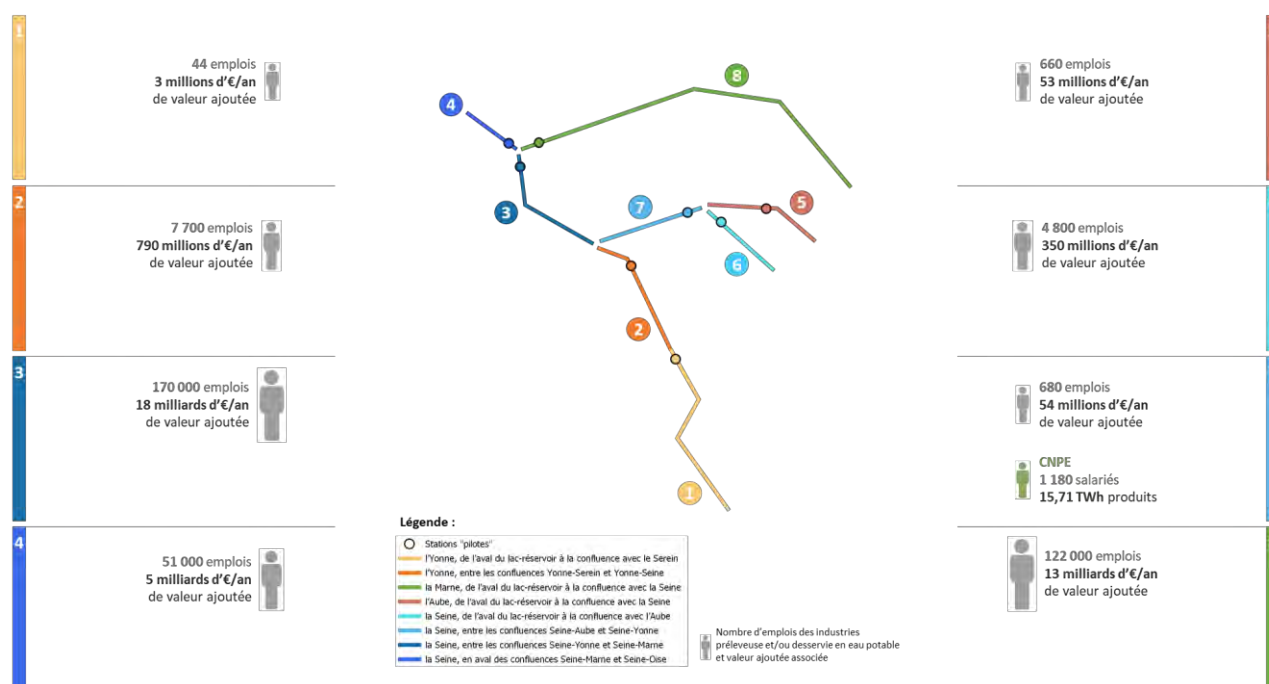


Figure 29 : Schéma des enjeux liés aux activités industrielles préleveuses et/ou desservies en eau potable (source : rapport de phase 3)

D'une manière générale, les enjeux liés à l'AEP et/ou aux industries (dont le CNPE) se concentrent sur les tronçons où le niveau de protection est bon : la Seine en aval de la confluence avec l'Yonne et la Marne. Les enjeux sur l'Yonne restent les plus vulnérables aux étiages sévères comme ceux de 1921, 1949, 1976 et 1991. Cela illustre l'importance du soutien d'étiage sur chaque tronçon, y compris sur ceux où le niveau de protection est bon mais où les incidences socio-économiques, en cas de restrictions sur les prélèvements pour l'AEP et l'industrie, pourraient être lourdes.

Pour ce qui est des enjeux liés à l'irrigation tributaire du soutien d'étiage (cf. **figure 30**), bien que la répartition soit différente de celle des enjeux précédents, la majorité bénéficie d'une bonne protection grâce au soutien d'étiage.

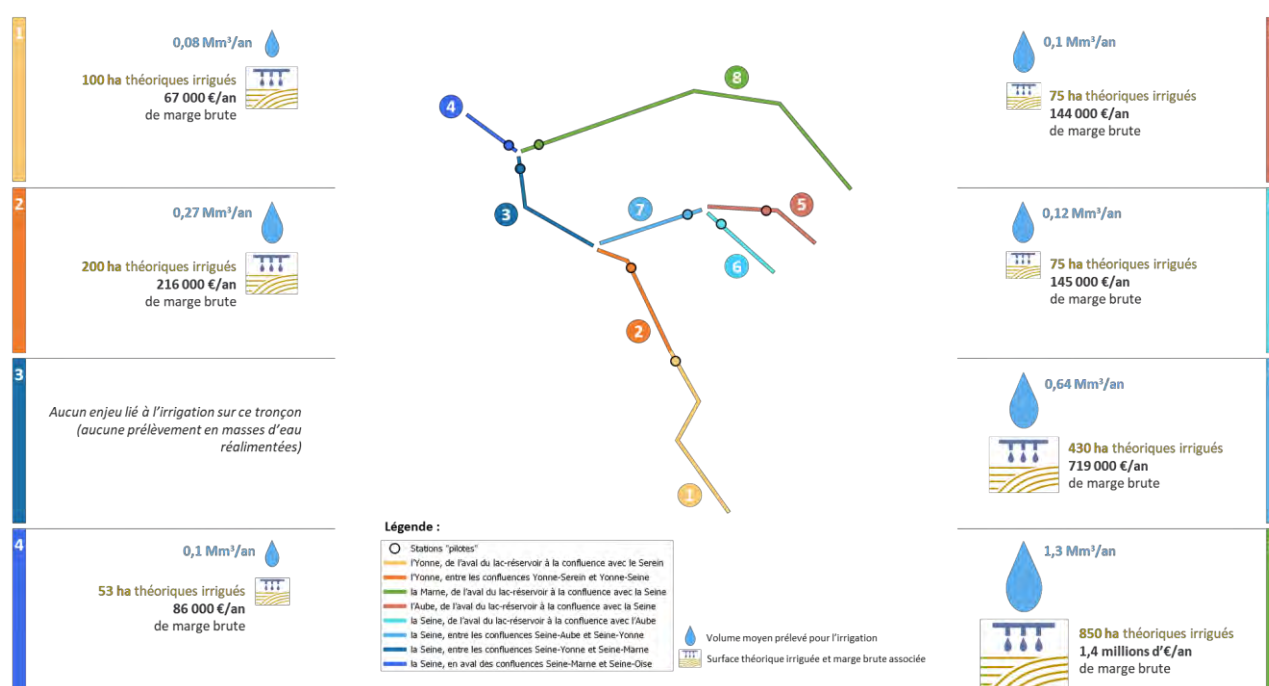


Figure 30 : Schéma des enjeux liés à l'irrigation (sources : Ecodecision, rapport de phase 3, données AESN 2008-2017)

Comme pour l'AEP et les industries, les besoins de l'irrigation tributaire du soutien d'étiage et le poids socio-économique associé sont hétérogènes, avec une concentration des enjeux sur la Marne, sur la Seine, entre les confluences Seine-Yonne et Seine-Aube, et sur l'Yonne, entre les confluences Yonne -Seine et Yonne-Serein. Si la vulnérabilité de l'irrigation est forte sur ces deux tronçons de la Seine et de l'Yonne, les incidences socio-économiques pourraient être plus lourdes en cas de restrictions sur la Marne.

Les enjeux liés à la navigation tributaire du soutien d'étiage sont liés aux activités sur le canal latéral à la Marne, le canal de l'Ourcq et le canal du Nivernais, dont tout ou une partie de l'alimentation en eau provient de ressources réalimentées (cf. **figure 31**). Pour les voies navigables en alimentation libre au fil de l'eau avec la rivière (ou rivières canalisées), la continuité de service n'est pas impactée d'un point de vue économique en période de sécheresse (extrait du rapport de phase 2). Inversement aux observations précédentes, c'est sur l'Yonne que les enjeux sont les plus forts, là où les retombées économiques calculées sont fortes mais où les taux de réduction du nombre de jours sous le seuil de crise sont les plus faibles. Ailleurs, les activités sur les voies navigables ne sont pas impactées ou bénéficient d'une bonne protection grâce au soutien d'étiage.

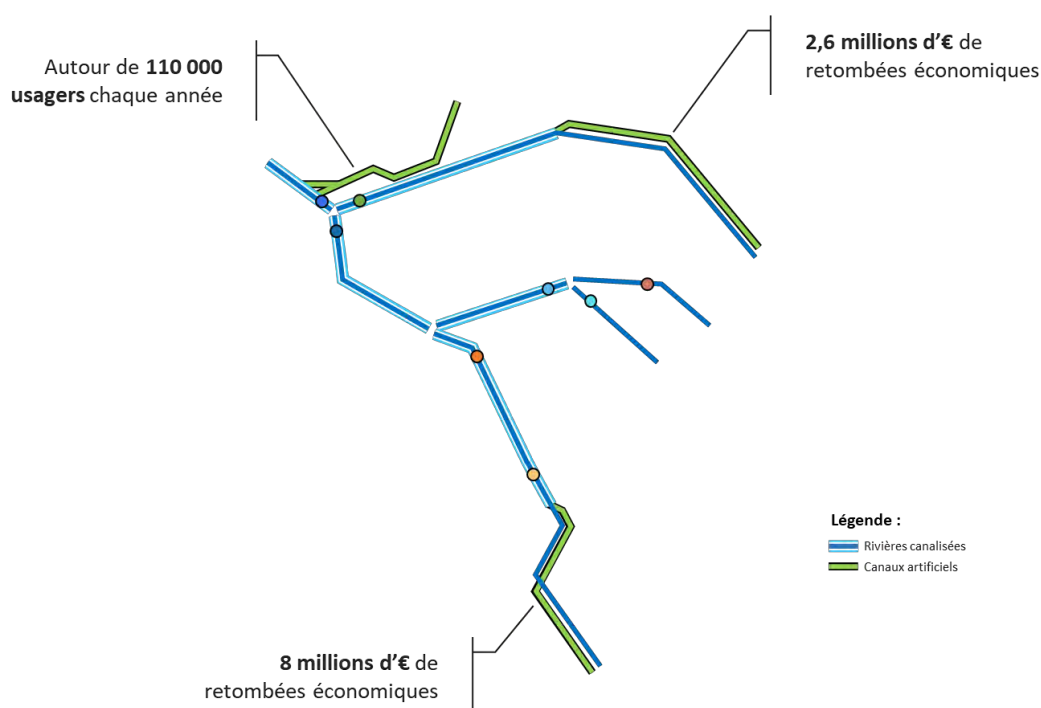


Figure 31 : Schéma des enjeux liés à la navigation

Enfin, les enjeux liés à l'assainissement, dont les bénéfices tirés du soutien d'étiage résultent de l'effet de dilution des rejets, ont été mesurés sur la base des données fournies par le SANDRE, mises à jour en 2021 (www.sandre.eaufrance.fr). Sur chaque tronçon, la somme des capacités nominales de traitement des systèmes de traitement des eaux usées (STEU) a été calculée. En divisant cette capacité totale par un QMNA5 naturel reconstitué à partir de la série AQUI-FR sur toute la période 1900-2008, à la station pilote correspondante, il est possible d'objectiver la vulnérabilité des milieux liés l'assainissement face aux étiages sévères (cf. **figure 32**). En effet, la quantité de polluants résiduels dans les rejets traités par les STEU est en première approche proportionnelle à la capacité de traitement des ouvrages. Ainsi, le ratio capacité des STEU / QMNA5 reflète le niveau de pression sur la ressource en étiage, et donc le niveau de risque de voir se dégrader la qualité de la ressource en cas d'étiage sévère.

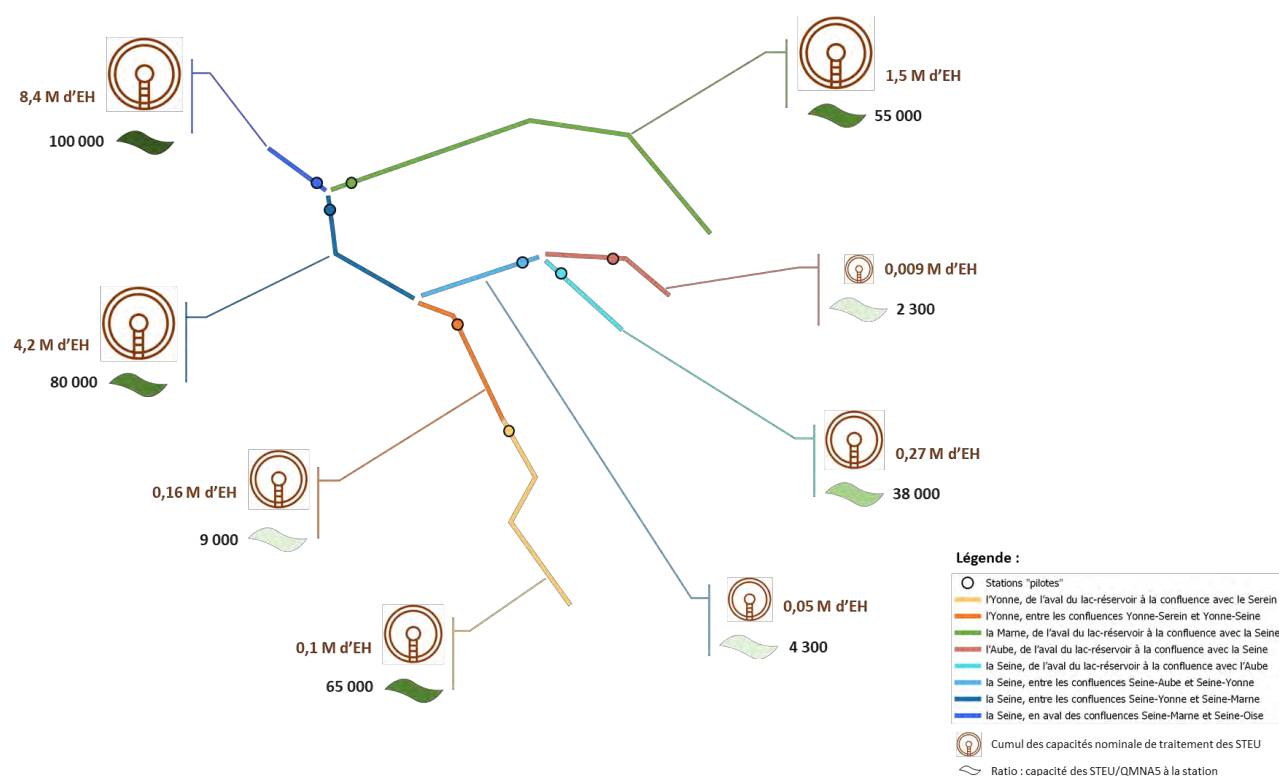


Figure 32 : Schéma des enjeux liés à l'assainissement

Sur l'Yonne en aval de la confluence avec le Serein, sur l'Aube et sur la Seine en amont de la confluence avec L'Yonne, les ratios : capacité des STEU/QMNA5, sont relativement faibles. Sur la Marne, la Seine, en aval de la confluence avec l'Yonne, et sur l'Yonne, de l'aval du lac réservoir à la confluence avec le Serein, les ratios sont plus élevés, témoignant d'un risque accru d'impact sur les milieux et de contraintes sur les normes de rejets.

La répartition des enjeux et des besoins socio-économiques est assez hétérogène mais ils tendent à se concentrer sur les tronçons de la Marne, sur la Seine en aval de la confluence avec l'Aube et également sur la Seine, entre les confluences Seine-Yonne et Seine-Aube, marquée par la présence du CNPE. Cela signifie que, sur les tronçons où aujourd'hui le soutien d'étiage offre un bon niveau de protection, le soutien permet d'éviter, même en cas d'hydrologie très défavorable, des incidences socio-économiques significativement lourdes. Sur la Seine, de l'aval du lac-réservoir à la confluence avec l'Aube, et sur le tronçon de l'Aube, les enjeux et besoins sont moins importants et principalement liés à l'irrigation, bénéficiant également d'un niveau de protection. Sur l'Yonne, où le soutien d'étiage aurait été insuffisant pour la tenue des objectifs en cas d'hydrologie très défavorable, les besoins et enjeux susceptibles d'être impactés sont principalement liés à l'assainissement et à la navigation sur le canal du Nivernais.

2.4.3 Analyse des impacts des usages

Pour chacun des usages, il est important de différencier les prélèvements de la consommation nette, mais aussi la ressource sollicitée. Il est ainsi possible de distinguer 2 niveaux d'effets :

- L'impact quantitatif d'un prélèvement va être tamponné par le rejet lié à ce même usage quand ce dernier existe. Par exemple un prélèvement pour de l'irrigation va servir à la production de biomasse qui sera ensuite récoltée et va donc sortir en totalité de l'hydrosystème. On parlera donc d'une consommation nette de 100 % (hypothèse que toute l'eau apportée est utilisée par la plante à court ou moyen terme). A l'inverse, pour un prélèvement d'eau potable, la plupart de l'eau consommée est ensuite restituée au milieu naturel par le biais des stations d'épuration. De même l'eau prélevée pour un usage industriel va être en majeure partie restituée au milieu naturel après traitement, à l'issue de son utilisation sanitaire ou de process ;
- Une consommation nette issue d'un prélèvement en eau superficielle va avoir un impact total et direct sur le débit du cours d'eau. C'est-à-dire que 1 m³/s consommé à partir d'un prélèvement en eau superficielle va avoir un impact instantané sur le débit du cours d'eau de 1 m³/s (100 % du débit consommé). A l'inverse un prélèvement dans un niveau aquifère (nappe) va entraîner une baisse locale de niveau (niveau « piézométrique ») qui sera compensée par les apports du stock en eau souterraine. Ce déficit de stock limitera en période d'étiage les apports de la nappe au cours d'eau de façon indirecte et déphasée dans le temps (**cf. figure 33**). L'impact d'un prélèvement en eau souterraine au débit du cours d'eau sera donc « directement » moindre que pour un prélèvement en eau superficielle. Il est cependant important de garder à l'esprit qu'à terme les deux ensembles étant intimement liés tout déficit dans l'un des compartiments entraînera un effet plus ou moins conséquent sur le second ;
- Les débits aux différentes stations ainsi que les impacts des prélèvements sur les différents sous-bassins s'expriment selon une logique hydrologique avec des temps de transferts en fonction des distances et des relations hydrologiques entre les sous-bassins.

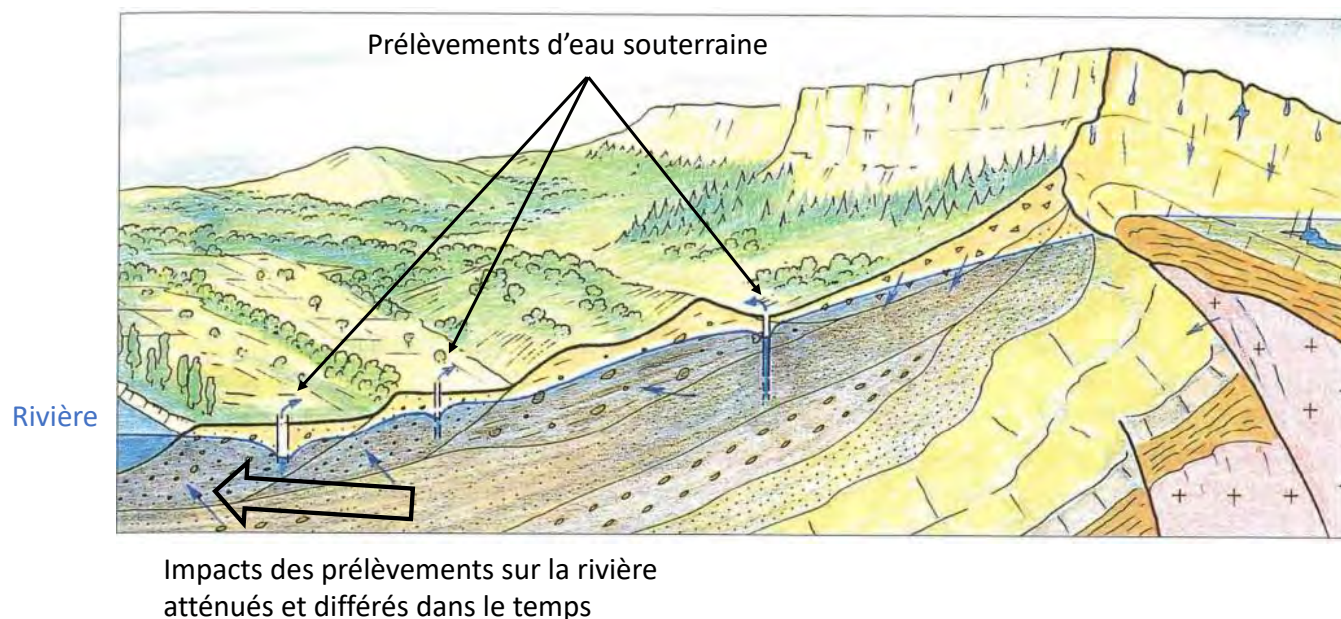


Figure 33 : Impacts des prélèvements en eau souterraine sur le débit de la rivière (BRGM, modifié) – extrait du rapport de phase 1

Les résultats obtenus pour les calculs d'impacts des usages montrent en période d'étiage, des rapports variables du poids de chacun des usages sur le débit naturel des cours d'eau (AEP, industrie, irrigation, canaux) selon les axes réalimentés.

D'une façon générale, en sortie du périmètre de l'EPTB à Paris-Austerlitz (cf. **figure 34**), le poids des usages actuels représente jusqu'à 30 % du débit naturel reconstitué. Les impacts des usages (décomposition des 30 %) sont constitués pour environ :

- 35 % de dérivation de canaux ;
- 35 % d'alimentation en eau potable ;
- 15 % d'irrigation ;
- 15 % d'industrie (CNPE compris qui représente environ 7 %).

Les poids maximums de ces usages s'expriment sur la période de **début juillet à fin septembre**.

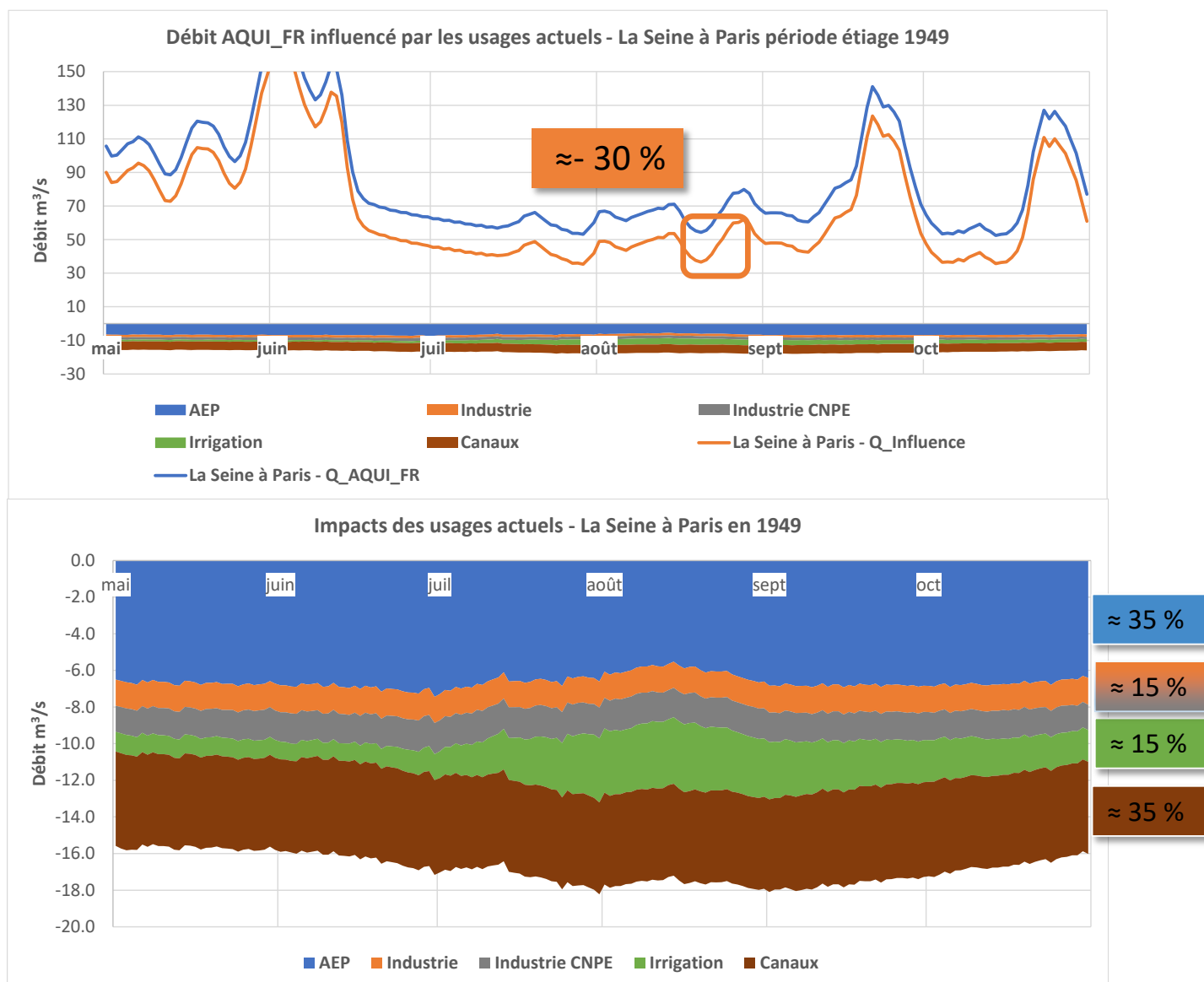


Figure 34 : Impacts des usages actuels sur l'axe Seine à Paris-Austerlitz (extrait du rapport de phase 3)

2.5 Synthèse de l'analyse des règles de gestion actuelles des Lac-réservoirs

L'analyse des règles de gestion actuelles des lacs réservoirs sur la base des données des cahiers d'exploitation, présentée dans la phase 3 de cette étude montre des résultats similaires pour les lacs-réservoirs Marne, Seine, Aube et Pannecière (cf. figures 35 et 36) :

- concernant la courbe de gestion théorique :
 - elle n'est jamais respectée pour la reprise du remplissage. Le remplissage démarre statistiquement le plus souvent entre mi-novembre et mi-décembre. Les remplissages restent cependant dans l'emprise de la courbe de remplissage tardif,
 - la statistique historique (à la création des lacs-réservoirs) de remplissage à 90 % pour 9 années sur 10 n'est aujourd'hui pas atteinte. Cette limite de remplissage correspond aux remplissages décennaux humides à exceptionnels,
 - la pente du déstockage n'est jamais tenue, cette dernière étant toujours plus faible que la courbe théorique, notamment du fait du déstockage anticipé ou tardif comparativement à la courbe de gestion théorique ;
- concernant la gestion des tranches volumétriques :
 - la tranche morte est toujours en eau (sauf maintenance exceptionnelle) ;
 - la tranche de réserve est sollicitée de façon régulière (1 année sur 5 à 1 année sur 2) ;
 - la tranche d'exploitation est rarement sollicitée dans sa totalité, excepté pour les années décennales humides et les records humides,
 - la tranche exceptionnelle n'est que très rarement sollicitée. Elle est cependant régulièrement tangente entre mars et avril, période pour laquelle les réservoirs sont déjà en partie remplis, entraînant une fragilité dans la stratégie de protection contre les crues ;
- concernant la tenue des objectifs sur les axes réalimentés :
- les débits mesurés présentent des périodes plus ou moins longues sous les débits de vigilance,
- la génération de ces périodes de déficit correspond, non à un manque volumétrique (hors axe Yonne), mais à une résultante de la répartition du volume d'eau disponible en période de début et de fin d'étiage.

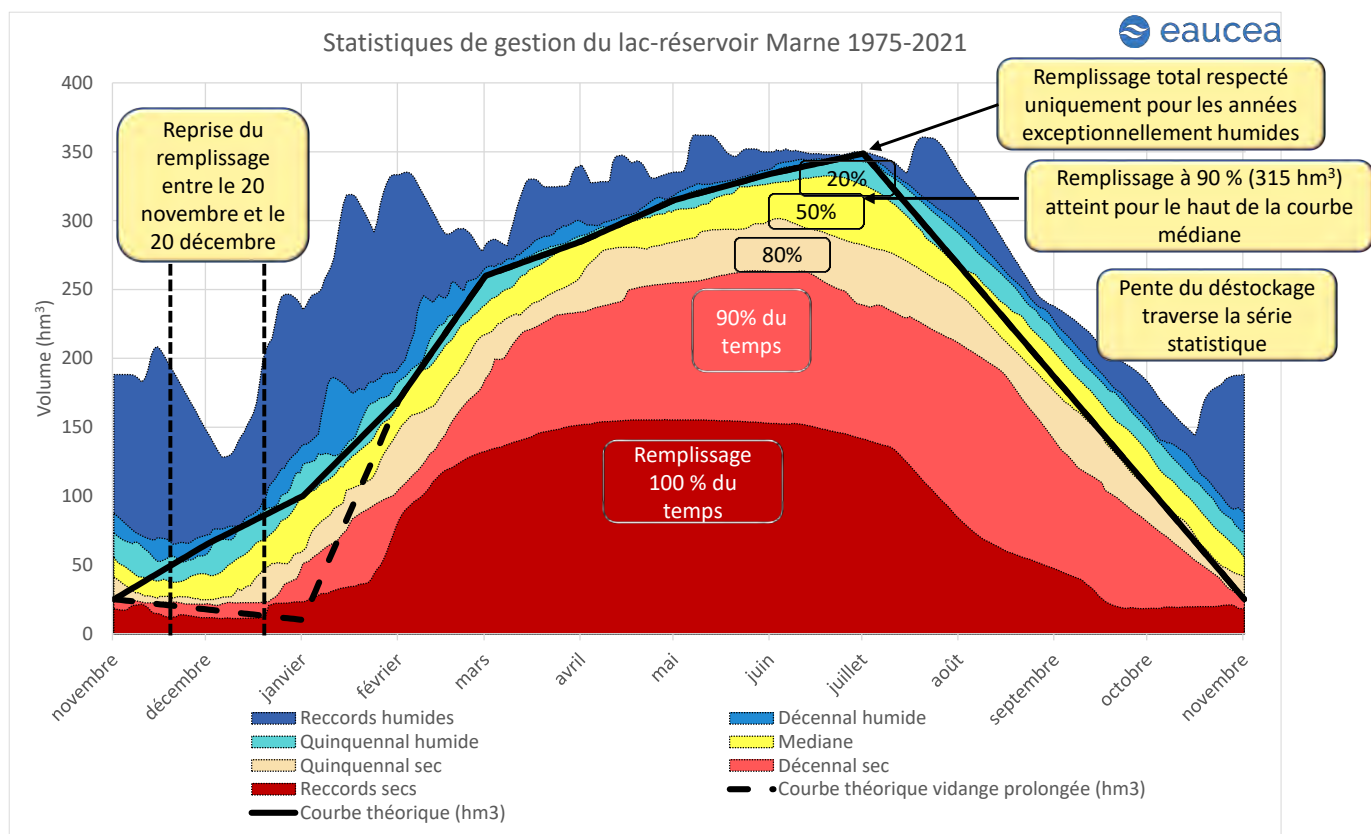


Figure 35 : Analyse statistique de l'historique de la gestion des courbes du lac-réservoir Marne (extrait du rapport de phase 3)

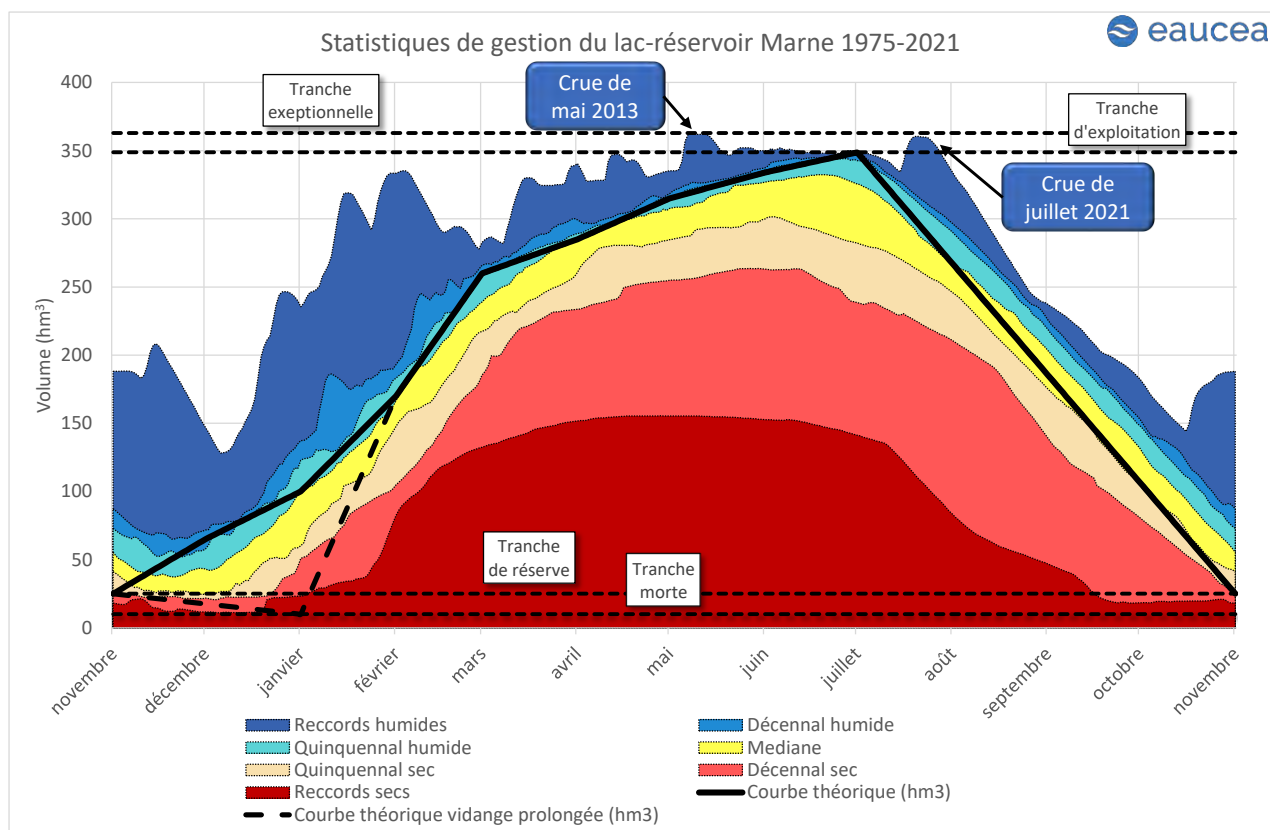


Figure 36 : Analyse statistique de l'historique de la gestion des courbes et des tranches du lac-réservoir Marne (extrait du rapport de phase 3)

L'analyse des déficits actuels par rapport au débit de vigilance (cf. figures 37 et 38) montre des résultats similaires sur les 3 axes Marne, Seine et Aube avec des franchissements de seuil fréquents en juin et novembre et pour les années exceptionnelles durant la saison d'étiage.

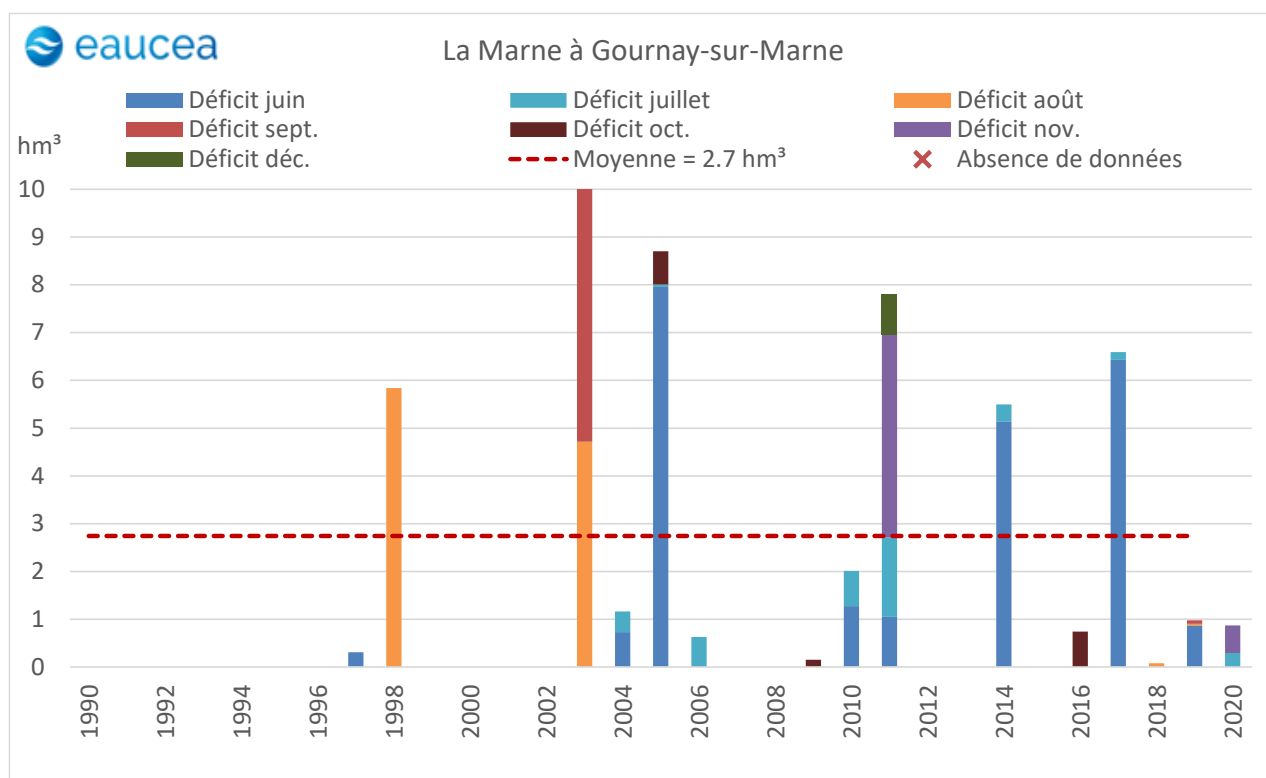


Figure 37 : Analyse des déficits par rapport au débit de vigilance à Gournay-sur-Marne (extrait du rapport de phase 3)

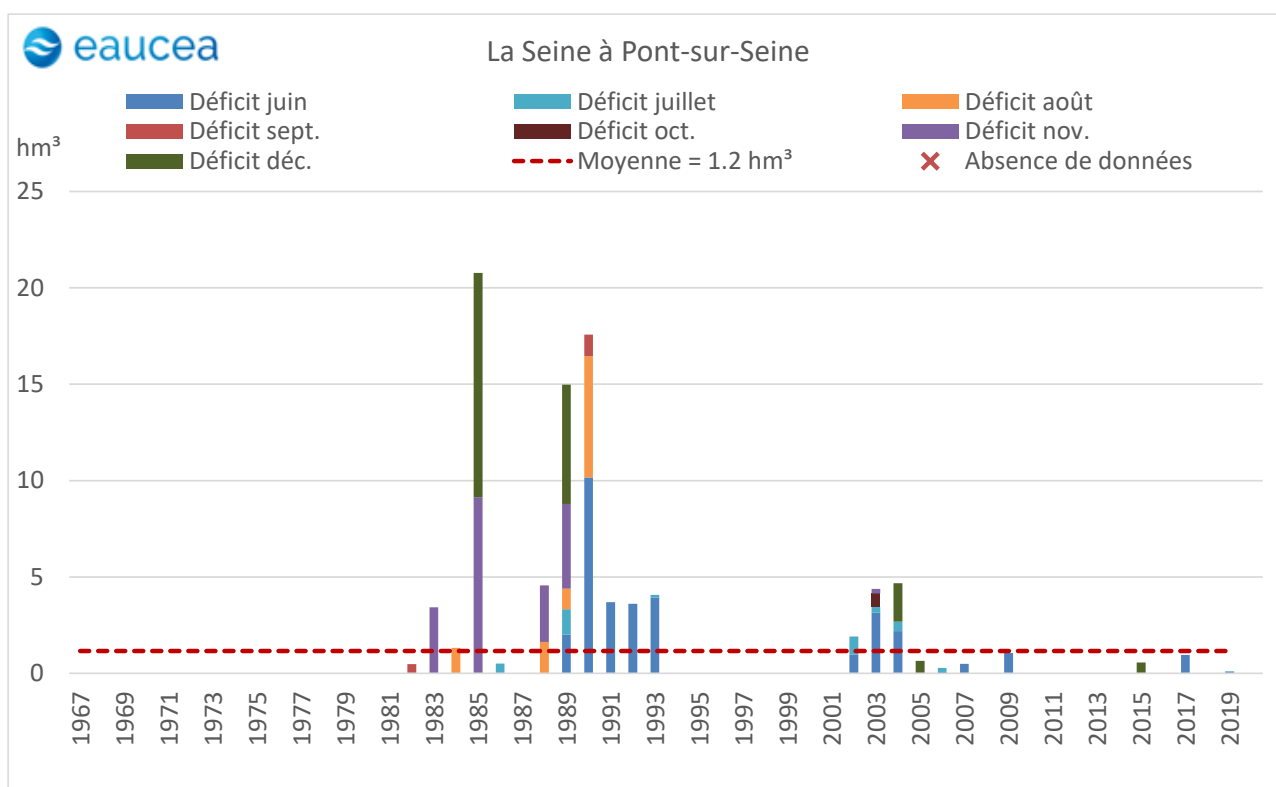


Figure 38 : Analyse des déficits par rapport au débit de vigilance à Pont-sur-Seine (extrait du rapport de phase 3)

L'analyse des débits de l'année 2011 au niveau de la station de Gournay-sur-Marne (cf. **figure 39**) illustre parfaitement ce phénomène :

- un étiage précoce intervenant dès la mi-mai, génère un passage de près d'un mois sous le débit de vigilance et les plus bas débits mesurés au cours de cette année-là ;
- les débits remontent ensuite dès début juin et les premiers lâchers, très largement au-dessus du débit de vigilance ;
- l'étiage se prolonge de façon tardive jusqu'à la fin de la première semaine de décembre, et entraîne une nouvelle période sous le débit de vigilance d'une durée de 3 semaines.

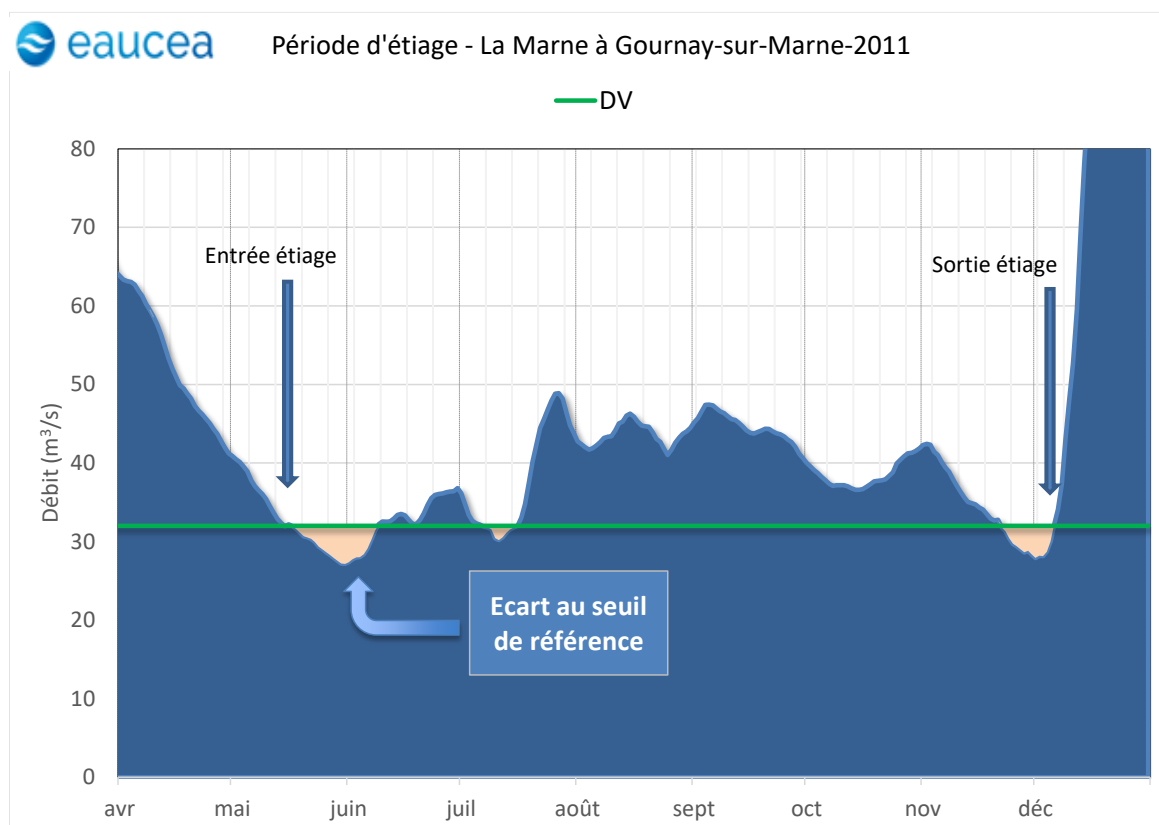


Figure 39 : Analyse du déficit par rapport au seuil de vigilance pour la station de Gournay-sur-Marne en 2011 (extrait rapport de phase 3)

Concernant l'axe Yonne, cette même analyse montre des déficits très fréquents, non seulement en début et en fin d'étiage, mais aussi au cœur de l'étiage. Pour les étiages sévères, les volumes disponibles ne permettent pas la tenue des objectifs à l'aval du lac-réservoir.

2.6 Synthèse de l'analyse des règles de gestion actuelles des lacs-réservoirs pour les étiages sévères passés

Pour les 4 scénarios d'étiages historiques retenus, après application des hypothèses de gestion issues des règlements d'eau des différents lacs-réservoirs et d'une concertation avec les services de l'EPTB Seine Grands Lacs, les niveaux de remplissages atteints sont présentés dans les **tableaux 6 et 7**. Ainsi :

- des remplissages très faibles (< 36 %), **de la capacité maximale de stockage** pour l'ensemble des lacs-réservoirs auraient eu lieu en 1921 ;
- des remplissages supérieurs à 65 % de la capacité maximale de stockage auraient eu lieu en 1949 ;
- des remplissages supérieurs à 80 % de la capacité maximale de stockage auraient eu lieu en 1976 et 1991.

Remplissage max % du lac-réservoir		Lac-réservoir			
Année	Marne	Aube	Seine	Pannecière	
1921	26	36	24	34	
1949	68	73	68	41	
1976	81	89	82	78	
1991	84	94	88	84	

Tableau 6 : Niveaux de remplissages théoriques de la tranche d'exploitation atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3)

Volume maximal de remplissage atteint (hm³)		Lac-réservoir			
Année	Marne	Aube	Seine	Pannecière	
1921	96	62	53	28	
1949	247	124	148	34	
1976	295	152	179	64	
1991	304	160	193	69	

Tableau 7 : Niveaux de remplissages théoriques des lacs-réservoirs atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3)

Ces niveaux de remplissages auraient entraîné les débits de déstockage (cf. **tableau 8**) très faibles pour les années 1921 et 1949 et plus élevés pour les années 1976 et 1991.

Année	Lac-réservoir			
	Marne	Aube	Seine	Pannecière
1921	5.4	3.0	2.5	1.2
1949	18.4	8.1	10.1	1.7
1976	20.4	9.6	12.0	3.9
1991	26.1	12.6	17.9	5.7

Tableau 8 : Débits de déstockages théoriques atteints pour les 4 étiages historiques avec application des règles de gestion actuelles (extrait du rapport de phase 3)

L'analyse des franchissements des seuils réglementaires présentée en phase 3 pour ces étiages historiques montre (cf. **figure 40**) :

- d'une façon générale sur les 3 axes réalimentés Marne, Aube et Seine, des franchissements ponctuels des seuils en tout début (juin) et en toute fin (novembre-décembre) des périodes d'étiages ;
- durant la période de début juillet à fin octobre :
 - pour 1921 des franchissements durables sur l'ensemble des 3 axes des seuils de vigilance, alerte, alerte renforcée et crise ;
 - pour 1949 :
 - des franchissements durables du seuil de vigilance sur l'axe Marne ;
 - des franchissements durables du seuil de vigilance sur l'axe Seine au niveau de la station de Paris Austerlitz et du seuil d'alerte au niveau des stations de Pont-sur-Seine, d'Alfortville et Saint-Fargeau-Ponthierry ;
 - un franchissement ponctuel, en début d'étiage, du seuil de vigilance sur l'axe Aube
 - pour 1976 et 1991 :
 - aucun franchissement durable de seuils sur les axes Marne et Aube ;
 - aucun franchissements durables des seuils au niveau des stations de Méry-sur-Seine et Paris Austerlitz et des franchissements des seuils de vigilance et des stations de Pont-sur-Seine, d'Alfortville et de Saint-Fargeau-Ponthierry.

Rappelons tout de même que ces résultats ne tiennent pas compte de l'effet sur l'hydrologie de la réduction progressive des prélèvements imposée par les mesures de préservation des ressources en eau des arrêtés cadres sécheresse (y/c en période d'alerte et d'alerte renforcée). **En situation réelle, les mesures de restriction visent à réduire l'impact des usages sur la ressource, limitant ainsi la dégradation des débits constatés et réduisant donc le nombre de jours sous les seuils réglementaires.** Sur le plan hydrologique, les débits présentés dans les simulations reflètent donc une vision maximaliste des franchissements de seuils, comme s'il n'y avait pas de restriction des usages de l'eau en période de sécheresse.

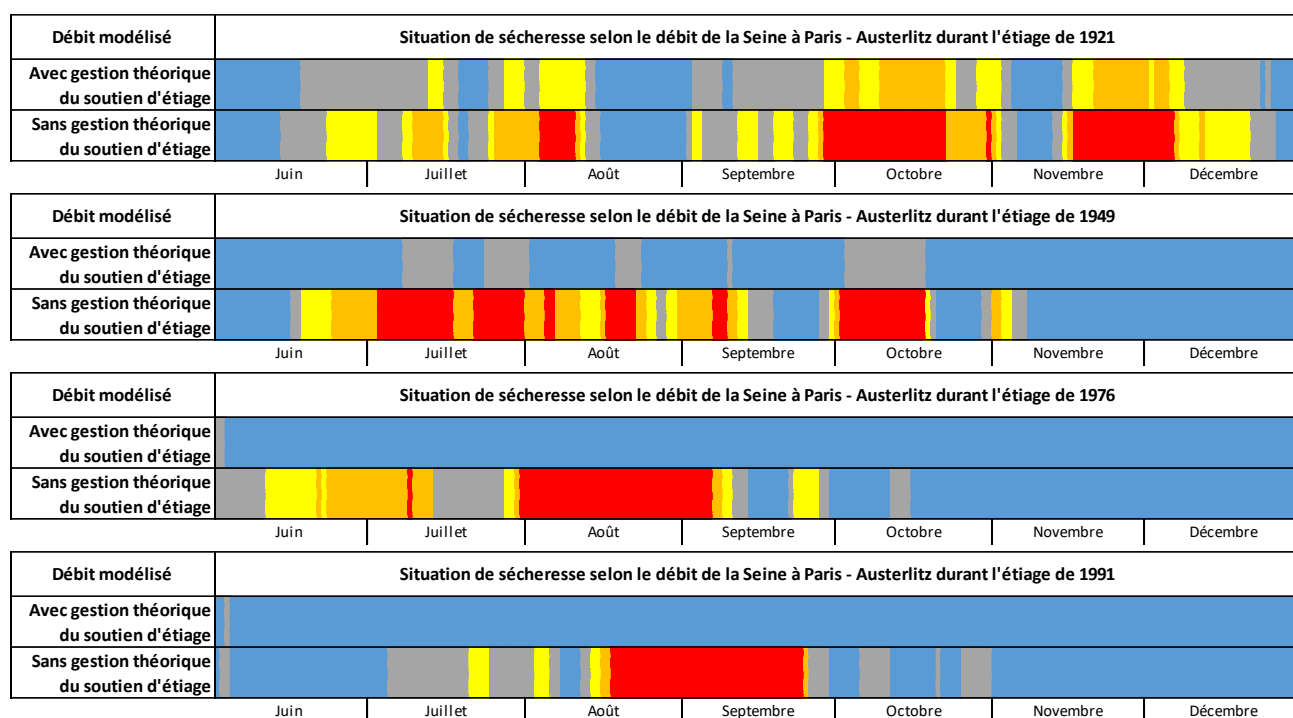


Figure 40 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Paris-Austerlitz, avec et sans soutien d'étiage théorique (extrait rapport de phase 3)

Sur l'axe Yonne, les seuils de crise sont franchis de façon durable malgré les lâchers du lac-réservoir de Pannecière.

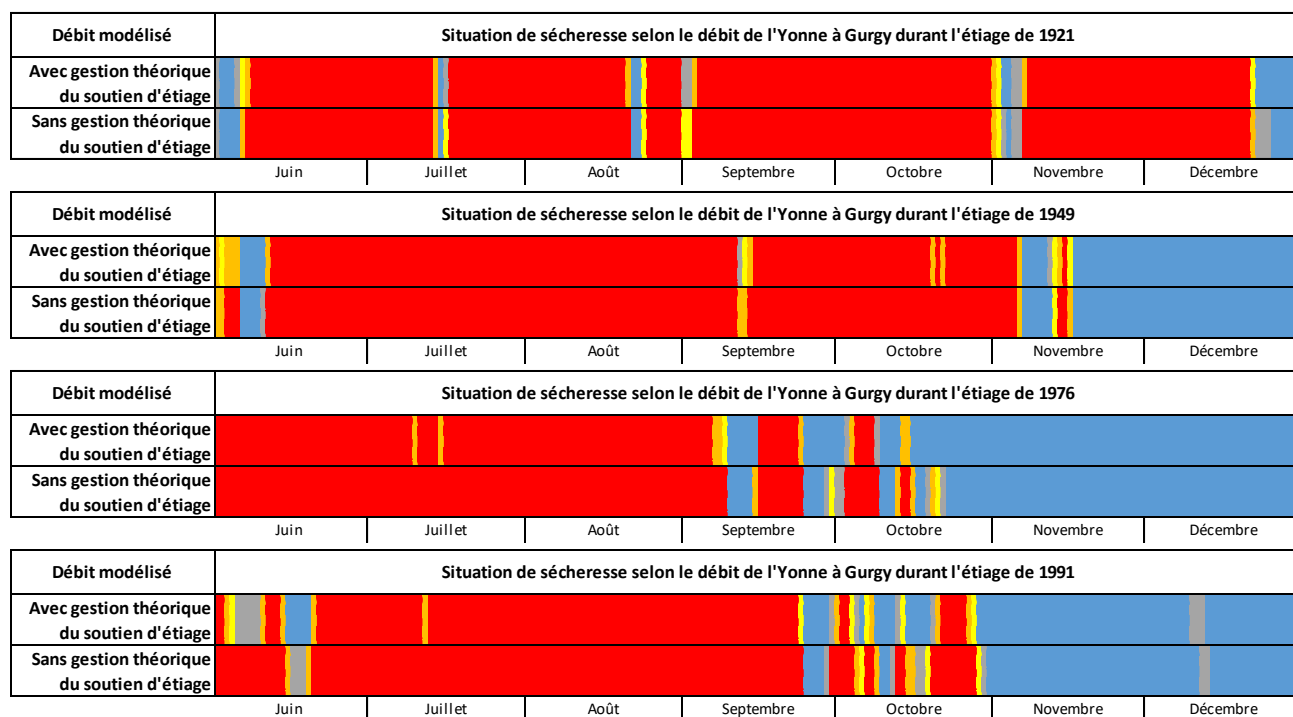


Figure 41 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Gurgy, avec et sans soutien d'étiage théorique (extrait rapport de phase 3)

Ainsi, sur la base de cette première analyse, concernant les lacs-réservoirs Marne, Aube et Seine :

- en 1921 avec un remplissage des réservoirs inférieur à **35 %** de la capacité maximale de stockage. **Les débits de déstockage associés** sont bien insuffisants pour la tenue des seuils réglementaires en période d'étiage ;
- en 1949 avec un remplissage des réservoirs inférieur ou égal à **65 %** de la capacité maximale de stockage, **les débits de déstockage associés** sont susceptibles d'entraîner des franchissements des seuils de vigilance sur les axes Marne et Seine et des seuils d'alerte sur l'axe Seine (pas de franchissement sur l'axe Aube) ;
- **en 1976 et 1991 avec un remplissage des réservoirs de l'ordre de 80 %** de la capacité maximale de stockage, **les débits de déstockage associés** permettent le respect des seuils réglementaires sur les axes Marne, Aube et Seine ;
- concernant l'axe Yonne, pour des étiages sévères, la faible capacité du réservoir ne permet pas la tenue des objectifs pour les 4 étiages sévères testés.

2.7 Sensibilité des résultats hydrologique de la gestion actuelle appliquée selon le taux de remplissage

Les scénarios de gestion reconstitués sur des bases hydrologiques historiques montrent que pour la Marne, l'Aube et la Seine, le principal facteur de risque est le taux de remplissage des réservoirs, et donc **les débits de déstockage** quel que soit l'intensité de l'étiage rencontré. Pour l'Yonne, ces années exceptionnelles seraient défaillantes vis-à-vis des objectifs en débit et donc pour les usages.

2.7.1 Test des règles de gestion actuelles pour les étiages du passé avec des hypothèses de remplissage variables

Un scénario de soutien des débits en année exceptionnellement sèche doit nécessairement se préoccuper du stock disponible pour ce soutien d'étiage. Celui-ci sera très probablement impacté dans le futur mais la concomitance d'un déficit de remplissage et d'un étiage sévère qui lui succède n'est pas certains comme nous le démontre l'analyse du passé. Un test de sensibilité des résultats à ce taux de remplissage a donc été systématiquement réalisé pour les 9 points cibles et les 4 étiages sévères. Différentes hypothèses de remplissage ont été fixées en % du volume utile pour tous les ouvrages concomitamment avec des tests de variation de la tranche d'exploitation entre 100% et 10% par pas de 10% avec le scénario tranche de réserve actuelle (100%). Les résultats sont analysés sur la période juin à octobre.

Le diagramme résultant montre le nombre de jours de crises issues de ces hypothèses. Une couleur rouge traduit un nombre important de jours de crise. Le diagramme montre la situation de défaillance fréquente sur l'Yonne même avec des remplissages à 100%. Sur la Seine, la ressource devient problématique en étiage sévère (situation de crise avérée) pour des remplissages inférieurs à 40%. Sur l'Aube et la Marne, ce seuil est abaissé à 20% de remplissage

Scénario du passé		10%				20%				30%				40%				50%				60%				70%				80%				90%				100%			
Nbre de jours sous DCR de juin à octobre		1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991				
Marne	Goumay-sur-Marne	50	77	52	32	27	23	27	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Aube	Arcis-sur-Aube	84	114	103	68	60	76	63	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Seine	Mery-sur-Seine	5	1	4	2	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Pont-sur-Seine	119	127	121	107	110	116	107	86	82	105	95	64	55	67	57	42	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2
	Saint-Fargeau-Ponthierry	54	84	63	46	42	53	37	40	25	25	23	28	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Alfortville	54	88	65	42	38	58	48	40	25	31	23	27	7	7	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Paris Austerlitz	29	42	34	30	11	10	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Yonne	Gurgy reconstitué	139	143	118	128	137	142	117	126	136	140	116	122	136	137	116	120	132	135	116	116	127	134	113	115	122	131	109	112	117	127	108	109	112	121	105	105	103	114	104	97
	Pont-sur-Yonne	85	104	90	71	82	100	88	67	78	93	87	62	74	86	81	56	69	79	80	54	64	72	78	53	61	61	70	50	55	53	60	49	48	44	51	41	39	33	38	38

Figure 42 : nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation sur les étiages passés

Ce tableau fait apparaître une situation contrastée sur le plan géographique:

- Peu de risque sur Marne et Aube
- Risque modéré sur la Seine avec réduction du risque de l'amont vers l'aval
- Risque systématique sur l'Yonne (remarque : non prise en compte du soutien d'étiage de la Cure)

2.7.2 Test des règles de gestion actuelles des lacs-réservoirs pour les étiages futurs (2050) avec des hypothèses de remplissage variables

Le principe retenu est de tester la "résistance" du système de réalimentation à des conditions extrêmes observées dans le passé et aggravées dans le futur sous le double contrôle d'une évolution des usages et d'une baisse de l'hydrologie naturelle.

Pour les 4 étiages historiques retenus dans l'étude socio-économique sur les étiages sévères (1921, 1949, 1976, 1991), une baisse de 20 % a été appliquée sur les chroniques du débit naturel d'étiage issu de l'étude AQUI FR. Cette baisse est issue des travaux projetant l'évolution relative des débits sous contraintes climatiques du futur. D'autre part une évolution des usages a été appliquée sur la base d'hypothèses hautes de prélèvements et des consommations futures présentées dans le présent rapport (cf chapitre 1.6.1 du rapport de phase 3) et rappelées ci-dessous :

Usages	Évolution des consommations à l'horizon 2050 - Scénario haut	Soit, en équivalent annuel
Irrigation	↗ 37%	↗ 1%/an
AEP	↗ 7,5%	↗ 0,2%/an
Navigation	<i>Pas d'évolution</i>	<i>Pas d'évolution</i>
Autres usages économiques	↘ 11%	↘ 0,4%/an
Refroidissement industriel (CNPE)	↗ 2,7%	↗ 0,1%/an
Tout usage	↗ 8,2%	↗ 0,3%/an

Tableau 17 : Scénario haut d'évolution des consommations des usages sur tout le bassin d'étude à l'horizon 2050

Les impacts hydrologiques de ces usages futurs ont été calculés et projetés sur les débits naturels, conduisant à la construction de nouvelles chroniques dites de « débits du futur avant soutien d'étiage ». Ces chroniques ont été réalisées pour l'ensemble des stations de référence du bassin et différentes hypothèses de remplissage avant l'étiage.

Ce dernier critère joue un rôle très important quant aux risques d'apparition de jours de crise sur la période juin à octobre.

La principale conséquence hydrologique est que sur certaines stations l'impact des usages projetés est quasi équivalent au débit naturel du futur ! Cela se traduirait donc de façon très théorique par un débit résultant négatif ou nul quelques jours par an et donc une impossibilité physique de satisfaire les usages sans faire appel au soutien d'étiage et des conséquences environnementales majeures.

Scénario 2050		10%				20%				30%				40%				50%				60%				70%				80%				90%				100%			
Nbre de jours sous DCR de juin à octobre		1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991
Marne	Gournay-sur-Marne	116	116	114	73	88	107	91	48	53	76	53	35	12	14	27	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0
	Arcis-sur-Aube	113	125	112	87	77	108	91	62	33	30	28	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seine	Méry-sur-Seine	63	0	3	1	7	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pont-sur-Seine	137	133	128	121	127	125	120	105	115	111	107	76	85	90	80	54	48	5	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2
	Saint-Fargeau-Ponthierry	78	107	82	55	57	90	67	46	42	55	38	37	21	21	21	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alfortville	126	120	119	100	120	118	113	96	114	116	107	87	102	112	94	73	87	106	83	61	70	99	72	56	52	88	52	48	40	65	47	42	22	36	42	36	6	13	31	13
	Paris Austerlitz	117	118	113	91	110	114	98	78	93	108	85	62	75	98	71	53	44	81	48	44	37	56	46	40	7	17	39	22	0	4	20	0	0	0	5	0	0	0	5	0
Yonne	Gurgy reconstitué	142	148	124	133	141	147	122	133	140	146	119	130	139	146	119	129	137	144	117	126	136	141	116	122	134	139	116	119	130	137	116	115	123	133	110	112	117	129	108	108
	Pont-sur-Yonne	103	118	97	93	101	116	97	89	95	114	96	82	92	105	94	75	83	101	91	72	79	95	90	65	74	88	84	57	69	77	82	55	64	67	77	53	56	54	65	50

Figure 43 : Nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation pour les étiages du futur 2050

Le diagramme montre clairement une aggravation du risque sur toute les stations avec le maintien de contrastes territoriaux importants mais avec les nuances suivantes :

- Peu de risque sur Marne et Aube au-dessus de 40% de remplissage
- Risque fort sur la Seine avec aggravation de l'amont vers l'aval
- Risque systématique sur l'Yonne (remarque : non prise en compte du soutien d'étiage de la Cure)

2.7.3 Comparaisons des scénarios passés et futurs

Le diagramme ci-dessous montre que l'aggravation du nombre de jours avec les hypothèses du futur (seul le différentiel avec le scénario passé est représenté ici) sera significativement le plus fort sur la Seine à Alfortville et Paris et cela y compris avec des taux de remplissage importants, alors que sur la Marne et l'Aube, ces épisodes peuvent être absorbés **dès que le remplissage atteint 50%.**

Aggravation Ecart Futur- passé		10%				20%				30%				40%				50%				60%				70%				80%				90%				100%			
Nbre de jours sous DCR de juin à octobre		1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991	1921	1949	1976	1991
Marne	Gournay-sur-Marne	66	39	62	41	61	84	64	35	53	76	53	35	12	14	27	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0
	Arcis-sur-Aube	29	11	9	19	17	32	28	16	33	30	28	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seine	Mery-sur-Seine	58	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pont-sur-Seine	18	6	7	14	17	9	13	19	33	6	12	12	30	23	23	12	48	5	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
	Saint-Fargeau-Ponthierry	24	23	19	9	15	37	30	6	17	30	15	9	21	17	21	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alfortville	72	32	54	58	82	60	65	56	89	85	84	60	95	105	88	66	87	106	83	61	70	99	72	56	52	88	52	48	40	65	47	42	22	36	42	36	6	13	31	13
	Paris Austerlitz	88	76	79	61	99	104	89	75	93	108	85	62	75	98	71	53	44	81	48	44	37	56	46	40	7	17	39	22	0	4	20	0	0	0	5	0	0	0	5	0
Yonne	Gurgy reconstitué	3	5	6	5	4	5	5	7	4	6	3	8	3	9	3	9	5	9	1	10	9	7	3	7	12	8	7	7	13	10	8	6	11	12	5	7	14	15	4	11
	Pont-sur-Yonne	18	14	7	22	19	16	9	22	17	21	9	20	18	19	13	19	14	22	11	18	15	23	12	12	13	27	14	7	14	24	22	6	16	23	26	12	17	21	27	12

Figure 44 : Aggravation du nombre de jours sous le DCR sur la période juin-octobre simulés en fonction du taux de remplissage de la tranche d'exploitation entre les étiages passés et futurs

Le fait de retenir 4 scénarios d'étiage et 8 stations de suivis fait apparaître des nuances territoriales importantes et parfois une différence de réaction selon l'étiage testé. Le taux de remplissage indigent en 1921, a montré la nécessité de mettre ce facteur au premier plan des critères déterminant de la performance hydrologique et les risques socio-économiques.

Les hypothèses de la prospective 2050, qui retiennent notamment un affaiblissement de 20% de l'hydrologie naturelle et une évolution des usages, se traduisent par des effets significatifs sur les performances hydrologiques du soutien d'étiage avec les règles de gestion actuelles. Les défaillances sont aggravées et font aussi émerger des degrés de vulnérabilité différents selon les stations.

Pour faciliter l'analyse synthétique de ces résultats, un indicateur agrégeant le nombre de jour de crise des 4 étiages a été établi et permet de proposer deux résultats importants :

- **Le nombre de jour de crises est plus fort quand le remplissage est faible avec un point d'inflexion autour de 50% de remplissage. Il augmente fortement entre le passé et le futur (environ 60% de plus)** (Figure 45 : Courbes d'accroissement du risque cumulé sur tout le bassin selon le taux de remplissage).
- **Les risques de défaillance en situation d'étiage extrême sont hétérogènes sur le bassin et avec une hiérarchie différente entre passé et futur** (Figure 46 : Diagramme hiérarchisant les stations en fonction du nombre de jours de crises)

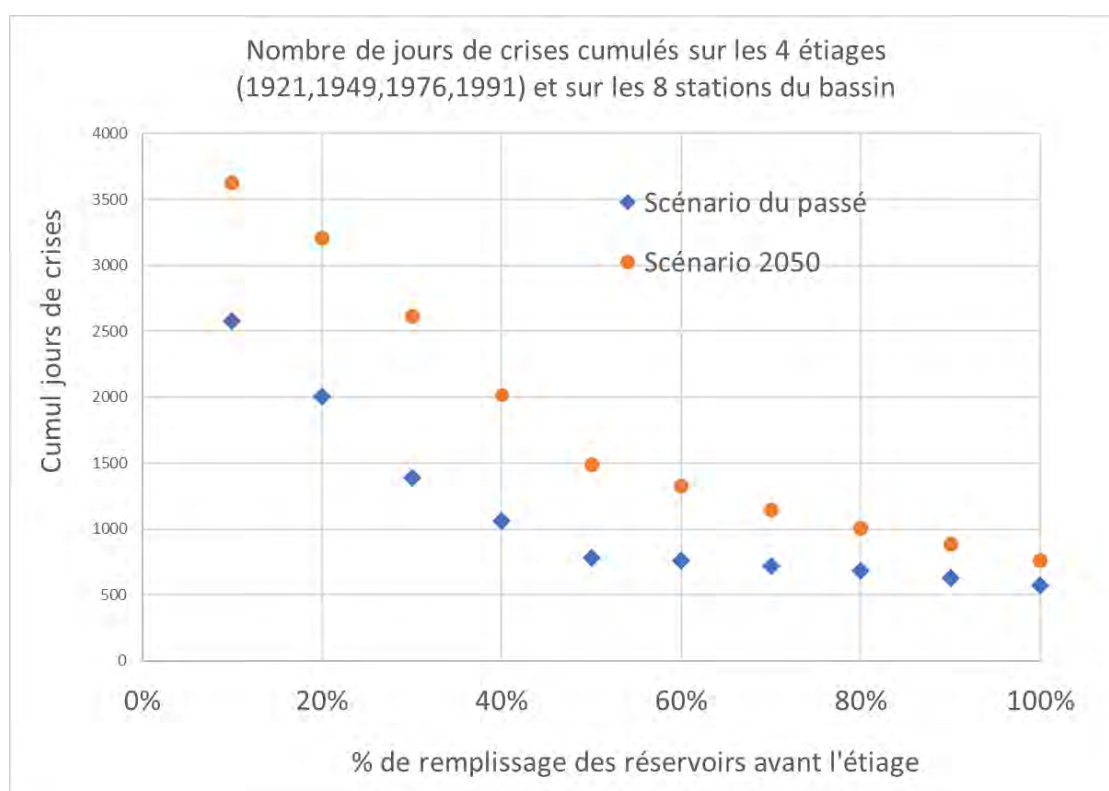


Figure 45 : Courbes d'accroissement du risque cumulé sur tout le bassin selon le taux de remplissage

passé		futur
Mery-sur-Seine		Mery-sur-Seine
Paris Austerlitz		Saint-Fargeau-Ponthierry
Gournay-sur-Marne		Arcis-sur-Aube
Saint-Fargeau-Ponthierry		Gournay-sur-Marne
Alfortville		Pont-sur-Seine
Arcis-sur-Aube		Paris Austerlitz
Pont-sur-Seine		Alfortville

Figure 46 : Diagramme hiérarchisant les stations en fonction du nombre de jours de crises

2.7.4 Conséquences socio-économiques projetées : une forte sensibilité au taux de remplissage

Les effets du remplissage sur les performances du soutien d'étiage apparaissent très déterminants. L'étiage 1921 est retenu comme exemplaire car il illustre bien les conséquences d'un faible remplissage qui aurait été constaté en juin 1921 avec les règles de gestion actuelles. La traduction économique de cette situation a été reportée avec trois hypothèses :

Sans soutien d'étiage, le soutien d'étiage qui aurait été observé en 1921 avec un remplissage de 28% de la tranche d'exploitation et enfin une hypothèse plus optimiste d'un remplissage à 50%. Le constat économique à l'échelle du bassin est équivalent au constat hydrologique : le taux de remplissage détermine fortement les incidences économiques.

Usages de l'eau	Indicateur d'enjeux	Indicateur d'impact	Sans soutien d'étiage	Avec soutien remplissage : 28%	Avec soutien remplissage : 50%
Irrigation	1 790 ha théoriques irrigués 2,8 millions d'€/an de marge brute	Nombre maximum de jours sous le seuil de crise	Jusqu'à 184 jours de crise	Jusqu'à 180 jours de crise	Jusqu'à 176 jours de crise
Navigation et activités sur les canaux (hors marchandise)	11 millions d'€ de retombées économiques sur le canal du Nivernais et latéral à la Marne Autour de 110 000 usagers sur les canaux de la ville de Paris	Pertes sur le canal du Nivernais et latéral à la Marne	7,2 millions d'€	6,6 millions d'€	6,3 millions d'€
CNPE	640 millions d'€/an d'électricité vendue en gros	Pertes de vente	150 millions d'€	Aucune perte	Aucune perte
Industrie (dont la production d'hydro-électricité)	350 000 emplois de l'industrie préleveuse et/ou desservie en eau potable	Pertes de valeur ajoutée pour l'industrie	8,5 milliards d'€	3,2 milliards d'€	1,4 milliards d'€
AEP	Valeur ajoutée de 37 milliards d'€/an	Risques de pertes de valeur ajoutée pour les activités de service	Jusqu'à 1 milliard d'€/j	Jusqu'à 910 millions d'€/j	jusqu'à 910 millions d'€/j
	6,4 millions d'habitants desservis 3,4 millions d'emplois de services desservis en eau potable Valeur ajoutée de 376 milliards d'€/an				

Figure 47 : Chiffrage des incidences socio-économiques des scénarios sans soutien d'étiage et avec (pour deux taux de remplissage), pour l'étiage sévère de 1921 sur les usages tributaires du soutien d'étiage sur l'ensemble du bassin amont de la Seine

Pour affiner le diagnostic, des simulations socio-économiques ont été réalisées avec des taux de remplissage de 80 %, 70 % et 50 % appliqués aux quatre lacs réservoirs. Trois stations sont testées pour l'analyse de ces incidences :

- La Seine à Pont sur Seine,
- La Marne à Gournay sur Marne,
- La Seine à Paris.

L'intérêt de l'exercice est de comparer les projections du risque socio-économique par rapport à la situation actuelle si l'on conserve aussi les règles de gestion actuelles. Les frises confirment une aggravation lourde des situations de crise, comme illustrée sur le scénario « remplissage 50% et étiage type 1921 ».

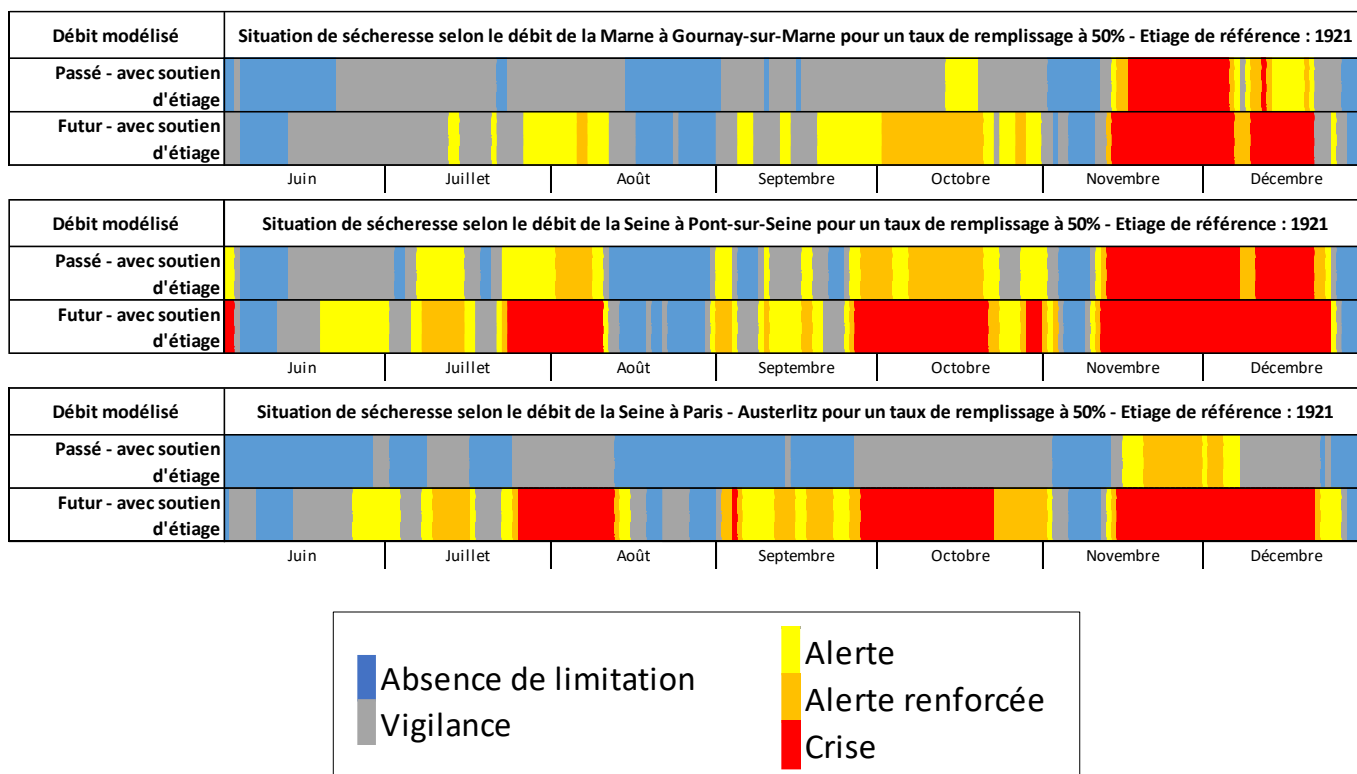


Figure 48 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions de juin à décembre pour un taux de remplissage de 50% des lacs-réservoirs, pour les scénarios d'étiage passé et futur basés sur l'étiage sévère de 1949

2.8 Ce qu'il faut retenir du diagnostic

Le bassin amont de la Seine jusqu'à Paris se caractérise par des ressources en eau naturelles qui bénéficient de conditions hydrologiques globalement favorables en ce qui concerne le risque de sécheresse. Cette situation s'explique notamment par le rôle tampon des différentes nappes souterraines qui absorbent, stockent et restituent des volumes d'eau considérables. La Seine, la Marne, l'Aube et l'Yonne bénéficie différemment de cet avantage. Les grands réservoirs artificiels, ont largement renforcé ce potentiel naturel. Ils voient se succéder une phase de remplissage en hiver et au printemps, permettant le cas échéant d'absorber de grandes crues, puis sont vidés pendant l'été et parfois jusqu'en décembre pour reconstituer ce potentiel d'absorption des crues.

L'ampleur des volumes mobilisés a permis jusqu'à aujourd'hui de gérer la plupart des épisodes de sécheresse. Des usages très nombreux et porteurs mais deux hypothèses devaient être testées : que se passerait-il si les étiages les plus sévères connus depuis 100 ans devaient advenir et comment les risques climatiques pourraient-ils encore modifier ce contexte ? Il s'agit de vérifier la résistance du modèle de gestion actuelle à des crises graves, à l'instar des évaluations de risque liées aux grandes inondations. 4 scénarios d'étiage sévères ont été retenus qui peuvent survenir chacun avec une probabilité d'environ 1 sur 25 (4 par siècle) : 1921, 1949, 1976, 1991.

L'hydrologie naturelle étant largement modifiée par les usages historiques (dont le soutien d'étiage) il faut s'appuyer sur des chroniques reconstituées par modélisation. Pour les usages qui prélèvent de l'eau (agriculture, eau potable, industrie, énergie), il faut évaluer sur la base de la situation actuelle, leur impact sur les débits. La situation diffère entre les prélèvements en eau souterraine ou en rivière. La qualité de l'eau est aussi sensible au débit si l'on considère par exemple la dilution des pollutions. Les rejets urbains ont cependant largement été assainis, et les préoccupations actuelles en étiage estival s'orientent plus vers l'oxygénation et la température de l'eau.

Un modèle de bassin a donc été construit pour décrire les effets hydrologiques et économiques des scénarios d'étiages extrêmes. Une insuffisance du dispositif se caractérise par le franchissement de débits seuils ce qui déclenche des restrictions d'usages commandées par la police de l'eau. Ces restrictions ont à leur tour des répercussions économiques défavorables. L'étiage 1921, a montré la nécessité de mettre le taux de remplissage en juin, au premier plan des critères déterminant de la performance hydrologique et les risques socio-économiques.

Le bilan des différents tests, montre que dans la situation des étiages historiques, la situation serait contrastée sur le plan géographique :

- Peu de risque sur la Marne et l'Aube
- Risque modéré sur la Seine avec réduction du risque de l'amont vers l'aval
- Risque systématique sur l'Yonne (remarque : le scénario ne modélise pas le soutien des débits de la Cure).

Les hypothèses de la prospective 2050, qui retiennent notamment un affaiblissement de 20% de l'hydrologie naturelle et une évolution des usages, se traduisent par des effets significatifs sur les performances hydrologiques du soutien d'étiage avec les règles de gestion actuelles. Les défaillances sont aggravées en intensité et la vulnérabilité à un remplissage partiel augmente. Cela est particulièrement net pour la Seine. L'Yonne reste l'axe le plus impacté y compris avec une retenue pleine en juin.

3 EVALUATION DES REGLES DE GESTION ENVISAGEES DANS LE CADRE DE LA REVISION DES REGLEMENTS D'EAU DES LACS-RESERVOIRS

3.1 Révisions envisagées des règlements d'eau des lacs-réservoirs Marne, Seine et Aube

3.1.1 Objectifs des révisions envisagées

Suite à l'étiage sévère de 2011, le préfet de la Marne a sollicité l'EPTB pour la mise en place d'une concertation sur l'ajustement de la courbe théorique du remplissage du lac-réservoir Marne et l'examen approfondi d'une éventuelle évolution du règlement d'eau. Cette démarche a été inscrite dans les mesures du SDAGE Seine-Normandie 2011-2015.

Suite aux crues du printemps 2013, la ministre de l'écologie s'est engagée à ce que soient revues les règles de gestion du lac-réservoir Marne et notamment concernant l'augmentation du volume de la tranche exceptionnelle. La crue de juillet 2021 confirme la vulnérabilité de l'ouvrage en cas de crues tardives.

Afin d'assurer une cohérence des démarches à l'échelle du bassin versant, la réflexion sur l'ajustement des règlements d'eau des lacs-réservoirs Seine et Aube a également été initiée (sujet relancé suite à la crue de 2018).

Différentes réunions de concertation des dernières années ont permis de recenser les attentes des usagers des différents lacs-réservoirs. A noter cependant que ces attentes ne sont pas toutes compatibles entre elles ni avec les missions des lacs-réservoirs.

Ainsi, pour chacun des lacs-réservoirs Marne, Seine et Aube, de nombreux scénarios ont été étudiés durant les dernières années par l'EPTB Seine Grands Lacs. La démarche est constituée de 2 volets :

1. l'adaptation du règlement d'eau qui correspond aux adaptations du débit d'écêtement en période de crue. Pour le lac-réservoir Marne, une présentation des adaptations envisagées a été réalisée en 2014 et 2015 auprès des acteurs locaux. Pour les lacs-réservoirs Seine et Aube, une révision des règlements d'eau a fait l'objet d'un arrêté complémentaire en décembre 2020 ;
2. la modification du règlement d'eau qui correspond aux modifications à apporter à la courbe de gestion (modification des tranches, adaptation des restitutions...)

Les adaptations envisagées par l'EPTB Seine Grands Lacs sont présentées dans les paragraphes suivants.

Ainsi, l'étude actuelle n'a pas vocation à revisiter l'ensemble des courbes issues des travaux portés par l'EPTB Seine Grands Lacs ces dernières années, et notamment les adaptations réalisées concernant les débits d'écêtement et la période de remplissage. Elle a pour objectif d'apporter des compléments à la réflexion pour d'éventuelles adaptations des tranches et des débits de restitution, pour faire face à des étiages extrêmes.

3.1.2 Synthèse de la révision envisagée du règlement d'eau du lac-réservoir Marne

Les ajustements envisagés par l'EPTB Seine Grands Lacs concernant la gestion du lac-réservoir Marne sont les suivants :

- pour l'écrêtement des crues :
 - l'augmentation du volume de la tranche exceptionnelle,
 - l'ajustement des valeurs des débits d'écrêtement selon la valeur du débit naturel amont en rivière et/ou du taux de remplissage de l'ouvrage ;
- pour le soutien d'étiage :
 - l'augmentation du volume de la tranche de réserve pour une meilleure efficacité lors des périodes de soutien d'étiage tardif,
 - l'avancement des restitutions du 1^{er} juillet au 15 juin ;
- pour l'incidence environnementale :
 - l'augmentation du débit réservé en particulier durant la période de frai du brochet (du 1^{er} mars au 15 mai).

Un des scénarios de courbe de gestion à l'étude est présenté sur la **figure 49**.

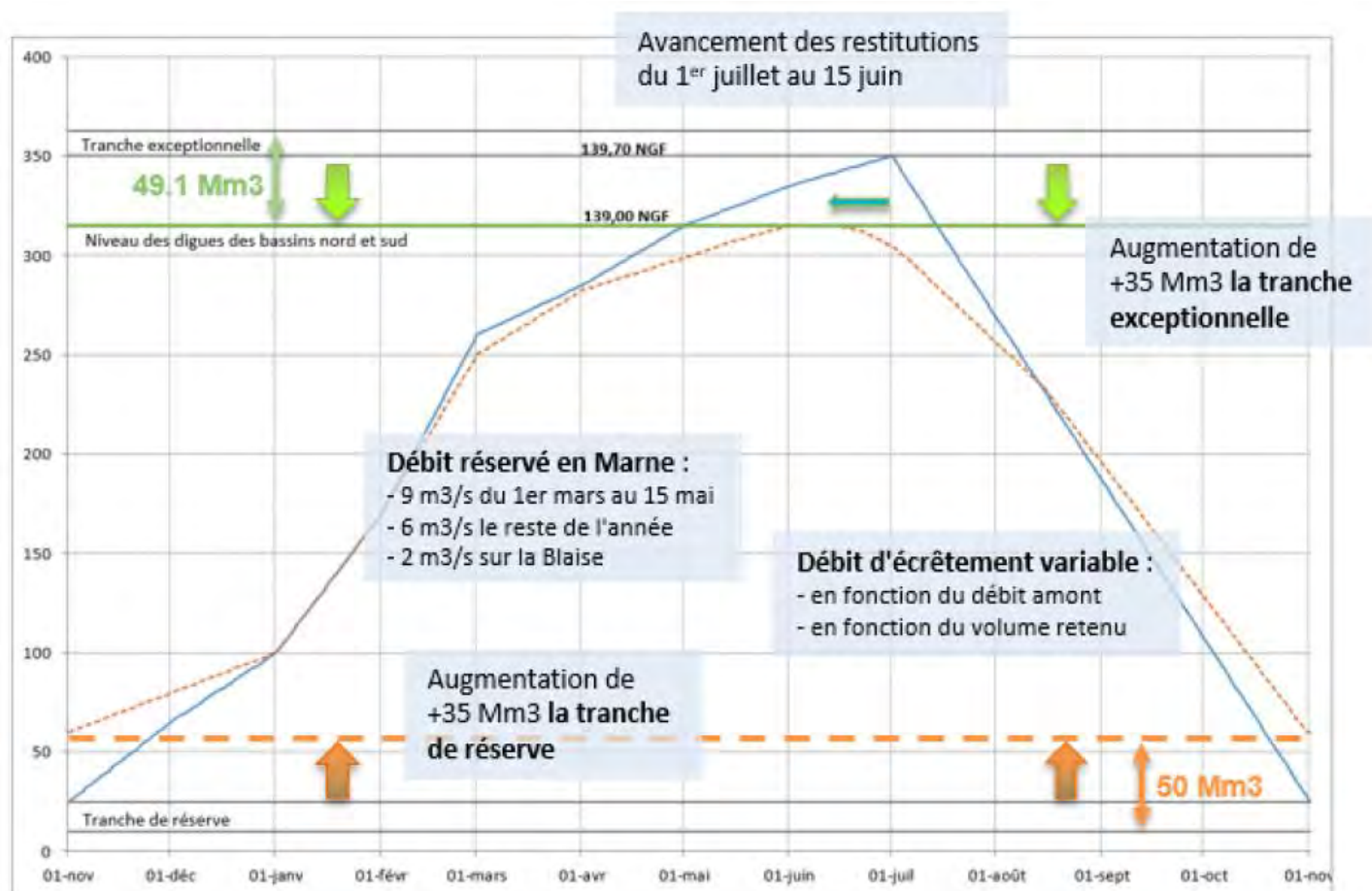


Figure 49 : Courbe de gestion du lac-réservoir Marne envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)

A noter que la proposition d'adaptation de la tranche exceptionnelle a fait l'objet d'inquiétudes concernant les usages touristiques du lac. L'EPTB étudie actuellement la possibilité d'augmenter la tranche exceptionnelle par le haut (utilisation d'une partie de la revanche de sécurité), via une étude de stabilité de la digue.

3.1.3 Synthèse de la révision envisagée du règlement d'eau des lac-réservoirs Seine et Aube

Les ajustements envisagés par l'EPTB Seine Grands Lacs concernant la gestion des lacs-réservoirs Seine et Aube sont les suivants :

- pour l'écêtement des crues :
 - l'augmentation des volumes des tranches exceptionnelles (entraînant un abaissement de la cote du remplissage normal) ;
- pour le soutien d'étiage :
 - l'augmentation du volume de la tranche de réserve pour une meilleure efficacité lors des périodes de soutien d'étiage tardif,
 - l'avancement des restitutions au 15 juin avec un arrêt des prises au 1^{er} juin ;
- pour l'incidence environnementale :
 - l'adaptation des débits réservés suite à une étude complémentaire des micro-habitats avec des augmentations de début mars à mi-mai ;
- pour les plans d'eau :
 - la coordination des déstockages des lacs-réservoirs Seine et Aube.

Un des scénarios de courbe de gestion à l'étude est présenté sur les **figures 50 et 51**.

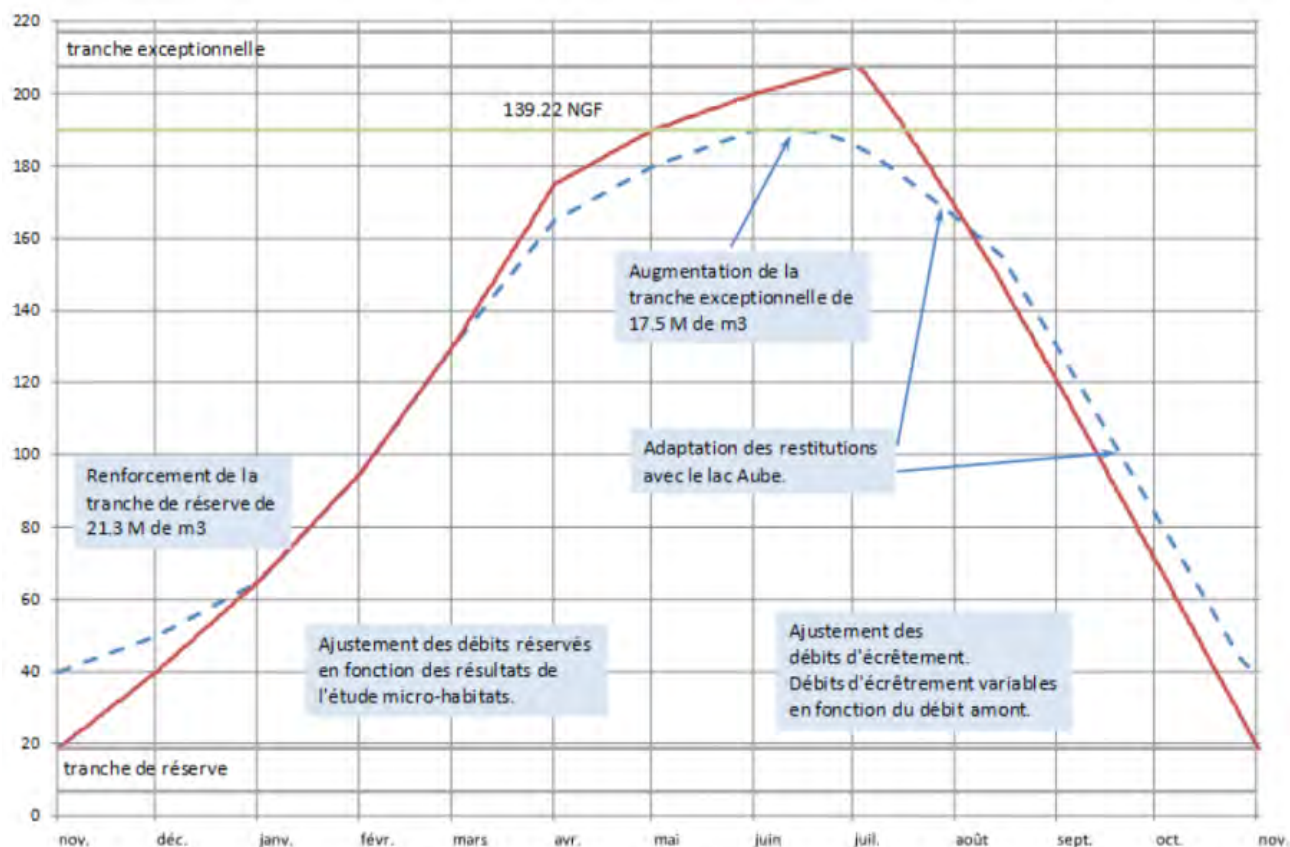


Figure 50 : Courbe de gestion du lac-réservoir Seine envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)

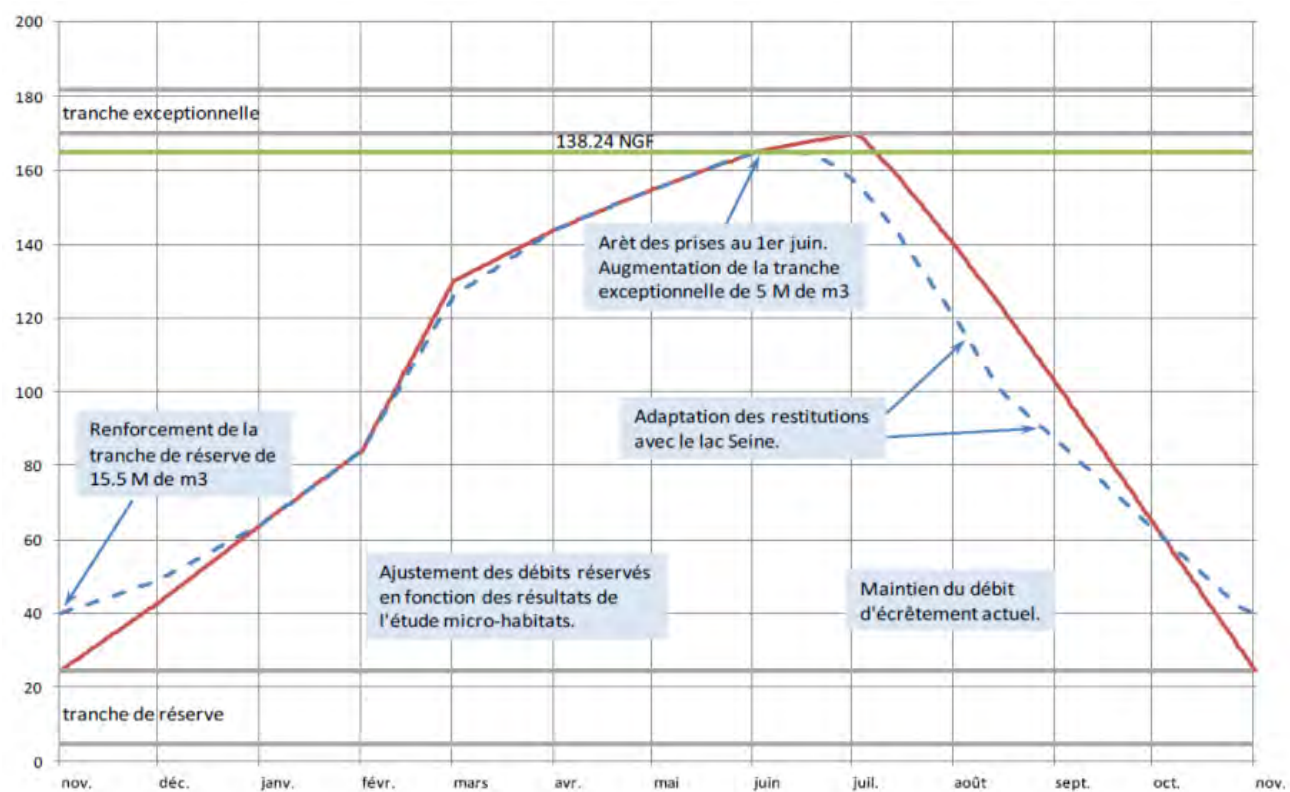


Figure 51 : Courbe de gestion du lac-réservoir Aube envisagée dans le cadre de la révision du règlement d'eau (source EPTB Seine Grands Lacs)

3.2 Analyse des nouvelles règles de gestion envisagées pour les étiages sévères du passé pour les lacs-réservoirs Marne, Seine et Aube

Pour les 4 scénarios d'étiages sévères du passé retenus, les nouvelles courbes de gestion envisagées ont été appliquées. Les courbes théoriques résultantes, comparativement aux courbes actuelles sont présentées **en figure 52**.

Les résultats obtenus montrent, avec application de ces nouvelles courbes :

- une diminution importante des volumes stockés dans les lacs-réservoirs sur la période de remplissage (**cf. tableau 9**). Ces baisses s'expliquent par des débits réservés plus importants en période de remplissage limitant les débits de prises, mais aussi à des objectifs de débits de prise plus faibles en début et fin de période de remplissage (étude micro-habitats) ;

Evolution du volume maximal stocké depuis la reprise du stockage (hm ³)		Lac-réservoir		
Année		Marne	Aube	Seine
1921		-13.7	-9.2	-18.1
1949		-41.2	-8.1	-27.3
1976		-47.3	-11.3	-40.9
1991		-51.5	-15.1	-45.3

Tableau 9 : Evolution du volume stocké dans les lacs-réservoirs avec l'application des nouvelles courbes de gestion (si négatif, baisse du volume stocké)

- une diminution importante des débits de déstockage (**cf. tableau 10**) liée à des volumes stockés plus faibles et une tranche de réserve plus élevée ;

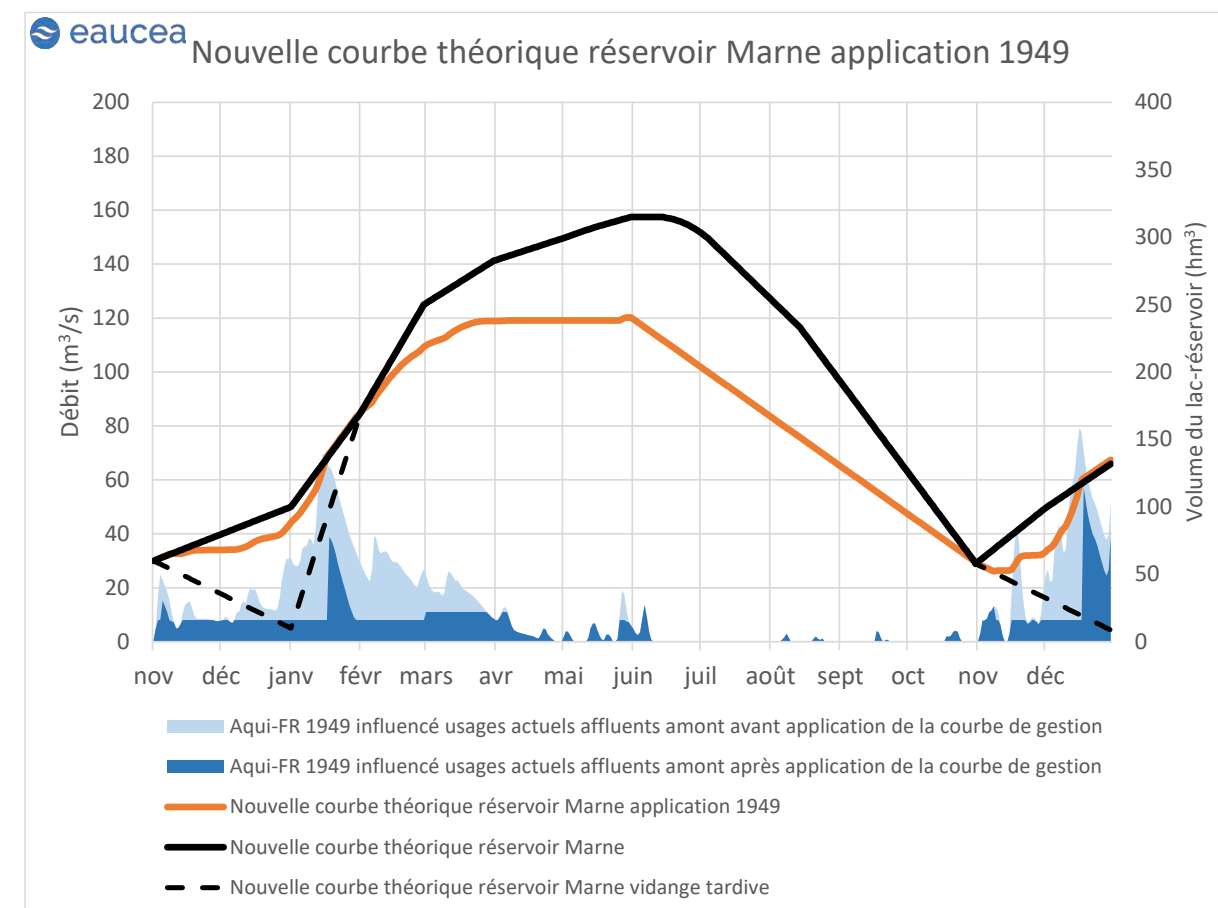
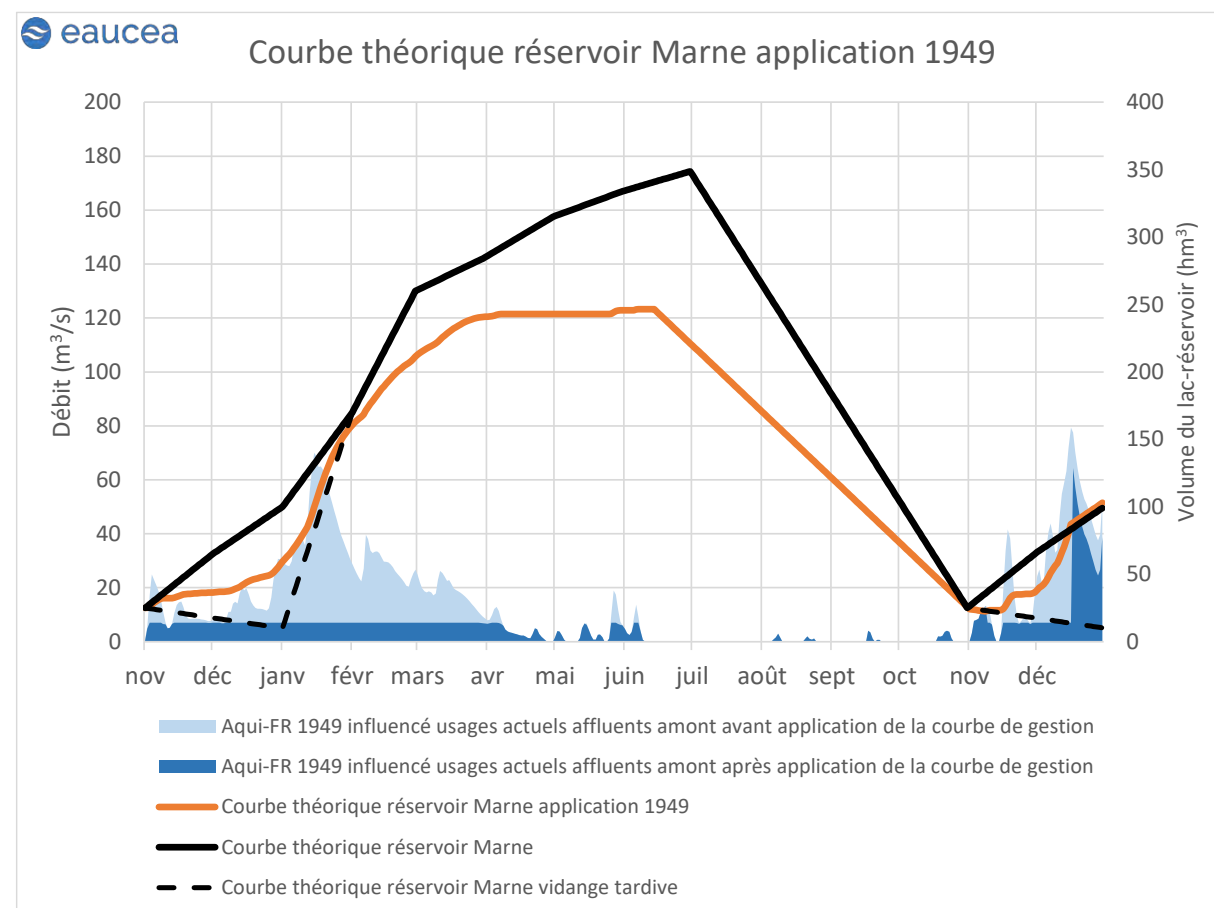
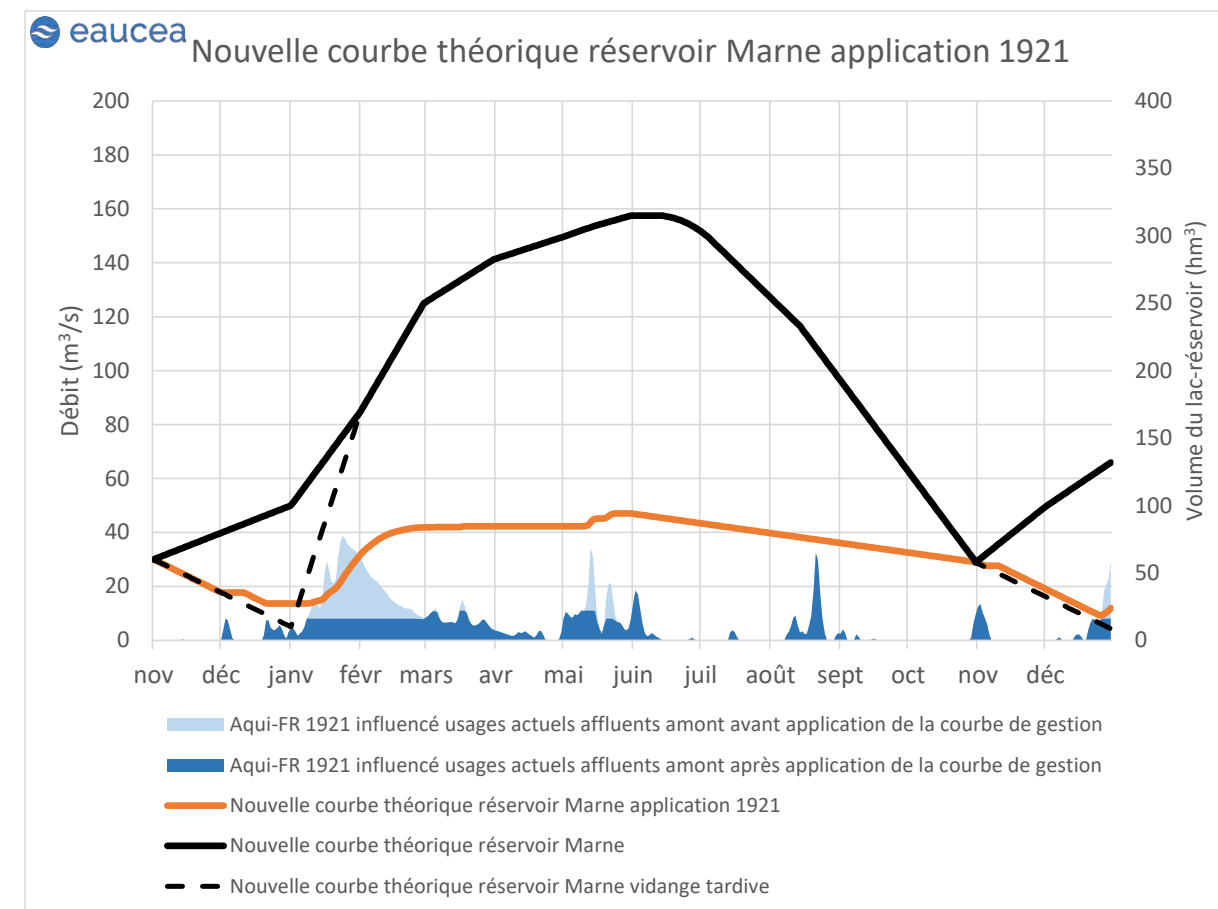
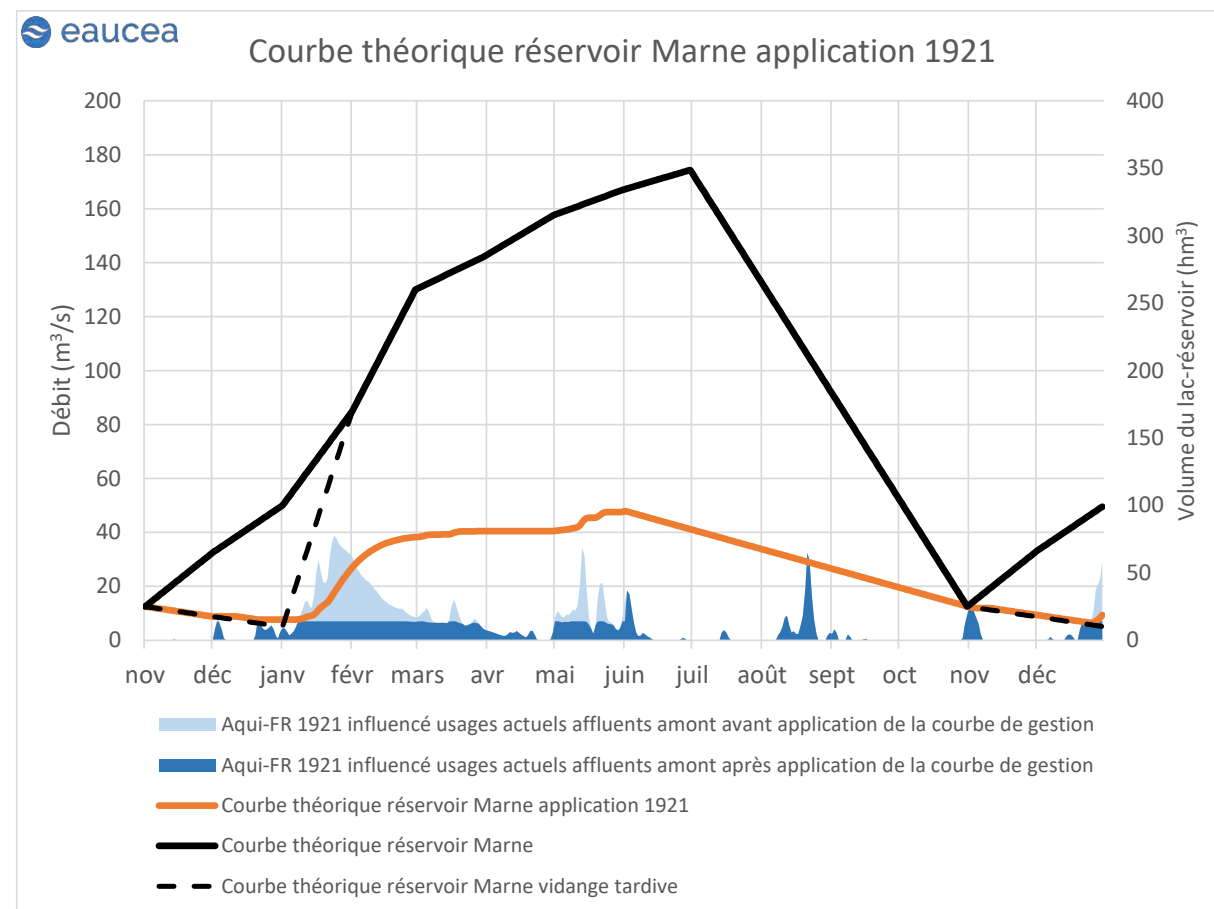
Evolution des débit de destockage (m ³ /s)		Lac-réservoir		
Année		Marne	Aube	Seine
1921		-2.7	-2.0	-0.3
1949		-4.7	-1.9	-3.3
1976		-3.7	-1.1	-3.4
1991		-8.8	-3.5	-8.1

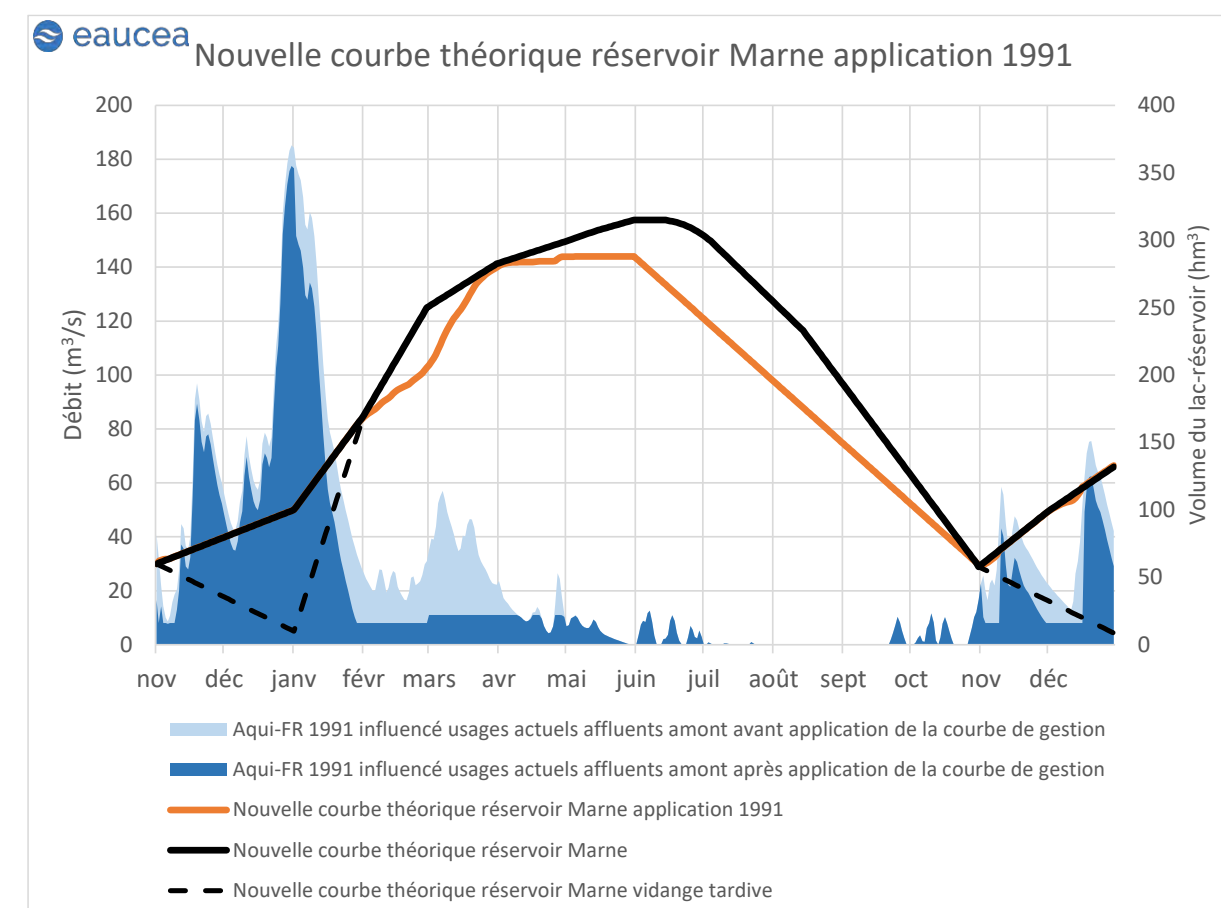
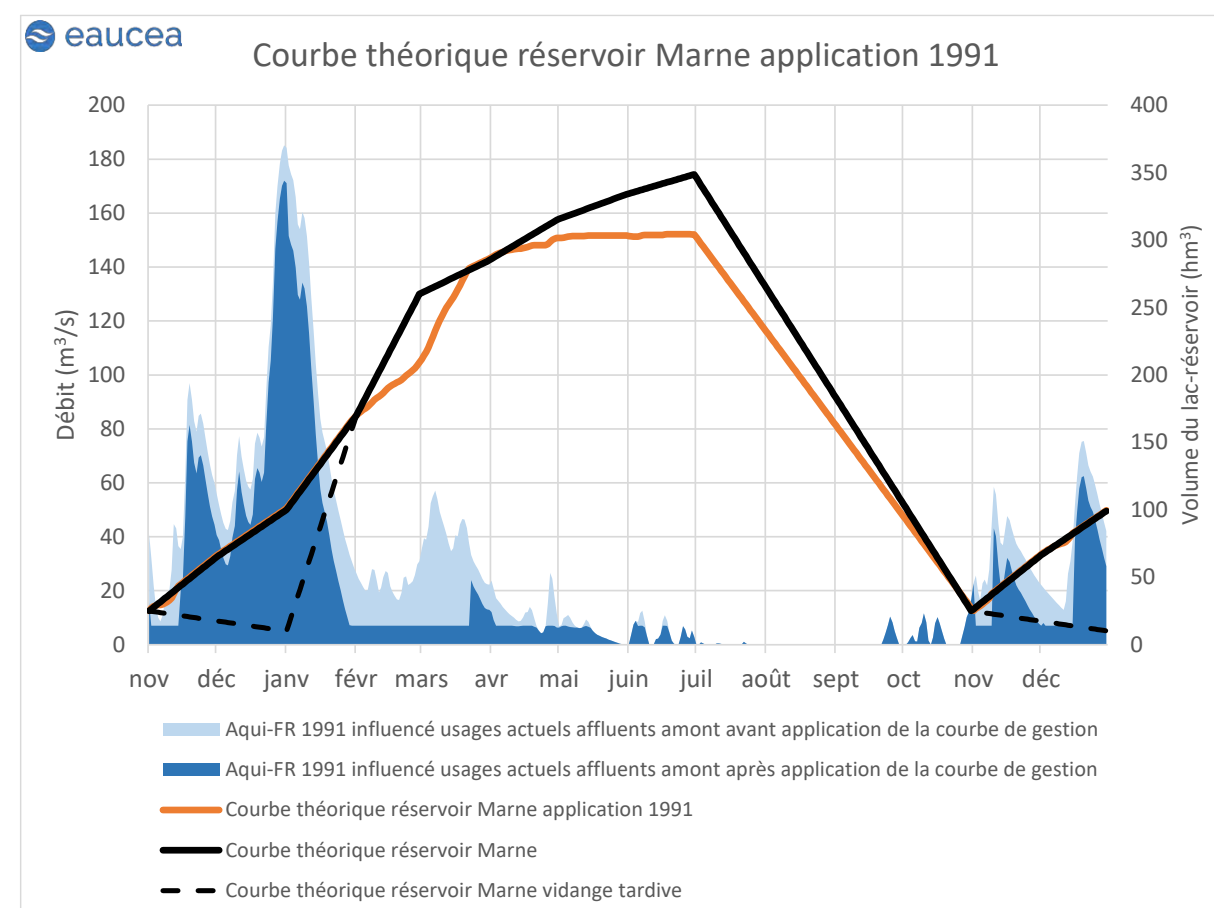
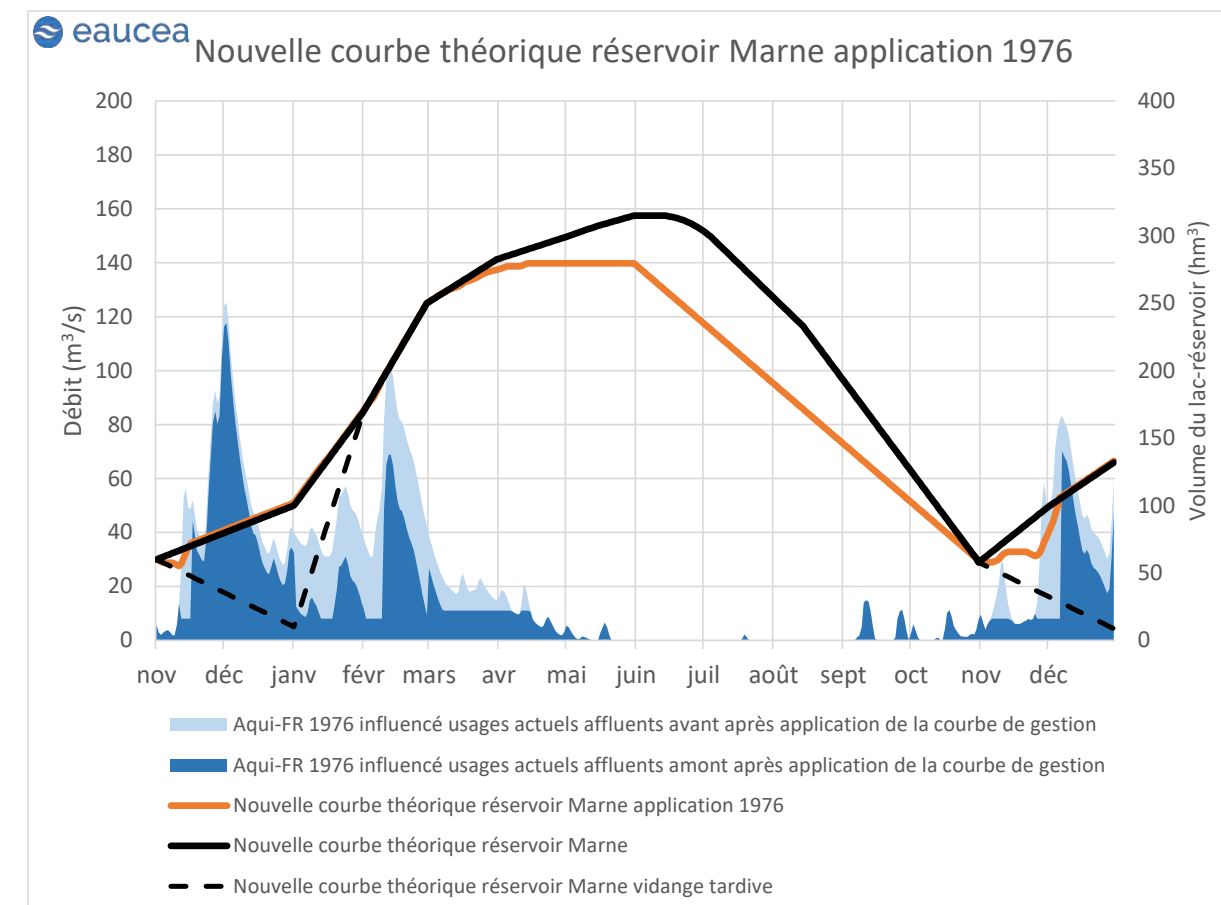
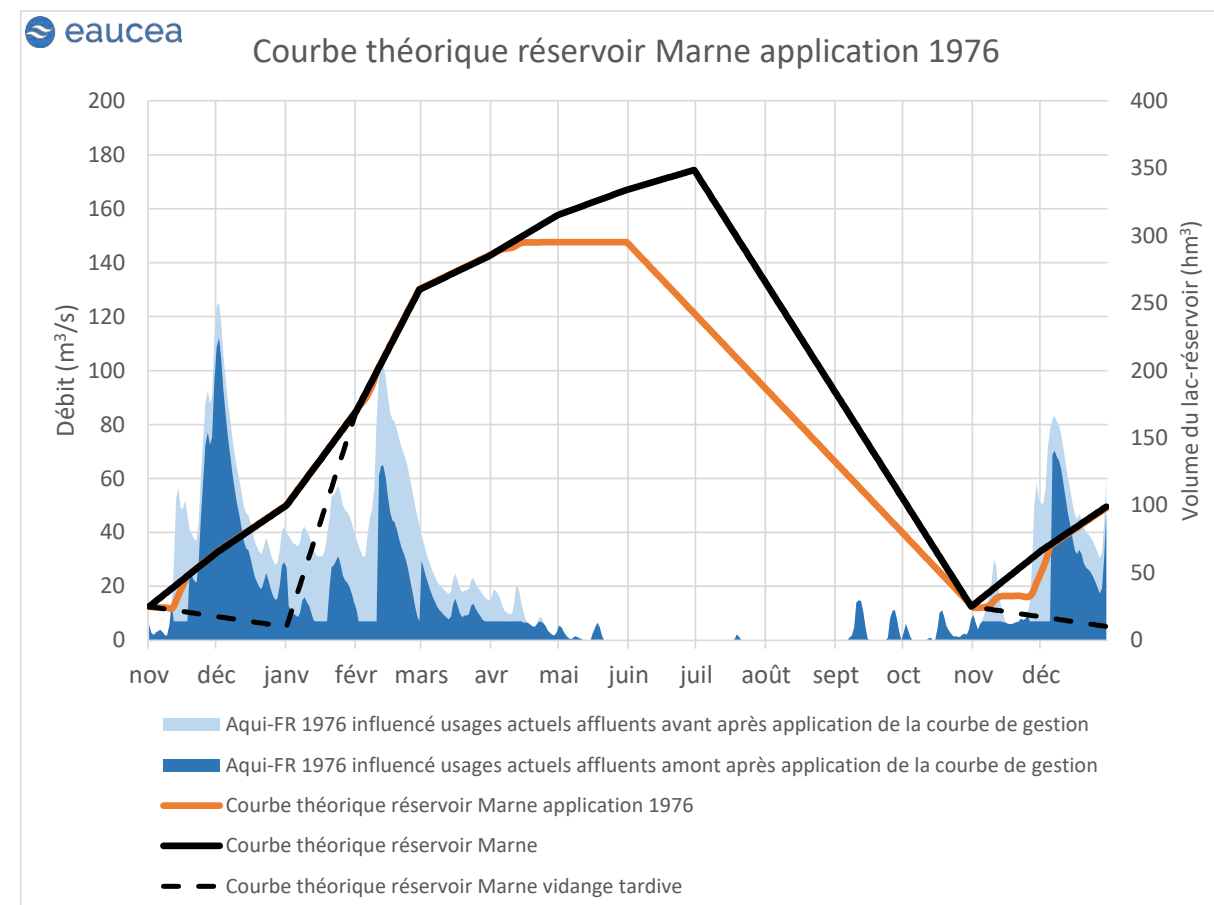
Tableau 10 : Evolution des débits de déstockage dans les lacs-réservoirs avec l'application des nouvelles courbes de gestion (si négatif, baisse du débit de restitution)

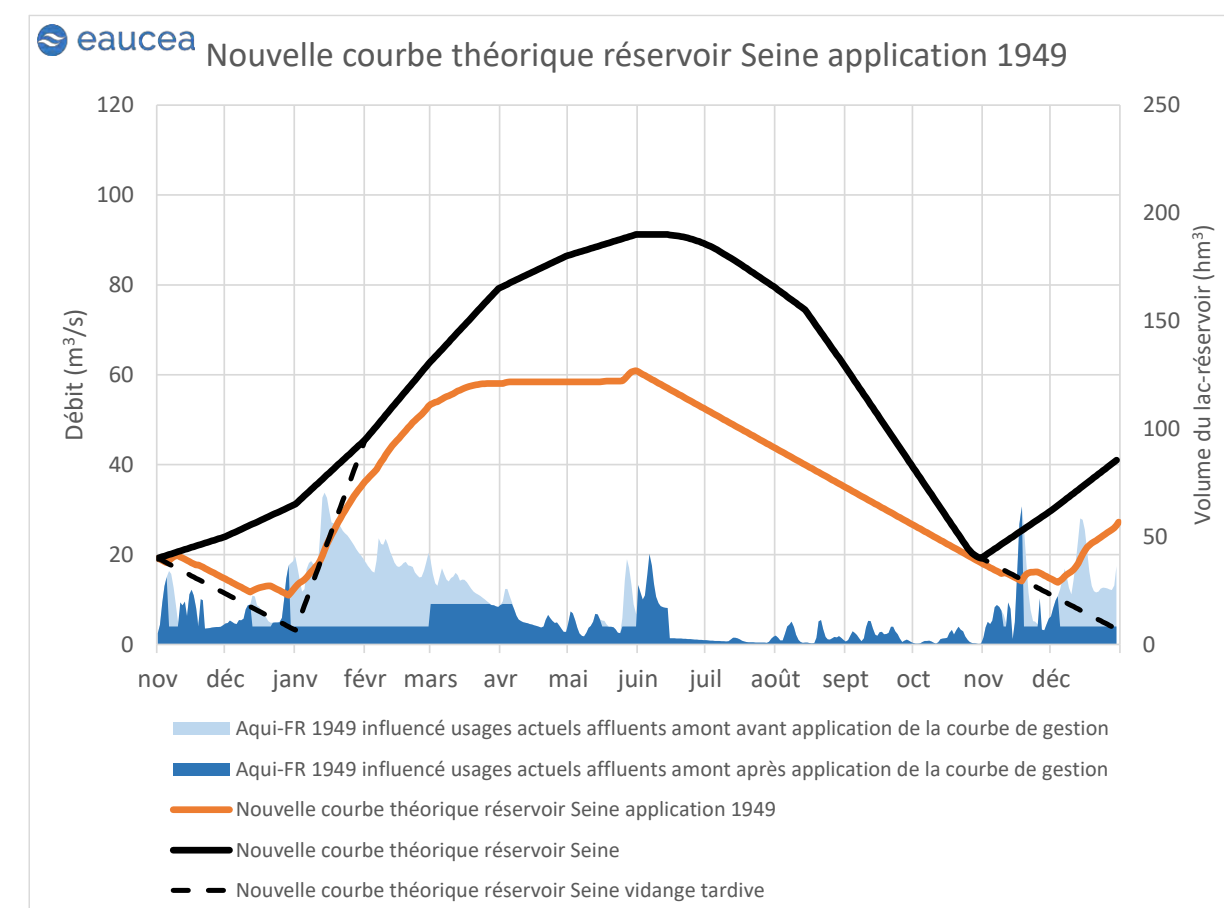
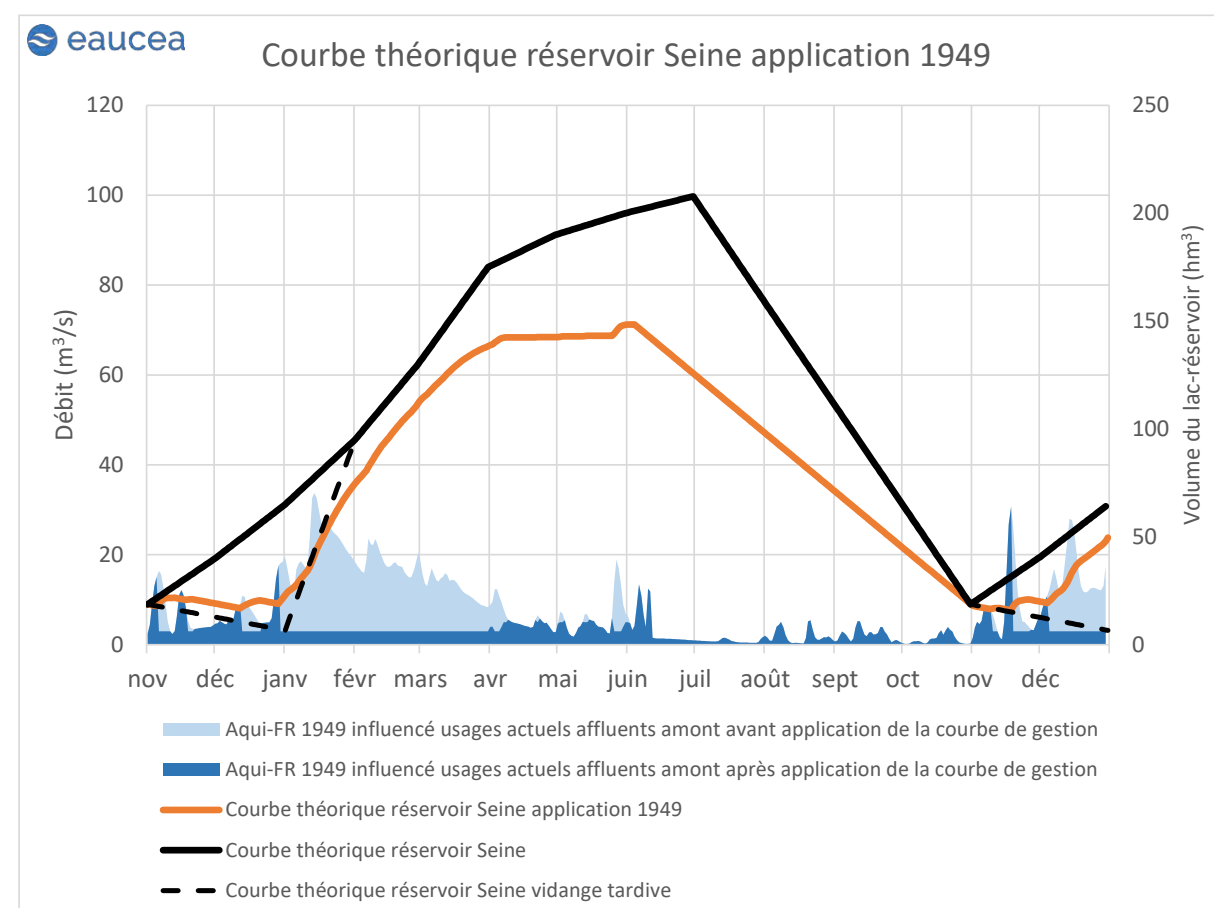
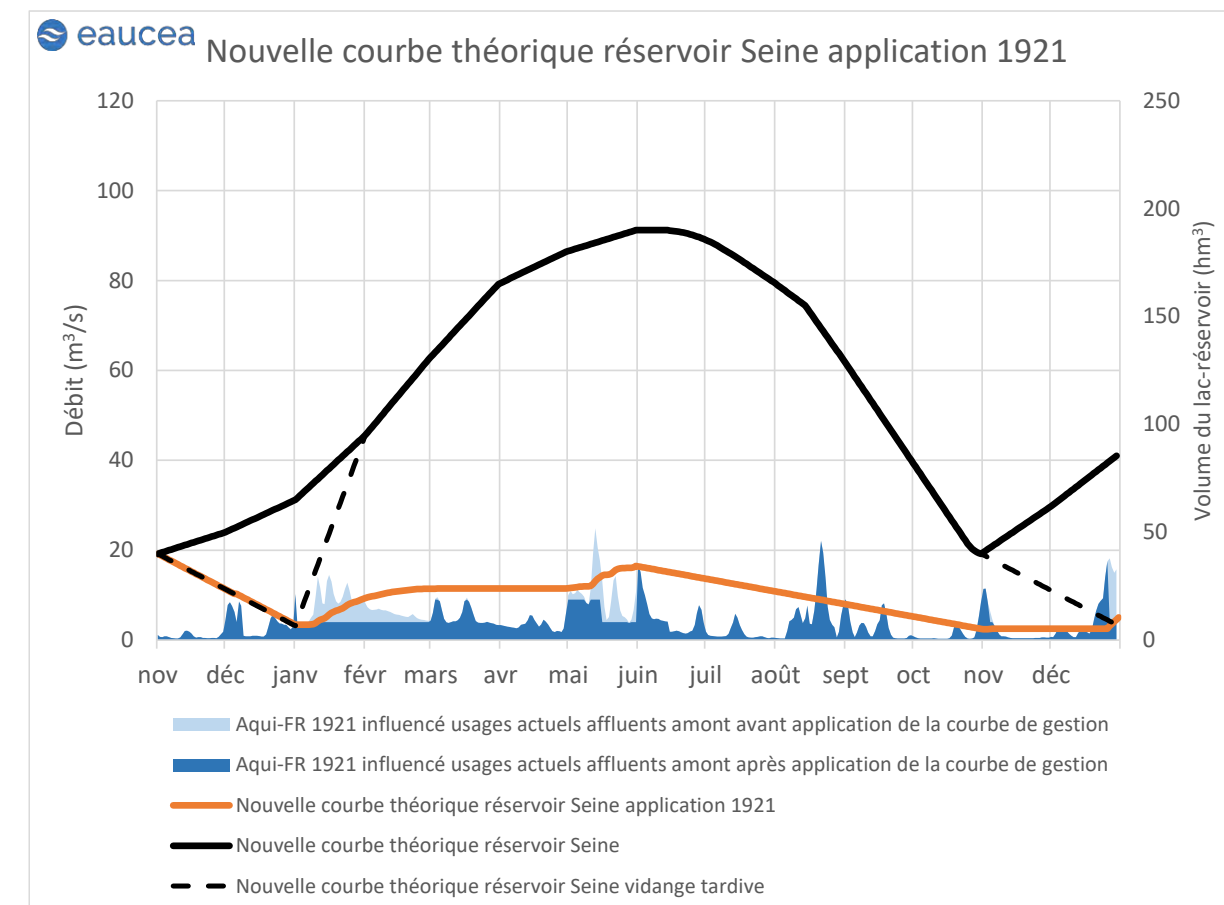
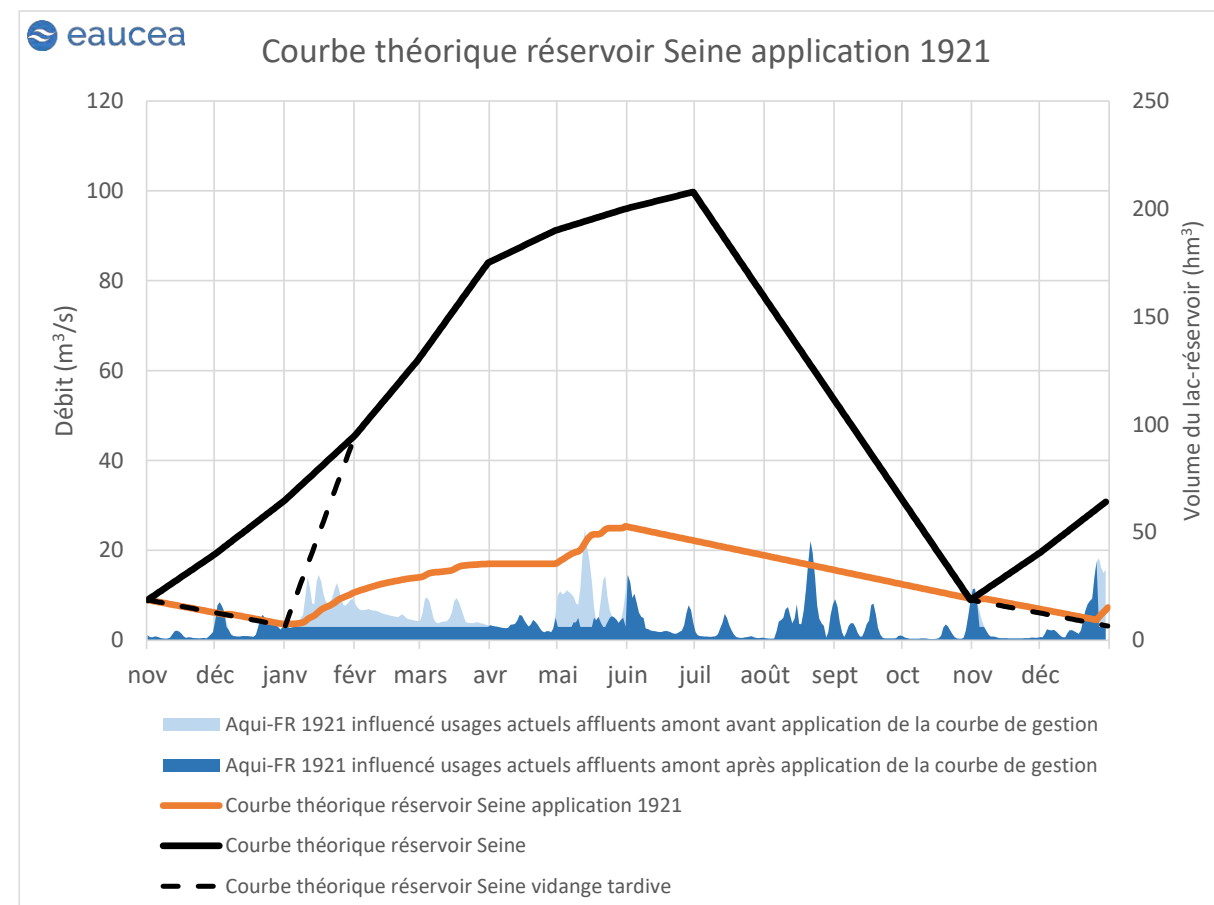
- une augmentation significative du nombre de jours sous les seuils réglementaires (cf. tableau 11), sauf pour la partie tardive de l'étiage (cf. tableau 12), due à des débits de restitution plus faibles durant le cœur de l'étiage, de juillet à octobre. A noter pour 1921, une augmentation du nombre de jours sous les seuils réglementaires, même pour l'étiage tardif. Il s'agit cependant, pour cette année exceptionnelle et au vu des très faibles volumes stockés notamment sur le réservoir Seine, d'un exercice purement théorique. La gestion opérationnelle aurait probablement été toute autre et quasiment indépendante des courbes de gestion théoriques. En 1949, une amélioration du nombre de jours sous le débit de vigilance pour l'axe Seine est aussi calculée, notamment due une restitution plus précoce.

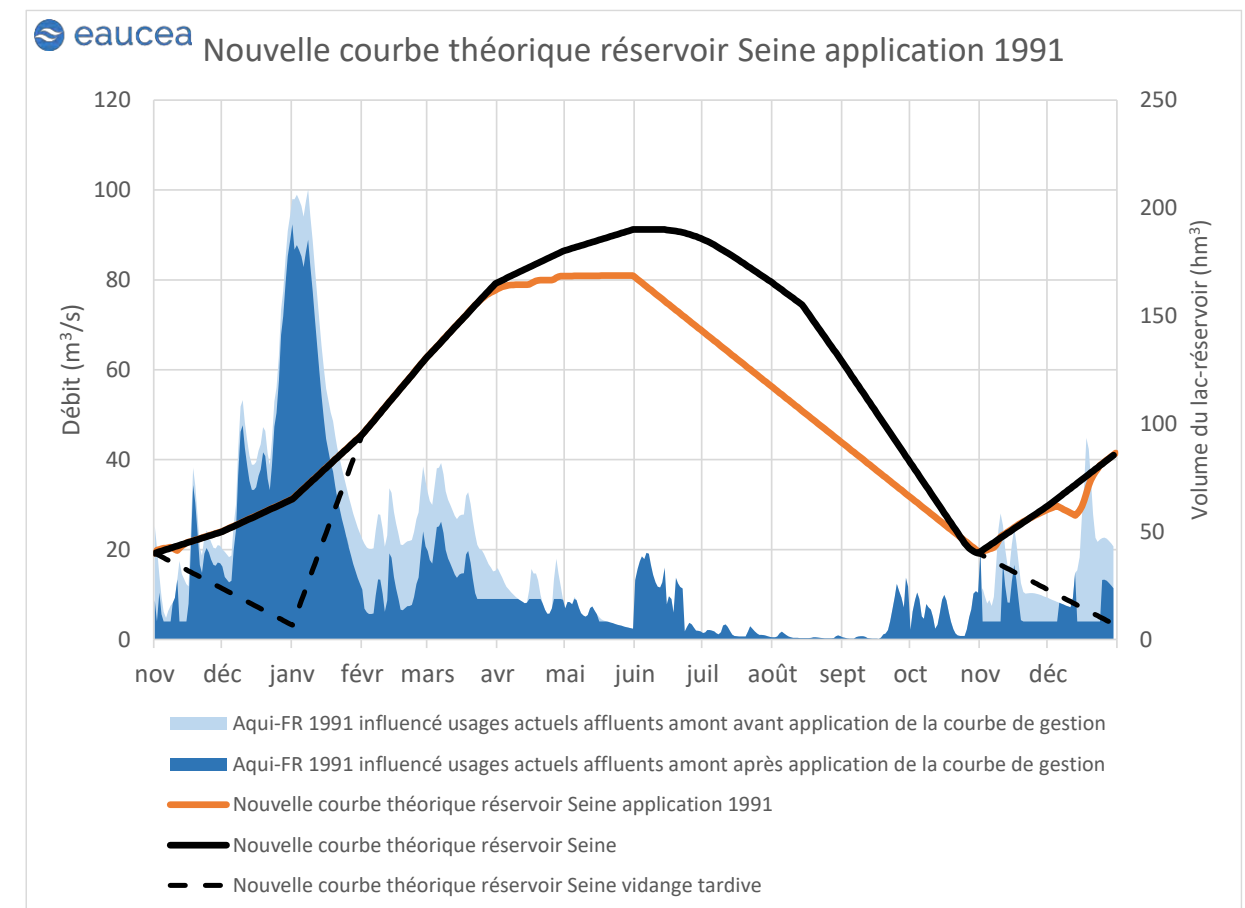
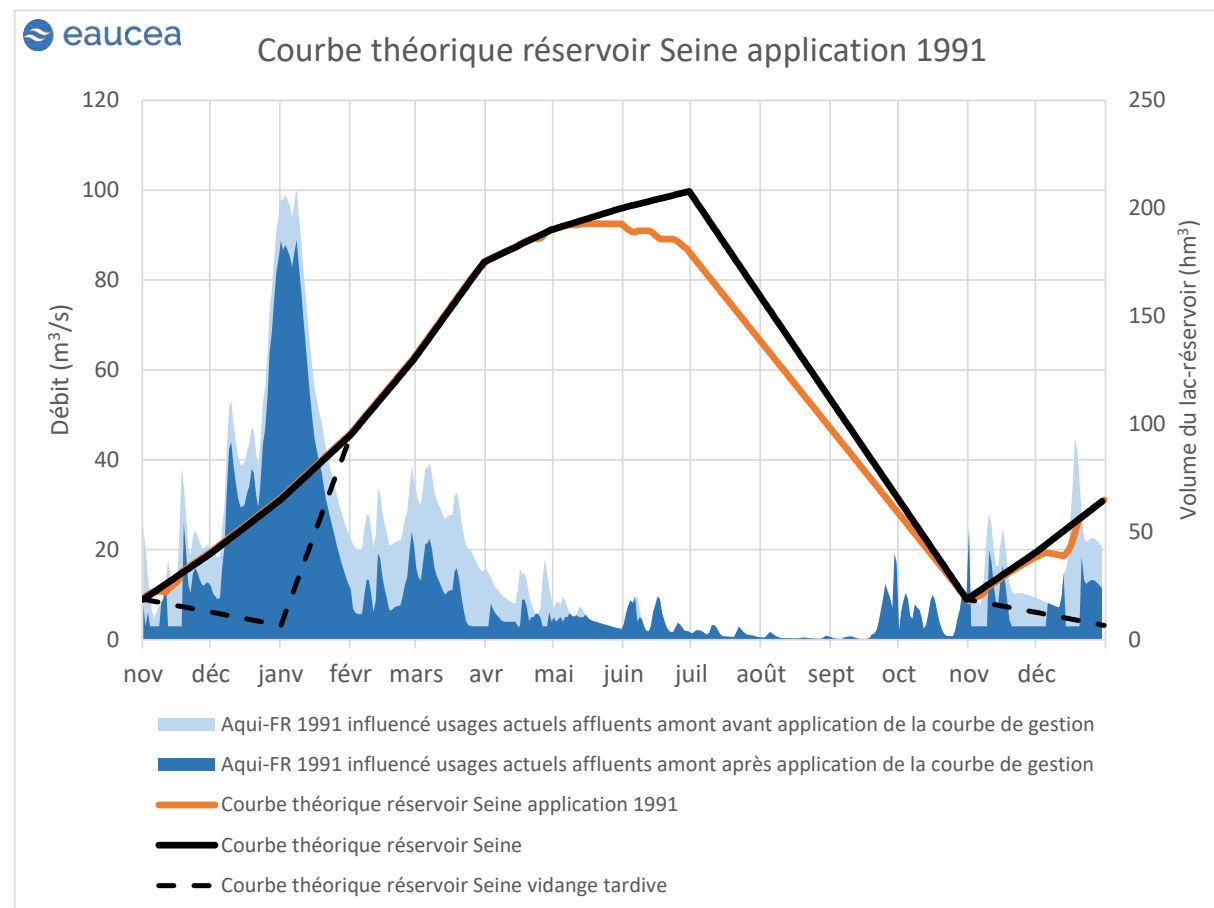
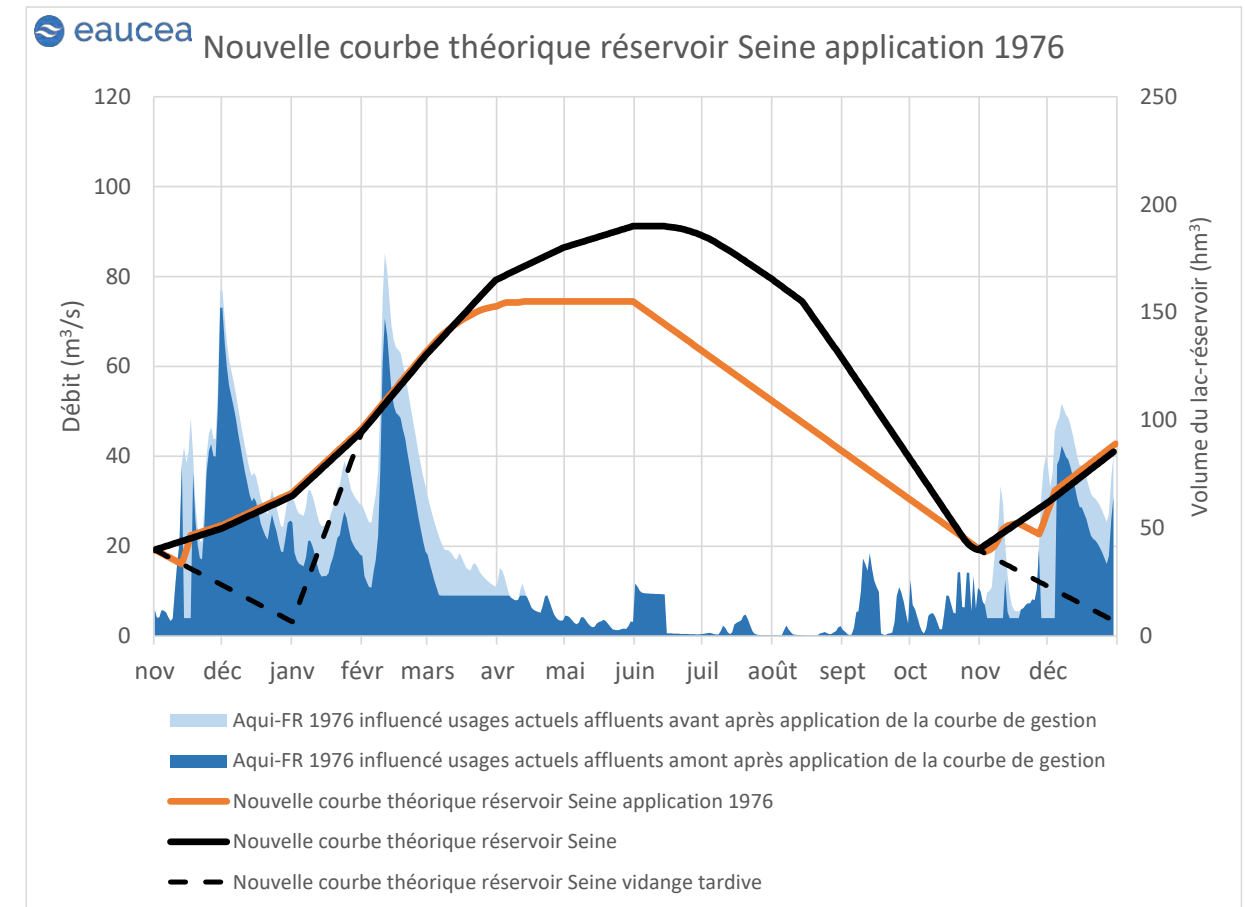
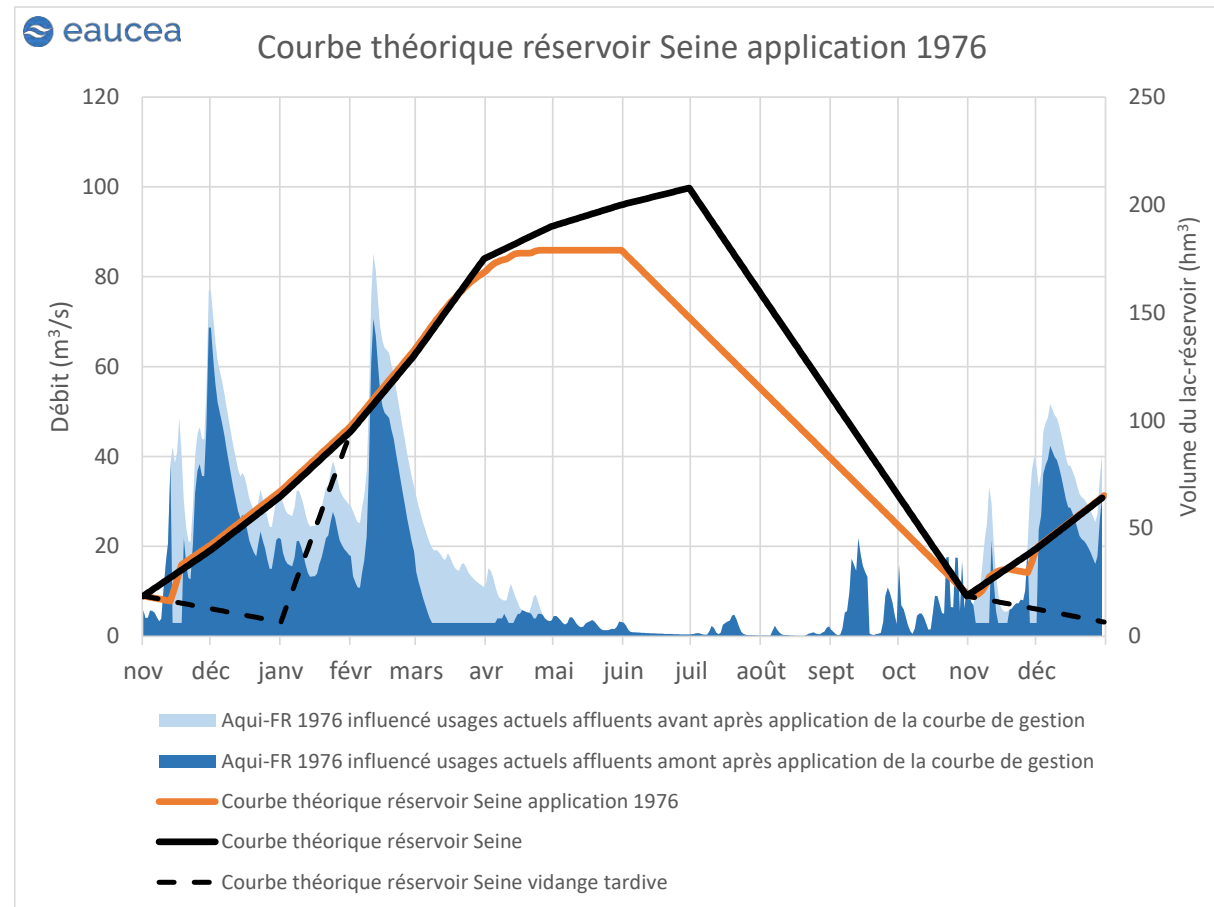
Ainsi, sur la base des hypothèses prises pour l'élaboration des nouvelles courbes de gestion, en cas d'étiage extrême, une nette dégradation des performances des ouvrages est obtenue (débit de restitution plus faibles). Elle est à mettre en relation avec la diminution des volumes dérivables vers les ouvrages et donc stockés.

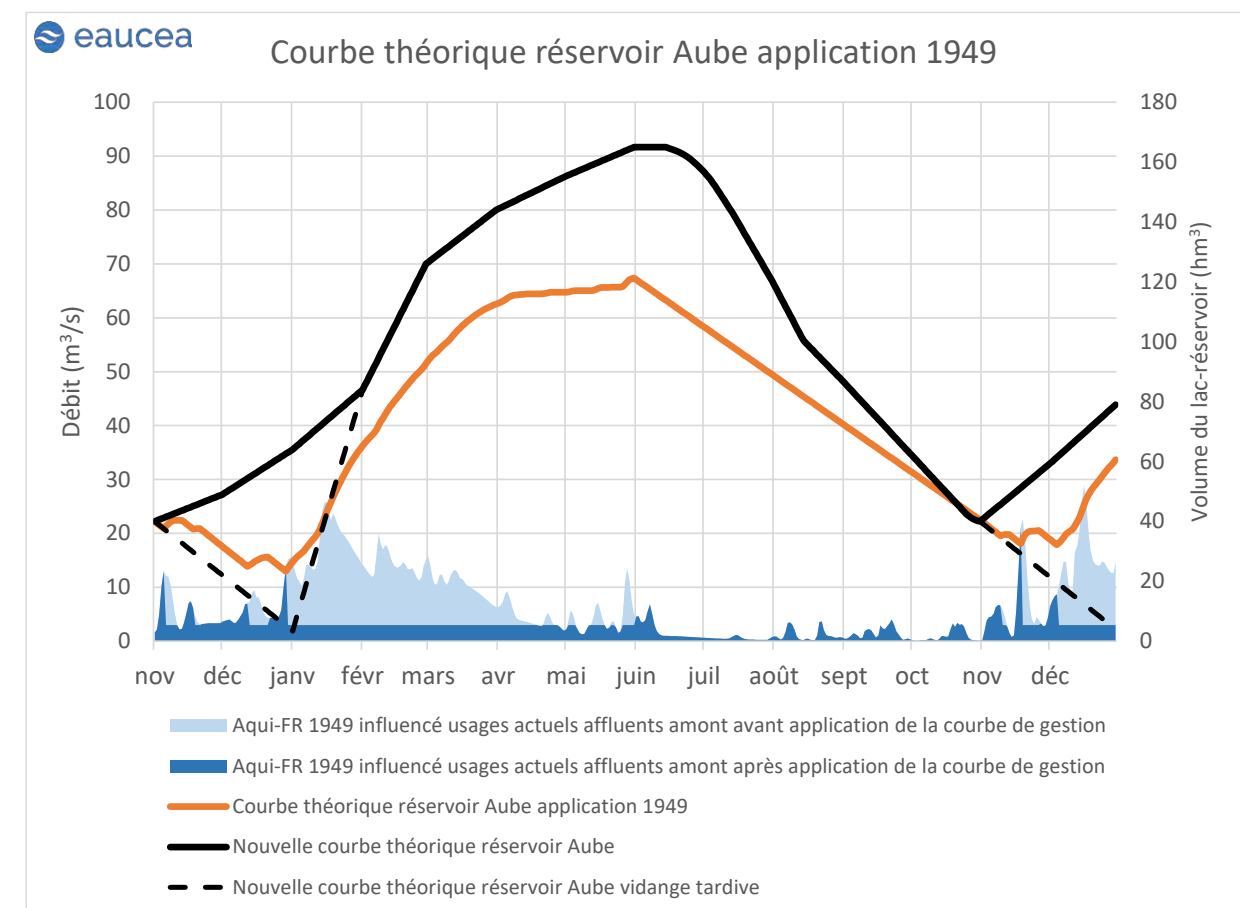
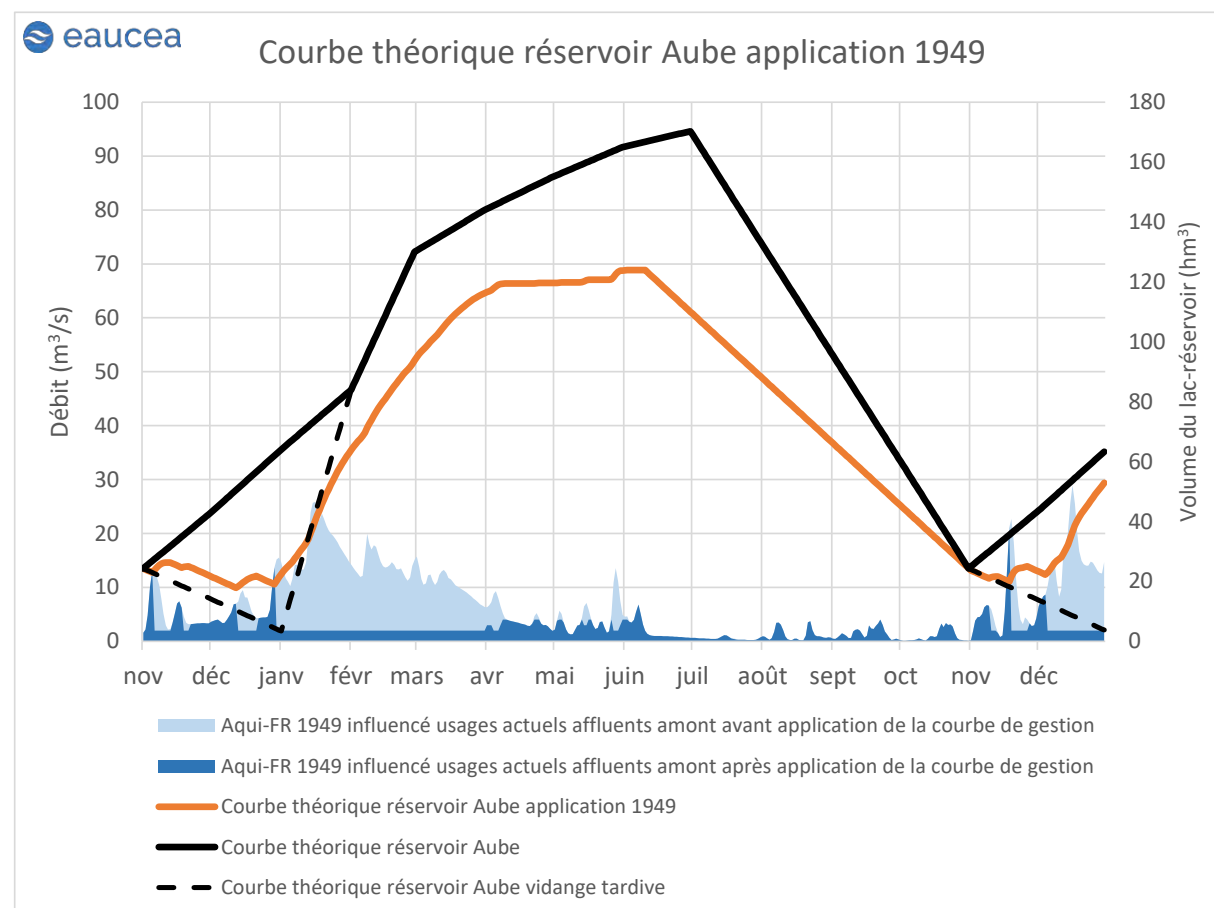
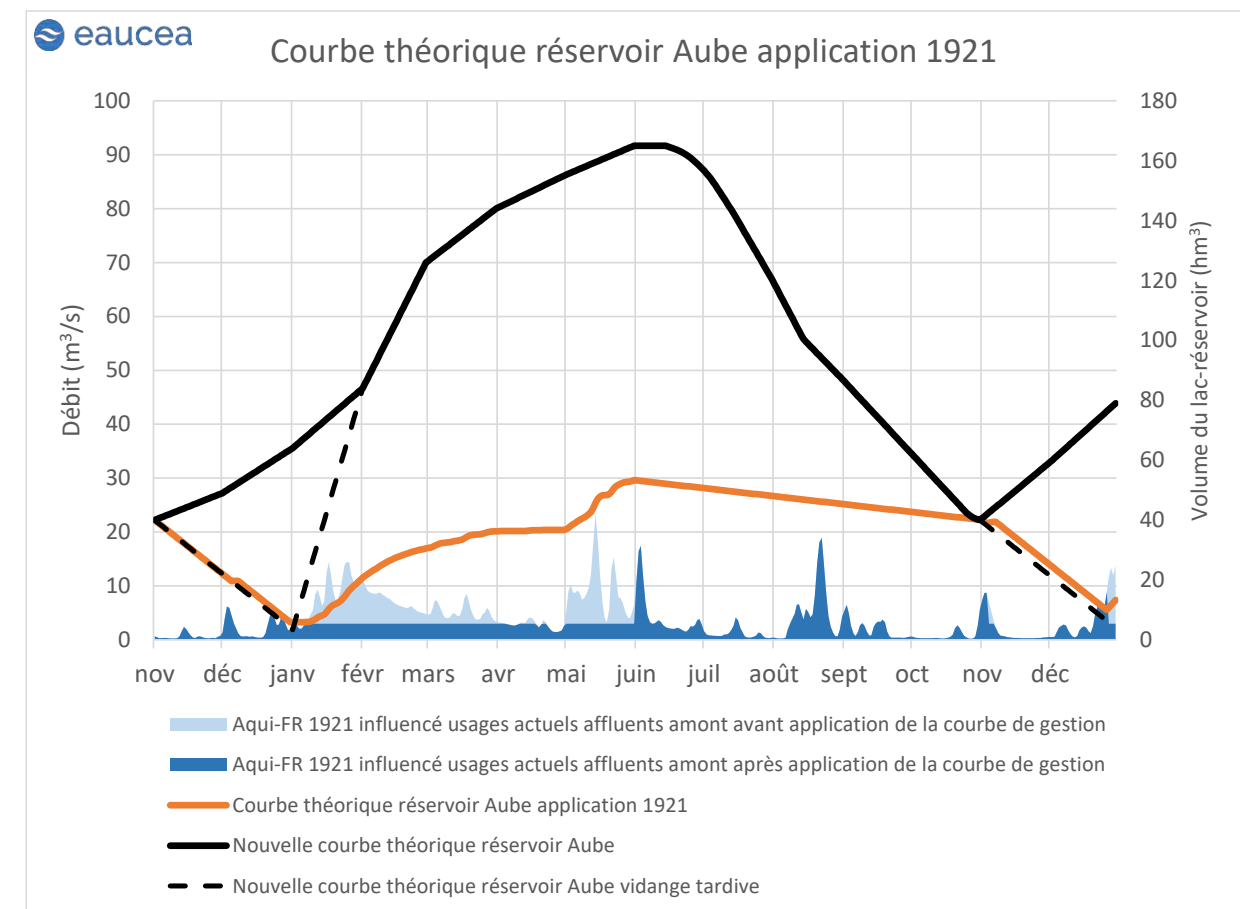
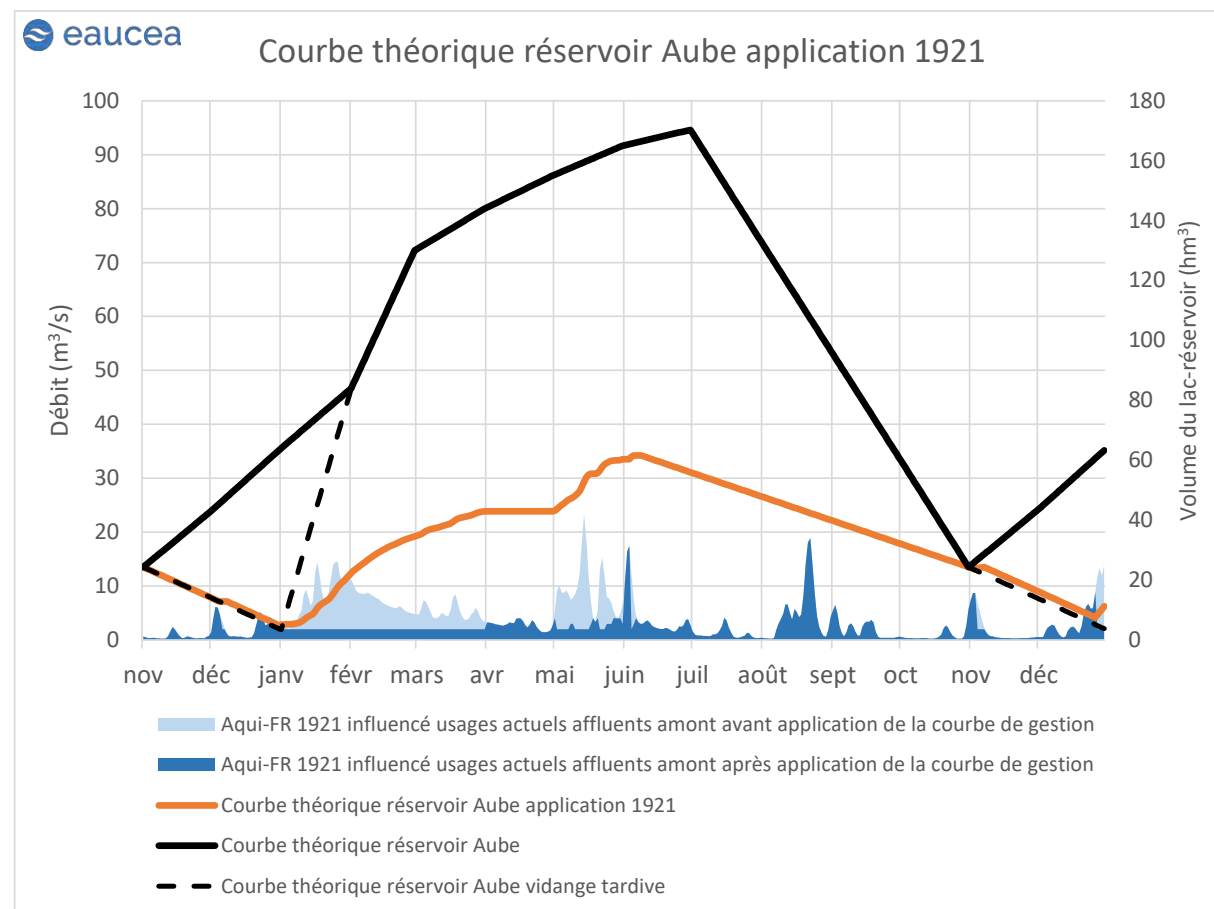
Les graphes ci-dessous présentent pour chaque ouvrage Marne, Seine et Aube la trajectoire de remplissage et de vidange simulée avec les règles actuelles (graphe de gauche) et les règles explorées (graphe de droite) et ceci pour chacun des étiages extrêmes.











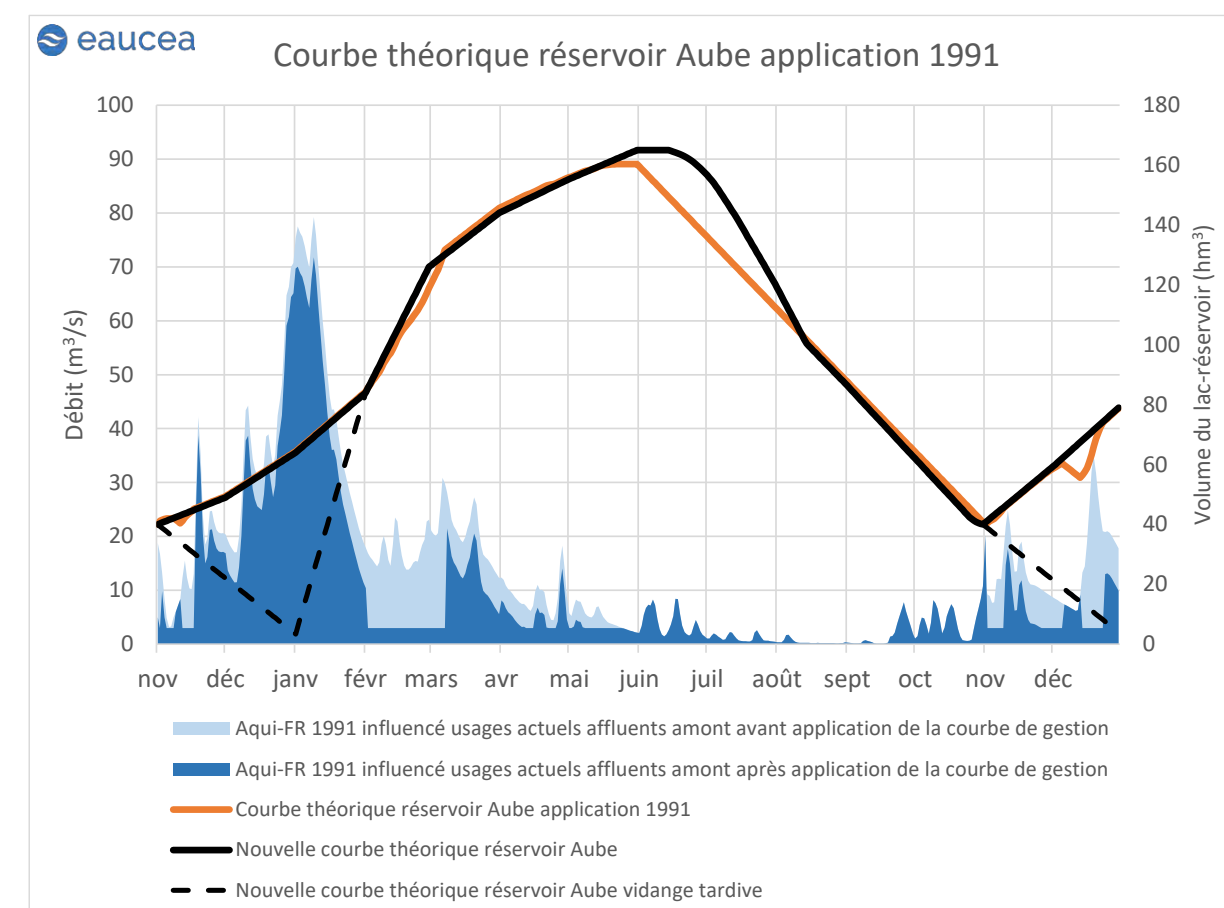
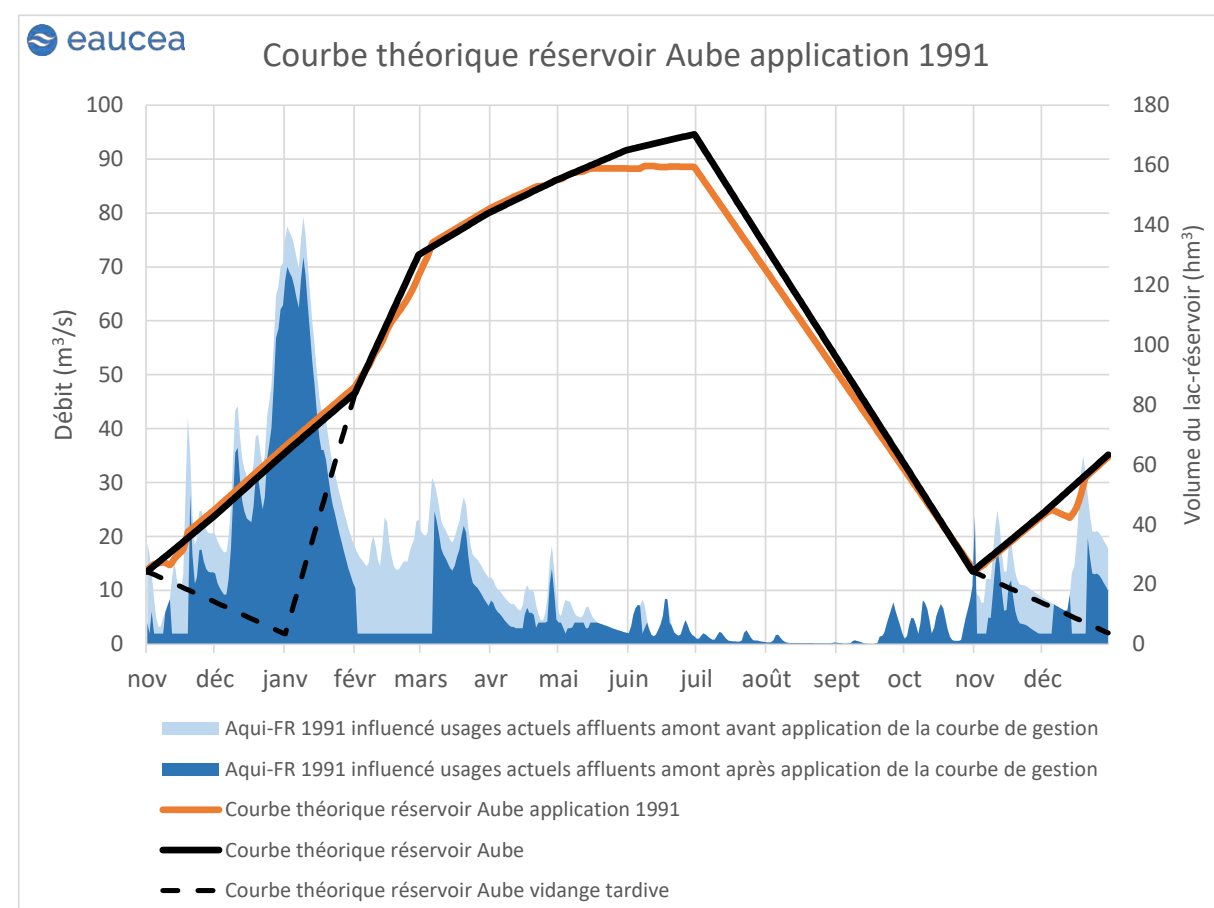
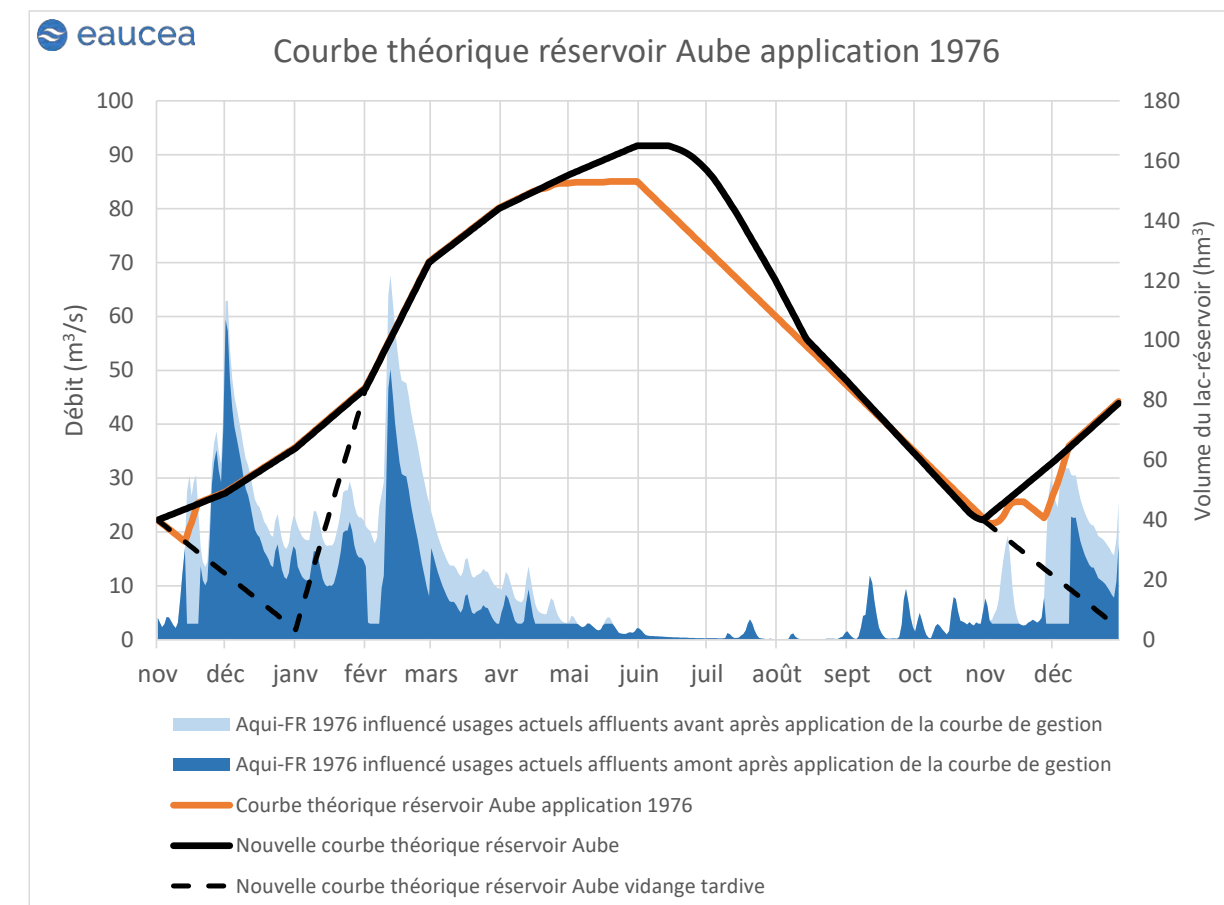
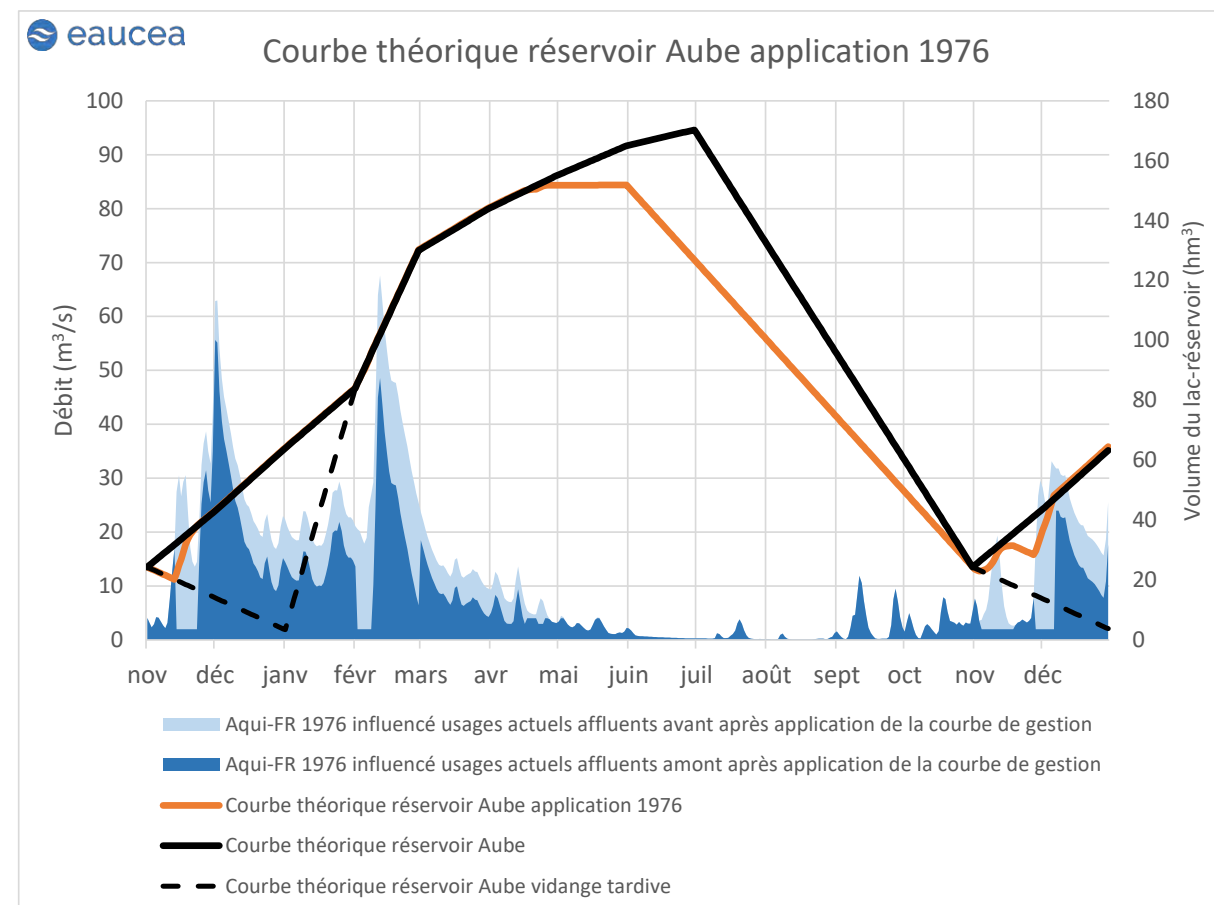


Figure 52 : Comparaison entre l'application théorique des anciennes (à gauche) et des nouvelles courbes de gestion (à droite) envisagées pour les 4 années d'étiages sévères retenues

Année	Evolution du nombre de jours sous les seuils avec la nouvelle courbe de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1921	Débit de Vigilance (DV)	-5	-17	11	-11	-3	-4	5
	Débit d'Alerte (DA)	16	42	26	-23	13	13	9
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	8	71	20	-15	6	8	4
	Débit de Crise (DC)	4	57	10	-12	6	5	1

Année	Evolution du nombre de jours sous les seuils avec la nouvelle courbe de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1949	Débit de Vigilance (DV)	64	6	-8	-2	7	3	34
	Débit d'Alerte (DA)	0	0	-5	38	42	50	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	-2	-6	14	16	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	-3	-4	0	0	0

Année	Evolution du nombre de jours sous les seuils avec la nouvelle courbe de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1976	Débit de Vigilance (DV)	48	-3	-2	54	15	9	18
	Débit d'Alerte (DA)	0	0	0	-4	6	12	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	1	-2	0	0	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	1	-1	0	0	0

Année	Evolution du nombre de jours sous les seuils avec la nouvelle courbe de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1991	Débit de Vigilance (DV)	24	-13	0	16	17	23	0
	Débit d'Alerte (DA)	0	-1	-1	-7	0	3	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	-4	0	0	0	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	-3	-2	0	0	0

Tableau 11 : Evolution du nombre de jours sous les seuils réglementaires avec l'application des nouvelles courbes de gestion, durant toute la durée de l'étiage (si négatif, baisse du nombre de jours sous les seuils)

Année	Nombre de jours sous seuils avec application de la courbe théorique de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1921	Débit de Vigilance (DV)	-5	0	0	-26	15	-1	0
	Débit d'Alerte (DA)	-19	0	0	-1	27	-1	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	-28	0	0	0	23	-1	-1
	Débit de Crise (DC)	-20	0	0	0	12	-7	-6

Année	Nombre de jours sous seuils avec application de la courbe théorique de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1949	Débit de Vigilance (DV)	0	0	0	-2	-3	-11	-1
	Débit d'Alerte (DA)	0	0	0	0	-4	-7	2
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	0	0	-2	0	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	0	0	-3	0	0

Année	Nombre de jours sous seuils avec application de la courbe théorique de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1976	Débit de Vigilance (DV)	-1	0	0	-3	-1	-6	0
	Débit d'Alerte (DA)	0	0	0	0	0	-3	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	0	0	1	-2	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	0	0	1	-2	0

Année	Nombre de jours sous seuils avec application de la courbe théorique de gestion	La Marne à Gournay-sur-Marne	L'aube à Arcis-sur-Aube	La Seine à Mery-sur-Seine	La Seine à Pont-sur-Seine	La Seine à Saint-Fargeau-Ponthierry	La Seine à Alfortville	La Seine à Paris Austerlitz
1991	Débit de Vigilance (DV)	0	0	0	-7	0	-1	0
	Débit d'Alerte (DA)	0	0	0	-1	0	-2	0
	Débit d'Alerte Renforcée (DAR)	0	0	0	0	-3	0	0
	Débit de Crise (DC)	0	0	0	0	-2	-2	0

Tableau 12 : Evolution du nombre de jours sous les seuils réglementaires avec l'application des nouvelles courbes de gestion, pour la gestion tardive de l'étiage uniquement (si négatif, baisse du nombre de jours sous les seuils)

En reprenant l'analyse des franchissements des seuils réglementaires entre juin et décembre présentée en phase 3, il est possible d'avoir une autre vision pour comparer les résultats avec l'application de ces nouvelles courbes de gestion. Les résultats à Pont-sur-Seine sont présentés ci-dessous (**Figure 53**) :

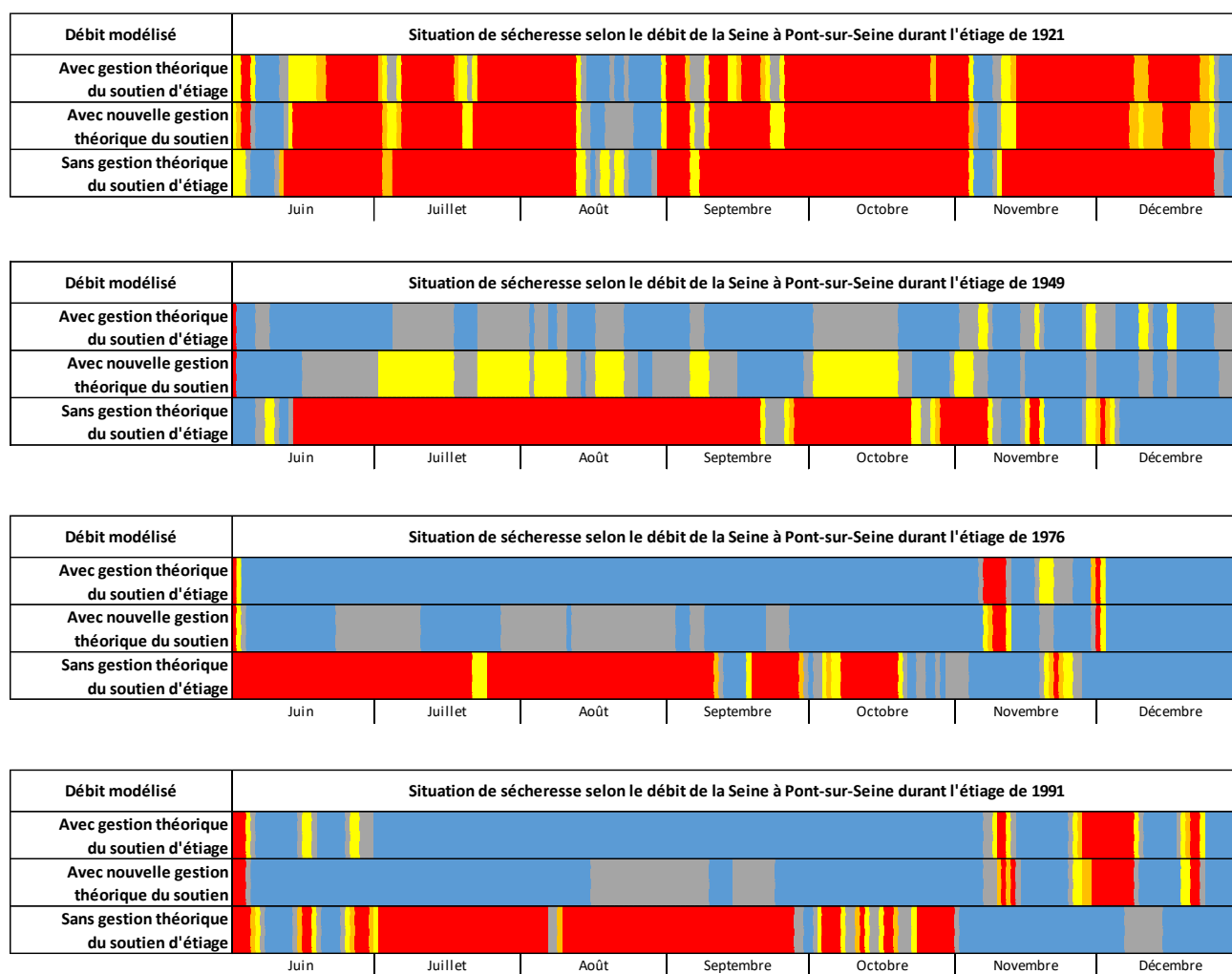
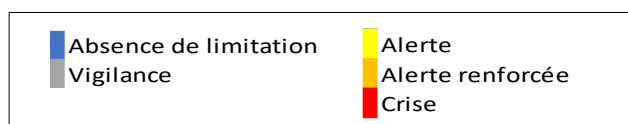


Figure 53 : Durée des niveaux de contraintes subies et répartitions durant les 4 étiages sévères de juin à décembre à Pont-sur-Seine, avec et sans soutien d'étiage théorique et avec les nouvelles courbes de gestion



3.3 Ce qu'il faut retenir des révisions étudiées

L'étude actuelle n'a pas vocation à revisiter l'ensemble des courbes issues des travaux portés par l'EPTB Seine Grands Lacs ces dernières années, et notamment les adaptations réalisées concernant les débits d'écêtement et la période de remplissage. Elle a pour objectif d'apporter des compléments à la réflexion pour d'éventuelles adaptations des tranches et des débits de restitution, pour faire face à des étiages extrêmes.

Les hypothèses prises pour l'élaboration des nouvelles courbes de gestion, conduisent à s'adapter à une situation de remplissage dégradée et à étaler le déstockage plus longtemps. Très logiquement, en cas d'un très faible remplissage type 1921, une nette dégradation des résultats est obtenue en relation avec des débits de restitution plus faibles (et donc un soutien d'étiage moins intense). Cependant, les tests hydrologiques montrent que dans le cas général, une réelle marge de manœuvre existe pour dégager du volume au service de la prévention des inondations ou des étiages tardifs.

Ces évolutions se traduisent par un transfert du risque pour l'environnement (débit réservé) ou la crue (augmentation de la tranche exceptionnelle) au détriment de la sécurité des étiages. Néanmoins, la fréquence des risques doit aussi faire partie de l'équation. Pour trois des quatre étiages 1921, 1976, 1991 il n'y a pas d'écart « économiquement sensible ». Soit la situation est tellement critique comme en 1921 que la « gestion de crise » se serait imposée dès le printemps, soit elle est peu significative, dès lors que le taux de remplissage initial bien que réduit reste satisfaisant, ce qui recoupe le diagnostic de vulnérabilité. Seule l'année 1949, soit une année dans le siècle, montre un risque de franchissement accru du seuil d'alerte renforcé.

La comparaison des avantages pour la gestion des crues ou pour le milieu et des désavantages pour les usages dépendant de l'étiage peut être réalisée sur ces bases.

4 PROPOSITION DE MESURES D'ADAPTATION

4.1 Ce que nous enseignent les tests des étiages du futur

Les simulations d'étiage aggravé dans les scénarios du futur, permettent de tester la résistance du modèle actuel à une conjonction de crises : remplissage limité et étiage sévère. Ces tests détournent des configurations à très forts risques pour les milieux et les usages. Ces situations restent exceptionnelles et la probabilité du risque devra être confirmée par des travaux hydrologiques plus poussés. Néanmoins, elles peuvent être inscrites comme « entrant dans le champ des possibles » ce qui justifie une anticipation des réponses envisageables.

Il est donc important de les considérer comme un horizon envisageable que l'on espère le plus lointain possible mais qui donne un cap à une évolution adaptative.

Une politique publique de gestion quantitative s'articule sur plusieurs piliers, qui sont :

- Les économies d'eau pour réduire la dépendance des usages et l'impact sur la ressource
- Une explicitation des objectifs de débit en rivière et une évaluation des risques environnementaux en cas de franchissement
- Une optimisation de la gestion des ressources existantes
- Un renforcement du potentiel de régulation naturelle (recharge des nappes, zones humides, etc.)
- Nouveau stockage artificiel

La séquence *Eviter, Réduire, Compenser* et les retours d'expériences des projets de territoire, nous invitent à ne retenir cette dernière option qu'une fois les autres voies explorées. Par ailleurs, l'expertise produite dans cette étude montre que pour les axes réalimentés, **le risque n'est pas lié à la capacité de stockage en volume mais plutôt à la capacité de remplir ce stock**. Or cette problématique de remplissage sera sans doute concomitante sur l'ensemble du bassin versant. Si de nouveaux stockages devaient se développer en cas d'insuffisance des autres leviers, ils seraient sans doute à planifier autour d'enjeux locaux avec comme conséquence pour l'EPTB, un effet de réduction de la pression quantitative sur les grands axes régulés.

Ces politiques d'adaptation peuvent se répartir en deux familles :

- Celles qui relèvent du champ opérationnel de l'EPTB
 - L'adaptation des courbes de gestion par rapport aux enjeux d'étiage et nouveaux règlements d'eau (exemple Pannecière 2015)
 - Des adaptations conjoncturelles liées à l'optimisation de la gestion des lacs face à des situations de crise ;
 - L'anticipation des risques interannuels par l'analyse hydrogéologique
- Celles qui relèvent d'une implication élargie de tout le bassin versant
 - Économies d'eau des usages
 - Planification des nouveaux prélèvements (volumes prélevables)
 - Révision des seuils de gestion

4.2 Adaptations relevant du champ opérationnel de l'EPTB

4.2.1 La révision des courbes de gestion des lacs réservoirs Marne, Seine et Aube : une action potentiellement d'application immédiate

4.2.1.1 La révision de 2015 du règlement d'eau du lac-réservoir de Pannecière : une illustration des moyens d'actions mais des effets limités sur les étiages sévères

Une révision du règlement d'eau du lac-réservoir de Pannecière a été réalisée en 2015. L'ancien règlement datait de 1955. Les modifications apportées concernaient :

- un abaissement de la tranche morte (passage de la côte de 298 m NGF à la côte de 295,37 m NGF) ;
- la mise en place d'une tranche de réserve, comprise entre les côtes 295,37 m NGF et 300,88 m NGF ;
- un abaissement de la tranche d'exploitation (passage de la côte de 324 m NGF à la côte de 323,5 m NGF)
- la mise en place d'une tranche exceptionnelle comprise entre les côtes 323,5 et 324 m NGF ;
- la révision de la date de début de déstockage avec un avancement au 15 juin à la place du 1^{er} juillet ;
- une augmentation du débit réservé de 0,4 à 1,2 m³/s ;
- une modification du débit d'écêtement de 13 à 12 m³/s du 1^{er} mai au 31 octobre et de 13 à 16 m³/s du 1^{er} novembre au 30 avril ;
- la mise en place de la courbe de gestion actuelle (avec notamment l'adaptation de la période de remplissage) et de la courbe de vidange tardive.

Ces adaptations sont cohérentes avec les travaux réalisés ces dernières années par l'EPTB Seine Grands lacs sur les courbes de gestion des lacs-réservoirs Marne, Seine et Aube, c'est-à-dire :

- une adaptation des tranches de gestion avec notamment une augmentation de la tranche exceptionnelle ;
- un ajustement de la période de remplissage adapté à la hausse des débits réservés ;
- un avancement de la date de début des restitutions ;
- un ajustement possibles des déstockages pour les étiages tardifs.

Cependant, les analyses portées sur les 4 étiages sévères pour l'axe Yonne, mettent en évidence l'impossibilité de tenue des objectifs pour des étiages extrêmes, quelles que soient les adaptations apportées à la courbe de gestion. Ainsi sur l'axe Yonne, il n'est pas prévu de préconisations d'adaptations autres que celles apportées dans le règlement d'eau de 2015. La sécurisation des débits de crues et d'étiage sur cet axe semble nécessiter des mesures structurelles importantes qui seront à analyser via une vision globale des enjeux socio-économiques liés à chacun des lacs-réservoirs (cf. **paragraphe 2.4.2**) et au vu des enjeux politiques locaux. A noter que les ouvrages de la chaîne de la Cure (27 hm³ utiles et ouvrages n'appartenant pas à l'EPTB Seine Grands Lacs)

participent également au soutien d'étiage de cet axe et subiront sans doute les mêmes contraintes hydrologiques dans le futur. De plus les stations de contrôle disposant de données de reconstitution des débits naturels, sont éloignées du lac-réservoir de Pannecière limitant la pertinence de l'analyse.

4.2.1.2 L'adaptation du niveau de remplissage des lacs-réservoirs

L'analyse de la gestion actuelle (cf. **paragraphe 2.5**) a montré que les objectifs de remplissage des lacs-réservoirs n'étaient que très rarement atteints à 100% (années décennales humides à exceptionnelles). De plus, pour les années où le remplissage est important, les capacités d'atténuation des crues sont réduites bien que de fortes crues puissent avoir lieu en période de fin de remplissage ou de début des lâchers, comme cela a été le cas par exemple sur l'axe Marne en juillet 2021 (il s'agit cependant d'un évènement extrêmement rare).

L'analyse des remplissages et des franchissements des différents seuils réglementaires pour les années d'étiages exceptionnels passés (cf. **paragraphe 2.6**) a montré que même lors d'étiages exceptionnels et pour les usages actuels, **un niveau de remplissage de 80 % de la capacité maximale (tranche exceptionnelle incluse) de stockage permettrait de tenir les seuils réglementaires définis à l'aval des lacs-réservoirs, pour les tranches de réserves actuelles**. C'est-à-dire des niveaux de remplissage minimum à viser pour :

- le lac-réservoir Marne de l'ordre de 300 millions de m³ ;
- le lac-réservoir Seine, de l'ordre de 180 millions de m³ ;
- le lac-réservoir Aube, de l'ordre de 150 millions de m³.

Ces niveaux de remplissages sont compatibles avec ceux envisagés dans le cadre de la révision des courbes de gestion avec une prise en compte d'une marge de sécurité comprise entre 5 et 10 % :

- le lac-réservoir Marne de 315 millions de m³ (≈ + 5 % par rapport au minimum nécessaire) ;
- le lac-réservoir Seine, de 190 millions de m³ (≈ + 5 % par rapport au minimum nécessaire) ;
- le lac-réservoir Aube, de l'ordre de 165 millions de m³ (≈ + 10 % par rapport au minimum nécessaire).

Sur cette base les niveaux de remplissages envisagés dans le cadre de la révision des courbes de gestion et l'abaissement de la tranche d'exploitation au bénéfice de la tranche exceptionnelle, paraissent compatibles avec l'analyse portée sur les étiages sévères, sur la base du niveau de la tranche de réserve actuelle.

4.2.1.3 Une adaptation de la tranche de réserve

L'analyse de la gestion actuelle (cf. **paragraphe 2.5**) des lacs-réservoirs montre que la tranche de réserve est régulièrement sollicitée (1 année sur 5 à 1 année sur 2).

L'analyse du remplissage et des débits minimums de restitution (débits réservés) pour la tenue des seuils réglementaires à l'aval des lacs-réservoirs, détaillée dans les paragraphes précédents, montre :

- qu'une réduction de la tranche d'exploitation associée à une hausse de la tranche de réserve diminue fortement les débits de restitution (hors restitution tardive) et augmente significativement le nombre de jours sous les seuils réglementaires en cas d'étiage sévère ;
- qu'à partir de 80 % de remplissage des lacs-réservoirs, pour la tranche de réserve actuelle, le débit de restitution permet la tenue des seuils réglementaires de débits à l'aval des lacs-réservoirs.

Ainsi, nous conseillons **une adaptation de la tranche de réserve variable en fonction du niveau de remplissage du lac-réservoir**. En effet, pour un remplissage important, proche de l'objectif fixé dans les nouvelles courbes de gestion envisagées, **une tranche de réserve élevée** (équivalente aux nouvelles envisagées) peut être gardée, permettant ainsi :

- la sécurisation en cas d'étiage tardif ;
- une reprise du remplissage pour l'année suivante avec un volume plus conséquent (limitant ainsi le risque de faible remplissage pour l'année N+1 et favorisant des débits de prises hivernaux plus faibles compatibles avec les enjeux écologiques).

A l'inverse, en cas d'années avec un remplissage très faible, **une tranche de réserve faible** permet de maximiser le débit de déstockage au cœur de la période d'étiage et donc de limiter au maximum les passages sous les seuils réglementaires. Les débits de lâchers en cas d'étiages tardifs seront par conséquent plus limités. Cependant cette période présente des enjeux environnementaux et humains moindres (baisse notable des besoins humains, eaux plus fraîches et augmentation des concentrations en oxygène dissous) et correspond statistiquement à une période de reprise potentielle des précipitations.

L'application d'une tranche de réserve variable en fonction du niveau de remplissage annuel change l'approche actuelle de raisonnement en termes de volume, pour le faire basculer sur une approche en termes de débits.

L'adaptation du volume de la tranche de réserve n'a alors ici pour objectif qu'une adaptation du débit des restitutions.

Il est ainsi proposé des tranches de réserve variables **dans l'emprise des volumes et cotes des tranches de réserve actuelles et des nouvelles tranches de réserve envisagées (cf. tableau 13).**

Le volume de la tranche de réserve visé (et le débit de déstockage associé) dépendra ainsi :

- d'un pourcentage du volume de remplissage du réservoir atteint :
 - tranche de réserve maximale visée pour un remplissage à 100 % de la nouvelle tranche d'exploitation,
 - tranche de réserve minimale visée pour un remplissage à 80 % de la nouvelle tranche d'exploitation (permettant un débit lâcher compatible avec la tenue des seuils réglementaires),
 - tranche de réserve minimale visée pour sous 80 % de la nouvelle tranche d'exploitation.
- d'un débit plancher de lâchers minimums à tenir durant la période de juillet à octobre, correspondant au minimum, au débit de la pente actuelle pour un remplissage de 80 % des lacs réservoirs avec la tranche de réserve en place (cf. tableaux 7, 8 et 13) permettant la tenue des débits réglementaires à l'aval :
 - objectif de 20 m³/s sur le lac-réservoir Marne (23,3 m³/s de moyenne visé sur la nouvelle courbe en cas d'atteinte de l'objectif de remplissage) ;
 - objectif de 11 m³/s sur le lac-réservoir Seine (13,7 m³/s de moyenne visé sur la nouvelles courbe en cas d'atteinte de l'objectif de remplissage) ;
 - objectif de 9 m³/s sur le lac-réservoir Aube (11,1 m³/s de moyenne visé sur la nouvelle courbe en cas d'atteinte de l'objectif de remplissage) ;
 - soit un objectif de restitution totale cumulée sur ces 3 axes de 40 m³/s.

L'adaptation de cette tranche permettrait ainsi en fonction du remplissage de l'année, la tenue des seuils réglementaires, la constitution d'une réserve pour l'année suivante et un ajustement de l'ordre de ± 20 % de la somme des débits déstockés sur les 3 lacs-réservoirs.

Les nouvelles courbes de gestion ainsi obtenues sont présentées au **paragraphe 4.2.1.7 et en figures 54 à 56.**

Lac-réservoir	Remplissage réservoir - tranche morte (Mm ³)	Remplissage réservoir - tranche de réserve minimale (Mm ³)	Remplissage réservoir - tranche de réserve maximale (Mm ³)	Débit moyen de destockage minimal à viser (m ³ /s)	Débit moyen de destockage maximal à viser (m ³ /s)
Marne	10	25	60	20	23.3
Seine	6.6	18.7	40	11	13.7
Aube	3.4	24.3	40	9	11.1
Total volume tranche de de réserve disponible (Mm ³)		48	120		
Total débit moyen de destockage (m ³ /s)				40	48.1

Tableau 13 : Propositions de valeurs de remplissage de tranches de réserves variables des réservoirs Marne, Seine et Aube

Une réflexion sur la pertinence des seuils de débits réglementaires à l'aval des lacs-réservoirs est aussi à tenir (**cf. paragraphe 4.3.1**). Une révision éventuelle à la baisse permettrait des débits de déstockages plus faibles et ainsi une augmentation de la tranche de réserve induisant une certaine sécurisation du stock pour des années extrêmes de faibles remplissages. A l'inverse une révision à la hausse ou au maintien limiterait d'autant les possibilités d'ajustement. D'autres solutions (mesures structurelles éventuelles) seraient alors à trouver.

La mise en place d'un indicateur piézométrique de gestion peut aussi permettre l'ajustement « tactique » et chaque année de la tranche de réserve (**cf. paragraphe** Erreur ! Source du renvoi introuvable.).

4.2.1.4 Un déstockage plus précoce

L'analyse des étiages sévères du passé (**cf. paragraphe 2.6**) montre que des étiages précoces (dès début juin) sont susceptibles de survenir sur le bassin.

L'analyse de la gestion actuelle (**cf. paragraphe 2.5**) des lacs-réservoirs montre que les seuils de référence sont régulièrement franchis courant juin.

Bien que les données hydrologiques du futur soient difficilement exploitables statistiquement, il est globalement attendu un allongement de la durée des étiages (**cf. paragraphe 2.7.2**) autant sur le début que la fin de l'étiage.

Sur cette base, il est proposé un démarrage plus précoce des déstockages, à partir de début juin. Cependant, le mois de juin présentant peu d'enjeux en termes de qualité de l'eau (période avec des concentrations en oxygène dissous actuelles et futures plus élevées qu'au cœur de l'été, **cf. paragraphes 2.1.5 et 2.3.2.2**), et moins d'impacts des usages (irrigation encore faible, évaporation au niveau du CNPE inférieure aux valeurs maximales de juillet et août, **cf. paragraphes 2.4.1**), il est proposé un débit de déstockage faible comparativement à celui du cœur de la période estivale (**cf. paragraphe 4.2.1.7 et figures 54 à 56**).

Ainsi la révision des courbes de gestion prévoyant un avancement des restitutions au 15 juin est compatible avec les observations énoncées précédemment. Il est cependant conseillé de conserver la possibilité d'un déstockage « très précoce », si nécessaire dès début juin, comme appliqué pour la gestion opérationnelle actuelle.

4.2.1.5 Un déstockage plus tardif

L'analyse des étiages sévères du passé (**cf. paragraphe 2.6**) montre que des étiages tardifs (jusqu'à courant décembre) sont susceptibles de survenir sur le bassin.

L'analyse de la gestion actuelle (**cf. paragraphe 2.5**) des lacs-réservoirs montre des reprises du remplissage majoritairement entre la mi-novembre et la mi-décembre.

Bien que les données hydrologiques du futur soient difficilement exploitables statistiquement, il est globalement attendu un allongement de la durée des étiages (**cf. paragraphe 2.7.2**) autant sur le début que la fin de l'étiage.

Sur cette base, il est proposé la prise en compte de possibilités d'un déstockage tardif, jusqu'à fin décembre, comme intégré dans les courbes de gestion actuelle et les révisions proposées par l'EPTB Seine Grands Lacs. Cependant, les mois de novembre et décembre présentent peu d'enjeux en termes de qualité de l'eau (période avec des concentrations en oxygène dissous actuelles et futures plus élevées qu'au cœur de l'été, **cf. paragraphes 2.1.5 et 2.3.2.2**), et moins d'impacts des usages (plus ou peu d'irrigation, évaporation au niveau du CNPE inférieure aux valeurs maximales de juillet et août, **cf. paragraphe 2.4.1**), il est proposé un débit de déstockage plus faible comparativement au cœur de la période estivale. Par exemple une valeur guide pourrait être le seuil de vigilance en été et le seuil d'alerte en automne.

Une règle de déstockage tardif, comme actuellement utilisée pourra être pérennisée pour répondre à ces objectifs. Les débits de déstockage de cette période seront quant à eux dépendant du volume de la tranche de réserve retenu pour l'année en cours (tranche de réserve variable, **cf. paragraphe 4.2.1.3**), mais devront être dans tous les cas plus faibles que les débits de déstockage de la période de début juillet à fin octobre (**cf. paragraphe 4.2.1.7 et figures 54 à 56**).

4.2.1.6 Un déstockage adapté à la saisonnalité du risque d'étiage : intense de début juillet à fin octobre comparativement à juin et à la période de déstockage tardif

L'analyse des étiages sévères du passé (cf. **paragraphe 2.6**) montre que les déficits par rapport au QMNA5, et donc les débits les plus faibles sont majoritairement rencontrés entre août, septembre (mois présentant les débits le plus faibles) et octobre.

L'analyse des étiages du futur (cf. **paragraphe 2.1.3**) semble indiquer une baisse des débits d'étiage de l'ordre de 20 % par rapport à la période de référence passée

L'analyse des données de qualité (cf. **paragraphes 2.1.5 et 2.3.2.2**) montre des concentrations en oxygène dissous les plus basses de début juillet à fin septembre.

L'analyse des usages (cf. **paragraphes 2.1.6 et 2.4.2**) montre une majorité de besoins et d'impacts entre début juillet et fin septembre.

Sur la base de ces observations, ainsi que des conclusions des paragraphes précédents, il est proposé un déstockage intense de début juillet à fin octobre (cf. **paragraphe 4.2.1.7 et figures 54 à 56**). Pour faire face aux baisses attendues des débits futurs, les débits de déstockages devront approcher les débits nécessaires à la tenue des objectifs pour les étiages extrêmes du passé pour l'année 1976, (cf. **paragraphe 2.6**) voir les dépasser.

Ainsi la pente (et donc le débit) de déstockage de début juin à fin octobre dépendrait :

- d'un objectif de débit plancher minimum ;
- d'un volume variable de la tranche de réserve.

Afin d'impacter le moins possible le maintien des cotes touristiques des lacs réservoirs et au vu des enjeux humains et environnementaux moindres durant les mois de juin, novembre et décembre, des débits plus faibles de déstockages sont à envisager durant cette période. L'objectif retenu peut être un volume similaire ou supérieur au 15 août, à celui envisagé dans le cadre de la révision des courbes de gestion (avec une tranche de réserve importante et donc une pente de déstockage faible).

Ainsi le débit de déstockage de juin correspondrait à une fonction dépendante :

- de la pente de la courbe de déstockage principale ;
- de la date du début de restitution.

Ces adaptations impliquent elles aussi un changement fondamental dans l'approche de gestion. En effet, au-delà d'une révision de la courbe de gestion conditionnant les règles de remplissage, et de déstockage en cas d'atteinte du remplissage, cette approche implique aussi une adaptation du déstockage en cours de campagne, même et surtout, en cas de non atteinte de l'objectif de remplissage.

4.2.1.7 Synthèse des propositions d'adaptations et proposition d'ajustement des trajectoires de vidange et de soutien des débits

Les propositions d'ajustement des trajectoires de vidange et de soutien des débits sont donc les suivantes (cf. figures 54 à 56) :

- augmentation des tranches exceptionnelles envisagées pour permettre l'écêtement des crues tardives sans compromettre les capacités de soutien d'étiage ;
- adaptation de la tranche de réserve en fonction du niveau de remplissage de l'année. Volume de la tranche de réserve variant entre le volume actuel et le volume de la nouvelle courbe envisagée par l'EPTB Seine Grands Lacs. Choix du volume de l'année en fonction d'un objectif de débit minimum plancher de déstockage entre début juillet et fin octobre ;
- déstockage précoce à partir de mi-juin, voir début juin si nécessaire avec un débit plus faible que le déstockage principal (valeur guide seuil d'alerte par exemple) ;
- prise en compte d'une courbe de déstockage tardif, dont le débit varie en fonction du volume de la tranche de réserve disponible.

Un outil spécifique permettant le tracé des trajectoires de soutien des débits, mais aussi de gestion en fonction des hypothèses présentées précédemment est mis à la disposition de l'EPTB Seine Grands-Lacs. Les principaux résultats sont présentés dans les figures des pages suivantes. La modification des hypothèses prises modifie de façon automatique les résultats des courbes.

A noter qu'il s'agit à ce stade de propositions d'adaptation argumentées des courbes de gestion. Ces propositions conceptuelles modifient l'approche actuelle de gestion et nécessitent d'être discutées et validées avec l'EPTB Seine Grands Lacs et les partenaires.

De plus, ces courbes visent à maximiser les débits de lâcher au cœur de la période estivale pour éviter le passage sous les seuils réglementaires. Ces adaptations visent donc à une stratégie « pragmatique et argumentée » du placement de l'eau, mais pouvant ne pas être en complète adéquation avec les valeurs réglementaires actuelles.

A l'issue de cette concertation et d'un arbitrage sur les « débits de gestion » visés, la mise en œuvre d'un modèle statistique (hors champs de cette étude), reprenant l'ensemble des étiages passés et des données du futur, permettra de déterminer avec précision, et pour chacune des situations rencontrées, la meilleure combinaison possible entre l'adaptation de la tranche de réserve, des débits de déstockage précoces, tardifs et durant le cœur de l'étiage, pour l'optimisation de la tenue des seuils réglementaires et/ou des seuils de gestion retenus.

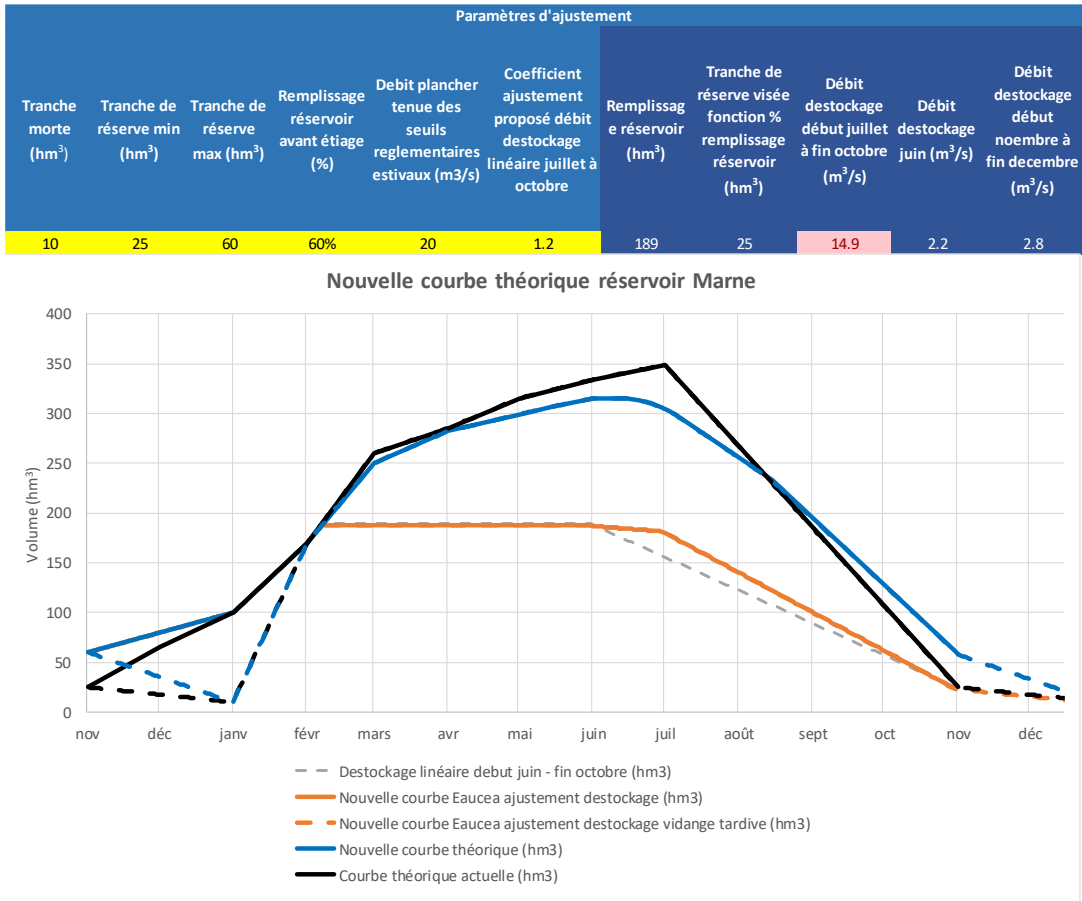
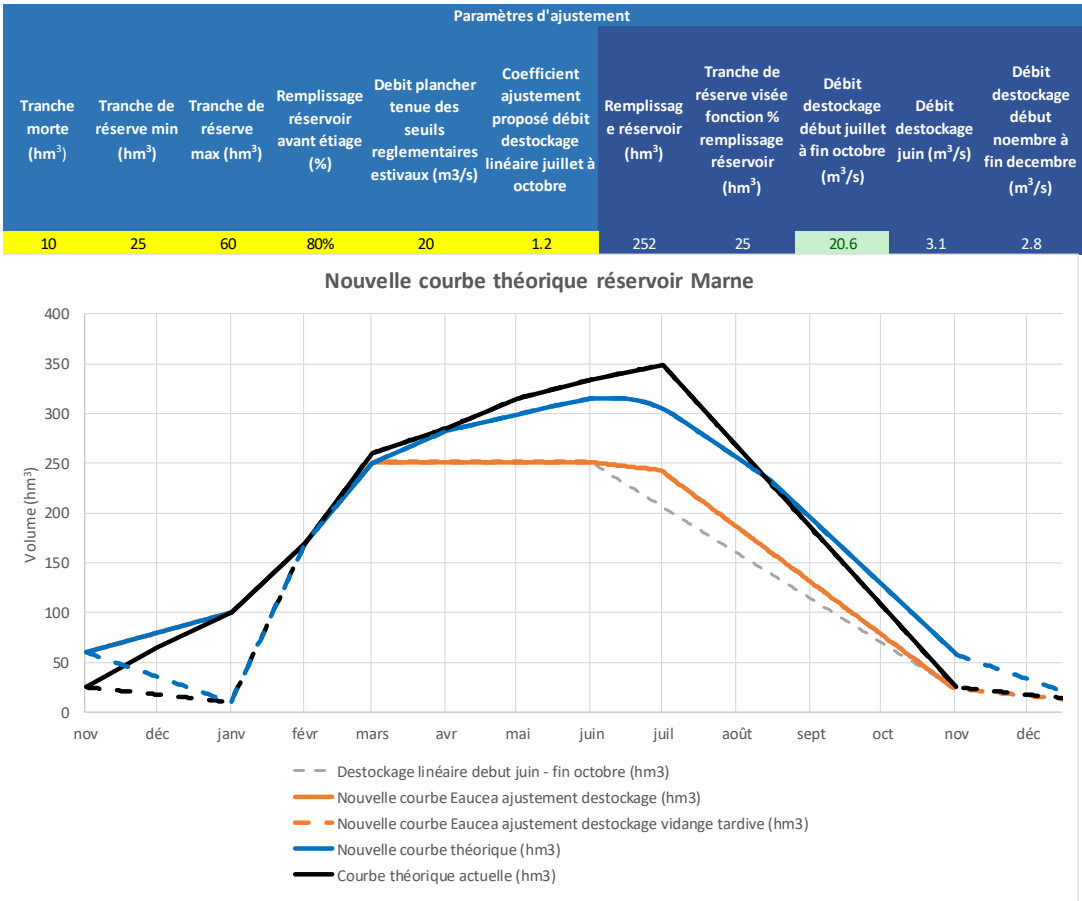
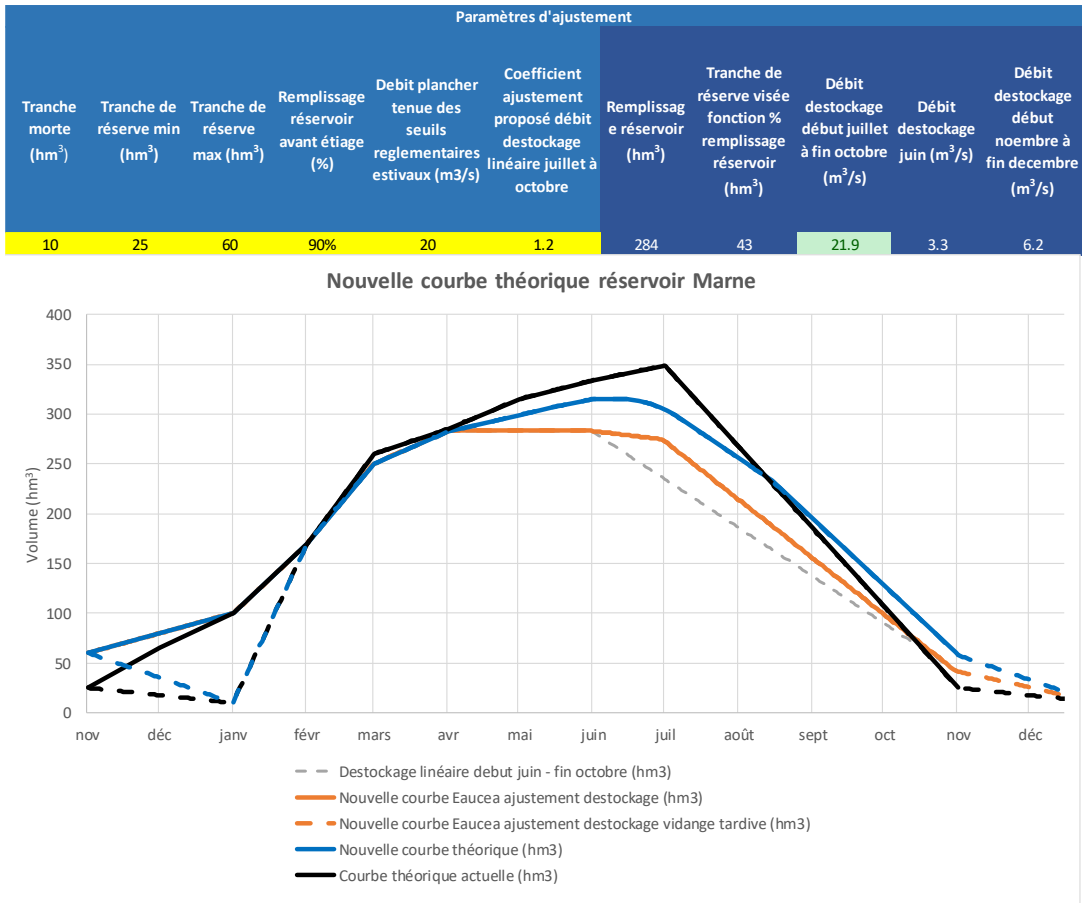
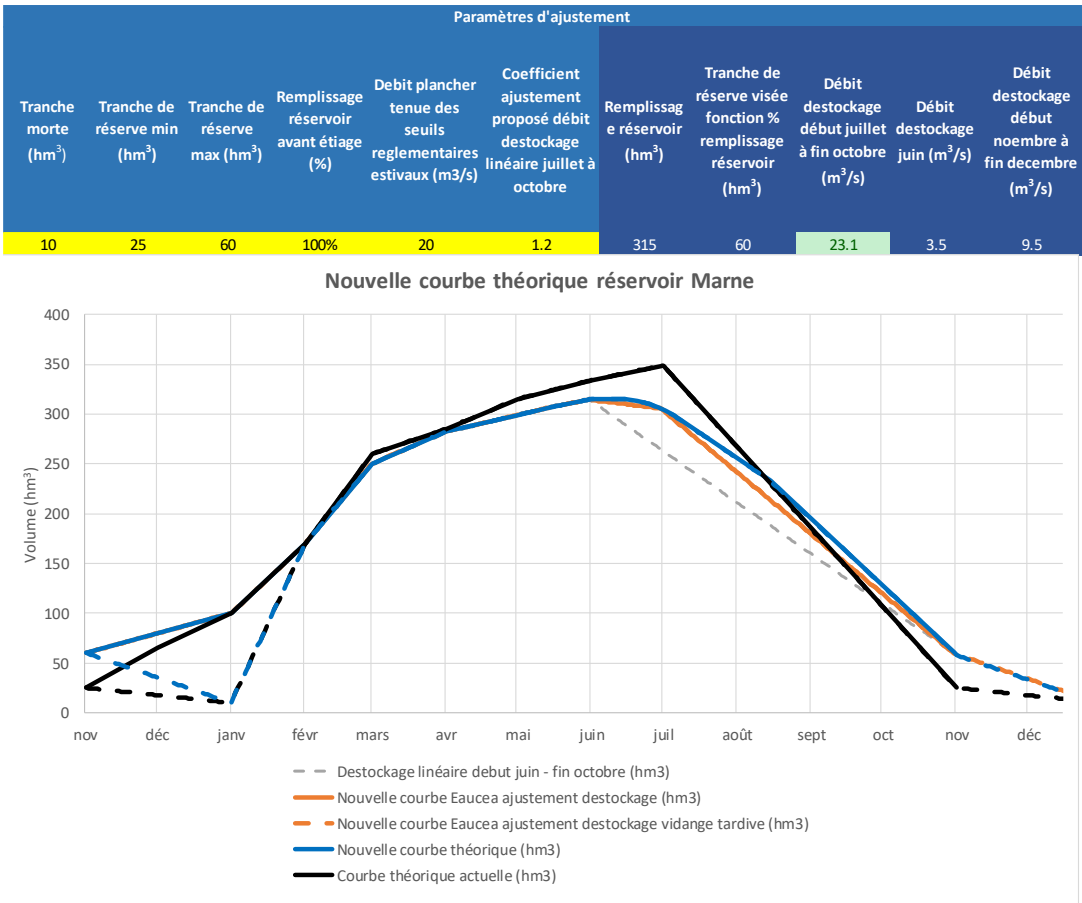


Figure 54 : Propositions d'ajustement de la gestion selon 4 scénarios de remplissage pour le réservoir Marne

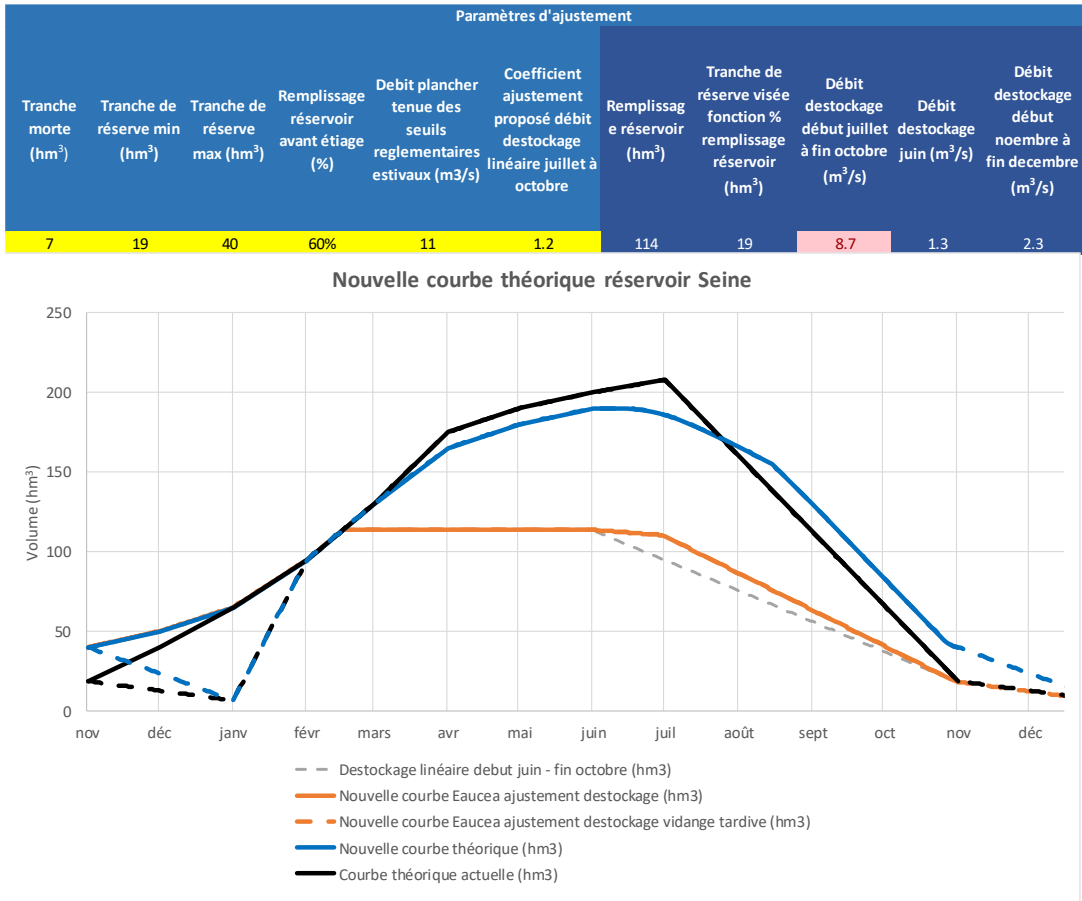
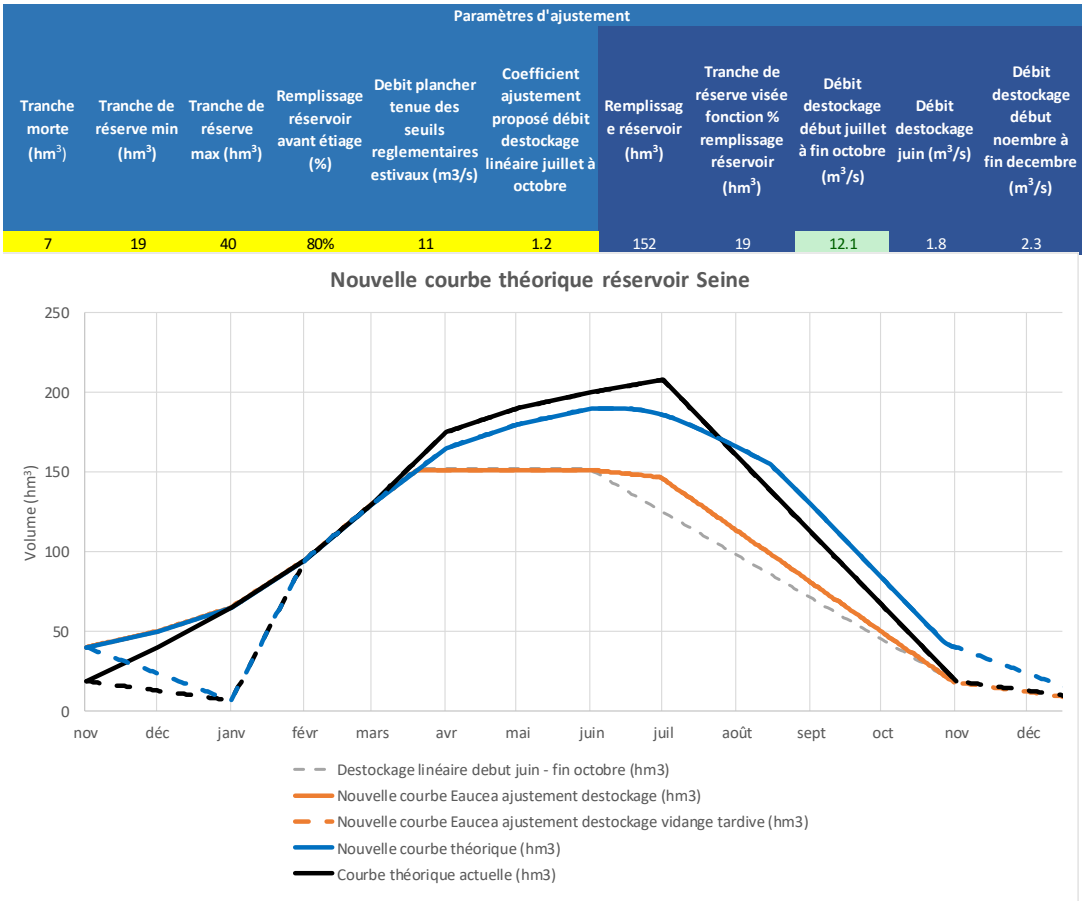
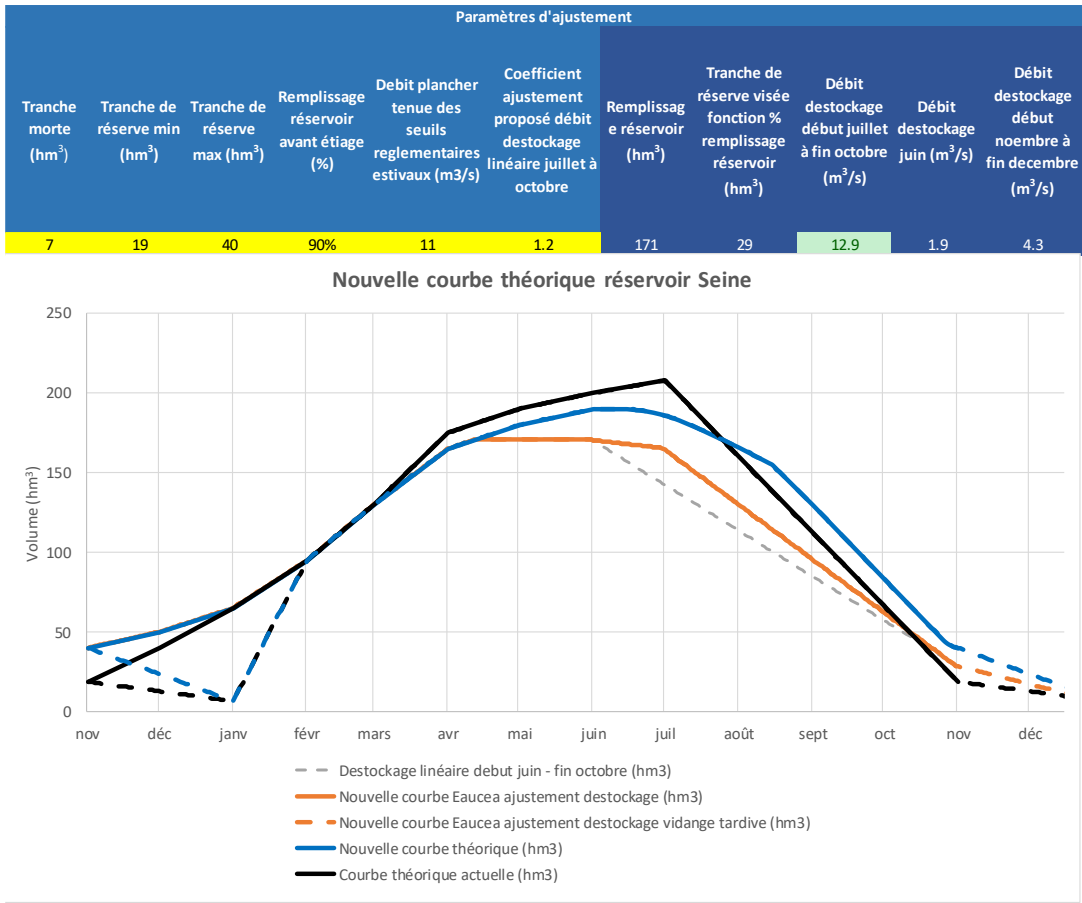
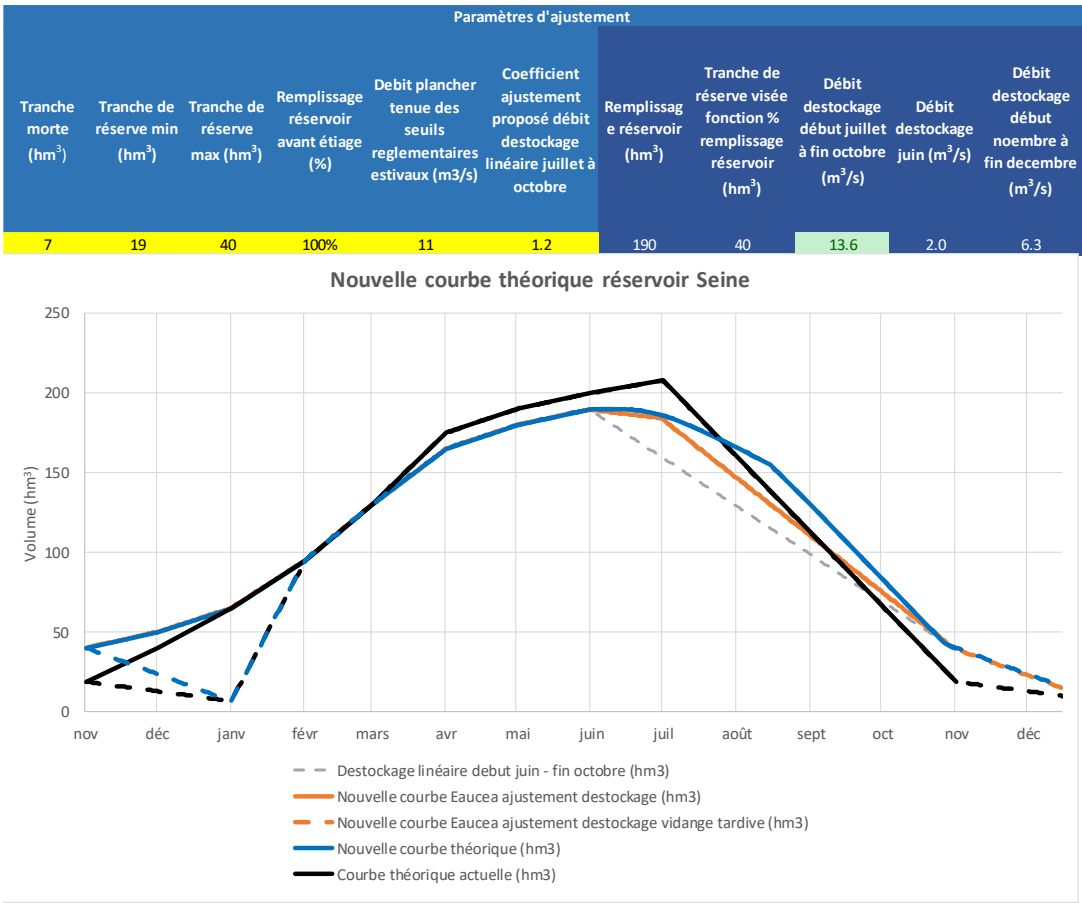


Figure 55 : Propositions d'ajustement de la gestion selon 4 scénarios de remplissage pour le réservoir Seine

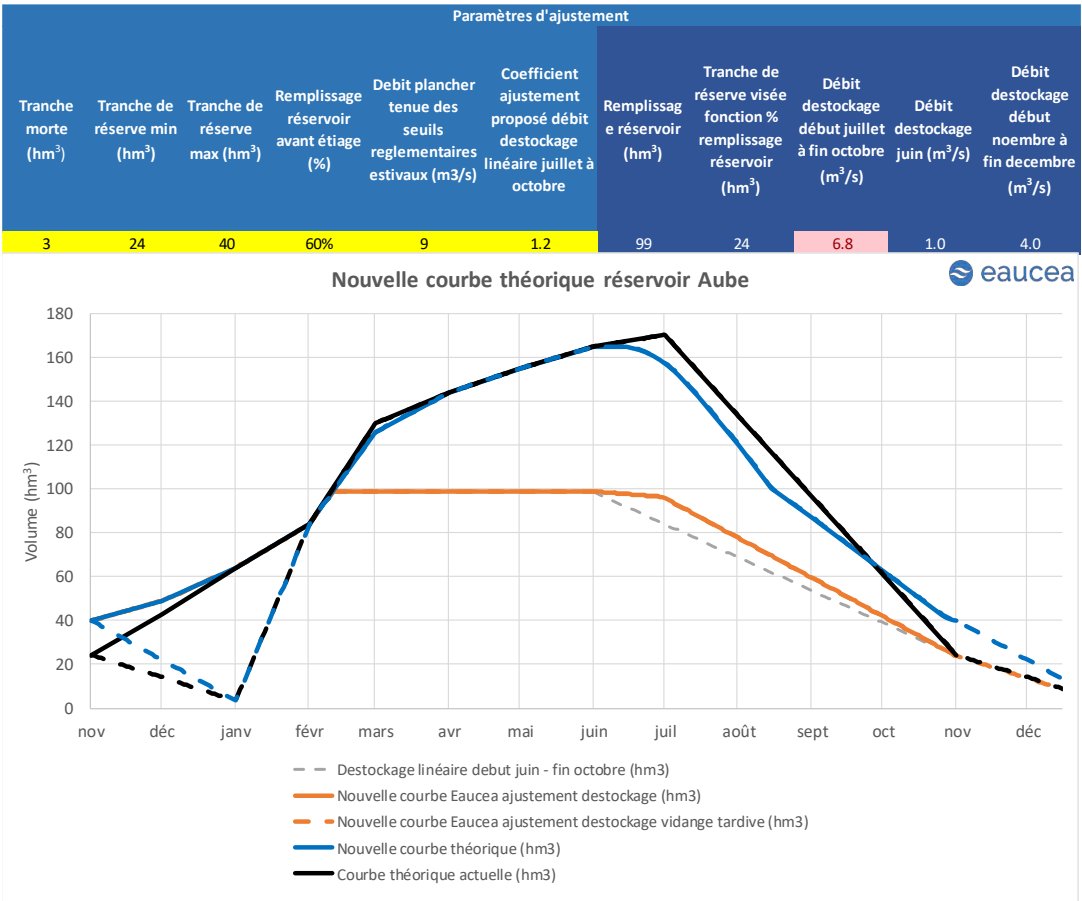
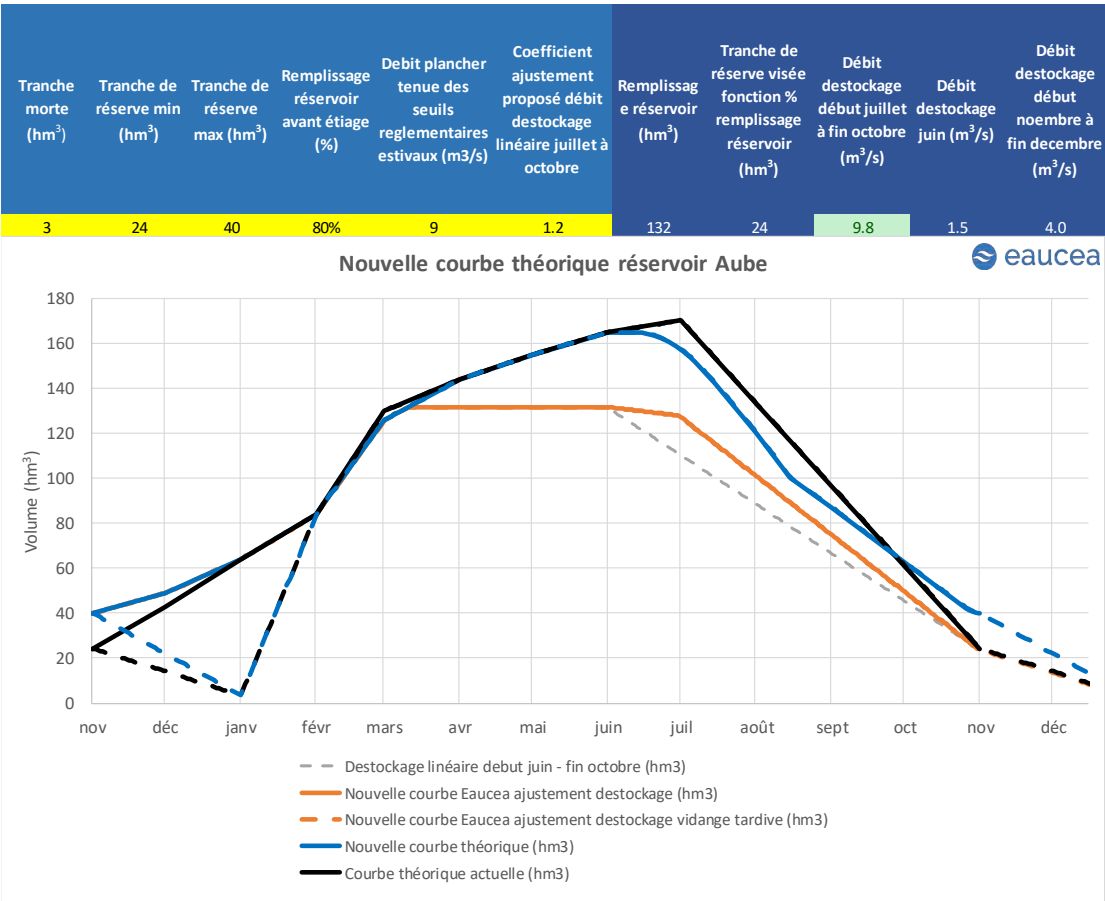
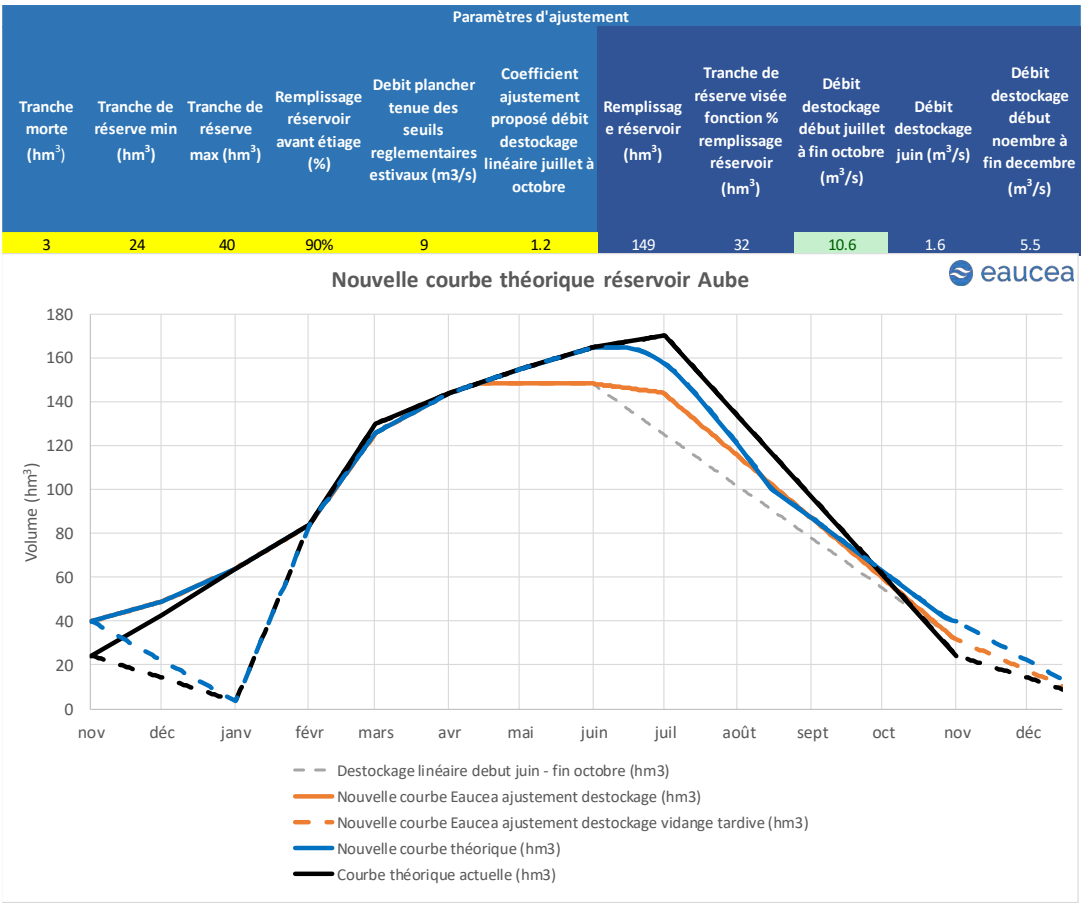
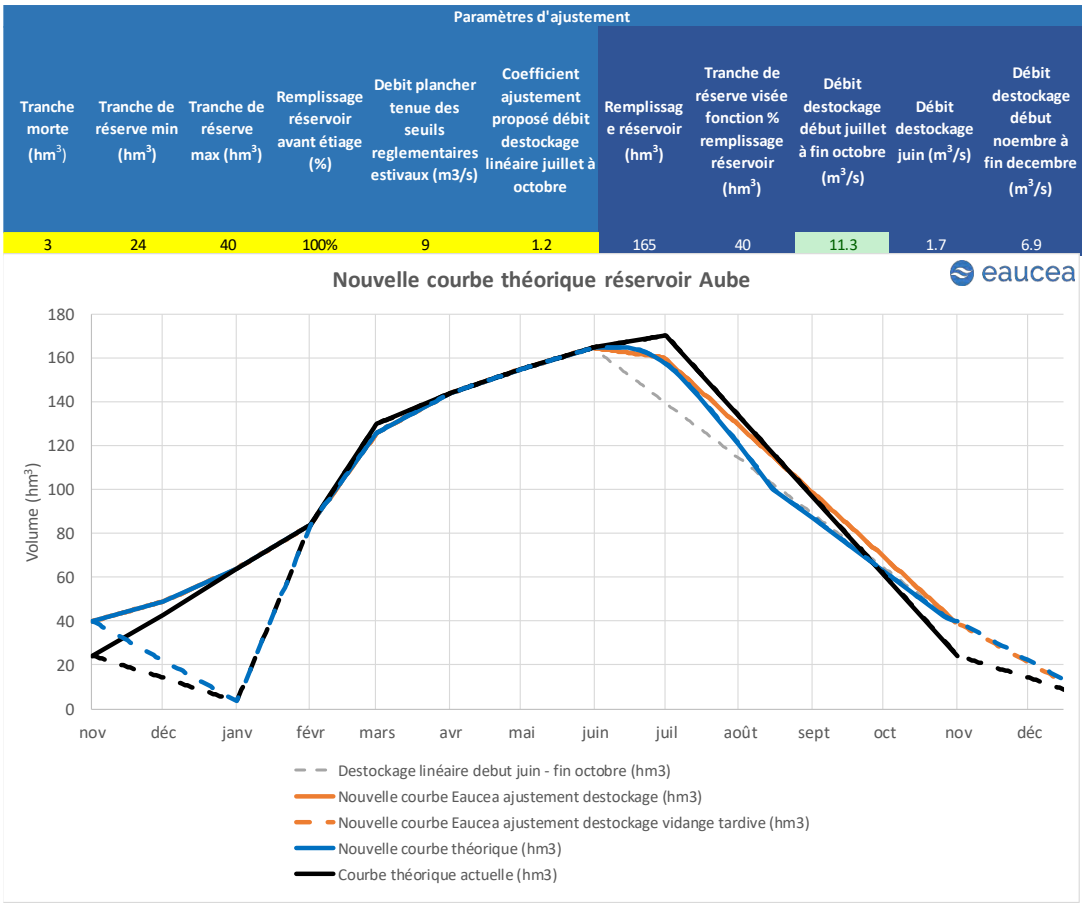


Figure 56 : Propositions d'ajustement de la gestion selon 4 scénarios de remplissage pour le réservoir Aube

4.2.2 L'adaptation conjoncturelle en gestion de crise : qualifier le risque et améliorer l'efficience des lâchers par rapport à un ou plusieurs objectifs aval

4.2.2.1 Caractériser le risque de crise

Les étiages sévères au sens de cette étude sont des événements hydrologiquement rares qui peuvent être gérés avec efficacité si le remplissage initial des stocks atteint un certain niveau. Le remplissage est donc un indicateur majeur pour préparer cette gestion.

L'étude est partie d'hypothèses de niveau de remplissage équivalent sur tout le bassin. Ce cadre est globalement le plus probable mais il n'est pas certains. Face à une situation de sous remplissage probable, comme en 1921, il est important de disposer d'outils permettant d'optimiser le placement de l'eau mais aussi de réduire la pression des usages avant l'apparition de débit d'alerte. Le taux de remplissage est donc constitutif de l'action de la police de l'eau.

Un second cas de figure non étudié ici, serait celui d'une défaillance technique sur un des ouvrages. Il s'agirait alors d'estimer la nature de ce risque pour renforcer sa prévention et d'autre part de préparer une stratégie avec le report de sa fonction de soutien d'étiage sur les autres ouvrages restés disponibles.

4.2.2.2 Optimiser la gestion conjoncturelle

La gestion adaptée conjoncturelle des stocks existants, répond à deux objectifs possibles :

- Lorsque la ressource est rare en proportion des objectifs, les gestionnaires s'obligent à une gestion optimisée des stocks. Il s'agit de coller au plus près à la satisfaction des débits seuils fixés en aval en travaillant sur le meilleur placement possible de l'eau.
- Lorsque la ressource est suffisante pour les objectifs minimaux, la gestion peut viser à une maximisation du débit d'étiage en aval. Si l'on peut, il s'agit de faire mieux en débit minimum avec les mêmes volumes.

Exemple : Dans le cas présent, le débit minimum tenu à Gournay en 1921 aurait été de 23 m³/s voisin du seuil d'alerte (23m³/s) mais inférieur au seuil de vigilance. Le volume mobilisé est de 162 hm³. En appliquant une gestion parfaite, le seuil de vigilance soit 32 m³/s aurait pu être respecté avec seulement 169 hm³. Le débit minimum est donc amélioré de 9 m³/s en théorie. En pratique l'efficacité de la gestion n'est jamais de 100%, car elle dépend notamment des prévisions météorologiques dont la pertinence décroît au-delà de quelques jours.

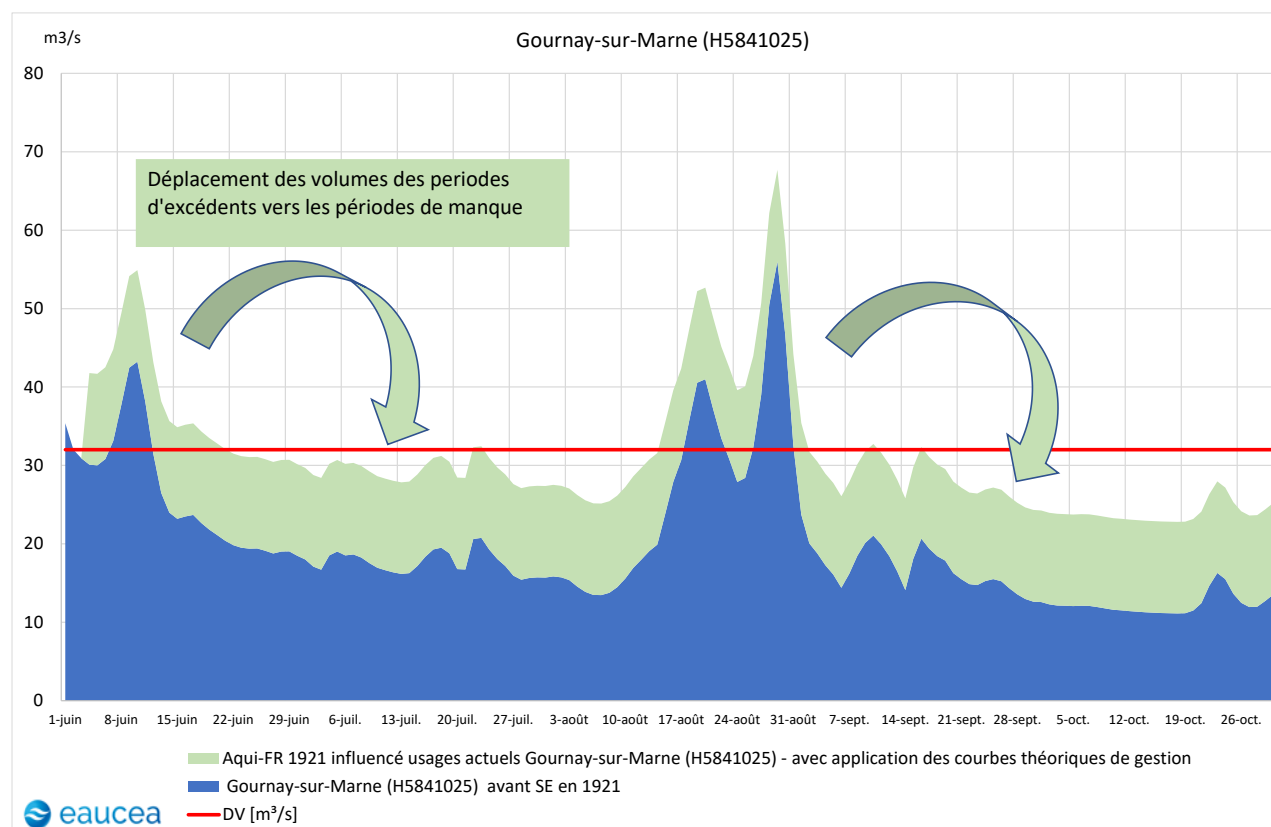


Figure 57 : Adaptation conjoncturelle de la gestion

Ce processus d'optimisation peut être approché par une modélisation numérique qui répond à des critères statistiques tels que : « satisfaction de l'objectif garanti une année sur 5, ou une année sur 10 ». Elle n'est pas adaptée à des situations extrêmes mais donne des ordres de grandeurs utiles si l'on projette ces étiages rares comme des scénarios possibles.

Dans le cas d'un remplissage anormalement faible, une réponse peut être aussi d'évaluer le débit que l'on peut tenir. Sur cette base, les acteurs du bassin peuvent organiser une réponse adaptée. Un déficit correspond au volume qui manque entre le débit sans soutien d'étiage et un débit seuil, par exemple le débit d'alerte, augmenté d'un coefficient d'efficacité de la gestion. Si le volume disponible dans les réservoirs est plus faible que ce déficit alors, le seuil ne pourra pas être respecté. Dans l'exemple ci-dessous évalué à Paris Austerlitz (Figure 58), chacun des 4 étiages de référence se traduit par un volume de déficit qui peut être associé à un débit. Cette opération aisée à réaliser pour un objectif unique, par exemple Paris, est plus complexe à optimiser quand l'on croise plusieurs réservoirs et plusieurs stations où seraient fixé des objectifs optimisés.

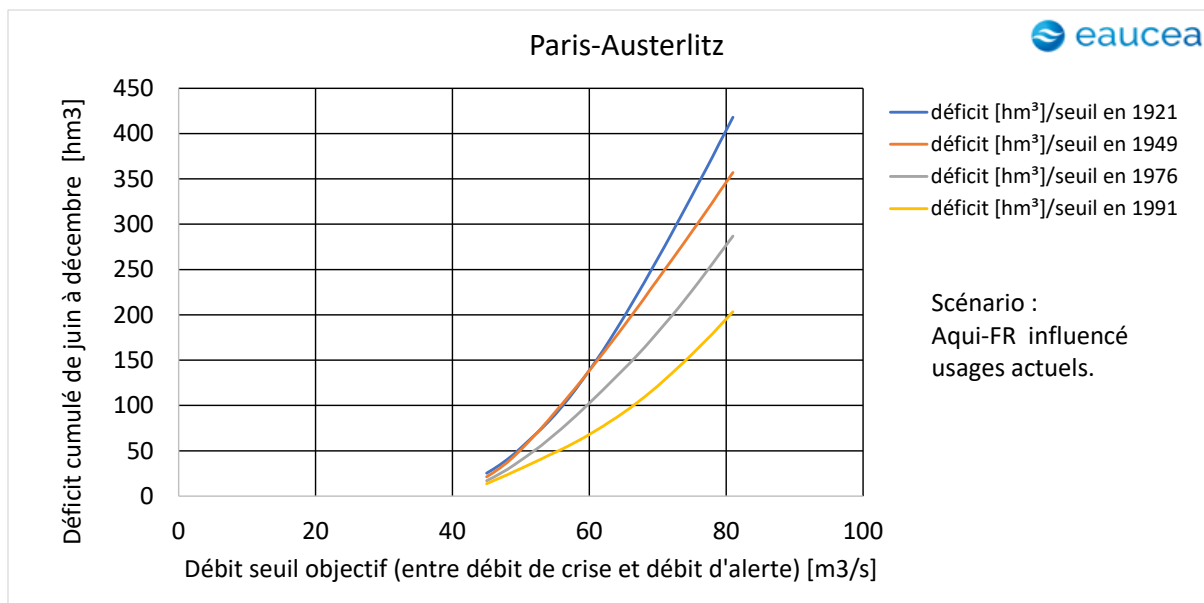


Figure 58 : Déficit à Paris associé au débit visé pour chacun des 4 étiages sévères.

4.2.3 Anticipation du risque à moyen terme : mise en place d'indicateurs piézométrique de « risque d'intensité potentielle de l'étiage à venir » pour le pilotage stratégique

L'analyse de la compréhension des mécanismes à l'origine des étiages sévères (cf. **paragraphe 2.2.1**) a mis en évidence le rôle primordial des relations nappes-rivière et notamment du réservoir aquifère de la Craie, situé au centre du bassin (zone capacitive). Ainsi, la dynamique naturelle de mise en place des étiages sévère est notamment fonction de la recharge de la nappe de la craie, traduit dans le rapport de phase 1 par un indicateur des volumes écoulés à Pont-sur-Seine des années N-1 et N-2.

La mise en place d'un indicateur piézométrique peut ainsi permettre l'année précédant l'étiage d'établir un « risque d'intensité potentielle de l'étiage en cas d'absence de précipitations ». Ainsi, même si la recharge de l'année en cours est très faible, en fonction de l'intensité des recharges des années passées et de l'analyse du niveau piézométrique il est possible « d'anticiper » un risque de sévérité de l'étiage. Ce type d'indicateur ne renseigne pas sur l'intensité effective de l'étiage à venir, qui sera fonction des précipitations durant cette période, mais il caractérise la « gravité potentielle » de l'étiage en cas de très faibles précipitations estivales. Il s'agit ici d'un indicateur de la gestion « tactique » c'est-à-dire modulable chaque année, contrairement à la gestion stratégique qui donne les grandes lignes de la gestion (révision des courbes de gestion par exemple).

Un indicateur plus détaillé avec une analyse couplée de plusieurs stations hydrométriques et piézomètres représentatifs (servant par exemple de référence pour l'élaboration du nouveau modèle CaWaQS-Seine et disposant prochainement de prévisions pour le futur) pourra être étudié. Différents niveaux de risque pourront ensuite être élaborés conduisant à la mise en place d'un indicateur opérationnel susceptible de permettre un éventuel ajustement chaque année, de la tranche de réserve à laisser à disposition pour l'année suivante.

C'est-à-dire qu'en cas de risque fort de l'intensité potentielle de l'étiage de l'année N+1 (pouvant être apprécié à partir de la fin d'étiage de l'année N) il pourra être souhaitable, dans la mesure des contraintes de gestion, d'augmenter la tranche de réserve à laisser à disposition en début d'année suivante, de façon à maximiser le plus possible la capacité à faire face à ce potentiel étiage intense.

La corrélation réalisée à partir des chroniques AQUI-FR devra être adaptée aux débits mesurés et à des indicateurs piézométriques diversifiés. Notons d'autre part que Météo France propose des prévisions météorologiques saisonnières avec 3 mois d'anticipations. Actuellement, les résultats ne permettent pas de piloter la gestion mais les progrès de la recherche permettent d'espérer à moyen ou long termes une amélioration des performances.

Un système de prévision du risque se déclinerait donc à plusieurs échéances avec un degré de sécurité variable : annuelles avec l'hydrogéologie, trimestrielle avec les prévisions climatiques saisonnières, hebdomadaires avec les prévisions météorologiques classiques.

4.3 Adaptations structurantes du bassin

4.3.1 Les économies d'eau : une action sans regret

La pression des usages préleveurs sur les débits est importante et se cumule d'amont vers l'aval. Dans une politique d'adaptation collective, la réduction des consommations d'eau est une action à promouvoir. Elle peut être considérée comme une « action sans regret » si au travers de dispositif de gestion économe, le même service est satisfait avec moins d'eau. Dans ce cas l'usage réduit sa vulnérabilité aux étiages sévères et le dispositif de soutien des débits gagne de nouvelles marges de manœuvre.

Les politiques d'économie d'eau ne relèvent pas des compétences de l'EPTB mais conditionnent les modalités de gestion du risque d'étiage à partir du soutien des débits.

A plus grande échelle, les politiques de gestion de la ressource sur le territoire identifient les mesures pour faire face au changement climatique. Parmi les mesures d'adaptation au changement climatique, ressortent en premier lieu les actions d'économie d'eau (réduction des fuites et pertes, révision des procédés industriels, technologies d'irrigation), de gestion collective (OUGC) et d'évolution des activités (choix des cultures notamment).

D'ici 2050, la hausse de la population sur le territoire devrait être de l'ordre de + 1 million d'habitants (source : rapport de phase 3). En projetant une baisse des consommations d'eau unitaires, passant de 47 m³/an/habitant en 2017 à 37 m³/an/habitant à l'horizon 2050 (source : *projection d'après l'évolution de la consommation d'eau potable journalière d'eau potable de 1998 à 2012, Rapports 2009-2018 France entière, SOeS 2015*), la hausse de la population représente une hausse des besoins en eau potable de l'ordre de + 40 millions de m³/an.

Cette hausse est à mettre en perspective avec les objectifs d'amélioration du rendement des réseaux de distribution d'eau potable qui pourraient avoir un effet contraire. En supposant un objectif de rendement des réseaux de distribution d'eau potable fixé à 80% minimum et atteint, jusqu'à 16% de la hausse de la demande d'eau potable à l'horizon 2050 pourrait être absorbée. Jusqu'à 53% de cette hausse pourrait être absorbée avec un objectif fixé à 85% minimum (**cf. tableau 14**). Rappelons que ces rendements varient fortement d'un service d'eau à l'autre, allant de 27 à 100% (extrait du rapport de phase 3). Par ailleurs, pour estimer avec plus de précisions quel pourcentage de la hausse de la demande d'eau potable à l'horizon 2050 pourrait être absorbé, il faudrait connaître le volume distribué par chaque service d'eau. Dans le cas présent, l'estimation des pertes s'est faite à l'échelle départementale, à partir des données de prélèvements de l'AESN pour l'AEP et de la moyenne des rendements des services d'eau.

Source données :		SISPEA 2018	AESN 2017	Objectif de rendement fixé à 80%		Objectif de rendement fixé à 85%	
Département	Rendement moyen*	Volume prélevé pour l'AEP (en m³/an)	Pertes théoriques (en m³/an)	Rendement atteint	Pertes évitées (en m³/an)	Département	Rendement moyen*
89	74%	37 702 075	9 614 679	80%	2 074 264	85%	3 959 368
10	82%	24 774 945	4 568 577	82%	0	85%	852 335
77	79%	101 810 136	20 934 911	80%	572 884	85%	5 663 391
92	91%	28 332 934	2 521 631	91%	0	91%	0
93	94%	115 412 633	6 924 758	94%	0	94%	0
75	90%	7 478	718	90%	0	90%	0
91	86%	92 230 275	13 028 380	86%	0	86%	0
51	76%	20 806 372	5 018 879	80%	857 605	85%	1 897 923
45	80%	14 869 545	2 951 966	80%	0	85%	721 534
78	80%	45 456 176	9 091 235	80%	0	85%	2 272 809
52	78%	12 559 555	2 776 250	80%	264 339	85%	892 317
55	72%	6 740 896	1 857 959	80%	509 780	85%	846 825
94	80%	4 710 127	942 025	80%	0	85%	235 506
21	73%	6 189 226	1 663 870	80%	426 025	85%	735 486
58	71%	4 872 803	1 416 486	80%	441 926	85%	685 566
02	70%	11 245 237	3 381 443	80%	1 132 395	85%	1 694 657
60	81%	1 082 061	200 782	81%	0	85%	38 473
88	96%	0	0	96%	0	96%	0
95	79%	4 988 747	1 027 682	80%	29 932	85%	279 370
SEDIF	90%	242 581 500	23 287 824	90%	0	90%	0
Paris (75)	90%	176 502 987	16 944 287	90%	0	90%	0
Chiffres globaux	81%	952 875 708	128 154 344	84%	6 309 151	87%	20 775 561

Proportion des pertes évitées par rapport à la hausse des besoins d'ici 2050 :	16%	53%
--	-----	-----

Tableau 14 : Bilan des pertes par fuites et projections des pertes évitées en fonction des rendements moyen par département des réseaux de distribution d'eau potable sur le territoire d'EPTB Seine Grands Lacs. *Pour le 78 et le 94 il s'agit de la moyenne nationale de 2016 (79,6%) arrondie à 80%.

Au cours des rencontres et des échanges avec les acteurs, l'existence d'actions et de stratégies mises en œuvre avec certains établissements industriels visant à réduire leurs prélèvements en eau a pu être identifiée. Malgré plusieurs sollicitations, des renseignements et exemples sur cette thématique n'ont toujours pas pu être récupérés à ce jour. Ce manque met en exergue un besoin d'améliorer les connaissances sur les objectifs de réduction de la dépendance des besoins en eau des industries et de leur résilience face au changement climatique.

Au cours de la phase 3, la population et les emplois des établissements de service et industriels bénéficiant du soutien d'étiage ont été identifiés. Il est également possible d'identifier la population et les emplois des établissements de service et industriels situés dans le bassin de la Seine en amont de Paris et ne bénéficiant pas du soutien d'étiage pour qui les enjeux potentiels sont forts (**cf. tableau 15**).

	Population desservie en eau potable ¹	Nombre d'emploi de l'industrie ²	Nombre d'emploi de service ³
Bilan sur l'ensemble des tronçons réalimentés	6 420 000	357 000	3 450 000
Bilan en dehors des zones réalimentées	6 000 000	310 000	1 870 000
Soit, en pourcentage par rapport au total :	48%	47%	35%

Tableau 15 : Synthèse des enjeux des autres usages économiques et de l'alimentation en eau potable quantifiés à l'échelle de chaque tronçon (sources : SIPSEA 2018, INSEE 2018, Eau de Paris, SEDIF, données AESN)

¹ La population desservie correspond à la population au sein des périmètres de desserte des services d'eau potable bénéficiant du soutien d'étiage.

² Les emplois de l'industrie correspondent au nombre de postes salariés des établissements des secteurs industriels classiques (correspondant aux établissements des branches C1, C2, C3, C4, C5, d'après la nomenclature NAF rév.2 A17) et de la construction bénéficiant du soutien d'étiage.

³ Les emplois de service correspondent au nombre de postes salariés des établissements des autres secteurs (i.e. les établissements hors branches C1, C2, C3, C4, C5, d'après la nomenclature NAF rév.2 A17) desservis en eau potable par les services d'eau bénéficiant du soutien d'étiage.

La prise en compte de la population et des emplois ne bénéficiant pas du soutien d'étiage est une question centrale s'il devient stratégique de basculer leurs besoins en eau sur les axes réalimentés pour soulager les ressources non réalimentées.

Par ailleurs, certaines industries agro-alimentaires, comme les industries de mise en bouteille ou de préparations glacées, sont particulièrement sensibles aux sécheresses et voient leurs besoins en eau augmenter lorsque la sévérité de celles-ci augmente. Or l'industrie agro-alimentaire représente 6 400 de ces établissements (source : INSEE 2018), dont 45% ne bénéficient pas du soutien d'étiage, soit via l'AEP, soit via un prélèvement dans la ressource. Dans ce contexte, une priorisation des usages de l'eau pour viser une sécurisation alimentaire et de l'eau potable est à engager sur les bassins non réalimentés, sur lesquels un risque de déficit de la ressource est mis en évidence.

En ce qui concerne l'irrigation, il est central d'étudier les possibilités pour améliorer sa résilience, en s'appuyant sur les hypothèses d'évolution des besoins en eau pour l'irrigation.

En conclusion, deux échelles de réflexion sont possibles pour identifier les actions à mener pour réduire la sensibilité des usages à la ressource en eau : sur tout le bassin, ou sur des bassins où des enjeux sont identifiés (sur les bassins non réalimentés notamment). Pour justifier ce choix, un bon niveau de connaissance sur les enjeux et leur sensibilité est requis.

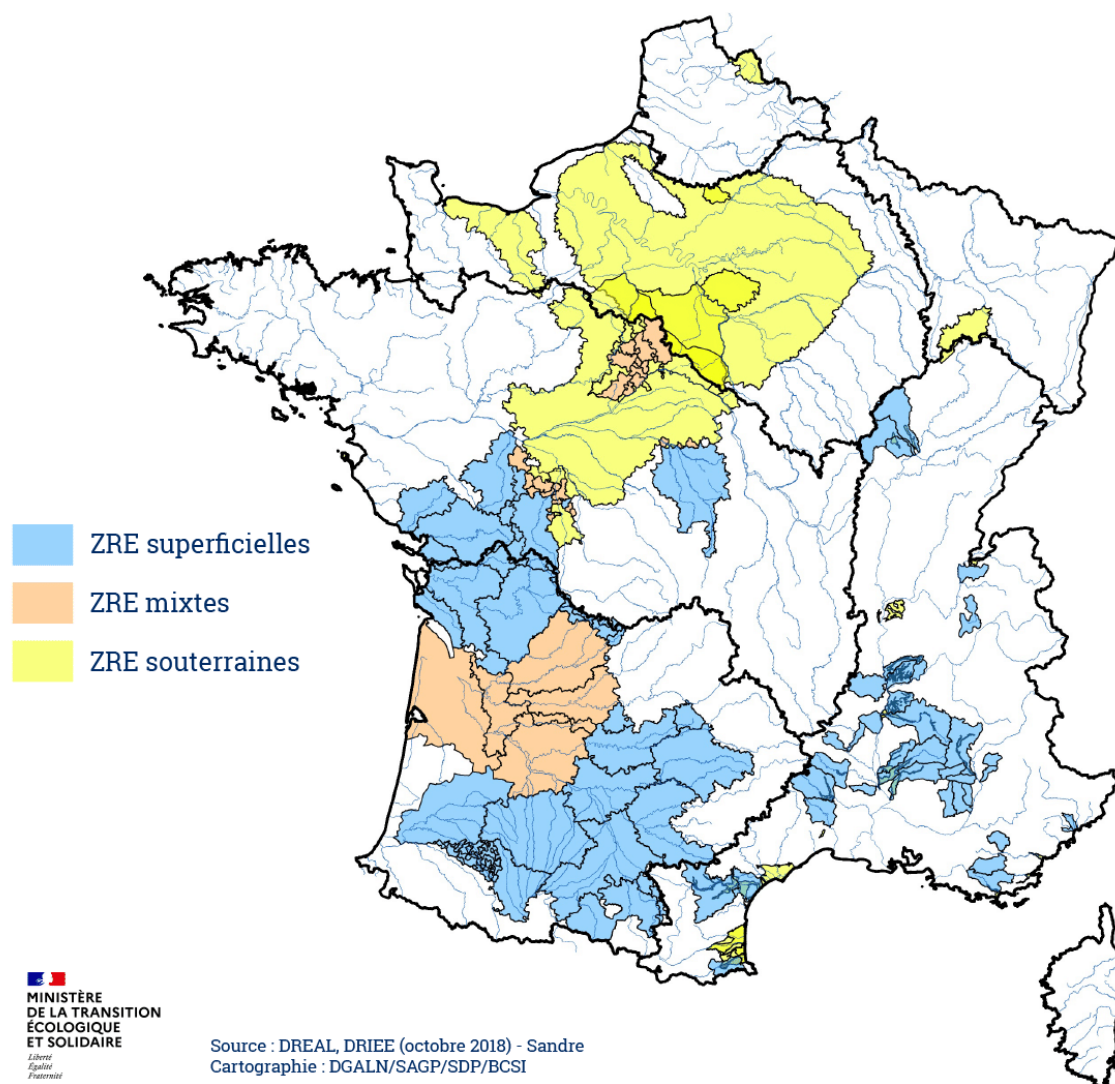
Les actions déjà mises en œuvre et les propositions concourant à réduire la sensibilité des usages restent à moduler en fonction des simulations futures sur le territoire, tout n'étant pas du ressort de l'EPTB, mais plus de l'Agence de l'eau voire de l'Etat.

4.3.2 La planification des volumes prélevables

En France, dans les zones de répartition des eaux fixées par décret, la gestion quantitative doit aujourd'hui s'inscrire dans une démarche de planification dite des volumes prélevables. Il s'agit de contenir le niveau des prélèvements et consommation à un niveau compatible avec les ressources disponibles, naturelles et artificielles. Dans le bassin de la Seine, cette planification ne concerne pas (encore) les eaux superficielles en raison de l'équilibre actuel.

Dans le cas des axes réalimentés par l'EPTB il est cependant important de rappeler le degré de dépendance des usages à l'action de soutien des débits. Sur les axes non réalimentés, l'aggravation des situations de tensions hydrologiques liée au changement climatique est probable. Cela pourrait renforcer l'attractivité des axes sécurisés par le soutien des débits et induire une concentration des usages autour de ces axes. Cette situation est déjà une réalité sur le bassin de la Seine. Pour les axes réalimentés, cet effet antagoniste des politiques d'économie d'eau doit être anticipé par un cadrage raisonné des futurs prélèvements.

Les Zones de Répartition des Eaux (ZRE)



4.3.3 La révision des seuils de gestion une nécessité pour demain qui se prépare aujourd'hui : une co-adaptation avec la ressource

L'arrêté définissant les objectifs de débits à l'aval des lacs-réservoirs pris en compte dans cette étude est l'« arrêté n°201503-0014 préconisant des mesures coordonnées de gestion de l'eau sur le réseau hydrographique du bassin Seine-Normandie en période de sécheresse et définissant des seuils sur certaines rivières du bassin entraînant des mesures coordonnées de limitation provisoire des usages de l'eau et de surveillance sur ces rivières et leur nappe d'accompagnement ». Cet arrêté définit les mesures coordonnées de gestion du système hydrographique du bassin Seine-Normandie. Il précise notamment les seuils de débit utilisés pour le déclenchement des mesures de gestion de l'eau. Cet

Les seuils actuellement définis sont basés sur des VCN3 (débit moyen minimum sur 3 jours consécutifs) à partir des chroniques de débits observés sur certaines stations hydrométriques d'intérêt (pour lesquels ces seuils sont fixés). La période de référence s'arrête d'une manière générale à l'année 2006 incluse.

Des évolutions récentes de la réglementation qui ne modifient pas les valeurs seuils

Suite aux importants épisodes de sécheresse des dernières années, il est apparu essentiel au niveau national de mieux coordonner les dispositifs de gestion de crise. Ainsi, le décret n°2021-795 du 23 juin 2021, relatif à la gestion quantitative de la ressource en eau et à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse, a renforcé le dispositif de gestion de crise sécheresse dans un objectif d'harmonisation des pratiques, d'efficacité et d'équité des mesures. Dans ce cadre, l'arrêté inter-préfectoral définissant, pour Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne, des restrictions temporaires des usages de l'eau en période de sécheresse a fait l'objet d'une révision afin d'intégrer les évolutions réglementaires, en conformité avec l'arrêté d'orientations pour la mise en œuvre coordonnée des mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau en période de sécheresse sur le bassin Seine-Normandie du 22 février 2022. L'arrêté-cadre interdépartemental définissant, pour Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne, des restrictions temporaires des usages de l'eau en période de sécheresse fait l'objet d'une révision en 2022.

D'un point de vue quantitatif, l'établissement de ces seuils permet une uniformisation de la méthode sur l'ensemble du bassin. Elle reste cependant fortement dépendante des chroniques des débits mesurés aux stations (et donc sous influence de la gestion des lacs-réservoirs). C'est donc un indicateur de « constat ».

De plus la moyenne sur 3 jours peut induire certains biais, lors de manœuvres ponctuelles d'ouvrages hydrauliques par exemple. Enfin, trois jours est inférieur au temps de propagation depuis les ouvrages, ce qui limite l'intérêt de mesures d'optimisation de la gestion. Sur d'autres bassins français on utilise plus classiquement le VCN10 (débit moyen minimum sur 10 jours consécutifs) ou le QMNA pour limiter la prise en considération d'artefacts potentiels qui peuvent conduire à des sur-réactions.

Certains débits de crise peuvent prendre en compte (notamment pour les têtes de bassin) des débits dits de minimums biologiques historiques mais basés eux aussi sur des historiques de débits (1/10 du module ou QMNA5). En dehors de ces approches « génériques », aucun objectif de qualité (ou de salubrité) ou d'enjeux biologiques expertisés sur des bases écologiques n'est pris en compte pour l'élaboration des débits seuils des stations à l'aval des lacs-réservoirs. Il est donc impossible d'argumenter les conséquences potentielles d'une évolution de ces seuils ou de proposer des solutions alternatives à la gestion par les débits (approches hydromorphologiques par exemple). Ces aspects restent aujourd'hui à approfondir.

Aujourd'hui, la gestion est le résultat des stocks existants, ce que l'on pourrait qualifier d'effet d'aubaine, avec une ampleur quasi unique en France. Demain, il serait logique d'inverser le raisonnement en remettant les objectifs milieu et usages au cœur de la stratégie pour l'étiage. Le graphe suivant illustre pour Paris la variabilité des besoins en stocks théoriques en fonction du seuil de gestion.

Une évolution des débits réglementaires (et objectifs à terme) variables durant la période de déstockage (enjeux moindres en juin, novembre et décembre que de début juillet à fin octobre) peut aussi être envisagée dans une logique d'optimisation du placement de l'eau (que vise-t-on ? Où et quand ?). **Cette évolution sous-entend cependant une revisite complète de la réflexion sur le déstockage des lacs réservoirs. C'est-à-dire que le pilotage des déstockages s'effectuerait dans une logique d'atteinte de débits d'objectifs et non plus comme une tenue de seuils réglementaires, conséquence de la vidange des lacs-réservoirs.**

Ainsi une réflexion sur une révision des seuils de gestion est proposée. L'amélioration des connaissances et l'ajustement des débits de gestion correspond par ailleurs à la disposition 4.4.4 du projet de SDAGE 2022-2027 du bassin de la Seine.

4.3.4 Actions à mener pour la qualité des eaux

Au cours de la phase 2, un certain nombre de mesures d'atténuation engagées de façon préventive en période de sécheresse, réduisant la vulnérabilité des milieux, ont pu être identifiées.

La première des dispositions générales consiste à réduire les pressions notamment polluantes sur les milieux. Cette stratégie qui est au cœur de la directive cadre européenne sur l'eau et de tous les SDAGE ou SAGE, s'appuie cependant pour beaucoup d'indicateurs sur le débit d'étiage. Il est dans cadre extrêmement important de rappeler très régulièrement le caractère artificiellement soutenu des débits. Au-delà des enjeux d'étiages naturels sévères ce mode de gestion n'est pas à l'abri d'une défaillance technique du dispositif de réalimentation.

Parmi les actions concrètes, le SIAAP et VNF, mettent d'ores et déjà en œuvre des dispositifs visant à réduire des incidences sur le risque Oxygène en milieu naturel :

- L'installation d' « îlots de survie » par le SIAAP permettant d'atténuer les déficits en oxygène dissous et d'y maintenir en permanence des conditions compatibles avec la survie piscicole ;
- L'adaptation de l'exploitation des barrages de navigation visant à privilégier les manœuvres de surverses aux manœuvres de sousverses permettant un mélange eau/air de nature à améliorer sensiblement le taux d'oxygène dissous à l'aval des barrages et de nature également à développer des « îlots de survie ».

4.4 Actions de concertation et de communication

4.4.1 Tenue d'ateliers collectifs de réflexion

La révision des courbes de gestion est susceptible d'influencer les activités de très nombreux acteurs du territoire, que ce soient ceux dépendant du soutien d'étiage (voir rapport de phase 2) que ceux bénéficiant des réductions de débits de crue. Ainsi, nous conseillons la tenue d'ateliers thématiques de concertation afin de discuter des différentes solutions énoncées dans les paragraphes précédents.

Ces ateliers pourront par exemple porter sur les thématiques suivantes :

- **Quels objectifs doit viser la gestion quantitative ?** Revisite des objectifs de débits d'étiage aux stations de référence du bassin (pertinence des débits d'objectifs actuellement en place, utilisation de chroniques de débits naturalisés, intégration d'enjeux biologiques et qualitatifs, respect des limites techniques des industriels stratégiques et producteurs d'eau potable, débits variables selon les périodes d'enjeu...) ;
- **Quels niveaux de remplissage permettent la tenue des objectifs de débits d'étiage et maximisent la capacité d'écêtement des crues aujourd'hui et demain ?** Adaptation du niveau de remplissage maximal (et marge de sécurité à prévoir) pour permettre une optimisation du couplage :
 - Capacité d'écêtement des crues en période de fin de printemps / début d'été,
 - Capacité suffisante pour permettre la tenue des objectifs de débits en période estivale ;
- **Quelle gestion en début et en fin d'étiage ?** Adaptation des courbes de gestion pour permettre l'adéquation avec les besoins des étiages précoces et tardifs ;
- **Quels enjeux territoriaux ?** Vision territoriale et stratégique des modifications envisagées. Quels impacts socio-économiques géographiques proches (usagers directs des lacs-réservoirs pour les activités de tourisme...), aval (comparaison des enjeux risques d'inondations / risque sécheresse en aval des lacs réservoirs) et hors du périmètre de l'EPTB (enjeux de qualité à l'aval des rejets parisiens et à l'estuaire) ;
- **Quelle stratégie future de gestion des lacs-réservoirs ?** Les arbres des enjeux permettent d'objectiver les risques socio-économiques et environnementaux en période d'étiage par rapport au niveau de protection qu'offre le soutien d'étiage. Une adaptation de la gestion peut privilégier telle ou telle cible en fonction de la géographie. Une préfiguration « à froid » des situations à risques et des plans de secours permet une meilleure gestion en cas de crise soudaine.
- **Atelier bilan des ateliers précédents et proposition de courbes revisitées.** Suite aux résultats des précédents ateliers, présentation de nouvelles courbes de gestion théoriques avant présentation argumentée à un public élargi.

4.4.2 Validation statistique des hypothèses retenues sur la base des dernières données disponibles

Sur la base des résultats des ateliers thématiques, ou en support par exemple du 2nd atelier, et en fonction de la disponibilité des données, notamment d'hydrologie du futur, il peut être proposée une analyse statistique du type de celle portée dans le cadre de cette étude sur l'analyse des étiages sévères du passé et du futur, des règles de gestion permettant d'affiner et de valider les valeurs et les périodes de débits de remplissage et de déstockage proposées.

4.4.3 Diffusion des connaissances

Les différents retours d'expérience sur des travaux similaires montrent qu'il est important pour le gestionnaire de communiquer sur son fonctionnement et sa position dans la gestion de la ressource en eau actuelle et future. En effet, hormis quelques spécialistes techniques, gestionnaires et personnels de l'administration, peu de gens sont au courant de l'existence même de grands lacs-réservoirs et encore moins du rôle prépondérant de ces derniers dans la sécurisation des personnes et de de l'expression de leurs besoins quotidien. Nous vous incitons donc à l'issue de l'adaptation des courbes de gestion à utiliser les nombreux supports de communication aujourd'hui à disposition pour diffuser le plus largement et le plus pédagogiquement possible les résultats et réflexions ayant permis la révision des courbes.

4.5 Ce qu'il faut retenir des options d'adaptations

Les politiques d'adaptation peuvent se répartir en deux familles :

Des adaptations liées à l'optimisation de la gestion des lacs réservoirs face à des situations de crise :

- Des courbes de gestion mieux adaptées aux enjeux d'étiage
- Nouveaux règlements d'eau (exemple Pannecière 2015)
- Anticipation des risques interannuels par l'analyse hydrogéologique

Des adaptations structurantes du territoire :

- Poursuite de l'amélioration de la connaissance
- Économies d'eau des usages pour réduire la dépendance et l'impact sur la ressource et les milieux
- Révision des objectifs de débit en rivière et évaluation des risques environnementaux en cas de franchissement
- Partage de l'eau (planification de nouveaux prélèvements = volumes prélevables)
- Optimisation de la gestion des ressources existantes (ex : La Cure)
- Renforcement du potentiel de régulation naturelle (recharge des nappes, zones humides, etc.)
- Actions pour la qualité des eaux
- Réflexion sur un nouveau stockage artificiel en cas de non aboutissement des actions précédentes

L'objectif est de réduire la vulnérabilité des usages à une situation d'insuffisance de la ressource en eau naturelle et/ou artificielle. La responsabilité de l'EPTB Seine Grands Lacs est de veiller à l'intégrité opérationnelle des ouvrages impliqués dans le soutien des débits et qui jouent aujourd'hui un rôle stratégique pour le bassin jusqu'à Paris et même en aval. Les changements climatiques renforcent le niveau d'exigence vis-à-vis de l'efficacité de cette gestion. En situation de crise hydrologique grave cette expertise sera précieuse. D'autre part faire mieux en étiage avec moins, dégage des marges pour la prévention des inondations. Notons enfin que les volumes disponibles rendent pas ou peu pertinente l'hypothèse d'une augmentation des stocks sauf pour des objectifs locaux, non identifiés dans cette étude.

Néanmoins, le soutien des débits est aussi l'affaire des usagers bénéficiaires et sécurise la qualité des milieux aquatiques. L'implication des acteurs du bassin est donc nécessaire. Cela suppose une bonne compréhension des enjeux et des éléments de diagnostic scientifique et socio-économiques pour éclairer les décisions. Le débat s'organisera alors autour de la question du partage de l'eau en étiage entre usages et milieux, entre territoires et plus largement du partage des risques hydrologiques entre inondations et sécheresses.