



Stratégie d'adaptation au changement climatique dans le DHI Rhin

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 219



Editeur:

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz

Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz

Téléphone +49-(0)261-94252-0, télécopie +49-(0)261-94252-52

Courriel électronique: sekretariat@iksr.de

www.iksr.org

ISBN 978-3-941994-77-5

© IKS-R-CIPR-ICBR 2015

Stratégie d'adaptation au changement climatique dans le DHI Rhin

Remarque à l'adresse du lecteur

Il s'agit d'un « document évolutif » qui sera développé plus en détail en fonction des connaissances sur le changement climatique et ses incidences.

Sommaire

Synthèse et futures actions prioritaires	3
• Situation de départ	3
• Possibilités d'adaptation aux impacts attendus du changement climatique dans le district hydrographique international (DHI) Rhin	4
• Prise en compte des futures évolutions socio-économiques et association de tous les acteurs	5
1. Introduction	6
1.1 Aperçu général des publications de la CIPR sur le changement climatique	6
1.2 Procédure à suivre dans l'élaboration d'une stratégie d'adaptation au changement climatique dans le bassin du Rhin	7
2. Impacts directs du changement climatique dans le bassin rhénan	8
2.1 Impacts sur le régime hydrologique du Rhin	8
<i>Généralités</i>	8
<i>Evolution au cours du 20^{ème} siècle</i>	9
<i>Evolution au cours du 21^{ème} siècle</i>	9
2.2. Incidences sur la température de l'eau du Rhin	11
3. Impacts des modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur la qualité de l'eau et l'écosystème	14
3.1 Impacts sur la qualité de l'eau	14
<i>Impacts hydrologiques</i>	14
<i>Impacts dus à la température</i>	15
3.2 Impacts sur l'écosystème	15
4. Impacts sur les usages de l'eau	17
5. Champs d'actions envisageables et mesures d'adaptation aux impacts attendus du changement climatique	18
5.1 Principes fondamentaux d'éventuelles mesures d'adaptation	18
5.2 Mesures relatives à la quantité d'eau	19
<i>Gestion des risques d'inondation</i>	19
<i>Gestion des étiages</i>	20
5.3 Mesures envisageables relatives à la qualité de l'eau	20
5.4 Mesures envisageables relatives à l'écosystème	22
5.5 Mesures envisageables relatives aux autres secteurs	23
Annexe 1 : sélection de publications sur l'adaptation au changement climatique disponibles au niveau international et national	25
Annexe 2 : « Valeurs indicatives de sensibilité » - inondations	30
Valeurs d'orientation pour d'éventuelles mesures d'adaptation	30
Annexe 3 : « Valeurs indicatives de sensibilité » - étiages	31

Synthèse et futures actions prioritaires

• Situation de départ

On dispose dans le bassin du Rhin de nombreuses connaissances relatives aux effets déjà observés du changement climatique sur le régime hydrologique au 20^{ème} siècle et sur l'évolution de la température de l'eau depuis 1978. Au cours des dernières années, des simulations rapportées aux échelles ont été réalisées par ailleurs à partir de projections climatiques, ceci pour estimer l'évolution du bilan hydrologique et de la température de l'eau dans le district hydrographique Rhin dans un futur proche (jusqu'en 2050) ou plus éloigné (jusqu'en 2100).

Selon ces simulations, l'évolution jusqu'en 2050 se caractérise par une poursuite de la hausse de la température de l'air de l'ordre de +1 à +2 °C en moyenne sur l'ensemble du bassin du Rhin pour la période comprise entre 2021 à 2050 par rapport à la période 1961-1990.

Jusqu'en 2050, les projections font état d'augmentations modérées des précipitations en hiver. Les précipitations plus abondantes en hiver et plus fréquentes sous forme de pluie que de neige en raison de la hausse des températures, peuvent se traduire par une hausse modérée des débits moyens et d'étiage ainsi que des débits de pointe en aval de Kaub.

Pour l'été, les projections de précipitations ne font pas apparaître de tendance prononcée jusqu'en 2050. Par rapport à la situation actuelle, le débit reste plus ou moins inchangé en été.

D'après les résultats fournis par les chaînes de modélisation analysées, on attend - parallèlement à une hausse de la température de l'air - une augmentation des crues et des événements extrêmes dans le district hydrographique, c'est-à-dire des modifications sensibles du régime hydrologique, qui pourrait s'accroître d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Par ailleurs, la hausse des températures de l'air (les projections font état d'une hausse de l'ordre de +2 °C à +4°C) entraîne des températures de l'eau plus élevées.

Si certaines modifications du **régime des eaux** restent encore modérées dans le futur proche (jusqu'en 2050), leur orientation est plus nette lorsqu'on regarde la fin du siècle en cours :

- a. pendant l'hiver hydrologique :
 - intensification des précipitations en hiver
 - Augmentation des débits
 - Fonte précoce de la neige/de la glace/du permafrost, décalage de la limite de chute des neiges
- b. pendant l'été hydrologique :
 - baisse des précipitations (mais risque de fortes précipitations en été)
 - baisse des débits
 - augmentation des périodes d'étiage
- c. Augmentation de crues de petite et de moyenne ampleur. Une augmentation des débits de pointe de crues rares est concevable, mais son ordre de grandeur n'est pas quantifiable avec la fiabilité requise.

Pour l'avenir proche, les simulations montrent que le nombre de jours où la **température de l'eau** dépassera 25 °C augmentera par rapport à la situation de référence et que cette augmentation peut même doubler en présence d'un faible débit (Qmin). Pour l'avenir éloigné, le nombre de jours avec dépassement de 25 °C augmentera fortement. Ce constat vaut également pour le futur éloigné pour le dépassement d'une température de 28 °C.

Ces impacts envisageables du changement climatique rendent nécessaire une adaptation de la gestion des eaux. Dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, ces mesures d'adaptation de la gestion des eaux doivent être vues dans le contexte des mesures d'autres secteurs et de leurs interactions.

Les éléments en relation avec la prévention des inondations figurent dans le premier Plan de gestion des risques d'inondation (PGRI) du DHI 'Rhin', partie A, ceux plus spécialement en relation avec les étiages dans le second Plan de gestion (PdG) du DHI 'Rhin', partie A.

Surveillance et contrôle périodique des connaissances

Pour recenser les futures évolutions dans le secteur de la gestion des eaux, il est indispensable de poursuivre la surveillance intense des débits, de la température de l'eau et de la qualité (chimique et biologique) des eaux dans le DHI Rhin. Les programmes et réseaux d'analyse doivent être ajustés en cas de besoin.

Les connaissances sur les modifications dues au changement climatique disponibles dans le DHI Rhin, obtenues à partir de différentes études de scénarios, doivent être mises à jour au fil des nouvelles connaissances. Cette mise à jour devrait se faire en relation avec les nouveaux enseignements du GIEC et en conformité avec les cycles de 6 ans importants pour la mise en œuvre des directives européennes dans les districts hydrographiques (2021, 2027).

• **Possibilités d'adaptation aux impacts attendus du changement climatique dans le district hydrographique international (DHI) Rhin**

Les mesures d'adaptation en matière de gestion des eaux devraient viser à garantir, même dans le contexte du changement climatique, les fonctions fondamentales de protection et d'utilisation des eaux. Sont ici certes concernés en premier lieu les activités de gestion des eaux, mais également les projets d'aménagement du territoire et les plans d'urbanisme quand il s'agit de mesures surfaciques.

Il est important de viser alors à intégrer toutes les mesures prévues dans les divers secteurs de protection et d'usages et de les ajuster au niveau national et transfrontalier (international).

1. Poursuivre et intensifier les mesures de prévention, préparation et gestion de crise, sur la base des mesures figurant dans le PAI et prévues dans les plans de gestion des risques d'inondation nationaux et régionaux pour réduire le risque d'inondation actuel. En regard de l'augmentation attendue des crues et la formation éventuellement plus fréquente de crues extrêmes, les mesures prévues pour créer plus d'espace pour la rétention (temporaire) des crues gagnent en importance, tout comme les mesures de sensibilisation du public et de prévention des inondations ;
2. Accorder une plus grande importance à la protection et la préservation de surfaces exposées au risque d'inondation dans les zones urbaines et à la rétention décentralisée des eaux sur toute la surface du bassin du Rhin ;
3. Prendre en compte les mesures mentionnées ci-dessus dans la mise au point du Plan de gestion des risques d'inondation à établir au titre de la DI (2015) et dans son actualisation (2021) et en combinaison avec le 3^{ème} Plan de gestion DCE ;
4. Elaborer et mettre à disposition des mesures de prévention dans le secteur de la gestion des eaux pour faire face à des périodes d'étiage critiques (en tenant compte des problèmes de quantité d'eau et de température), ajuster ces mesures au niveau transfrontalier ;
5. Restaurer/promouvoir des cours d'eau si possible naturels et mettre en réseau les habitats, comme ceci est prescrit dans les objectifs environnementaux de la DCE. Il convient de tirer profit d'effets synergiques et de les renforcer ;

6. Prendre en compte les évolutions socio-économiques dans les mesures de gestion des eaux et procéder à un ajustement avec les mesures prises dans d'autres secteurs (approvisionnement en eau potable, prélèvement d'eau, production d'électricité, navigation, agriculture, pêche et activités récréatives).

- **Prise en compte des futures évolutions socio-économiques et association de tous les acteurs**

En regard des évolutions projetées pour l'avenir, il sera nécessaire de développer des stratégies d'adaptation spécifiques au niveau régional. Celles-ci doivent cependant se fonder sur des connaissances aussi détaillées et concrètes que possible sur les modifications de la gestion des eaux.

Les usages et la protection du Rhin et de ses affluents doivent être durablement mis en équilibre afin de ne pas compromettre les usages et les activités des générations futures. Ceci est particulièrement important car les problèmes existants seront probablement renforcés par les impacts du changement climatique. On sait par ailleurs que l'activité humaine a un impact sur les débits. Cet impact a augmenté au fil du temps et on ne connaît pas son évolution future du fait du manque de connaissances sur l'évolution des facteurs socio-économiques.

Les éléments essentiels de stratégies nationales ou internationales déjà publiées sur le changement climatique (voir annexe 1) ont été pris en compte dans la mise au point de ce document lorsqu'ils étaient pertinents pour le bassin du Rhin.

Pour développer plus en détail la stratégie CIPR d'adaptation au changement climatique et pour renforcer l'adhésion publique à la réalisation des mesures dans les domaines les plus divers, il convient de promouvoir les échanges avec les principaux acteurs et utilisateurs (par ex. dans les secteurs de l'agriculture, de l'aménagement du territoire, de la navigation, de l'énergie et de la production d'eau potable etc.) et avec les ONG observatrices au sein de la CIPR, ainsi que les interactions avec le grand public.

On peut envisager différentes possibilités d'associer plus étroitement les stakeholders ou le public :

- participation active et coopération avec des observateurs reconnus, par ex. les ONG ou d'autres organisations (par ex. la CCNR – Commission centrale pour la navigation du Rhin, des commissions de bassin) au sein des organes de la CIPR ;
- il pourrait être envisagé de réunir dans un nouveau groupe de projet (GP) KLIMA des représentants de différents secteurs afin d'élargir le champ des connaissances techniques et répondre à des besoins spécifiques d'investigation ;
- échanges réguliers d'informations sous forme de projets communs, ateliers, etc.
- sensibilisation du public ou d'autres acteurs via la communication, le matériel d'information, le site internet de la CIPR.

1. Introduction

En se fondant sur le 4^{ème} rapport de situation 2007 du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) disponible à l'époque, la **Conférence ministérielle sur le Rhin 2007** a souligné que les effets du changement climatique étaient déjà nettement visibles dans le secteur de l'eau et que les précipitations allaient évoluer à l'avenir, laissant attendre dans l'Europe du Nord-Ouest des crues modifiées en fréquence ou intensité, des phases prolongées d'étiage, des températures plus élevées des eaux de surface et des changements de recharge des nappes d'eau souterraines, d'ampleur variable selon les régions. Des crues modifiées en fréquence ou intensité, des phases prolongées d'étiage, des températures plus élevées des eaux de surface et des changements de recharge des nappes d'eau souterraines, d'ampleur variable selon les régions, sont attendues dans l'Europe du Nord-Ouest. Ces modifications ne portent pas seulement sur la gestion des eaux, mais aussi sur l'utilisation des eaux et l'occupation des sols.

Les modifications de paramètres climatiques ont une influence sur les processus hydrologiques et, par là même, sur le régime hydrologique des bassins, sous-bassins et cours d'eau. En outre, les modifications des températures de l'air se répercutent également sur le régime thermique des eaux.

La Conférence ministérielle sur le Rhin 2007 a souligné qu'il était nécessaire de mettre au point des **stratégies d'adaptation au changement climatique dans le secteur de la gestion des eaux** parallèlement aux mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle a donc chargé la CIPR de mettre au point dans un premier temps une stratégie d'adaptation au changement climatique devant permettre de faire face aux modifications du régime hydrologique et des températures attendues au 21^{ème} siècle dans le district hydrographique international Rhin. Une deuxième étape consistera à représenter les répercussions de ces modifications sur la gestion des eaux, l'utilisation des eaux et l'occupation des sols, ainsi que sur tous les autres secteurs importants en relation avec l'eau dans le bassin du Rhin. Il convient donc de mettre au point et d'ajuster les mesures d'adaptation envisageables à un niveau pluridisciplinaire.

La **Conférence ministérielle sur le Rhin 2013** a chargé la CIR de mettre au point en **2014** une **stratégie préliminaire d'adaptation au changement climatique** pour le bassin rhénan basée sur l'évaluation des études disponibles sur le régime hydrologique (crues et étiages) et thermique. Dans ce cadre, il convient de mettre au point des approches de prévention prospectives et durables dans le secteur de la gestion des eaux et d'examiner des propositions de mesures d'adaptation aux effets attendus du changement climatique ajustées aux mesures de gestion existant dans les Etats/régions.

Le chapitre 2 du présent rapport rassemble les informations disponibles dans le bassin du Rhin relatives aux effets possibles du changement climatique sur le régime hydrologique du Rhin (chapitre 2.1) et sur la température de l'eau (chapitre 2.2).

Les répercussions sur la qualité des eaux et sur l'écosystème figurent au chapitre 3. Le chapitre 4 décrit les impacts sur les utilisations actuelles de l'eau.

Le chapitre 5 contient des champs d'actions envisageables et des mesures d'adaptation aux impacts attendus du changement climatique comme base d'une stratégie d'adaptation.

1.1 Aperçu général des publications de la CIPR sur le changement climatique

1. **Rapport CIPR n° 174** : Analyse bibliographique intitulée « Analyse des connaissances actuelles relatives aux modifications climatiques et aux impacts du changement climatique sur le régime hydrologique dans le bassin du Rhin », 2009
2. **Rapport CIPR n° 188** : Etude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin, 2011
3. **Rapport CIPR n° 198** : Périodes d'étiage en 2011 dans le bassin du Rhin, 2012

4. **Rapport CIPR n° 204** : Etat des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et actions envisageables, 2013
5. **Rapport CIPR n° 209** : Présentation de l'évolution des températures de l'eau du Rhin sur la base de températures mesurées et validées de 1978 à 2011, 2013
6. **Rapport CIPR n° 213** : Estimation - sur la base de scénarios climatiques - des impacts du changement climatique sur l'évolution des futures températures de l'eau - version courte - 2014
7. **Rapport CIPR n° 214** : Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development, 2014

L'annexe 1 présente une sélection de sources bibliographiques sur l'adaptation au changement climatique au niveau international et national.

1.2 Procédure à suivre dans l'élaboration d'une stratégie d'adaptation au changement climatique dans le bassin du Rhin

Comme pour la coordination de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE, directive 2000/60/CE) et celle de la directive européenne sur la gestion des risques d'inondation (DI, directive 2007/60/CE) dans le cadre de la CIPR, le présent document s'applique au réseau hydrographique partie A (partie A = sous-bassins > 2 500 km²).

La stratégie d'adaptation au changement climatique dans le bassin du Rhin a vocation à appuyer les activités à l'échelle de sous-bassins internationaux (Moselle-Sarre par ex.) ou à une échelle nationale ou régionale.

Les Groupes de travail de la CIPR ont analysé les impacts spécifiques possibles sur les enjeux et leur sensibilité ainsi que sur les risques dans les domaines de la gestion quantitative, qualitative et écologique des eaux. Pour cette analyse, les Groupes de travail ont tiré les enseignements des études susmentionnées (modifications observées des paramètres climatiques et scénarios sous forme de projections des modifications (fourchettes) et les ont examinés plus en détail pour leurs domaines respectifs. Il a été procédé à un échange de vues entre les Groupes de travail de la CIPR dans le cadre de réunions interdisciplinaires et avec la participation d'organisations intergouvernementales (OIG) et d'organisations non gouvernementales (ONG).

Lors d'un atelier de la CIPR ayant rassemblé env. 80 experts dans un cadre multidisciplinaire les 30 et 31 janvier 2013, les impacts attendus du changement climatique sur les différents secteurs de la gestion des eaux ont été présentés et des approches de solutions envisageables ont été examinées. Les résultats de cet atelier se retrouvent dans le présent document.

Les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation envisageables sont à prendre en compte dans les produits qu'élabore la CIPR pour mettre en œuvre la directive cadre 'Eau', la directive sur la gestion des risques d'inondation et le programme Rhin 2020. La stratégie CIPR d'adaptation au changement climatique peut également être d'intérêt en ce sens et utilisée notamment pour les parties internationales des plans. Les approches dites 'gagnant-gagnant'¹ ou 'sans regret'² sont à placer au premier plan en toute occasion possible.

Il faut tout particulièrement veiller à améliorer les connaissances, par ex. au niveau de la précision des scénarios climatiques, de l'évolution des rejets thermiques et des analyses coûts/bénéfice.

En regard des évolutions attendues, il convient également d'accorder une plus grande attention aux étiages, notamment en été lorsqu'ils peuvent être accompagnés de températures d'eau élevées.

¹ Mesures 'gagnant-gagnant' : mesures servant simultanément plusieurs objectifs

² Mesures 'sans regret' : mesures ayant un effet positif dans tous les cas

2. Impacts directs du changement climatique dans le bassin rhénan

Les modifications de paramètres climatiques ont une influence sur les processus hydrologiques et, par là même, sur le régime hydrologique des sous-bassins et de l'hydrosystème dans son ensemble et sur le régime thermique des eaux.

2.1 Impacts sur le régime hydrologique du Rhin³

Généralités

Après avoir réalisé une analyse bibliographique (rapport CIPR n° 174, 2009), la CIPR a publié en juillet 2011 les résultats de l' « Etude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin » (rapport CIPR n° 188). L'étude de scénarios a été établie en étroite coopération avec la Commission pour l'Hydrologie du Rhin (CHR) qui a piloté le projet « RheinBLick2050. Elle fournit, pour la première fois à l'échelle d'un grand bassin fluvial international, des projections modélisées concrètes de débits à un horizon proche (d'ici 2050) et plus lointain (d'ici 2100) rapportées à des échelles représentatives du Rhin et de la Moselle.

Le régime hydrologique désigne l'ensemble des variations de débit d'un cours d'eau rapportées à une moyenne interannuelle ainsi que les évolutions caractéristiques des crues et des étiages extrêmes (Belz et al., 2007). Différents régimes hydrologiques se superposent dans le bassin du Rhin (figure 1).

Le tronçon méridional, proche des Alpes (échelle de Bale) est influencé par l'alternance d'une rétention d'eau par formation d'un revêtement neigeux en hiver et d'une fonte de neige et des précipitations relativement abondantes en été (« régime nival »). Il en résulte l'apparition de situations d'étiage principalement en hiver et de crues principalement en été.

Un « régime pluvial » caractérise quant à lui les rivières drainant les eaux des zones de hautes terres (Neckar, Main, Nahe, Lahn, Moselle etc. ; échelle de Trèves). Ici, les crues dominent en hiver et les étiages en été.

La superposition de ces deux régimes régularise progressivement dans la partie plus en aval du Rhin la répartition du débit sur l'année (« régime combiné » ; échelle de Cologne).

³ Cf. rapport CIPR n° 188

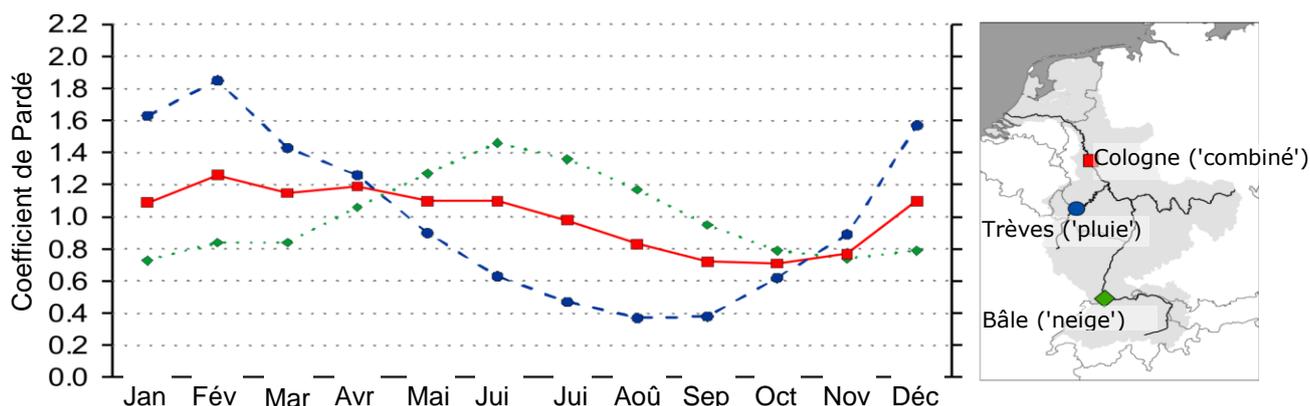


Figure 1 : Régime hydrologique typique du bassin du Rhin selon Pardé⁴ ; période de référence 1961-1990 (vgl. IKSr-Bericht Nr. 188)

Evolution au cours du 20^{ème} siècle⁵

Les précipitations accusent une hausse en hiver sur l'ensemble du bassin du Rhin (de +10% à +20%). Cette augmentation est un peu plus faible dans les Alpes. Les précipitations estivales évoluent peu (de -5% à +5%).

Les paramètres de débit (MQ⁶, NM7Q⁷) font logiquement apparaître des tendances à la hausse en hiver aux échelles situées sur le cours principal (le plus souvent +10% à +15% pour MQ ; +15% à +20% pour NM7Q). On note en été des baisses de MQ et NM7Q pouvant atteindre 8%. Ce phénomène résulte essentiellement de l'impact de températures en hausse (évaporation accrue) en combinaison avec une stagnation des précipitations et une baisse simultanée des volumes des neiges dans les Alpes.

Le débit de crue moyen (MHQ), qui a été évalué sur l'année hydrologique dans son ensemble (de nov. à oct.), met en évidence une hausse de l'ordre de +10%. Une analyse plus détaillée des données montre que ceci ne semble pas être dû à une augmentation des débits de pointe extrêmes⁸ mais dans une beaucoup plus grande mesure à la fréquence rapprochée de crues de moyenne et de grande amplitude.

Evolution au cours du 21^{ème} siècle

Selon les projections disponibles, l'évolution des températures par rapport à l'état actuel (1961-1990) se caractérise par une poursuite de la hausse de température qui pourrait atteindre entre +1 et +2°C en moyenne sur l'ensemble du bassin du Rhin pour la période comprise entre 2021 et 2050 et environ +2 à +4°C pour la période 2070-2100. Elle est plus prononcée en tendance dans le sud (Alpes) que dans le nord.

Si on ne relève pas de changement notable dans le régime des précipitations en été pour la période 2021 - 2050, on doit s'attendre à des baisses pour la période 2071-2100. Les projections font état d'augmentations restant modérées en hiver et comprises entre 0% et +15% sur l'ensemble du Rhin pour la période 2021-2050 et de l'ordre de +5% à +20% pour la période 2071-2100. Les tendances identifiées pour le 20^{ème} siècle au niveau des modifications des précipitations se poursuivent.

⁴ Coefficient de Pardé = rapport du débit mensuel moyen au débit interannuel moyen.

⁵ Comparaison entre les observations faites sur la période 1901-1930 et celles de la période 1971-2000

⁶ Moyenne arithmétique de tous les débits journaliers d'intervalles similaires (par ex. semestres hydrologiques, mois) de la période considérée (par ex. période 2021-2050)

⁷ Moyenne arithmétique la plus faible du débit de 7 jours sur des intervalles similaires (par ex. semestres hydrologiques) de la période considérée (par ex. période 2021-2050).

⁸ Ici : les débits journaliers moyens les plus élevés

Ces évolutions du régime des précipitations se traduisent par des modifications globalement modérées du régime d'écoulement du Rhin dans le futur proche. Les plages de débit moyen et de débit d'étiage (MQ et NM7Q) restent pratiquement inchangées en été pour la période 2021-2050 par rapport à celles que l'on connaît actuellement. Les simulations sur la période 2071-2100 débouchent sur des baisses des débits moyens et d'étiage d'été (généralement entre -10% à -25%).

Les précipitations plus abondantes en hiver, qui tombent dans une mesure croissante sous forme de pluie plutôt que de neige en raison de la hausse des températures, entraînent pour la période 2021-2050 une augmentation des débits moyens et d'étiage avoisinant en moyenne +10% (fourchette de 0 à +20% pour MQ et de 0 à +15% pour NM7Q) au cours du semestre d'hiver. Dans la plupart des cas, on relève pour les débits de crue en aval de l'échelle de Kaub des fourchettes d'évolution comprises entre -5% et +15% pour les crues « fréquentes », 0% et +20% pour les crues « moyennes » et -5% et +25% pour les crues « extrêmes ». Pour Bâle, Maxau et Worms, les déficits inhérents aux méthodes font que l'on s'abstient encore de toute déclaration pour HQextrême dans le cadre du projet KLIWA.

L'augmentation du débit moyen et du débit d'étiage en hiver entre 2071 et 2100 correspond à celle des précipitations par bassin. Les augmentations des débits de pointe se poursuivent comme pour l'avenir proche.

La figure 2 présente ces tendances pour le débit mensuel moyen à l'échelle de Cologne.

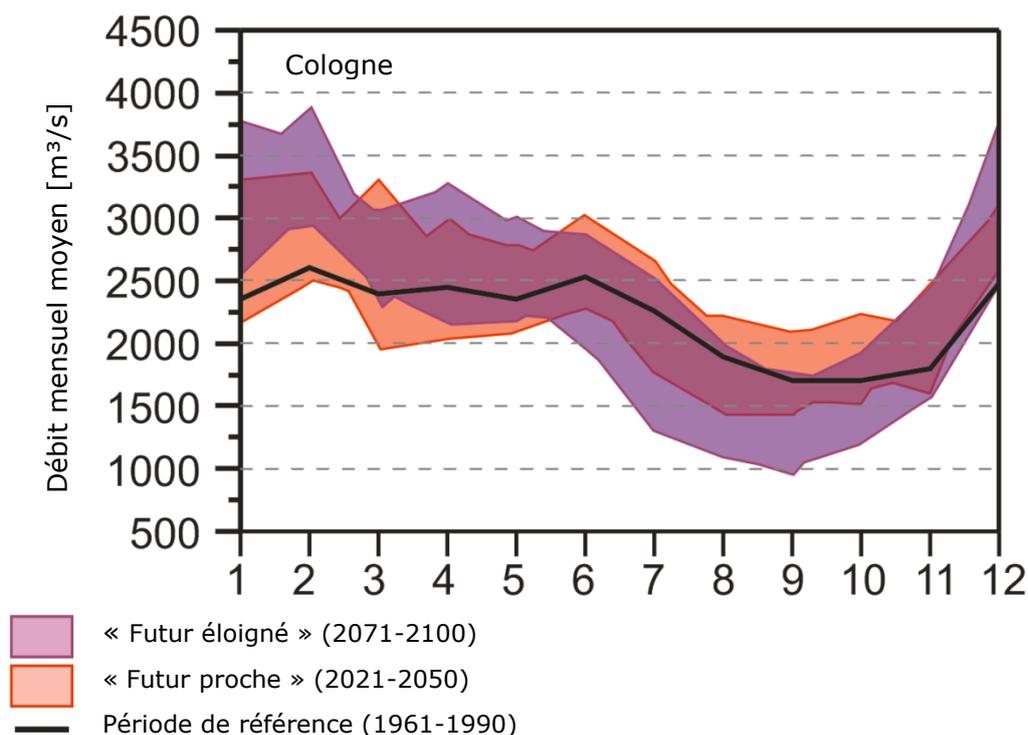


Figure 2 : fourchette de débits moyens simulés à l'échelle de Cologne - projections climatiques pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 et une simulation de référence (1961-1990) Données : CHR-Rheinblick2050 (2010) ; graphique : BfG-M2 (2014).

Les résultats détaillés peuvent être tirés des tableaux 4 et 5 de « l'Etude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin » (rapport CIPR n° 188).

En résumé, les connaissances disponibles montrent que le changement climatique, qui se manifeste par de températures croissantes, pourrait se traduire jusqu'en 2050 et éventuellement jusqu'en 2100 par les modifications suivantes des précipitations et des débits dans le bassin du Rhin : Certaines modifications sont encore modérées si l'on tient compte du futur proche, mais la direction dans laquelle pourrait s'engager cette modification est claire lorsque l'on analyse la situation à la fin du 21^{ème} siècle.

- a. pendant l'hiver hydrologique :
 - intensification des précipitations en hiver
 - Augmentation des débits
 - Fonte précoce de la neige/de la glace/du permafrost, décalage de la limite de chute de neige
- b. pendant l'été hydrologique :
 - baisse des précipitations (mais risque de fortes précipitations en été)
 - baisse des débits
 - augmentation des périodes d'étiage
- c. Augmentation de crues de petite et de moyenne ampleur. Une augmentation des débits de pointe de crues rares est concevable, mais son ordre de grandeur n'est pas quantifiable avec la fiabilité requise.

Les **annexes 2 et 3** regroupent des tableaux regroupant des fourchettes des modifications éventuelles de débit (en pourcentage) pour différents paramètres hydrologiques. Ces fourchettes montrent les éventuels impacts du changement climatique à hauteur de différentes échelles du Rhin dans le futur proche jusque fin 2050.

Dans les tableaux, ces fourchettes sont mises en relation avec d'autres paramètres statistiques afin d'illustrer clairement les conditions auxquelles sont soumis différents usages des eaux, et plus particulièrement pour les autorités compétentes. La comparaison avec les conditions générales permet ainsi d'estimer les répercussions envisageables du changement climatique sur les différents types d'usage.

2.2. Incidences sur la température de l'eau du Rhin

Il est démontré que la température moyenne de l'eau a augmenté d'env. 1°C à 1,5°C de 1978 à 2011 (voir rapport CIPR n° 209).

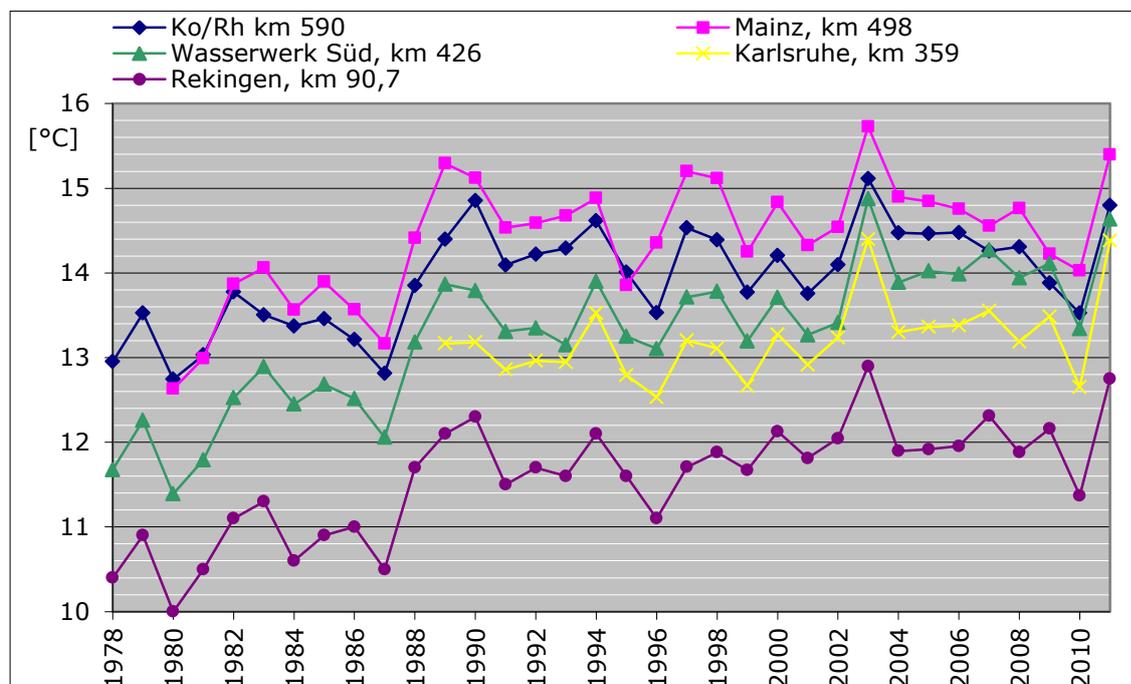


Fig. 3 : moyenne annuelle des températures de l'eau du Rhin de 1978 à 2011 au droit de cinq stations d'analyse du haut Rhin, du Rhin supérieur et du Rhin moyen. Source: Rapport CIPR n° 209

Au niveau régional (entre Bâle et Worms) , les rejets thermiques anthropiques contribuent au rehaussement de la température de l'eau (par ex. hausse de 1 °C à 1,4 °C concrètement mesurable dans le bassin du Rhin supérieur). L'évolution de la température de l'eau - sans prise en compte des rejeteurs thermiques - fait apparaître un réchauffement progressif sur le tronçon du Rhin de Bâle à Werkendam. La mise hors service de centrales nucléaires dans le bassin du Rhin s'est traduite par un recul mesurable de la hausse moyenne de la température de l'eau et pourrait avoir eu un impact sur les températures extrêmement basses constatées au cours de l'hiver 2011/2012 (inférieure à 3°C pendant 11 jours). Il faut cependant attendre les futures évolutions, ce constat ne reposant que sur une année d'observation.

Les dépassements de seuils de température donnés, par ex. 22 °C ou 25 °C, font apparaître une hausse sensible du nombre de jours de dépassement par an au cours de la dernière décennie par rapport aux deux décennies précédentes (voir figure 4).

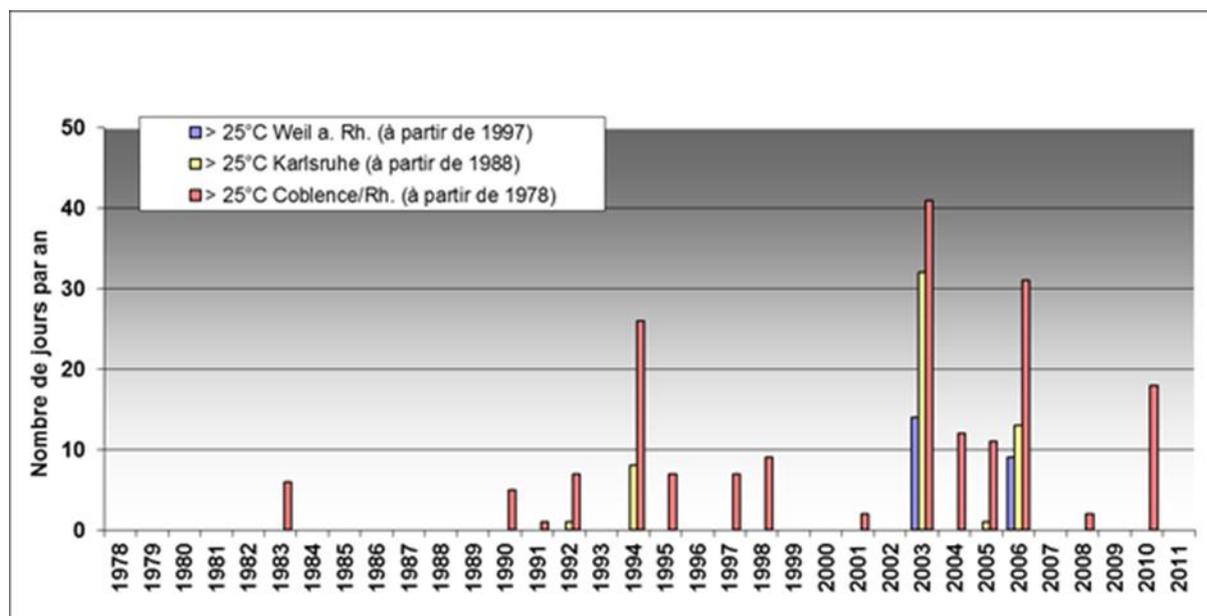


Fig. 4 : temps de dépassement de la TE Rhin de 25 °C au cours des trois dernières décennies. Source: Rapport CIPR n° 209

En complément du rapport sur l'évolution des températures de l'eau du Rhin de 1978 à 2011 (rapport CIPR n° 209, 2013), la CIPR a mis au point, pour la première fois à l'échelle d'un bassin fluvial européen, un rapport sur **l'estimation des conséquences du changement climatique sur l'évolution** future proche (d'ici 2050) et plus lointaine (d'ici 2100) **des températures de l'eau du Rhin** (cf. rapports CIPR n° 213 en version courte et n° 2014 en version longue). Cette estimation se fonde sur les scénarios climatiques fixés dans l'étude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin (voir rapport CIPR n° 188).

Pour l'avenir proche « Near Future noté NF » (2021-2050), les profils longitudinaux montrent une hausse de la température moyenne de l'eau en août d'environ 1,5 °C par rapport à la période de référence (2001-2010). Pour le futur éloigné « Far Future noté FF » (2071-2100) en revanche, on note une hausse des températures moyennes dans le Rhin en août de l'ordre de 3,5 °C (voir figure 5). Dans les deux cas, l'échauffement est d'origine climatique, sans effet additionnel des rejeteurs thermiques (voir rapport CIPR n° 214 - version longue - et n° 213 - version courte -).

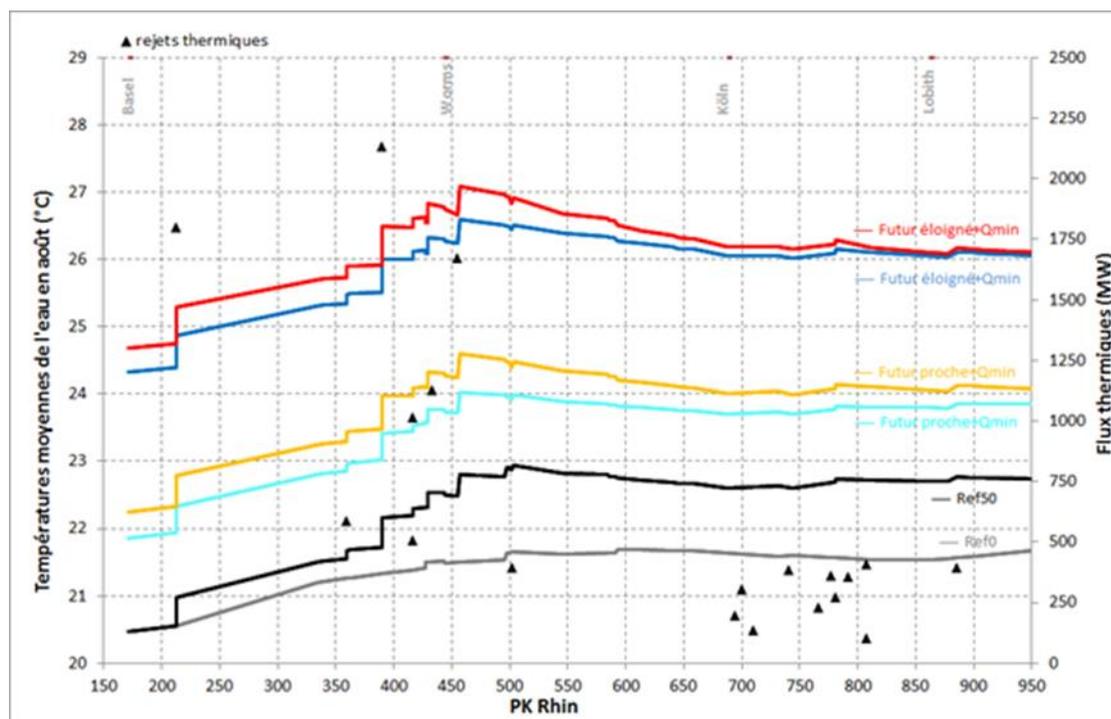


Figure 5 : profil longitudinal des températures moyennes de l'eau du Rhin en °C pour le mois d'août, simulées à l'aide de LARSIM (Bâle-Worms) et SOBEK (Worms-Werkendam)

Source : rapports CIPR n° 213 et n° 214, triangles = rejets thermiques > 200 MW

La figure 6 (voir rapport CIPR n° 213) montre le nombre moyen de jours par an au cours desquels, conformément aux simulations, la température de l'eau sera supérieure à 25 °C.

- Pour l'avenir proche, les simulations montrent que le nombre de jours où la température de l'eau dépassera 25 °C augmentera par rapport à la situation de référence intégrant 50% des rejets thermiques autorisés en 2010⁹ (Ref50) et que cette augmentation peut même doubler en présence d'un faible débit (Qmin).
- Pour l'avenir éloigné, le nombre de jours avec dépassement de 25 °C augmentera fortement. A hauteur de Worms par ex., le nombre de jours de dépassement par an passera de 11 à un chiffre compris entre 64 et 74 dans le futur éloigné. Ceci revient à dire pour le futur éloigné que la température de l'eau dépassera les 25 °C en moyenne pendant environ 10 semaines en été à Worms.
- en revanche, de telles années sans dépassement d'une température de 25°C seront très rares dans le futur éloigné. Ce constat vaut également pour le futur éloigné pour le dépassement d'une température de 28 °C.

Des calculs ont été effectués en outre pour déterminer le nombre de jours où la température passe au-dessous de 3°C, car ces phases favorisent la propagation d'espèces macrozoobenthiques rhénanes typiques et font régresser les espèces néozoaires thermophiles. Par rapport à la période de référence sans rejets thermiques, les jours de température inférieure à 3°C tomberont de 10 à 0 dans le futur proche sur le tronçon allant jusqu'à Worms. Sur le tronçon s'étendant jusqu'à Lobith, qui est moins influencé par les rejets thermiques, on compte 4 à 6 jours inférieurs à cette température

⁹ Ces hypothèses sont déjà dépassées, plusieurs blocs nucléaires ayant entre-temps été arrêtés dans le bassin du Rhin. Des prévisions fiables sur l'évolution des rejets thermiques permettraient éventuellement d'améliorer les prévisions sur la température de l'eau.

compte tenu de 50% des rejets thermiques autorisés en 2010. Ils ne sont plus que 1 à 3 dans le futur proche (NF) et tombent à 0 à 1 dans le futur éloigné (FF).

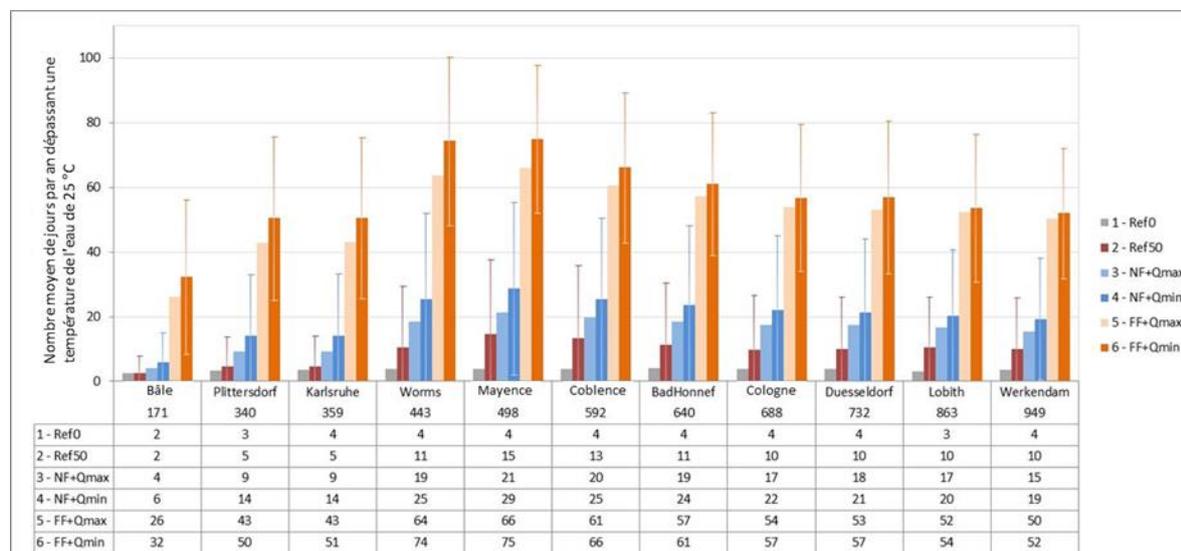


Figure 6 : nombre moyen de jours par an dépassant une température de l'eau de 25 °C sur le linéaire du Rhin dans le futur proche et le futur éloigné. Source: Rapports CIPR n° 213/214

NF = Near Future/futur proche, FF = Far Future/futur éloigné, Qmin = faible débit, Qmax = débit élevé ; ± écarts types (fourchette des valeurs individuelles max.) pour Ref50 (avec 50% des rejets thermiques autorisés), NF+Qmin et FF+Qmin

3. Impacts des modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur la qualité de l'eau et l'écosystème

Les connaissances actuelles relatives aux répercussions du changement climatique sur les habitats aquatiques et amphibies du milieu rhénan ont été regroupées et évaluées au sein du Groupe de travail 'Ecologie' de la CIPR. Ces informations se retrouvent dans le rapport CIPR n° 204 intitulé « Etat des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et actions envisageables ». Les rapports sur les modifications passées et futures de la température de l'eau ont été établis au sein du Groupe de travail 'Qualité des eaux/émissions' et publiés comme rapports CIPR n° 209 (2013) et n°s 213 et 214 (2014). Tous les résultats de la CIPR sont rassemblés ci-après sous forme systématique.

3.1 Impacts sur la qualité de l'eau

Les impacts des modifications du régime hydrologique et des températures de l'eau sur la qualité physico-chimique et chimique du Rhin et de ses affluents ne peuvent pas encore être quantifiés. Au niveau qualitatif, on peut cependant retenir les éléments suivants :

Impacts hydrologiques

Autant les débits de pointe que les débits d'étiage ont un impact sur la qualité de l'eau.

En situation de **crue ou d'inondation**,

- les quantités de nutriments et éventuellement de polluants charriées vers l'aval augmentent sensiblement sur une courte période et représentent un pourcentage important du flux annuel respectif,
- des pollutions dues aux fuites de citernes de mazout ou d'autres dommages causés par les crues sur les installations industrielles, bâtiments, etc., peuvent se produire,

- les sédiments contaminés par des rejets historiques peuvent être remis en suspension. Le Plan de gestion des sédiments Rhin (rapport CIPR n° 175) identifie déjà 16 zones présentant un risque de remise en suspension des sédiments sous l'effet de crues.

En cas de hausse de l'intensité des précipitations,

- le ruissellement de surface peut entraîner une augmentation du flux de polluants et de nutriments d'origine diffuse (par ex. issus de l'exploitation agricole des sols et de lessivage des sols de manière plus générale) ou ponctuelle (par ex. à partir de stations d'épuration urbaines),
- il peut survenir localement une surcharge des réseaux d'égouts urbains, des stations d'épuration et des déversoirs d'orages, ce qui peut entraîner éventuellement un manque d'oxygène dans le milieu récepteur, notamment dans les affluents charriant un pourcentage élevé d'eaux usées et dans les tronçons fluviaux canalisés.

En période **d'été/ de faible débit**,

- la quantité constante d'eaux usées peut fondamentalement faire augmenter la concentration de tous les composants de l'eau et modifier la qualité de l'eau ;
- les faibles précipitations peuvent faire baisser les apports diffus issus du lessivage des sols dans les eaux ;
- les effluents de stations d'épuration peuvent représenter une part importante du débit, notamment dans les grands affluents du Rhin dont le bassin est très peuplé.
- des problèmes de salinité peuvent apparaître dans le delta du Rhin.

Impacts dus à la température

La température est un paramètre important pour la qualité de l'eau. Elle est déterminante pour la vitesse de tous les processus chimiques, la minéralisation par ex., a un impact sur la solubilité des substances et joue un rôle important pour l'équilibre dans l'eau ainsi que dans les phénomènes d'auto-épuration.

Les hausses de température dues au changement climatique font baisser les teneurs en oxygène dissous dans les eaux et peuvent entraîner une fluctuation plus importante des concentrations d'oxygène entre le jour et la nuit, des pH théoriquement plus faibles et une minéralisation plus rapide. Ces processus donnent lieu au dégagement de dioxyde de carbone, de nitrates, de phosphates et de sulfures. Des températures plus élevées peuvent également entraîner une dégradation plus élevée de l'azote par dénitrification.

Les équilibres des carbonates de calcium dépendent également de la température et du pH. Ils jouent un rôle important sur la qualité des eaux et leur productivité.

3.2 Impacts sur l'écosystème

Ajouté aux pressions causées par les multiples impacts anthropiques existants, le changement climatique constitue un facteur supplémentaire de stress pour la plupart des organismes des écosystèmes aquatiques. Cette remarque vaut notamment pour le bassin du Rhin caractérisé par une densité élevée de population, une forte industrialisation et une exploitation agricole intensive.

Les **crues** sont des phénomènes naturels - les zones alluviales ne remplissent leur fonction que si elles sont inondées périodiquement. Dans leur grande majorité, les organismes vivant dans l'eau et dans ses alentours sont en mesure de maîtriser sans problème une crue.

En **période d'été/ de faible débit**, la température et la consommation d'oxygène peuvent augmenter simultanément dans les cours d'eau ; en outre, les concentrations d'agents pathogènes et de contaminants chimiques peuvent connaître une hausse.

Pour la faune et la flore, la **température** est un des principaux facteurs environnementaux car elle règle entre autres la reproduction, la croissance, le développement et la migration. Les organismes à sang froid (poïkilothermes) tels que les poissons et les macroinvertébrés, qui ne contrôlent pas leur température corporelle mais l'adaptent constamment au milieu ambiant, sont particulièrement touchés (voir rapport CIPR n° 204).

Des températures de l'eau en hausse peuvent modifier la composition des espèces et les structures de domination le long des fleuves. Les espèces dépendantes de basses températures sont particulièrement vulnérables. Leurs aires d'implantation peuvent se décaler vers le nord ou vers des zones fluviales plus en altitude. Les espèces qui peuvent supporter de vastes amplitudes thermiques et les espèces thermophiles, parmi elles de nombreux néozoaires, que l'on rencontrait plutôt jusqu'à présent dans les zones d'embouchure, voient leurs conditions de vie améliorées et peuvent coloniser les cours fluviaux vers l'amont. Cette remarque s'applique ici notamment au macrozoobenthos et aux poissons et, dans une certaine mesure, aux macrophytes.

Les températures élevées ont en outre pour effet d'accélérer les fonctions métabolites. Quand la température augmente de 10°C, la consommation d'énergie du métabolisme basal double (règle Q10). Si la nourriture est insuffisante, le système immunitaire s'affaiblit. Par ailleurs, la propagation d'agents pathogènes, de parasites, etc. est favorisée.

Les plages de températures moyennes et maximales sont significatives pour les organismes. Elles sont bien documentées pour les poissons.

Les limites critiques de température (CTMax oder CTMin) sont atteintes quand un poisson n'est plus capable de s'échapper du milieu où dominent des températures mortelles. Dans les marges critiques supérieures ou inférieures, on note un net changement de comportement dû à la température. On fait par ex. une distinction entre une température entraînant la fuite du poisson, une température provoquant sa désorientation ou une température constituant une perturbation. Dans une fourchette de température optimale, les poissons s'alimentent et aucun comportement anormal n'est observé. La température privilégiée est la plage de température correspondant au gradient de température dans lequel évolue le poisson.

La directive communautaire sur les eaux piscicoles, entre-temps abrogée,¹⁰ fixe comme températures à ne pas dépasser 21,5°C pour les eaux salmonicoles (= rivières à poissons sténothermes froids/salmonidés) et 28°C pour les eaux cyprinicoles (rivières à poissons thermophiles/cyprinidés). Les teneurs en oxygène < 4 mg/l dans les eaux cyprinicoles ou < 6 mg/l dans les eaux salmonicoles sont critiques pour les espèces piscicoles y vivant.

La température des rivières de reproduction des poissons requérant un milieu frais ne doit pas dépasser 10°C en période de frai pour ne pas altérer la maturité des gonades chez quelques espèces piscicoles. Un dépassement temporaire de cette température est concevable dans 2% des cas.

La reproduction et la propagation de la plupart des espèces néobiotiques thermophiles sont encouragées lorsque les températures hivernales de l'eau ne descendent pas ou rarement au-dessous de 3°C. Si elles dépassent souvent et pendant longtemps 10°C, la phase de repos hivernal de nombreux organismes aquatiques est perturbée.

En plus des températures maximales, la durée d'une période caniculaire est déterminante pour la survie des organismes. A l'été 2003, on a ainsi observé une mortalité massive de bivalves et d'anguilles quand la température du cours principal du Rhin est restée supérieure à 25°C pendant 41 jours. En revanche, cette destruction à grande échelle n'a pas eu lieu en 2006 après une période de canicule de 31 jours.

¹⁰ Directive 2006/44/CEE du Conseil du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons

Les débits sortants des grands lacs, dont les eaux se réchauffent plus fortement que les eaux courantes, sont particulièrement sensibles aux hausses de température. On rappellera dans ce contexte qu'env. 50 000 ombres (20,9 tonnes de poissons) ont ainsi été décimés dans le tronçon du Rhin directement en aval du lac de Constance sous l'effet des températures caniculaires de l'été 2003. Le 12 août 2003, une température de 25,9 °C a été mesurée à Stein am Rhein à une profondeur de 4 mètres et l'eau des rives affichait plus de 27 °C.

Régime de charriage

Les **sources de production primaires de sédiments** se tarissent de plus en plus dans les montages d'Europe. Ce phénomène est dû en partie au réchauffement climatique et pour une large part aux nombreuses interventions anthropiques visant à limiter les apports solides, entre autres le reboisement de pentes (Malavoi et Bravard 2010¹¹).

En outre, il y aura des modifications indirectes par les **modifications des pratiques agricoles** (plus de cultures, moins de pâtures et probablement plus de demande d'irrigation).

4. Impacts sur les usages de l'eau

Les impacts du changement climatique se ressentent sur différents usages de l'eau : les usagers doivent/devront eux-mêmes anticiper ou réagir pour abaisser, mitiger, compenser ou annuler les impacts négatifs du changement climatique.

Sont susceptibles d'être touchés par les **crues** et la hausse de l'intensité des précipitations :

- la **qualité de l'eau brute pour l'approvisionnement en eau potable** qui risque éventuellement de se dégrader ;
- **l'aménagement du territoire** : Le niveau de sécurité face aux inondations dans les **zones habitées** ainsi que dans **les entreprises industrielles, commerciales et de service** proches des cours d'eau, la hausse de probabilité d'inondation entraînant une modification du niveau de protection et d'exposition au risque ;
- **l'hydroélectricité** : restriction de la production d'électricité lorsque les tronçons canalisés servent également à réguler les hautes eaux (manœuvres exceptionnelles des usines du Rhin supérieur) ;
- la **navigation** : restriction plus fréquente ou arrêt de la navigation dès lors que les niveaux d'eau sont trop élevés ;
- **l'agriculture et la fonction récréative des eaux, des zones alluviales et des zones humides**, car les espaces inondés sont temporairement inutilisables.

Sont susceptibles d'être touchés par les étiages et les températures surélevées de l'eau :

- la **production d'eau potable** : abaissement de la nappe souterraine, détérioration de la qualité de l'eau (par ex. le filtrat de rive), restriction de la production d'eau potable en situation de faibles débits ;
- les **usines thermiques et entreprises industrielles** : restriction de la production par manque d'eau de refroidissement ou d'eaux industrielles ou par hausse de la température de l'eau ;
- **l'hydroélectricité** : restriction de la production d'électricité en situation de faibles débits ;

¹¹ Eléments d'hydromorphologie fluviale – Ed Onema – Collection Comprendre pour agir – <http://www.onema.fr/IMG/pdf/elements-dhydromorphologie-fluviale.pdf>

- la **navigation** : restriction du chargement, ou éventuellement du trafic fluvial dans son ensemble, lorsque le niveau d'eau dans le chenal de navigation est trop bas ;
- l'**agriculture** : pénurie d'eau d'irrigation pour les terres labourées, notamment dans les cultures légumières ;
- la **pêche fluviale** à un niveau local ou régional, éventuelle mortalité piscicole et modification des communautés piscicoles

5. Champs d'actions envisageables et mesures d'adaptation aux impacts attendus du changement climatique

5.1 Principes fondamentaux d'éventuelles mesures d'adaptation

Les principes fondamentaux suivants devraient s'appliquer à l'ensemble du bassin du Rhin :

1. Les mesures d'adaptation devraient si possible avoir un impact positif sur le régime hydrologique dans son ensemble, c'est-à-dire sur les deux états extrêmes, à savoir les crues et les étiages. Les mesures favorisant la rétention des eaux dans le bassin versant ou l'infiltration des précipitations sur place vont par ex. dans ce sens.
2. On accordera la priorité aux mesures d'adaptation souples gagnant-gagnant et sans-regret (mesures utiles en tous les cas malgré d'éventuelles incertitudes) (par ex. les mesures de restauration écologique, de mise en place de bandes riveraines, de réservation et de préservation de zones inondables pour la prévention des inondations) ;
3. Les impacts transfrontaliers et la coopération entre tous les Etats du bassin sont des éléments importants à prendre en compte ;
4. De nombreuses mesures sont également étroitement liées à de futures évolutions, par ex. des modifications socio-économiques et démographiques ou des modifications de l'occupation des sols et des pratiques agricoles (par ex. l'extension des surfaces de culture de maïs pour la production de biodiesel). A court terme, les impacts de telles modifications sur la qualité et la quantité de l'eau peuvent être plus prononcées que les impacts du changement climatique (dans le long terme). On en tiendra également compte dans le cadre de la mise au point d'options d'adaptation.
5. Les mesures peuvent varier selon les régions, car des processus régionaux spécifiques sont à prendre en considération. En fixant et pondérant les mesures prioritaires, il convient de tenir compte du fait que les mesures ne peuvent pas toutes être appliquées au bassin du Rhin dans son ensemble, étant donné les conditions variables en présence de région à région.
6. Les mesures peuvent être classées selon différents critères, par ex. en fonction de leur portée ou de l'échéance de réalisation : les mesures agissant dans le long terme (par ex. d'ici 2050), les mesures à moyen terme et les mesures à court terme (par ex. celles s'intégrant dans le cycle de 6 ans de la DI ou de la DCE).
7. Les mesures en cours et à mettre en place devraient être soumises à un examen d'adaptation au changement climatique au niveau national, voire local.
8. On prendra en compte la rentabilité des mesures (comparaison des coûts et analyse coût/efficacité).
9. On tiendra également compte de l'impact de mesures d'adaptation de la gestion des eaux sur d'autres mesures d'adaptation et de prévention prises hors du cadre de la gestion des eaux pour faire face au changement climatique.
10. Les effets positifs du changement climatique sur certaines fonctions d'usage sont également à prendre en compte et à exploiter.

11. Un suivi des évolutions et des modifications des impacts du changement climatique devrait avoir lieu à intervalles réguliers.
12. Les scénarios climatiques et hydrologiques devraient être remis à jour régulièrement.
13. La stratégie doit être évaluée et éventuellement adaptée en tenant compte des cycles de 6 ans de mise en œuvre des directives européennes de gestion des eaux.

5.2 Mesures relatives à la quantité d'eau

Gestion des risques d'inondation

Les ministres ont adopté le 22 janvier 1998 à Rotterdam le « Plan d'Action contre les Inondations » (PAI) en 12^{ème} Conférence ministérielle sur le Rhin. La mise en place de ce plan – qui est partie intégrante du « Programme de développement durable du Rhin 'Rhin 2020' » depuis 2001 – a été motivée par les deux crues survenues en décembre 1993 et janvier/février 1995. Il est prévu de rassembler les mesures prévues par les Etats membres en matière de prévention, protection et préparation dans le cadre de la mise en œuvre de la DI et de la mise au point d'un plan commun et faitier de gestion des risques d'inondation.

Les mesures de préparation prises dans le cadre du Plan d'Action contre les Inondations pour réduire le risque d'inondation vont dans la bonne direction. Pour pouvoir mieux évaluer à l'avenir les impacts du changement climatique, il convient de réaliser des études supplémentaires pour réduire la marge de variation, encore très large à l'heure actuelle, des fourchettes d'estimation de l'évolution envisageable des futurs débits de crue. En regard du changement climatique, de l'augmentation attendue des crues et d'une possible hausse de la fréquence des crues extrêmes, il est concevable que les mesures prévues jusqu'à présent ne suffisent pas et qu'il soit alors éventuellement nécessaire d prendre en compte des résultats d'analyse plus récents dans le deuxième cycle de gestion des risques d'inondation.

Par ailleurs, l'accent sera mis sur une gestion globale des risques d'inondation tenant compte de toutes les options que prévoit la DI. Le futur Plan de gestion des risques d'inondation de la CIPR remplacera le PAI. La sensibilisation, la gestion de crise et la protection civile sont des éléments importants qui s'ajoutent aux diverses mesures promouvant la rétention des eaux sur l'ensemble du bassin, comme la préservation et/ou extension des surfaces inondables, les restaurations écologiques et extensifications agricoles, la création d'espaces de rétention et une meilleure politique de prévention en matière de construction.

On peut envisager ici les mesures et activités suivantes :

1. Prendre en compte le changement climatique dans les plans de gestion des risques d'inondation sur la base d'une estimation de la sensibilité dans les scénarios de crue considérés ;
2. Sensibiliser le public – renforcer la prévention individuelle, le comportement préventif et abaisser la vulnérabilité ; promouvoir les mesures de prévention en matière de construction ;
3. Améliorer le système de prévision et d'annonce des crues ;
4. Retenir les eaux dans le Rhin : Redynamiser le champ d'inondation et accroître la rétention des hautes eaux, préserver durablement les espaces potentiels d'expansion et de rétention des crues ;
5. Retenir les eaux (en surface, meilleure infiltration) de manière décentralisée et dans le bassin du Rhin (affluents et leurs bassins) ;
6. Préserver les surfaces en réduisant l'imperméabilisation des sols et en maintenant les zones d'expansion des crues (aménagement du territoire et schémas directeurs d'urbanisme) ;

7. Appliquer des mesures techniques de protection contre les inondations dans la mesure où elles ne s'opposent pas à l'atteinte des objectifs environnementaux de la DCE et où elles n'aggravent pas le risque d'inondation en amont et en aval dans les autres pays ;
8. Appliquer des mesures financières préventives et curatives de remise en état ;
9. Prévoir des plans d'urgence et de gestion de l'après-crise : gestion des catastrophes et exercices de protection civile.

Gestion des étiages

Les questions de gestion des étiages ont été traitées en 2003 en relation avec les mesures relatives aux températures élevées des eaux du Rhin (voir rapport CIPR n° 142 (2005) et rapport CIPR n° 152 (2007)) et en 2011 en relation avec les mesures prises en situation d'étiage (voir rapport CIPR n° 198).

En 15^{ème} Conférence ministérielle sur le Rhin tenue le 28 octobre 2013 à Bâle, les ministres compétents pour le Rhin ont décidé, en regard des évolutions attendues, d'accorder une plus grande attention aux étiages souvent combinés en été à des températures élevées de l'eau.

Mesures envisageables :

1. Prendre en compte le changement climatique dans la conception et la planification de mesures de gestion des étiages ;
2. Assurer la compatibilité et la cohérence entre les mesures de gestion des étiages et celles de gestion des risques d'inondation ;
3. Informer et sensibiliser le public (et différents utilisateurs de l'eau), agir de manière préventive et responsable, promouvoir un usage économe de la ressource en eau ;
4. Développer, mettre à disposition et améliorer les prévisions, annonces et avertissements en période d'étiage ;
5. redynamiser le champ d'inondation, par ex. en reculant des digues et/ou en mettant en place des dispositifs techniques de rétention (pour ralentir/retenir le débit en situation de crue) ;
6. Retenir les eaux (en surface) de manière décentralisée et dans le bassin du Rhin (affluents et leurs bassins) favorise également le maintien du niveau de la nappe et la recharge des eaux souterraines. Ces mesures appuient simultanément la conservation et la protection des zones alluviales et des zones humides ;
7. Analyser la gestion par rapport aux usagers (et dans le cadre administratif et juridique) avant et après une période d'étiage ;
8. Appliquer des techniques préventives en matière de construction (par ex. récupération de l'eau de pluie), utilisations alternatives.

On constate globalement que de nombreuses mesures mentionnées comme étant pertinentes pour la future gestion des crues ont également un effet positif sur la gestion des étiages.

5.3 Mesures envisageables relatives à la qualité de l'eau

Les efforts visant à améliorer la qualité de l'eau comptent parmi les tâches les plus anciennes de la CIPR qui ont connu un essor important à la suite de l'accident à Sandoz en 1986 et de la mise en place du Programme d'Action Rhin suivi en 2001 du « Programme sur le développement durable du Rhin - Rhin 2020 ». Dans le cadre des travaux en cours, la CIPR travaille déjà dans les champs d'action envisageables visant à préserver et améliorer la qualité de l'eau.

D'éventuelles mesures complémentaires ou innovantes sont à prendre en plus de celles en cours de réalisation, en regard des impacts sur la qualité de l'eau des évolutions de débit et de température de l'eau dues au changement climatique. Ces mesures devraient

viser à réduire les impacts négatifs sur la qualité de l'eau. On citera entre autres les valeurs indésirables de paramètres physico-chimiques tels que la température, l'oxygène, le sel, les nutriments et des polluants spécifiques, par exemple les micropolluants dont les pesticides.

Champs d'action actuels :

1. **L'amélioration de la qualité de l'eau** est un des enjeux dans le DHI Rhin. Les substances présentes dans les eaux du Rhin ne doivent avoir d'effets négatifs - ni individuellement ni dans leur action combinée - sur les biocénoses végétales, animales et sur les microorganismes, et la qualité de l'eau doit être telle que la production d'eau potable n'en soit pas affectée. Cet objectif vaut également en regard du changement climatique.
2. Bien que le bassin du Rhin reste fortement exploité, la qualité de l'eau du Rhin et de nombreux affluents rhénans s'est nettement améliorée. Cette amélioration est due en grande partie à la **réduction des apports de polluants et de nutriments d'origine industrielle et urbaine**, grâce par ex. à la construction de stations d'épuration, au stockage sécurisé de substances dangereuses pour les eaux, à la prévention d'accidents, etc. Les programmes de mesures du 1^{er} cycle de gestion au titre de la DCE (2009-2015) visent à réduire plus encore les apports de substances dans les eaux. Il convient de consacrer une plus grande attention aux mesures de réduction des apports de substances et à leurs interactions avec d'autres volets politiques dans le cadre du 2^{ème} Plan de gestion (2016-2021) établi au titre de la DCE et de la mise en œuvre du programme « Rhin 2020 », étant donné que les objectifs de réduction ne seront pas tous atteints à l'horizon 2015.¹²
3. Un défi particulier en regard de l'augmentation possible des précipitations intenses et des crues consiste à réduire la **pollution d'origine diffuse** : entre autres l'azote, également le phosphore au niveau régional, les produits phytosanitaires, les PCB, les HPA, le zinc, le cuivre. Dans ce contexte, il existe d'autres mesures, par exemple l'optimisation des applications de fertilisants et de produits phytosanitaires et la promotion de l'agriculture biologique (mesures concernant également d'autres secteurs/départements ministériels).
4. Le risque d'une **remise en suspension des sédiments contaminés par des pollutions historiques** peut augmenter sous l'effet de crues plus fréquentes. 8 des 22 zones à risques identifiées dans le Plan de Gestion des Sédiments Rhin (2009) ont été décontaminées. En 2013, les ministres compétents pour le Rhin ont confirmé leur volonté de mettre en œuvre dans toutes les zones à risques les mesures proposées dans le Plan de gestion des sédiments.
5. Le **Plan d'Avertissement et d'Alerte Rhin (PAA)** avertit tous les Etats riverains du Rhin et en premier lieu les riverains en aval si des quantités importantes de polluants se déversent dans le Rhin. Ceci permet d'identifier les responsables.
6. Une **surveillance des polluants et nutriments** est réalisée depuis 1954 dans 6 stations et depuis 2012 dans 8 stations principales d'analyse sur le Rhin et dans d'autres stations sur la Moselle et la Sarre (CIPMS). Ces résultats font l'objet d'un bilan annuel qui est publié sur internet <http://maps.wasserblick.net:8080/iksr-zt/>. Une surveillance nationale a également lieu dans de nombreuses autres stations d'analyse, également sur les affluents du Rhin. Il convient à l'avenir d'accorder une attention particulière aux interactions avec les impacts des crues et des étiages, de la pénurie d'eau et de la hausse des températures de l'eau.
7. En situation de canicule extrême et d'étiage consécutif, les **rejets thermiques** anthropiques (issus par ex. de centrales thermiques) peuvent contribuer au non-respect de valeurs indicatives de sensibilité importantes sous l'angle écologique (température de l'eau, teneur en oxygène). En période d'étiage, des procédures de

¹² Communiqué ministériel 2013, points 12 et 13

surveillance renforcée peuvent être graduellement mises en place au niveau régional. L'information des usagers et de la presse est assurée. Des mesures de réduction de prélèvement et de rejet d'eau peuvent éventuellement être prises. Des modèles thermiques (par ex. modèles thermiques pour le Neckar, le Main inférieur, le Rhin supérieur et le Rhin moyen) ou des plans d'alerte (par ex. plan d'alerte pour le Main, schéma d'action visant à réduire les apports thermiques dans les grandes rivières rhéno-palatines en présence de températures de l'eau élevées) ont déjà été mis au point au niveau régional dans le but d'engager des mesures appropriées en cas de qualité critique de l'eau.

5.4 Mesures envisageables relatives à l'écosystème

Comme elle le fait dans le domaine de la qualité de l'eau, la CIPR travaille déjà dans de nombreux champs d'action envisageables dans le secteur de l'écologie dans le cadre des travaux en cours afin de réduire les impacts négatifs de la modification des débits et des températures imputables au changement climatique sur les communautés végétales et animales. Les objectifs de qualité écologiques de la DCE semblent tout particulièrement tendre à renforcer la résilience (capacité de résistance) des eaux face à des conditions climatiques modifiées. Ceci est également le cas pour les objectifs de la directive FFH et de la directive Oiseaux (NATURA 2000) dans les zones protégées dépendant du milieu aquatique. Il convient de tirer profit des effets synergiques réciproques, également ceux avec la DI.

En regard des nombreuses mesures déjà prises pour renforcer la résilience de l'écosystème, il est important de réfléchir pour chaque future mesure à la manière de limiter plus encore les impacts des crues, des étiages et de la hausse de température de l'eau (par ex. en créant des zones ombragées, en rendant accessibles des zones de refuge, en augmentant la capacité de rétention des eaux et surtout en mettant en place une surveillance intense en période critique). Les possibilités envisageables sont par par ex. les suivantes :

1. **Protection et restauration écologique d'habitats** : il convient de protéger les habitats végétaux et animaux et de leur rendre un état plus naturel. Sur le Rhin et ses affluents, il s'agit par ex. :
 - de segments à écoulement libre, notamment ceux recélant des frayères pour les espèces piscicoles rhéophiles ;
 - d'anciens bras, bras latéraux et autres annexes hydrauliques raccordés au cours principal ;
 - de zones saumâtres (transition plus naturelle entre eaux douces et eaux salées) ;
 - de berges écologiquement aménagées (on recommande de planter des bosquets le long des berges des affluents de petite et de moyenne taille et de promouvoir leur implantation naturelle spontanée pour limiter, grâce à l'ombragement, la hausse des températures de l'eau) ;
 - de tous les nouveaux habitats susceptibles de remplacer ceux disparus dans le lit mineur suite aux mesures d'aménagement et de leur restauration.
2. **Mise en réseau d'habitats** : en présence de températures critiques de l'eau et de manque d'oxygène, la plupart des poissons et des invertébrés sont en mesure de migrer vers des zones plus favorables quand elles existent. Entre le Rhin supérieur et le delta, la vallée rhénane joue un rôle particulièrement important de vaste corridor de migration. Est également important l'accès aux tronçons fluviaux situés plus en amont dans les affluents du Rhin et aux connexions latérales avec les tributaires dans le milieu alluvial qui offrent pendant les étés caniculaires des refuges locaux grâce à l'ombragement et à des résurgences souterraines froides. Il convient également de remettre en connexion de manière adéquate les biotopes

terrestres le long des cours d'eau. La mise en œuvre du « réseau de biotopes sur le Rhin »¹³ et le rétablissement de la continuité dans les rivières prioritaires pour les poissons migrateurs dans le bassin du Rhin¹⁴ y contribueront fortement.

On peut citer ici, à titre d'exemple, **les programmes nationaux** suivants intégrant ces champs d'action **dans le bassin du Rhin** :

- « Revitalisations fluviales » en Suisse¹⁵
- « Trame verte et bleue » en France¹⁶
- « Programme Intégré pour le Rhin » au Bade-Wurtemberg¹⁷
- « Aktion Blau Plus » en Rhénanie-Palatinat¹⁸
- « Lebendige Gewässer » en Rhénanie-du-Nord-Westphalie
- « Espace pour le fleuve » aux Pays-Bas¹⁹

3. Protection écologique contre les inondations : sous l'angle de la protection de la nature, on favorisera en tout lieu possible des mesures de protection contre les inondations intégrant les fonctions écologiques des éléments morphologiques des berges et du milieu alluvial. Ainsi, les inondations écologiques de polders ou les reculs de digues sont à considérer comme des mesures gagnant-gagnant qui contribuent à la fois à promouvoir la biodiversité et à réduire les dommages potentiels et les risques dans les zones inondables.

4. Qualité des eaux : les eaux polluées ou pauvres en oxygène constituant pour la flore et la faune un facteur de stress venant s'ajouter au changement climatique, il convient de préserver et d'améliorer plus encore la qualité de l'eau (voir ci-dessus).

5. Température de l'eau : il convient de limiter le plus possible une hausse anthropogène supplémentaire de la température des eaux sous l'effet de rejets thermiques et de s'assurer qu'elle ne fait pas obstacle à l'atteinte du bon état ou du bon potentiel écologique. Quand les affluents sont mis en réseau avec le cours principal, les poissons du Rhin ont localement la possibilité de refluer vers les rivières et bras latéraux aux eaux plus fraîches (car plus ombragées par exemple).

6. Surveillance des biocénoses : les modifications des biocénoses dues au changement climatique ne seront éventuellement reconnaissables qu'à long terme. Pour mettre au point une surveillance ciblée, il est donc très important de disposer d'une solide base de données du type de celle du programme d'analyse biologique de la CIPR et des réseaux nationaux existants.

5.5 Mesures envisageables relatives aux autres secteurs

Le présent chapitre décrit des mesures envisageables qui, de l'avis de la CIPR, ont un lien avec d'autres usages (secteurs) et ne concernent pas les secteurs évoqués ci-avant, soit la gestion des risques d'inondation et la gestion des étiages, la qualité des eaux et de l'écosystème. Cette analyse n'a pas pour objectif de déterminer comment les différents secteurs réagissent au changement climatique ou quelles sont les évolutions socio-

¹³ www.iksr.org - documents/archive - brochures - « Réseau de biotopes sur le Rhin, CIPR 2006

¹⁴ « Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin » - Rapport CIPR n° 179 (2009) & « Progrès réalisés dans la mise en œuvre du Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin dans les Etats riverains du Rhin de 2010 à 2012 » - Rapport CIPR n° 206, www.iksr.org

¹⁵ Voir OFEV / EAWAG 2010 - *Des précisions seront communiquées*

¹⁶ Voir www.legrenelle-environnement.fr/-Trame-verte-et-bleue-.html

¹⁷ Voir www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1188090/index.html

¹⁸ Voir <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/2038/>

¹⁹ Voir www.ruimtevoorderivier.nl/

économiques attendues (structure/évolution de la composition de la population, éventuelles modifications de l'occupation des sols, futur approvisionnement en énergie).

Il a été confié à la CIPR le soin de tenir compte des évolutions socio-économiques dans la mise au point d'une stratégie d'adaptation au changement climatique. Des mesures envisageables sont donc mentionnées dans ces autres secteurs :

Mesures envisageables en relation avec :

1. **la production d'eau potable** : relier entre eux les réseaux d'approvisionnement, adapter la gestion des eaux, minimiser les pertes d'eau ;
2. **les prélèvements d'eau en période d'étiage/de faible débit** : réguler la quantité d'eau, émettre des dérogations ;
3. **Production d'électricité dans des centrales thermiques²⁰** : utiliser des tours de refroidissement, pondérer les intérêts de la sécurité d'approvisionnement et les impacts sur l'environnement. Vérifier/adapter les autorisations de rejet et les dérogations pour les rejets d'eau de refroidissement d'usines thermiques et d'entreprises industrielles ; limiter éventuellement la production en période d'étiage ;
4. **Production d'hydroélectricité** : fixer pour les usines hydroélectriques placées dans des tronçons court-circuités un débit minimal biologique pour garantir la vie, la circulation et la reproduction des espèces aquatiques. Dans de telles situations, les usines hydroélectriques doivent s'arrêter lorsque le débit fluvial descend au-dessous de cette valeur ;
5. **Pêche fluviale** : interdire la pêche d'une ou de plusieurs espèces de poissons dans certaines parties de cours d'eau ou de plans d'eau lorsque des périodes de sécheresse et/ou de canicule le justifient localement pour protéger la faune piscicole ;
6. **Navigation** / voies navigables : abaisser le chargement ou limiter le trafic fluvial en période d'étiage, adapter la taille des bateaux, creuser plus profondément le chenal pour assurer la navigation même en période d'étiage ;
7. **Agriculture** : Adapter les pratiques existantes (récupération des eaux de pluie, choix d'espèces adaptées et moins consommatrices d'eau, utilisation de techniques d'irrigation plus économes en eau comme le goutte-à-goutte au pied des végétaux, etc.) ;
8. **Activités récréatives** : afficher le long des sentiers pédagogiques des informations sur la richesse du paysage naturel, mais également sur les évolutions du changement climatique, les risques d'inondation, etc.

Il convient d'intensifier à l'avenir les concertations sur l'ensemble du bassin fluvial, en particulier dans les zones transfrontalières, soit dans le cadre de la CIPR, soit à l'échelle bilatérale, pour ajuster les démarches respectives. Ce mode de travail doit porter notamment sur un échange d'informations avant l'application de mesures nationales en situation extrême sur les cours d'eau transfrontaliers. Pour prévenir toute inquiétude des usagers, il faudrait veiller à ce que des règles similaires s'appliquent simultanément des deux côtés d'un cours d'eau frontalier.

Il est important que les administrations nationales disposent de bonnes bases de décision, d'un plan d'urgence approprié et communiquent de manière adéquate les décisions qui sont prises.

En s'appuyant éventuellement sur la CIPR comme plateforme d'échange, il serait utile d'élaborer des recommandations visant à garantir un mode d'action uniforme dans des situations extrêmes. Ces recommandations devraient porter sur des stratégies de surveillance, des stratégies d'information et des critères pour l'octroi de dérogations.

²⁰ La production d'électricité dans les usines thermiques connaît dès à présent une mutation en Allemagne du fait de l'arrêt de centrales nucléaires et de l'extension des énergies renouvelables et continuera à évoluer à l'avenir. En regard de l'impact sur le flux thermique, il serait important de disposer de pronostics fiables sur la future évolution pour améliorer les prévisions relatives à l'évolution de la température dans les rivières et d'une base de décision permettant de prendre les mesures nécessaires dans ce domaine.

Annexe 1 : sélection de publications sur l'adaptation au changement climatique disponibles au niveau international et national

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

« Pressions thermiques sur les eaux pendant l'été 2003. Synthèse des rapports de situation nationaux ». Rapport CIPR n° 142, www.iksr.org

« Mesures relatives aux pressions thermiques sur le Rhin en période de canicule et de sécheresse - résumé des rapports nationaux de situation ». CIPR, rapport n° 152, 2006 www.iksr.org

« Analyse des connaissances actuelles relatives aux modifications climatiques et aux impacts du changement climatique sur le régime hydrologique dans le bassin du Rhin », CIPR, rapport n° 174, 2009 www.iksr.org

« Plan de gestion des sédiments Rhin », CIPR, rapport n° 175, 2009, www.iksr.org

« Etude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin », Rapport CIPR n° 188, 2011, www.iksr.org

« Atelier de la CIPR : Impacts du changement climatique sur le bassin du Rhin » (30 et 31 janvier 2013 à Bonn), www.iksr.org

« Etat des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et actions envisageables », CIPR, rapport n° 204, 2013, www.iksr.org

« Présentation de l'évolution des températures de l'eau du Rhin sur la base de températures mesurées et validées de 1978 à 2011 », CIPR, rapport n° 209, 2013, www.iksr.org

« Estimation - sur la base de scénarios climatiques - des impacts du changement climatique sur l'évolution des futures températures de l'eau » - Version synthétique. CIPR, rapport n° 213, 2014, www.iksr.org

« Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development » - Extensive version (uniquement en anglais). CIPR, rapport n° 214, 2014, www.iksr.org

« Communiqué de la 15^{ème} Conférence ministérielle sur le Rhin, 28 octobre 2013, Bâle », CIPR 2013.

Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)

"Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation", IPCC, 2012 <http://www.ipcc.ch>

„Climate change and water“, IPCC Technical Paper VI, 2008 <http://www.ipcc.ch>

„Climate Change 2007: Synthesis Report“, IPCC, 2007.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

UN Economic Commission for Europe (UN-ECE)

„Guidance on Water and Adaptation to Climate Change“, UNECE, UN Publications, 2009
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate.pdf

UN Framework Convention on Climate change, Submitted National Communications

http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/4903.php

Union européenne

European Commission, The 'Blueprint to safeguard Europe's water resources', 2013
http://ec.europa.eu/environment/water/index_en.htm

European Commission, Guidelines on developing adaptation strategies, 2013
http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/swd_2013_134_en.pdf

Datenbank EEA Klimawandelanpassungsstrategie:
<http://www.eea.europa.eu/themes/climate/national-adaptation-strategies>

"Background Document on the Inventory of Measures", "Inventory of Measures" Projekt ClimWatAdapt, 2010

"Full 2nd workshop report" und "Tool for the selection of adaptation measures", ClimWatAdapt workshop, Mars 2011, <http://www.climwatadapt.eu>; Tool: <http://www.tiamasq.com/mDSS/wDSS1/#/Start>

"Thematic workshop on Climate Change and Flooding - 8-10 September 2009, Karlstad, Sweden", Report on Proceedings and Key Recommendations, CIS/Working group F, 2011
"Draft Report of the Working Group F Climate Change Adaptation workshop" (Draft version no. 3, 04.04.2013), CIS/Working group F, 2011 <https://circabc.europa.eu>

„The european environment state and outlook 2010 – Mitigating climate change“, EEA Report, 2010
<http://www.eea.europa.eu/soer/europe/mitigating-climate-change>

„River basin management in a changing climate – Guidance document No. 24“, Common Implementation Strategy (CIS) for the WFD (2000/60/EC), Technical Report, 2009
http://ec.europa.eu/environment/water/adaptation/index_en.htm

"Report on good practice measures for climate change adaptation in river basin management plans", EEA-EIONET, 2009. http://icm.eionet.europa.eu/ETC_Reports/

Strategic Initiative Cluster „Adaptation to the Spatial Impacts of Climate Change“:
<http://www.sic-adapt.eu/>

Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS)

Identification des impacts possibles du changement climatique dans le bassin versant de la Moselle et de la Sarre, brochure FLOW MS, 2013
http://www.iksms-cipms.org/servlet/is/60262/Brochure_Changement-Climatique.pdf?command=downloadContent&filename=Brochure_Changement-Climatique.pdf

International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR)

« ICPDR Strategy on Adaptation to Climate Change »
<http://www.icpdr.org/main/activities-projects/climate-adaptation>
<http://www.icpdr.org/main/climate-adaptation-strategy-published-print>

Commission Internationale de la Meuse (CIM)

Résultats du projet AMICE (mise à jour d'avril 2013) <http://www.amice-project.eu>

Zone alpine

“Adaptation to climate change in the Alpine Space (AdaptAlp)”: <http://www.adaptalp.org/>

“Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space” (CLIMCHALP):
Voir également <http://www.adaptalp.org>

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin (CCNR)

« Changement climatique et navigation rhénane », résolution 2011-II-9 de la session d'automne 2011 de la Commission Centrale pour la Navigation du Rhin (CCNR) du 30 novembre 2011. CC/R 2011 II, p. 75. <http://ccr-zkr.org/13020400-fr.html>

Commission Internationale pour l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR)

“Socio-economic influences on the discharge of the River Rhine”, séminaire 26-27 mars 2014, Bregenz (Austria) <http://www.chr-khr.org>

Allemagne

„DAS - Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“, Bundeskabinett, 2008
(stratégie allemande d'adaptation au changement climatique)
URL: www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php

Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft - Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen“, LAWA, mars 2010
URL: http://www.lawa.de/documents/LAWA_Strategiepapier_1006_d07.pdf

„Klimawandel – Herausforderungen und Lösungsansätze für die deutsche Wasserwirtschaft“, DWA-Themen, DWA, 2010

„Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen“, LAWA, mars 2010

„Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement“, LAWA, 2007
„Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben“, UBA, 2006
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3545.html>

„Climate change in Germany: vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors“, UBA, 2005
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2974.pdf>

„Development of a „Screening Tool“ for climate proofing of water management Measures“, UBA, 2013

„Hochwasser-Abflussprojektionen und Auswertungen“, KLIWA – 5. KLIWA-Symposium, KLIWA-Berichte Heft 19, décembre 2013 <http://www.kliwa.de>

Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) www.anpassung.net

„Klimawandel im Süden Deutschlands: Ausmaß – Auswirkungen – Anpassung“, KLIWA – Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, 2012
<http://www.kliwa.de>

„Klimawandel und Wasserwirtschaft: Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel“, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, 2011

http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/broschuere_klima_und_wasser.pdf
<http://www.klimawandel.nrw.de>

Regierung von Unterfranken 2012: „Alarmplan für den bayrischen staugeregelten Main“ – Gewässerökologie.

<http://www.regierung.unterfranken.bayern.de/aufgaben/6/3/00756/index.html>

Pays-Bas

“Een frisse blik op warmer water”, RWS/STOWA, Amersfoort, octobre 2011

“Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater – van knelpunten naar maatregelen”, RIVM, 2013

“Invloed van steden en klimaatverandering op de Rijn en de Maas”, Deltares, 2010

“Nationaal Waterplan 2009 – 2015”, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Decembre 2009. <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vragen-en-antwoorden/wat-is-het-nationaal-waterplan.html>

“Deltaprogramma 2015”, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, septembre 2014

- <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma> (néerlandais)
- <http://www.deltacommissaris.nl/english/> (anglais)
- http://www.deltacommissaris.nl/english/Images/Delta%20Programme%202015%20English_tcm310-358177.pdf (rapport en anglais)

“Water shortage and climate adaptation in the Rhine Basin”, Inspiration Document Based on the International Rhine Basin Conference (29-31 octobre 2012, Kleve), Provincie Gelderland, 2013, www.gelderland.nl/klimaatconferentie2012

France

Projet « Explore 2070 », Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2010-2012), <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>

« Plan national d'adaptation au changement climatique 2011-2015 », Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, juillet 2011
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.html>
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/The-national-climate-change.html> (anglais)

Anciens rapports et études de l'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Publications-de-l-ONERC-.html>)

Suisse

« Adaptation aux changements climatiques en Suisse - Objectifs, défis et champs d'action ». Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01673/index.html?lang=fr>

« Adaptation aux changements climatiques en Suisse : gestion des eaux Contribution de l'Office fédéral de l'environnement sur la stratégie du Conseil fédéral », janvier 2012 <http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/index.html?lang=fr>

« Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau ». Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro), 2012
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01670/index.html?lang=fr>

Programme national de recherche NFP61, « Gestion durable de l'eau »,
<http://www.nfp61.ch/D/Seiten/home.aspx>

« Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse » - Rapport du Conseil fédéral en réponse au
postulat «Eau et agriculture. Les défis de demain». OFEV, 17.10.2012
<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/28597.pdf>

Autriche

„Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“, Bundesministerium für
Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012.
http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/strategie-kontext.html

"Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft"
(Langfassung), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft, 2010.
http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/wasserwirtschaft_wasserpolitik/anpassungsstrategien_an_den_klimawandel_fuer_oesterreichs_wasserwirtschaft.html

„Klima|Wandel|Anpassung“: <http://www.klimawandelanpassung.at/>
Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014, Austrian Panel on Climate
Change, 2014. <http://www.apcc.ac.at/>

ÖWAV-ExpertInnenpapier "Klimawandelauswirkungen und Anpassungsstrategien in der
österreichischen Wasserwirtschaft, Österreichischer Wasser- und
Abfallwirtschaftsverband, 2014
<http://www.oewav.at/Page.aspx?target=65710&mode=form&app=134598&edit=0¤t=175698&view=134599&predefQuery=134639>

Luxembourg

« Paquet Climat », Partenariat pour la protection de l'environnement et du climat /
Partnerschaft für Umwelt und Klima, 2011
http://www.developpement-durable-infrastructures.public.lu/fr/developpement-durable-infrastructures/partenariat/Paquet_Climat_integral.pdf

« Document de synthèse du Groupe de pilotage d'une stratégie nationale de
développement durable », Luxembourg. www.developpement-durable-infrastructures.public.lu

Belgique

Belgian national climate change adaptation strategy", National Climate Commission,
2010 <http://www.flanders.be/en/publications/detail/belgian-national-climate-change-adaptation-strategy>

« Plan National Climat de la Belgique 2009 – 2012 - Inventaire des mesures et état des
lieux », 2008 www.climat.be/files/7813/8262/1900/PNC_2009-2012-2.pdf

Annexe 2 : « Valeurs indicatives de sensibilité » - inondations

Valeurs d'orientation pour d'éventuelles mesures d'adaptation

Champs d'action	Valeur indicative	Paramètre représentatif	Paramètre déterminant	Impacts/scénarios possibles (jusqu'en 2050) : fourchette (base de discussion pour des mesures d'adaptation)
Gestion des risques d'inondation	Niveau de protection/sécurité	MHQ (en m ³ /s)	Lobith : 6680 m ³ /s (données NL)	de 0 à +20%
			Cologne : (année MHQ) : 6 610 m ³ /s MHQ (été hydrologique, mai-oct.) : 4 000 m ³ /s MHQ (hiver hydrologique, nov. - avril) : 6 510 m ³ /s	de 0 à +20%
			Kaub : (année MHQ) : 4 370 m ³ /s MHQ (été hydrologique, mai-oct.) : 3 240 m ³ /s MHQ (hiver hydrologique, nov. - avril) : 4 260 m ³ /s	de -5% à +25%
			*Worms : (année MHQ) : 3 480 m ³ /s MHQ (été hydrologique, mai-oct.) : 2 870 m ³ /s MHQ (hiver hydrologique, nov. - avril) : 3 310 m ³ /s	de -10% à +20%
			*Maxau : (année MHQ) : 3 240 m ³ /s MHQ (été hydrologique, mai-oct.) : 2 850 m ³ /s MHQ (hiver hydrologique, nov. - avril) : 2 980 m ³ /s	de -5% à +15%
			*Bâle : (année MHQ) : 3 070 m ³ /s MHQ (été hydrologique, mai-oct.) : 2 880 m ³ /s MHQ (hiver hydrologique, nov. - avril) : 2 520 m ³ /s	de -5% à +10%
		HQ 10 (en m ³ /s)	Lobith : 9 500 m ³ /s	de -5% à +15%
			Cologne : 8 870 m ³ /s	de -5% à +15%
			Kaub : 5 800 m ³ /s	de -15% à +15%
			Worms : 4 750 m ³ /s	+7% (KLIWA)
			Maxau : 4 100 m ³ /s	de 0% à +5% (KLIWA)
			Bâle : 3 980 m ³ /s	de 0% à +5% (KLIWA)
		HQ 100 (en m ³ /s)	Lobith : 12 700 m ³ /s (BfG) - NL : 12 675 m ³ /s	de 0 à +20%
			Cologne : 12 000 m ³ /s	de 0 à +20%
			Kaub : 8 000 m ³ /s	de -5% à +20%
			Worms : 6 000 m ³ /s (sans mise en service d'espaces de rétention : 6 300 m ³ /s)	+5% (KLIWA ; pour HQ 100 et HQ 200)
			Maxau : 5 000 m ³ /s (sans mise en service d'espaces de rétention : 5 300 m ³ /s)	de 0% à 5% (KLIWA ; pour HQ 100 et HQ 200)
			Bâle : 4 780 m ³ /s	de 0% à 5% (KLIWA ; pour HQ 100 et HQ 200)
		HQ extrême (en m ³ /s) **	Lobith : 16 000 m ³ /s	de -5 à +20%
			Cologne : 15 250 m ³ /s (prise en compte maximale, pas de débit de dimensionnement)	de -5% à +25%
			Kaub : 10 400 m ³ /s	de -5% à +25% (données KLIWA non disponibles)
			*Worms : 7 600 m ³ /s (débit maximal envisageable sans prise en compte des ruptures de digues)	de -15% à +30% (données KLIWA non disponibles)
			*Maxau : 6 500 m ³ /s (débit maximal envisageable sans prise en compte des ruptures de digues)	de -20% à +35% (données KLIWA non disponibles)
			*Bâle : 5 480 m ³ /s (défini comme HQ1000)	de -20% à +35% (données KLIWA non disponibles)
Navigation	DPHEN (en m ³ /s) PHEN (en cm ou m)	Lobith : 5 675 m ³ /s	de 0 à +20% (tendances pour HQ100)	
		Cologne : 830 cm = 6 960 m ³ /s	de 0 à +20% (tendances pour HQ100)	
		Kaub : 640 cm = 5 100 m ³ /s	de -5% à +20% (tendances pour HQ100)	
		*Worms : 650 cm = 4 310 m ³ /s	+5% (KLIWA ; tendances pour HQ100)	
		*Maxau : 750 cm = 2 800 m ³ /s	+4% (KLIWA) ; tendances pour HQ100	
		*de Bâle à Rheinfelden : 2 500 m ³ /s	+3% (KLIWA ; tendances pour HQ100)	

Indication : le Luxembourg n'est pas riverain du cours principal du Rhin (pas de stations limnimétriques indiquées dans le tableau ci-dessus). Certaines mesures d'adaptation ont toutefois été prises dans le secteur de la gestion de l'eau.

Allemagne (échelles de Kaub et de Coblenze) : des résultats supplémentaires du projet KLIWA sont attendus.

NL (Lobith) :

HQ 100 (en m³/s) : à Lobith, une fourchette de 0 à 10% semble plus réaliste (submersions de digues).

- HQ extrême (en m³/s) (selon les indications des Pays-Bas, il est important de tenir compte de HQextrême comme paramètre représentatif) : On estime à 6% la hausse du débit déterminant en 2050 à Lobith.

* : Pour les échelles du Rhin supérieur de Bâle, Maxau et Worms, la mention « aucune indication possible » s'applique aux impacts éventuels du changement climatique pour MHQ et HQextrême, car la fourchette des résultats des modélisations est $\geq 50\%$ et/ou des déficits sont constatés au niveau de la méthode utilisée (cf. rapport CIPR n° 188, p. 17).

** : il n'est actuellement pas effectué d'études pour HQextrême dans le cadre du projet KLIWA.

Légende :

HQ10 : Débit pour une crue d'une période de retour de 10 ans (crue de forte probabilité).

HQ100 : Débit pour une crue d'une période de retour de 100 ans (crue de moyenne probabilité).

HQextrême : Débit pour une crue extrême (crue de faible probabilité).

MHQ : Moyenne arithmétique des débits journaliers les plus élevés d'intervalles similaires (par ex. semestres hydrologiques) de la période considérée.

PHEN : Plus hautes eaux navigables (en m)

PHEN : Plus hautes eaux navigables (en m³/s)

Sources bibliographiques :

Données « Paramètre déterminant » : indications nationales : échelles en D : délégation D et BfG (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch), échelle en NL (Lobith) : délégation NL, échelles en CH (Bâle) : délégation suisse

données "Impact climatique (...)":

- Rapport CIPR n° 188, 2011

- Résultats du projet KLIWA, mise à jour : septembre 2014

Annexe 3 « Valeurs indicatives de sensibilité » - étiages

(Valeurs d'orientation pour d'éventuelles mesures d'adaptation)

Champs d'action	Valeur indicative	Paramètre représentatif	Paramètre déterminant	Impacts/scénarios possibles (jusqu'en 2050) : fourchette (base de discussion pour des mesures d'adaptation)
Gestion des étiages	Gestion des étiages	NM7Q (en m³/s)	Lobith : 624 m ³ /s (NM7Q le plus bas des 100 dernières années) (Rheinblick2050) 1.150 m ³ /s (NM7Q moyen sur 30 ans) (étude CHR)	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Cologne : 702 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Kaub : 536 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Worms : 444 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Maxau : 393 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Bâle : 475 m ³ /s (Période 1869-2009, rapportée à l'année NQ suisse de mai à avril) (CH : MNM7Q serait en fait correct, car moyenne pluriannuelle de la valeur NM7Q annuelle)	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
	Approvisionnement en eau douce	Débit minimal (en m³/s)	Lobith : 1 100 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
	Navigation	GIQ (en m³/s)	Lobith : 1.020 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Cologne : 145 cm = 935 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Kaub : 80 cm = 750 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Worms : 65 cm = 670 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
			Maxau : 360 cm = 585 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)
		Bâle : env. 490 m ³ /s	de -10% à +10% (tendances pour NM7Q été)	
<p><i>Indication :</i> le Luxembourg n'est pas riverain du cours principal du Rhin (pas de stations limnimétriques indiquées dans le tableau ci-dessus). Certaines mesures d'adaptation ont toutefois été prises dans le secteur de la gestion de l'eau. En période d'étiage, l'impact maximal n'est pas un débit d'étiage croissant mais la plus grande baisse de débit d'étiage.</p>				
Légende :				
NM7Q : Moyenne arithmétique la plus faible du débit de 7 jours sur des intervalles similaires (par ex. semestres hydrologiques) de la période considérée.				
GIQ : Gleichwertiger Abfluss (pas de terme français car n'existe pas sur le Rhin supérieur) : débit correspondant à l'étiage équivalent (EE)				
Sources bibliographiques :				
Données « Paramètre déterminant » : indications nationales : échelles en D : délégation D et BfG (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch), échelle en NL (Lobith) : délégation NL, échelles en CH (Bâle) : délégation suisse				
Données « Impact climatique (...) » : Rapport CIPR n° 188, 2011				