

**Estimations des conséquences du
changement climatique
sur l'évolution future des températures
de l'eau du Rhin
sur la base de scénarios climatiques
Rapport succinct**

E



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 213 f



Impressum

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, téléfax +49-(0)261-94252-52
Courrier électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 3-978-3-941994-51-5
© IKS-R-CIPR-ICBR 2014

Estimations des conséquences du changement climatique sur l'évolution future des températures de l'eau du Rhin sur la base de scénarios climatiques

Synthèse

En période d'étés caniculaires, des températures surélevées d'eau sont mesurées dans le Rhin. Ceci a notamment été le cas des moyennes journalières maximales de température de l'eau relevées lors des étés 2003 et 2006 sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur. Ces températures comprises entre 28°C (valeur limite de la directive sur les eaux piscicoles¹) et 29 °C ont conduit à examiner plus en détail le volet « Température de l'eau et changement climatique » en Conférence ministérielle sur le Rhin (CMR) d'octobre 2007. L'analyse bibliographique des résultats de recherche sur le changement climatique disponibles jusque début 2009, qui a été mandatée à la CIPR et réalisée par celle-ci (CIPR 2009a), contient entre autres des informations sur les modifications des températures de l'eau du Rhin survenues jusqu'à présent. Ces informations se réfèrent aux valeurs mesurées au droit de quelques échelles et sur des périodes limitées. Sur la base d'un autre mandat de la CMR 2007, la CIPR a mis au point une étude de scénarios sur le régime hydrologique du Rhin (CIPR 2011).

Il manquait jusqu'à présent une description de l'évolution pluriannuelle de la température de l'eau du Rhin sur l'ensemble du linéaire, tout comme des estimations de l'évolution future des températures de l'eau du Rhin.

Début 2013, la CIPR a publié des rapports sur l'évolution de la température de l'eau du Rhin à partir de mesures de température validées de 1978 à 2011 (CIPR 2013a) et sur l'état des connaissances sur les éventuelles répercussions de modifications du régime hydrologique et de la température de l'eau sur l'écosystème du Rhin et les actions envisageables (CIPR 2013b).

Pour mettre au point des estimations de la future évolution des températures de l'eau du Rhin entre Bâle et le delta du Rhin sur la base de scénarios climatiques, la CIPR a instauré le groupe d'experts STEMP² « Préviation des modèles de température » en juillet 2012.

Les estimations se fondent sur les modèles de bilan hydrologique ou les modèles hydrauliques de propagation des crues disponibles sur le Rhin et qui, dotés d'un module température correspondant, peuvent simuler également les températures de l'eau. En regard des différents champs d'utilisation, les experts ont choisi parmi les modèles disponibles pour les différents tronçons du Rhin les modèles LARSIM (LUBW³) pour le tronçon allant de Bâle à Worms et SOBEK (RWS⁴) pour le tronçon compris entre Worms et le delta du Rhin pour réaliser les simulations. L'échelle de Worms est le point de transfert entre les deux modèles. Des simulations ont été effectuées à titre comparatif avec les autres modèles existant pour des tronçons partiels (LARSIM du HLUG⁵ et LUWG⁶ de Worms à Cologne ainsi que QSim de la BfG de Karlsruhe à Lobith) aux fins d'évaluation de l'impact des modèles (voir figure 1).

¹ 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.

² Groupe d'experts « Préviation des modèles de température » subordonné au Groupe de travail S (= Substances) de la CIPR

³ Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

⁴ Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

⁵ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

⁶ Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

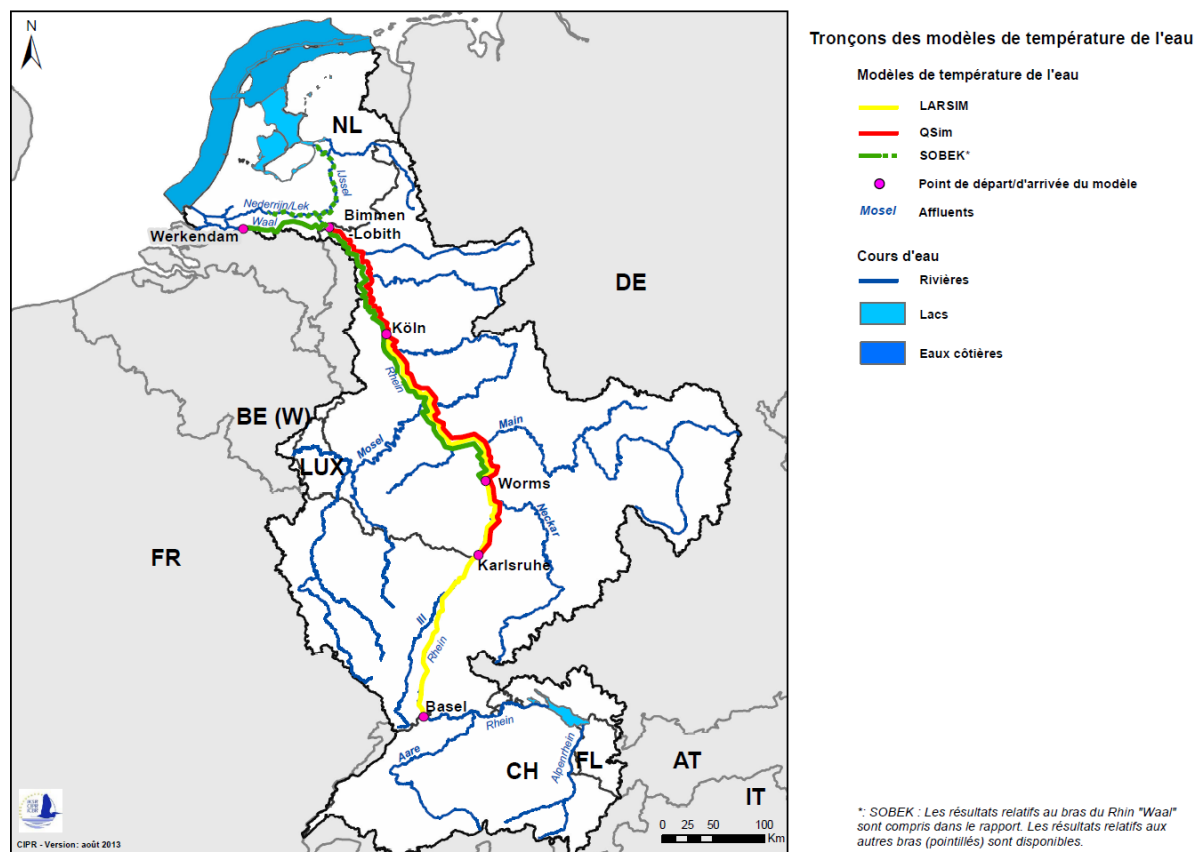


Fig. 1 : Carte présentant les tronçons du Rhin sur lesquels sont utilisés les modèles LARSIM, QSim et SOBEK

La période de référence fixée s'étend de 2001 à 2010. Les calculs de scénarios se fondent sur l'étude de scénarios climatiques et hydrologiques de la CIPR (CIPR 2011) pour la période 2021–2050 (futur proche, NF) et 2071–2100 (futur éloigné, FF), voir tableau 1. Sur l'ensemble de cette période de référence caractérisée par une grande variance au niveau de la température d'eau et du débit, des calculs sont effectués sur la base des conditions (météorologiques et hydrologiques) adaptées découlant des scénarios. On peut ainsi tirer des enseignements sur la modification moyenne de la température de l'eau par rapport à la situation de référence (l'élément principal sur lequel se focalise cette étude) ainsi que sur la fourchette dans laquelle évoluent les valeurs (extrêmes) autour de cette modification moyenne.

N°	Nom	Calcul de simulation	Période	Rejets thermiques	Atmosphère	Débit estival	Débit hivernal
1	Référence (Ref50)	Référence (actuelle) avec rejets thermiques	2001-2010	50% autorisés en 2010	2001-2010	2001-2010	2001-2010
2	Référence sans rejets thermiques (Ref0)	Référence (actuelle) sans rejets thermiques	2001-2010	Pas de Rejets thermiques	2001-2010	2001-2010	2001-2010
3	NF+Qmax	Scénario pour le futur proche avec débit maximum et rejets thermiques correspondant à Ref50	2021-2050	50% autorisés en 2010	Température moyenne de l'air en été +1.5°C	+10%	+15%
4	NF+Qmin	Scénario pour le futur proche avec débit minimum et rejets thermiques correspondant à Ref50	2021-2050	50% autorisés en 2010	Température moyenne de l'air en été +1.5°C	-10%	0%
5	FF+Qmax	Scénario pour le futur éloigné avec débit maximum et rejets thermiques correspondant à Ref50	2071-2100	50% autorisés en 2010	Température moyenne de l'air en été +4.0°C	-10%	+15%
6	FF+Qmin	Scénario pour le futur éloigné avec débit minimum et rejets thermiques correspondant à Ref50	2071-2100	50% autorisés en 2010	Température moyenne de l'air en été +4.0°C	-25%	-5%

Tableau 1 : Situation de départ pour le calcul des simulations

Les modèles ont été calés à partir des rejets thermiques réels et des valeurs hydrométéorologiques mesurées sur la période 2001 - 2010 ou du moins sur des fenêtres de temps pour lesquelles on disposait des données conjointes dans cette période de référence, par ex. juillet-septembre 2003.

La comparaison des résultats de validation des trois modèles LARSIM, SOBEK et QSim fait apparaître une très bonne concordance entre les températures de l'eau simulées et mesurées. C'est le modèle LARSIM qui présente la meilleure concordance.

Pour les analyses de scénario, les experts ont déterminé à partir de l'étude de scénarios pour le régime hydrologique du Rhin (CIPR, 2011) des vecteurs de changement climatique et les ont appliqués aux données météorologiques mesurées sur la période de référence. Comme on ne connaît ni la quantité ni la répartition géographique des futurs rejets thermiques, on a pris en compte pour tous les scénarios des rejets thermiques équivalant à 50% des rejets autorisés en 2010. Ceux-ci correspondent environ aux rejets thermiques actuels de la période de référence. Aux frontières du modèle (Rhin à hauteur de Bâle et affluents par ex. le Neckar), les températures de l'eau ont été simulées par le modèle LARSIM avec les paramètres climatiques à l'aide de modèles de régression (la température de l'eau étant supposée dépendante de la température de l'air et du débit) ou estimées dans SOBEK et QSim à l'aide d'un modèle de simulation simplifié. Bien que les trois modèles se fondent sur des méthodes différentes, les écarts sont faibles et n'ont guère d'impact sur les résultats.

Dans SOBEK, les résultats mis à disposition vont de Worms jusqu'à la fin du Waal, un des bras du Rhin, à hauteur de Werkendam. Les deux autres bras du Rhin au niveau du delta (IJssel jusqu'à Kampen et Lek jusqu'à Schoonhoven) ont certes été également modélisés, mais ne sont pas présentés en détail dans le présent rapport. Les calculs modélisés des deux autres bras du Rhin font apparaître des résultats comparables à ceux du Waal. On a donc décidé de ne présenter ici que le principal bras néerlandais du Rhin, par lequel s'écoulent environ les 2/3 du débit qui alimente le delta du Rhin dans son ensemble.

La figure 2 montre des résultats sélectionnés des modélisations. Les températures de l'eau des différents scénarios y sont présentées pour le mois d'août sous forme de moyennes mensuelles.

Durant la période de référence 2001-2010, l'évolution de la température de l'eau - sans prise en compte des rejeteurs thermiques (Ref0) – fait apparaître un réchauffement progressif sur le tronçon du Rhin de Bâle à Werkendam. C'est sur le Rhin supérieur jusqu'à Worms que l'augmentation de la température de l'eau est la plus importante. La prise en compte de 50% des rejets thermiques autorisés (Ref50) entraîne, notamment en aval de Worms, un réchauffement moyen supplémentaire d'environ 1 °C.

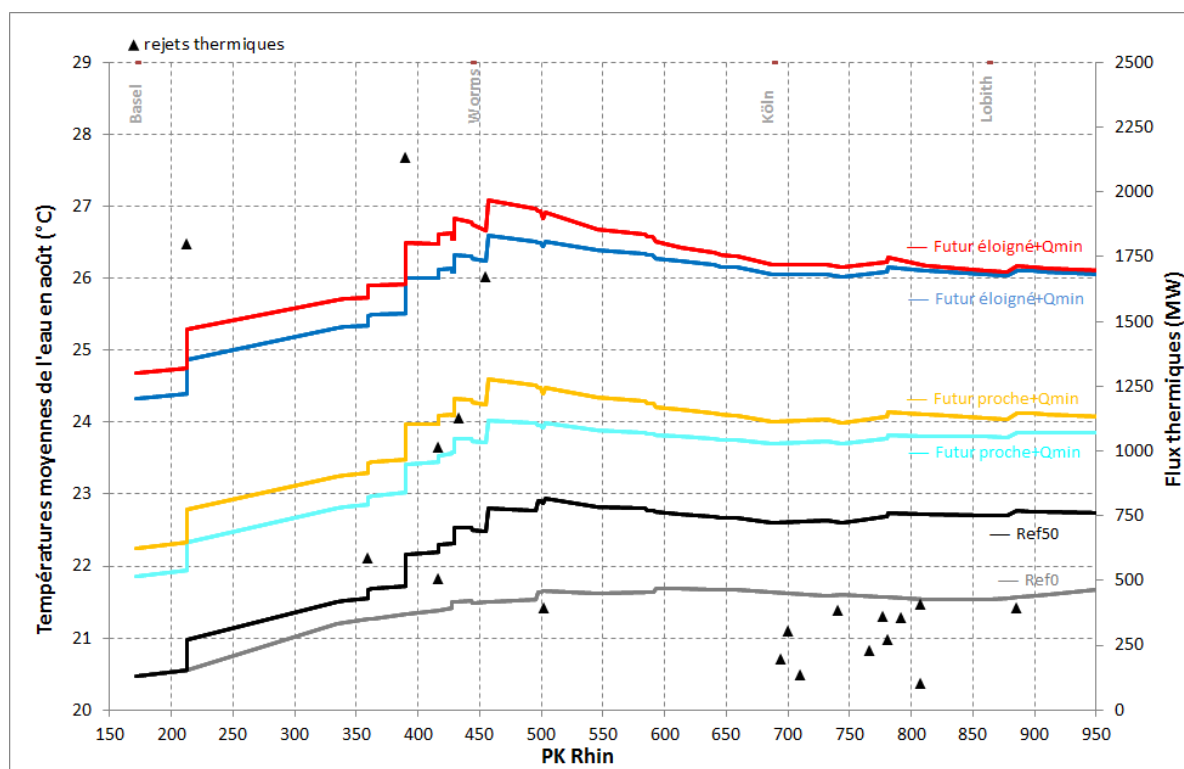


Fig. 2: Profil longitudinal des températures moyennes de l'eau du Rhin pour le mois d'août simulées à l'aide de LARSIM (Bâle-Worms) et SOBEK (Worms-Werkendam).

Pour l'avenir proche noté NF (2021-2050), les profils longitudinaux montrent une hausse de la température de l'eau d'environ 1,5 °C en août par rapport à la période de référence. Pour le futur éloigné 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. Dans les deux cas, l'échauffement est d'origine climatique, sans effet additionnel significatif des rejeteurs thermiques. Comme on pouvait s'y attendre, la hausse de la température de l'eau est plus faible en période de débit élevé (Q_{max}) qu'en période de faible débit (Q_{min}). Les impacts résultant de deux hypothèses de débit à venir sur les températures de l'eau sont faibles par rapport aux modifications de température absolues dues au changement climatique attendu.

La variabilité naturelle des valeurs climatiques et hydrologiques sur la période de référence débouche également sur des dispersions significatives des températures de l'eau. La comparaison pour Ref50 des valeurs moyennes mesurées en août et des percentiles 90 du mois d'août sur la période 2001-2010 montre que ces derniers sont supérieurs de 2 °C aux moyennes d'août sur la période 2001-2010 ; les moyennes d'août 2003 ont même dépassé de 3 °C les moyennes d'août sur la période 2001-2010. Les moyennes d'août 2003 correspondent environ aux moyennes d'août modélisées pour

l'avenir éloigné, de sorte que les températures de l'eau d'août 2003 peuvent déjà être considérées comme ordre de grandeur des températures de l'eau attendues pour le futur éloigné.

		Bâle	Worms	Cologne	Lobith
Ref50 : Moyennes d'août 2001-2010	T (°C)	20.5	22.5	22.6	22.7
Ref50 : Percentile 90 des valeurs d'août 2001-2010	T (°C)	22.4	24.1	24.6	25.3
Août 2003 : Moyenne mensuelle	T (°C)	23.8	26.5	25.6	25.5 ⁷
FF+Qmax : Moyennes d'août 2001-2010	T (°C)	24.3	26.3	26.1	26.0

Tableau 2 : comparaison entre les résultats de simulation (Ref50 et +Qmax tirés de la figure 2) et une autre caractérisation de la période de référence, à savoir le percentile 90 du mois d'août sur la période 2001-2010 et la moyenne mensuelle d'août 2003.

Les organismes ne peuvent déployer intégralement leurs activités vitales (par ex. la reproduction) qu'en présence de plages de température données. Les températures > 25 °C peuvent être un facteur de stress pour la flore et la faune. L'espérance de vie de certaines espèces de poissons par ex. est beaucoup plus courte si elles sont exposées pendant une période prolongée à des températures > 25 °C.

La figure 3 montre à partir des scénarios modélisés le nombre de jours évalués au cours desquels 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 au calcul de référence Ref50 et que cette augmentation peut même doubler en présence d'un faible débit (Qmin). Pour l'avenir éloigné, le nombre de jours avec des dépassements de 25 °C augmentera fortement. A hauteur de Worms par ex., le nombre de jours de dépassement par an passera de 11 à 64, voire 74 dans le futur éloigné par rapport au calcul de référence Ref50.

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.

La figure 3 montre pour les différents scénarios le nombre de jours de dépassement d'une température de 25° C et la fourchette correspondante dans laquelle se retrouvent 80% des résultats obtenus sur la période 2001-2010. Cette figure vise à montrer qu'il y aura également des années sans dépassement dans le futur proche. 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 (FF) 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 Ref0 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 dans la Ref50. Ils ne sont plus que 1 à 3 dans le futur proche et tombent à 0 à 1 dans le futur éloigné.

⁷ Le débit moyen mensuel mesuré à Lobith en août 2003 s'élevait à 1013 m³/s, une valeur de 55% inférieure au débit moyen mesuré sur la période de référence 2001-2010 (2264 m³/s), de 50% inférieure au débit moyen tiré du scénario NF+Qmin et de 40% inférieure au débit moyen tiré du scénario FF+Qmin.

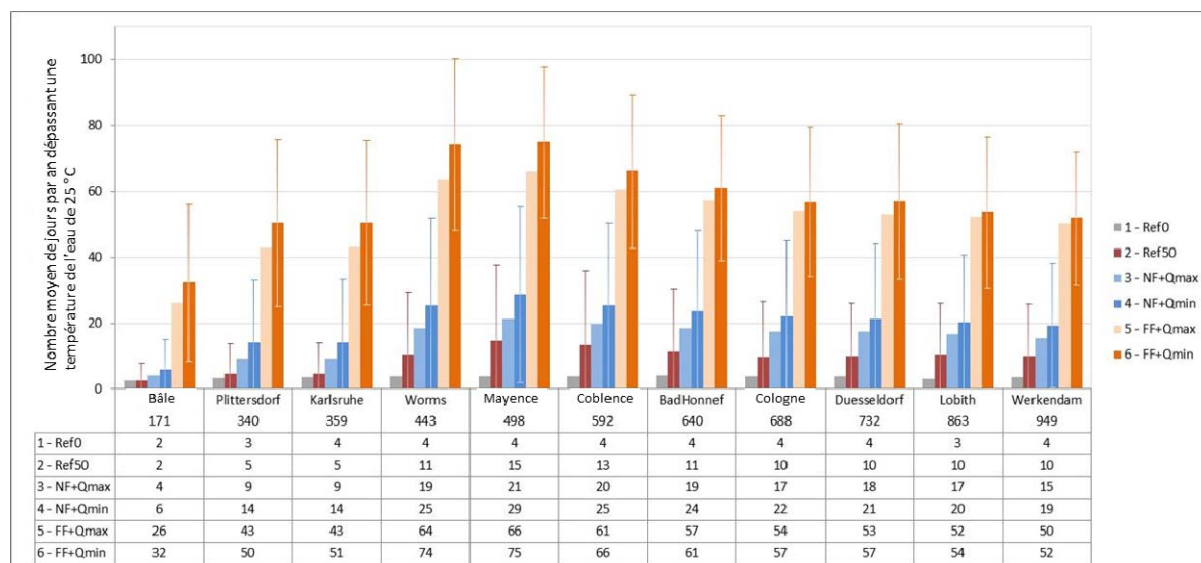


Figure 3 : Nombre moyen de jours par an dépassant une température de l'eau de 25 °C sur le linéaire du Rhin, déterminé à l'aide de LARSIM (Bâle-Worms) et SOBEK (Worms-Werkendam). La fourchette n'est indiquée dans la figure que pour les scénarios Ref50, NF+Qmin et FF+Qmin et indique 80% des variations détectées au cours de la période 2001-2010. Ceci revient à dire que 80% des valeurs obtenues évoluent dans cette fourchette.

La présente synthèse donne un aperçu rapide des résultats pertinents figurant dans le rapport anglais « Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development » (voir CIPR Report No. 214). Les sources bibliographiques indiquées figurent dans ce rapport détaillé.