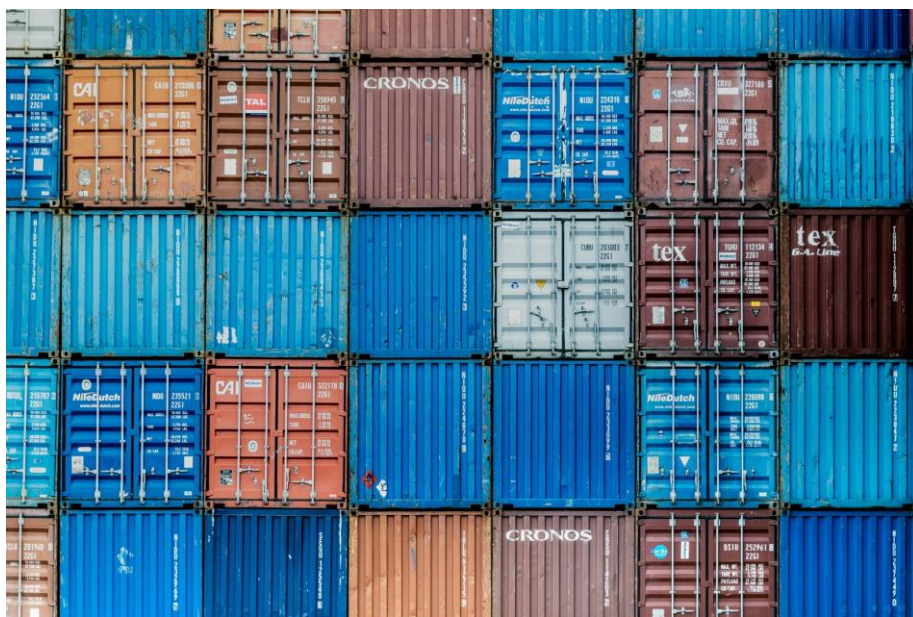


FICHE CLIMATIQUE

Port de Strasbourg



Daniela Albiez, Anna Klose, Daniel Lückerrath, Valerie Wischott

Fraunhofer Institute for Intelligent Analysis and Information Systems IAIS

Carsten Viergutz, Benjamin Schima, Magdalena Uber, Marieke Frassl, Claudius Fleischer, Enno Nilson

BfG - Federal Institute of Hydrology

Novembre 2024

Cette fiche d'information climatique a été élaborée dans le cadre du projet CRANE (Climate Resilience and Adaptation for Upper Rhine Ports) soutenu par Interreg Rhin supérieur, en collaboration avec le Fraunhofer IAIS, le service de base DAS "Climat et eau" (ici : Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG) pour les sept ports du Rhin supérieur de Bâle, Karlsruhe, Kehl, Ludwigshafen, Mannheim, Mulhouse et Strasbourg.

1 Remarques préliminaires

L'objectif des fiches descriptives développées dans le cadre du projet CRANE est de présenter les évolutions historiques ainsi que les projections des paramètres climatiques pertinents pour les sept ports du Rhin supérieur, afin de pouvoir en déduire les mesures d'adaptation possibles. Les indicateurs découlent des paramètres climatiques (température, précipitations) (chapitre 2, fourni par le DWD) ainsi que de leurs effets sur l'hydrologie, les conditions de navigation et les propriétés de l'eau (chapitre 3, fourni par la BfG).

Quelles sont les périodes et les scénarios climatiques considérés ?

Cinq périodes sont considérées dans la fiche descriptive : trois dans le **passé**, deux dans le **futur**. Les données du passé se basent sur des calculs (DWD) ou des données d'observation (BfG). Les données pour le futur se basent sur des projections climatiques.

- **1971-2000 Passé** → 1971-2000 est la période de référence, c'est-à-dire que les modifications indiquées dans les tableaux se rapportent à cette période.
- **1981-2010 Passé**
- **1991-2020 Présent**
- **2031-2060 Futur proche**
- **2071-2100 Futur lointain**

Les projections climatiques sont basées sur le scénario d'émissions RCP8.5, qui suppose une augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans le futur. Les projections climatiques comportent toujours des incertitudes. Pour les représenter, plusieurs simulations sont calculées. La fourchette des résultats est saisie sous la forme d'un centile relativement bas (15), d'un centile relativement élevé (85) et (pour les paramètres hydrologiques) du résultat central de la simulation (centile 50).

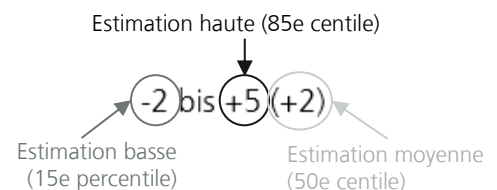
Que sont les projections climatiques et les scénarios d'émissions ?

Une projection climatique est la réaction simulée du système climatique à un scénario d'émissions futures de gaz à effet de serre et d'aérosols, déduits à l'aide de modèles climatiques (scénarios d'émissions). Ils se basent sur des hypothèses concernant les développements socio-économiques et technologiques futurs, qui pourraient ou non se produire (traduit d'après GIEC, 2018). Les incertitudes dans les projections climatiques sont dues, entre autres, à la complexité et à la variabilité naturelle du système climatique ainsi qu'à l'incertitude concernant les évolutions susmentionnées des émissions, de la socio-économie, etc. (DWD, n.d. b; GIEC, 2014).

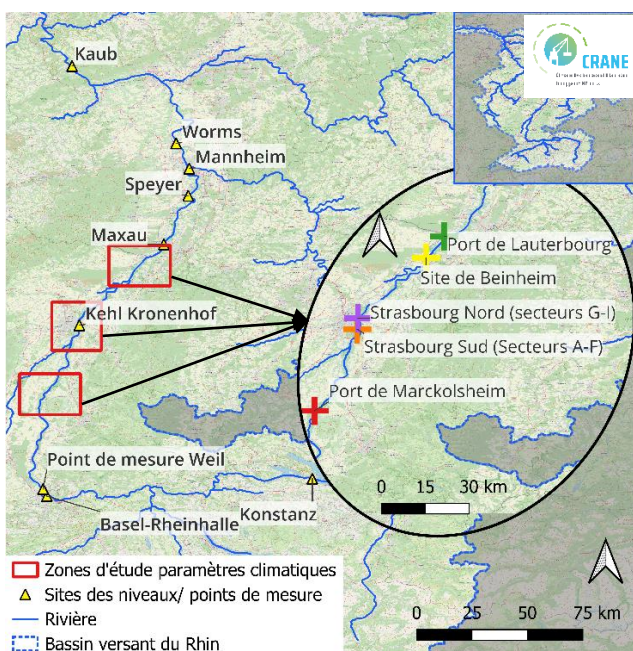
Remarques sur l'interprétation des tableaux d'indicateurs

Les tableaux de cette fiche indiquent l'évolution (projetée) de différents paramètres sur les cinq périodes. Il s'agit soit des valeurs des paramètres pendant la période considérée, soit de leur variation par rapport à la période de référence. Les changements sont indiqués par le signe + (augmentation) ou - (diminution). Une estimation haute et une estimation basse (et en partie moyenne) sont indiquées (voir figure de droite).

Les flèches indiquent la tendance à la manière dont les paramètres évoluent (ou évolueront) au fil du temps (voir illustration à droite).



↑ = Augmentation ↓ = Diminution ⇕ = incertain



Informations sur le site

Cette fiche décrit les valeurs caractéristiques pour le port de Strasbourg, composé des sites Port de Lauterbourg (+), Site de Beinheim (+), Strasbourg Nord (+), Strasbourg Sud (+) et Port de Marckolsheim (+). La carte de gauche montre, entourée d'un cadre noir, une partie agrandie de ces sites.

Les indicateurs relatifs aux influences climatiques (chapitre 2) se réfèrent aux rectangles rouges, c'est-à-dire qu'il s'agit de valeurs moyennes pour cet extrait.

Les indicateurs relatifs à l'hydrologie, aux conditions de navigation et aux propriétés de l'eau (chapitre 3) se réfèrent à l'échelle Maxau et intègrent les processus à l'échelle du bassin du Rhin.

¹ Le choix des périodes et du scénario est basé sur des recommandations et des conventions (Die Bundesregierung, 2008 ; UBA, 2023) ainsi que sur les besoins du projet et la disponibilité des données.

*Bases de données de la carte : Carte de base: © OpenStreetMap (openstreetmap.org, opendatacommons.org); Flûsse: GRDC (2020); GRDC Major River Basins. Global Runoff Data Centre. 2nd, rev. ed. Koblenz: Federal Institute of Hydrology (BfG); Emplacements des échelles limnimétriques : Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS); <https://www.pegelonline.wsv.de/qast/start>

Contexte des données utilisées

Les valeurs pour les périodes du passé sont calculées à partir du jeu de données [HYRAS](https://www.dwd.de/DE/leistungen/hyras/hyras.html)². La base de données pour les projections futures est constituée par les ensembles de [référence du DWD](https://www.dwd.de/ref-ensemble)³ v2018 avec une résolution de 5km x 5km. Les valeurs présentées sont des valeurs moyennes pour la zone d'étude concernée (rectangle sur la carte). Il convient de noter que les données relatives aux précipitations sont généralement plus incertaines que celles relatives aux températures.

**2.1 Site : Port de Marckolsheim****Indicateurs relatifs à la température de l'air**

	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981-2010 Observé	Présent 1991-2020 Observé	Futur proche 2031-2060 Projeté	Futur lointain 2071-2100 Projeté	
Température moyenne journalière						
<i>[Température moyenne d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	10,4	10,8	11,2	11,9 - 12,6	13,5 - 15,3	↑
Hiver	2,4	2,6	3,1	3,4 - 4,9	5,9 - 6,9	↑
Printemps	10,2	10,7	11,1	11,2 - 11,9	12,4 - 13,6	↑
Été	18,6	19,2	19,6	20,2 - 20,9	22,2 - 24	↑
Automne	10,2	10,6	10,9	11,7 - 12,9	13,5 - 16,2	↑
Température minimale journalière moyenne						
<i>[Température minimale d'un jour en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	6	6,2	6,4	7,5 - 8,3	9,2 - 10,7	↑
Hiver	-0,5	-0,5	-0,1	0,6 - 2,1	2,9 - 4	↑
Printemps	5,2	5,5	5,6	6,3 - 7	7,8 - 8,7	↑
Été	13,1	13,4	13,7	14,7 - 15,5	16,5 - 18,5	↑
Automne	6,2	6,4	6,5	7,7 - 8,7	9,5 - 11,7	↑
Température maximale quotidienne moyenne						
<i>[Température maximale d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	15,1	15,6	16,2	16,6 - 17,4	18,2 - 20	↑
Hiver	5,5	5,8	6,4	6,5 - 8,1	9 - 10	↑
Printemps	15,4	16	16,7	16,2 - 17	17,3 - 18,7	↑
Été	24,4	25,1	25,7	26,1 - 26,7	28 - 30	↑
Automne	14,8	15,3	15,8	16,3 - 17,7	18,1 - 20,8	↑
Température maximale journalière⁴						
<i>[Température maximale d'un jour en °C dans la période concernée, par ex. hiver]</i>						
Hiver	21,4	21,4	20,7	21,9 - 24,2	23,4 - 25,9	↑
Printemps	31,4	34,1	34,1	32,5 - 36,2	34,2 - 39,9	↑
Été	36,8	38,7	38,8	40,2 - 44,9	42,3 - 48	↑
Automne	31,8	33,2	33,2	34,5 - 38,9	37,2 - 41,5	↑
Indicateurs relatifs aux valeurs extrêmes [Jours par an]						
Jours de canicule <i>[Temp. maximale d'au moins 30°C]</i>	11	15	19	22 - 33	39 - 63	↑
Période maximale de jours chauds <i>[Max. longueur]</i>	17	13	13	17 - 35	25 - 67	↑

² <https://www.dwd.de/DE/leistungen/hyras/hyras.html>; ³ <https://www.dwd.de/ref-ensemble>; ⁴ Cet indicateur doit être utilisé avec un peu plus de prudence que, par exemple, les températures moyennes, car les écarts dans les modèles se reflètent un peu plus dans les extrêmes. Il donne néanmoins une idée des changements auxquels il faut s'attendre.

Période d'au moins 3 jours chauds [Nombre moyen]	2	2	3	3 - 4	5 - 7	↑
Période d'au moins 6 jours chauds [Nombre moyen]	1	1	1	1 - 2	2 - 3	↑
Journées estivales [Temp. maximale d'au moins 25°C]	53	61	68	72 - 83	94 - 117	↑
Nuits tropicales [Temp. minimale d'au moins 20°C]	0	0	0	4 - 8	15 - 38	↑
Jours de gel [Temp. minimale inférieure à <0°C]	68	69	65	39 - 52	16 - 33	↓
Journées de grand froid [Temp. maximale d'au moins 0°C]	13	13	10	3 - 9	1 - 4	↓
Autres valeurs						
Rayonnement global* [W/m²]	126	129	134	121 - 127	118 - 130	↕

Tableau 1: Valeurs caractéristiques de la température de l'air pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov.

* Le rayonnement global est le rayonnement solaire total arrivant au sol (DWD, o.D. a).

Indicateurs relatifs aux précipitations						
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté	
Précipitations (PR) moyennes [Somme moyenne des précipitations en mm]						
Année	706	728	705	699 - 770	678 - 791	↕
Hiver	131	127	123	132 - 165	148 - 178	↑
Printemps	179	191	178	179 - 213	183 - 229	↑
Été	228	227	225	198 - 249	171 - 226	↓
Automne	170	183	180	156 - 187	136 - 206	↕
Fortes précipitations						
Jours de fortes précipitations [Nombre de jours avec PR ≥ 20mm]	4	4	4	4 - 6	5 - 6	↑
Événements de fortes pluies de type « temps marqué »* [Nombre d'événements avec PR 30-50 mm en 24h]	0,9	1,5	1,1	0,9 - 1,5	1,1 - 1,9	↑
Événements de fortes pluies de type « intempéries » et « intempéries extrêmes »* [Nombre d'événements avec PR > 50mm en 24h]	0,1	0,4	0,2	0,1 - 0,4	0,2 - 0,5	↑
Autres indicateurs relatifs aux précipitations						
Jours sans précipitation [Nombre de jours par an avec PR < 1mm]	247	245	249	244 - 256	248 - 263	↑
Période de sécheresse [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≤ 1mm]	37	37	40	27 - 52	26 - 55	↕
Période humide [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≥ 1mm]	12	12	12	9 - 16	10 - 18	↕
Jours de neige potentiels [Nombre moyen de jours avec PR ≥ 1mm et température moyenne journalière ≤ 2°C]	9	9	13	3 - 5	0 - 2	↓

Tableau 2: Indicateurs relatifs aux précipitations pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov. *La répartition en trois types correspond aux niveaux d'alerte auxquels le service météorologique allemand met en garde contre les fortes pluies.

2.2 Sites: Strasbourg Sud (Secteurs A-F), Strasbourg Nord (secteurs G-I)

Indicateurs relatifs à la température de l'air						
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981-2010 Observé	Présent 1991-2020 Observé	Futur proche 2031-2060 Projeté	Futur lointain 2071-2100 Projeté	
Température moyenne journalière						
<i>[Température moyenne d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	10,6	11	11,5	12,1 - 12,8	13,7 - 15,5	↑
Hiver	2,6	2,8	3,3	3,6 - 5,1	6,1 - 7,1	↑
Printemps	10,4	10,9	11,3	11,4 - 12,1	12,6 - 13,8	↑
Été	18,8	19,3	19,9	20,4 - 21,1	22,3 - 24,1	↑
Automne	10,5	10,9	11,2	12 - 13,1	13,8 - 16,4	↑
Température minimale journalière moyenne						
<i>[Température minimale d'un jour en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	6,4	6,8	7,1	7,9 - 8,7	9,6 - 11,1	↑
Hiver	-0,1	0	0,5	1 - 2,6	3,3 - 4,5	↑
Printemps	5,6	6	6,1	6,7 - 7,4	8,2 - 9,1	↑
Été	13,5	13,9	14,3	15,1 - 15,9	16,8 - 18,9	↑
Automne	6,7	7,1	7,2	8,3 - 9,2	9,9 - 12,3	↑
Température maximale quotidienne moyenne						
<i>[Température maximale d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]</i>						
Année	14,9	15,3	16	16,4 - 17,2	17,9 - 19,8	↑
Hiver	5,3	5,5	6,2	6,3 - 7,9	8,7 - 9,8	↑
Printemps	15,2	15,8	16,5	16 - 16,8	17,1 - 18,5	↑
Été	24,2	24,9	25,6	25,8 - 26,5	27,8 - 29,7	↑
Automne	14,5	15	15,4	16 - 17,3	17,7 - 20,4	↑
Température maximale journalière						
<i>[Température maximale d'un jour en °C dans la période concernée, par ex. hiver]</i>						
Hiver	20,7	20,7	20,3	21,1 - 23,2	22,5 - 25,5	↑
Printemps	30,8	33,4	33,8	31,9 - 35,8	33,5 - 39,8	↑
Été	36,7	38,4	38,7	40,1 - 44,6	42,4 - 47,4	↑
Automne	31,6	32	32,6	33,6 - 38,1	36,8 - 41,1	↑
Indicateurs relatifs aux valeurs extrêmes [Jours par an]						
Jours de canicule <i>[Temp. maximale d'au moins 30°C]</i>	10	13	17	21 - 30	36 - 61	↑
Période maximale de jours chauds <i>[Max. longueur]</i>	16	14	14	16 - 33	25 - 63	↑
Période d'au moins 3 jours chauds <i>[Nombre moyen]</i>	2	2	3	3 - 4	5 - 7	↑
Période d'au moins 6 jours chauds <i>[Nombre moyen]</i>	1	1	1	1 - 2	2 - 3	↑
Journées estivales <i>[Temp. maximale d'au moins 25°C]</i>	51	57	65	69 - 81	90 - 113	↑
Nuits tropicales <i>[Temp. minimale d'au moins 20°C]</i>	0	1	1	4 - 10	17 - 41	↑
Jours de gel <i>[Temp. minimale inférieure à <0°C]</i>	61	60	55	33 - 47	11 - 27	↓

Journées de grand froid [Temp. maximale d'au moins 0°C]	13	13	10	3 - 9	0 - 4	↓
Autres valeurs						
Rayonnement global* [W/m²]	122	124	128	117 - 123	113 - 126	↕

Tableau 3: Valeurs caractéristiques de la température de l'air pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov. * Le rayonnement global est le rayonnement solaire total arrivant au sol (DWD, o.D. a).

Indicateurs relatifs aux précipitations						
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté	
Précipitations moyennes [Somme moyenne des précipitations en mm]						
Année	753	789	757	753 - 828	730 - 828	↕
Hiver	147	151	152	147 - 188	165 - 196	↑
Printemps	183	199	184	183 - 221	178 - 229	↕
Été	229	235	229	206 - 243	172 - 220	↓
Automne	196	203	193	184 - 218	161 - 227	↕
Fortes précipitations						
Jours de fortes précipitations [Nombre de jours avec PR ≥ 20mm]	4	4	4	4 - 6	5 - 7	↑
Événements de fortes pluies de type « temps marqué »* [Nombre d'événements avec PR 30-50 mm en 24h]	1	1,6	1,5	1,1 - 1,7	1,2 - 2	↑
Événements de fortes pluies de type « intempéries » et « intempéries extrêmes »* [Nombre d'événements avec PR > 50mm en 24h]	0,1	1	1	0,1 - 0,4	0,2 - 0,5	↑
Autres indicateurs relatifs aux précipitations						
Jours sans précipitation [Nombre de jours par an avec PR < 1mm]	242	239	242	239 - 251	244 - 258	↑
Période de sécheresse [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≤ 1mm]	36	33	42	28 - 51	24 - 60	↕
Période humide [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≥ 1mm]	13	12	13	10 - 19	11 - 20	↕
Jours de neige potentiels [Nombre moyen de jours avec PR ≥ 1mm et température moyenne journalière ≤ 2°C]	9	10	14	2 - 4	0 - 2	↓

Tableau 4: Indicateurs relatifs aux précipitations pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov. *La répartition en trois types correspond aux niveaux d'alerte auxquels le service météorologique allemand met en garde contre les fortes pluies.

2.3 Sites: Site de Beinheim, Port de Lauterbourg

Indicateurs relatifs à la température de l'air						
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981-2010 Observé	Présent 1991-2020 Observé	Futur proche 2031-2060 Projeté	Futur lointain 2071-2100 Projeté	
Température moyenne journalière [Température moyenne d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]						
Année	10,3	10,7	11,3	11,8 - 12,5	13,3 - 15,2	↑
Hiver	2,3	2,5	3,1	3,3 - 4,8	5,7 - 6,7	↑
Printemps	10,1	10,6	11,1	11,1 - 11,8	12,3 - 13,4	↑
Été	18,5	19,1	19,7	20,1 - 20,8	22 - 23,7	↑
Automne	10,2	10,7	11	11,7 - 12,8	13,4 - 16	↑
Température minimale journalière moyenne [Température minimale d'un jour en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]						
Année	6	6,4	6,7	7,5 - 8,3	9,2 - 10,6	↑
Hiver	-0,5	-0,4	0,2	0,6 - 2,1	2,9 - 3,9	↑
Printemps	5,2	5,6	5,8	6,3 - 7	7,9 - 8,7	↑
Été	13	13,5	13,9	14,6 - 15,4	16,3 - 18,4	↑
Automne	6,3	6,7	6,9	7,8 - 8,8	9,6 - 11,8	↑
Température maximale quotidienne moyenne [Température maximale d'une journée en °C, moyenne sur la période correspondante, par ex. hiver]						
Année	14,8	15,3	15,9	16,2 - 17	17,8 - 19,6	↑
Hiver	5,2	5,4	6	6,2 - 7,8	8,6 - 9,6	↑
Printemps	15,1	15,7	16,4	15,9 - 16,7	17 - 18,3	↑
Été	24,2	24,9	25,6	25,8 - 26,6	27,7 - 29,6	↑
Automne	14,4	14,9	15,4	15,8 - 17,3	17,6 - 20,3	↑
Température maximale journalière [Température maximale d'un jour en °C dans la période concernée, par ex. hiver]						
Hiver	20,9	20,9	19,5	20,8 - 23,6	22,7 - 25,4	↑
Printemps	31,1	33,3	33,4	32,2 - 35,5	33,2 - 39,3	↑
Été	37,3	38,7	38,9	40,1 - 44,2	43 - 46,7	↑
Automne	31,7	31,6	32,5	34,3 - 37,9	36,2 - 40,9	↑
Indicateurs relatifs aux valeurs extrêmes [Jours par an]						
Jours de canicule [Temp. maximale d'au moins 30°C]	11	15	18	21 - 30	37 - 60	↑
Période maximale de jours chauds [Max. longueur]	15	14	14	17 - 30	25 - 56	↑
Période d'au moins 3 jours chauds [Nombre moyen]	2	2	3	3 - 4	5 - 7	↑
Période d'au moins 6 jours chauds [Nombre moyen]	1	1	1	1 - 2	2 - 3	↑
Journées estivales [Temp. maximale d'au moins 25°C]	51	58	65	68 - 80	89 - 112	↑
Nuits tropicales [Temp. minimale d'au moins 20°C]	0	1	1	3 - 8	14 - 36	↑
Jours de gel [Temp. minimale inférieure à <0°C]	67	66	60	36 - 50	16 - 30	↓
Journées de grand froid [Temp. maximale d'au moins 0°C]	13	13	10	3 - 9	1 - 4	↓

Autres valeurs					
Rayonnement global* [W/m²]	122	125	128	117 - 123	113 - 126

Tableau 5: Valeurs caractéristiques de la température de l'air pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov.
 * Le rayonnement global est le rayonnement solaire total arrivant au sol (DWD, o.D. a).

Indicateurs relatifs aux précipitations					
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté
Précipitations (PR) moyennes [Somme moyenne des précipitations en mm]					
Année	865	888	849	848 - 943	856 - 977
Hiver	210	218	214	214 - 258	233 - 271
Printemps	203	213	195	205 - 238	207 - 246
Été	226	226	227	194 - 235	167 - 226
Automne	228	229	213	214 - 253	198 - 264
Fortes précipitations					
Jours de fortes précipitations [Nombre de jours avec PR ≥20mm]	5	5	5	5 - 7	6 - 8
Événements de fortes pluies de type « temps marqué »* [Nombre d'événements avec PR 30-50 mm en 24h]	1,1	1,8	1,6	1,1 - 1,9	1,4 - 2,2
Événements de fortes pluies de type « intempéries » et « intempéries extrêmes »* [Nombre d'événements avec PR >50mm en 24h]	0,2	1	1	0,2 - 0,5	0,3 - 0,6
Autres indicateurs relatifs aux précipitations					
Jours sans précipitation [Nombre de jours par an avec PR <1mm]	235	231	235	232 - 247	235 - 256
Période de sécheresse [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≤ 1mm]	37	35	42	31 - 53	28 - 62
Période humide [Max. Période de jours consécutifs avec PR ≥ 1mm]	16	16	14	13 - 21	12 - 23
Jours de neige potentiels [Nombre moyen de jours avec PR ≥ 1mm et température moyenne journalière ≤ 2°C]	11	12	16	3 - 6	0 bis 2

Tableau 6: Indicateurs relatifs aux précipitations pour le passé (observées) et pour le futur (projetées). Hiver : déc, jan, fév | printemps : mar, avr, mai | été : juin, juillet, août | automne : sep, oct, nov. *La répartition en trois types correspond aux niveaux d'alerte auxquels le service météorologique allemand met en garde contre les fortes pluies.

3 Données relatives à l'hydrologie, aux conditions de navigation, aux caractéristiques de l'eau

Le changement climatique peut avoir un impact sur le fonctionnement et l'infrastructure des ports. Les modifications de la quantité d'eau disponible peuvent entraîner des restrictions de la navigation. Les modifications de la charge sédimentaire et de la nature de l'eau du fleuve peuvent avoir un impact sur l'infrastructure des voies navigables et des ports.

Remarques sur les indicateurs

Les indicateurs se subdivisent dans les domaines des ressources en eau (indicateurs hydrologiques), des conditions de navigation (niveaux d'eau, taux de chargement potentiels) et des propriétés de l'eau (charge sédimentaire, salinité, qualité de l'eau). Toutes les données se réfèrent au Rhin à hauteur de Bâle (différentes stations de mesure), seuls les degrés de chargement des bateaux sont indiqués pour l'échelle de Kaub en tant que point déterminant pour le taux de chargement des bateaux vers les ports maritimes (ARA - Anvers, Rotterdam, Amsterdam). La base de données pour les projections futures est constituée de 16 projections du scénario d'émissions RCP8.5. La couleur jaune dans les tableaux est utilisée lorsqu'au moins la moitié des projections présentent une modification de même sens d'au moins 5% par rapport à la période de référence. Pour certains paramètres (valeurs extrêmes comme HQ100), la méthode diffère. De même, pour certaines valeurs caractéristiques, il n'est actuellement possible de donner que des indications globales sur leur évolution.

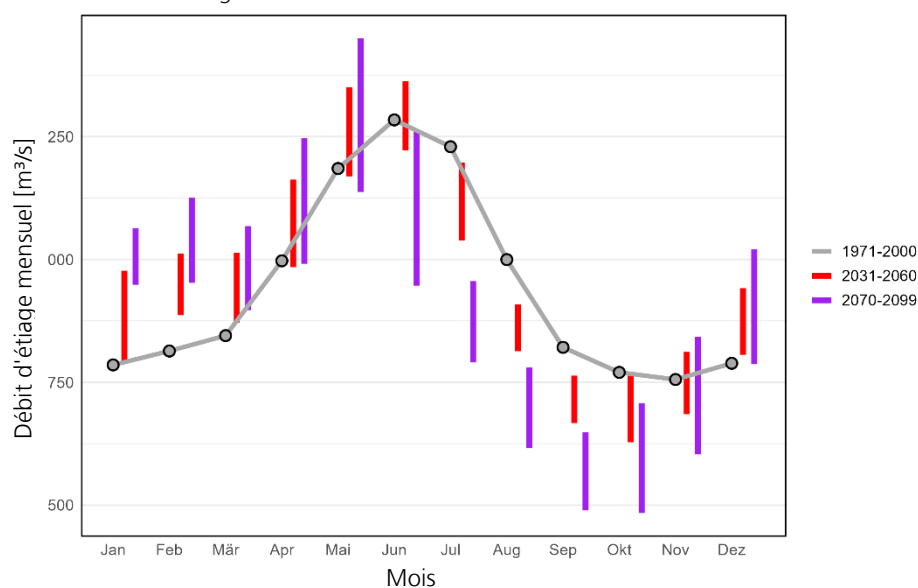
Le chapitre 4 contient des informations plus détaillées sur les indicateurs ainsi que sur les bases et les méthodes de calcul.

L'échelle de Maxau : Ressources en eau (indicateurs hydrologiques)*

	Période de référence 1971-2000 Observé [m^3/s]	Passé 1981 - 2010 Observé [%]	Présent 1991 - 2020 Observé [%]	Futur proche 2031 - 2060 Projeté [%]	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté [%]	
MNQ [Débit d'étiage annuel]	645	-1	-3	-10 bis +3 (-3)	-25 bis -6 (-15)	↓
MNQS [Débit d'étiage moyen, été]	775	0	-7	-13 bis -4 (-9)	-32 bis -15 (-24)	↓
MNQW [Débit d'étiage moyen, hiver]	653	-1	-2	-8 bis +4 (-2)	-22 bis +2 (-9)	↓
NM7Q [Débit le plus bas sur 7 jours annuel]	675	-1	-3	-10 bis +3 (-3)	-25 bis -6 (-14)	↓
NM7QS [Débit le plus bas sur 7 jours, été]	812	0	-7	-14 bis -6 (-8)	-32 bis -15 (-24)	↓
NM7QW [Débit le plus bas sur 7 jours, hiver]	685	-1	-2	-9 bis +5 (-2)	-23 bis +2 (-8)	↓
MQ [Débit annuel moyen en m^3/s]	1264	1	-3	-2 bis +5 (+3)	-7 bis +6 (0)	↕
MQS [Débit moyen, été]	1354	0	-5	-9 bis 0 (-6)	-27 bis -9 (-15)	↑
MQW [Débit moyen, hiver]	1173	1	0	+4 bis +16 (+13)	+9 bis +29 (+16)	↑
MHQ [Débit de crue annuel]	3176	1	-2	+1 bis +16 (+9)	+4 bis +18 (+9)	↑
MHQS [Débit de crue, été]	2760	0	-3	-7 bis +9 (-1)	-17 bis +5 (-4)	↕
MHQW [Débit de crue, hiver]	2940	1	-4	+7 bis +19 (+13)	+7 bis +29 (+18)	↑
HQ10 [crue décennale]	-	-	-	+14	+11	↑
HQ100 [crue centennale]	-	-	-	+28	+12	↑

Débit d'étiage moyen par mois

Débit d'étiage mensuel à l'échelle de Maxau



Débit d'étiage mensuel (valeur moyenne sur 30 ans) à l'échelle de Maxau. Sont représentées les données d'observation de la période 1971-2000 (ligne grise) ainsi que la fourchette comprise entre le 15ème centile et le 85ème centile de la période 2031-2060 (barres rouges) et 2070-2099 (barres violettes). Données/graphique : BfG-M2

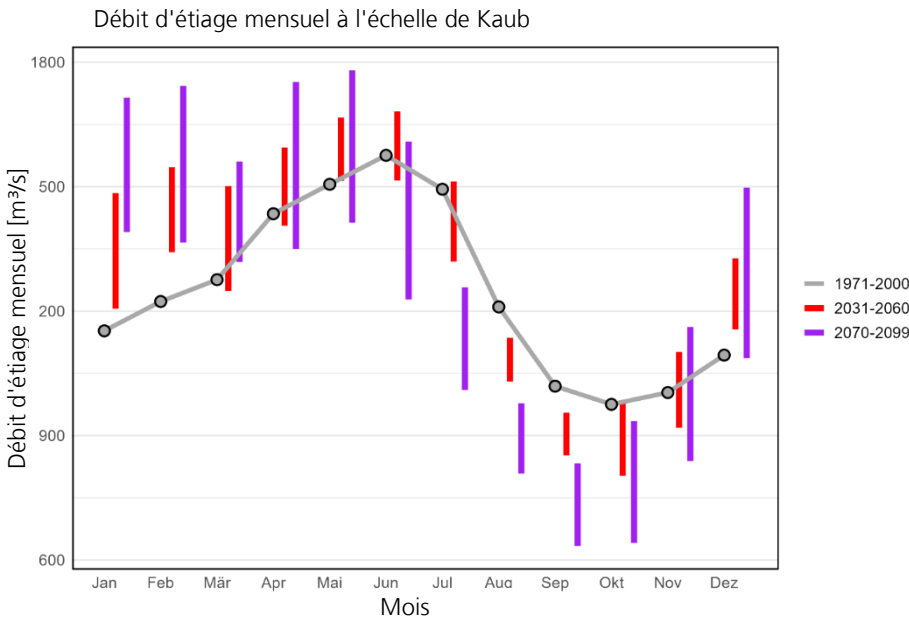
Tableau 7: Indicateurs hydrologiques et modifications à l'échelle de Maxau. *Aucune valeur hydrologique valide ne peut être fournie pour l'échelle souhaitée à Kehl-Kronenhof. La BfG propose donc d'intégrer l'échelle valide la plus proche en amont, en l'occurrence l'échelle de Maxau.

Échelle de Kaub : Ressources en eau (indicateurs hydrologiques)

	Période de référence 1971-2000 Observé [m^3/s]	Passé 1981 - 2010 Observé [%]	Présent 1991 - 2020 Observé [%]	Futur proche 2031 - 2060 Projeté [%]	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté [%]	
MNQ [Débit d'étiage annuel]	826	4	2	-12 à -0 (-4)	-24 à -7 (-17)	↓
MNQS [Débit d'étiage moyen, été]	982	1	-5	-13 à -5 (-9)	-31 à -16 (-23)	↓
MNQW [Débit d'étiage moyen, hiver]	871	3	2	-9 à +3 (-2)	-24 à +2 (-11)	↓
NM7Q [Débit le plus bas sur 7 jours annuel]	856	3	1	-11 à -0 (-4)	-24 à -7 (-17)	↓
NM7QS [Débit le plus bas sur 7 jours, été]	1024	2	-5	-13 à -5 (-9)	-31 à -16 (-23)	↓
NM7QW [Débit le plus bas sur 7 jours, hiver]	898	3	2	-9 à +3 (-2)	-24 à +2 (-11)	↓
MQ [Débit annuel moyen en m^3/s]	1692	3	-2	-0 à +6 (+4)	-6 à +11 (+4)	↕
MQS [Débit moyen, été]	1645	2	-5	-8 à +2 (-2)	-21 à -4 (-13)	↓
MQW [Débit moyen, hiver]	1740	5	0	+5 à +16 (+11)	+5 à +33 (+17)	↑
MHQ [Débit de crue annuel]	4347	5	-2	+3 à +15 (+11)	+5 à +26 (+17)	↑
MHQS [Débit de crue, été]	3150	0	-6	-4 bis +12 (+3)	-14 à +11 (+1)	↕
MHQW [Débit de crue, hiver]	4263	7	-2	+3 bis +20 (+13)	+5 à +30 (+20)	↑
HQ10 [crue décennale]	-	-	-	+14	+17	↑



Débit d'étiage moyen par mois



Débit d'étiage mensuel (valeur moyenne sur 30 ans) à l'échelle de Kaub. Sont représentées les données d'observation de la période 1971-2000 (ligne grise) ainsi que la fourchette comprise entre le 15ème centile et le 85ème centile de la période 2031-2060 (barres rouges) et 2070-2099 (barres violettes). Données/graphique : BfG-M2

Tableau 8: Indicateurs hydrologiques et modifications à l'échelle de Kaub.

Niveaux de chargement potentiels des types de navires concernés					
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté
[% de charge]					
Johann Welker (80m)	94,42	95,58	93,78	85 à 91 (88)	76 à 86 (80) ↓
Grand Rhéna (110m)	73,54	75,57	71,04	63 à 69 (66)	51 à 63 (57) ↓
Grand Rhéna (135m)	74,68	76,64	72,31	64 à 71 (68)	53 à 64 (59) ↓
Convoi poussé Automoteur-barge (186m)	72,34	74,27	69,78	62 bis 68 (65)	50 bis 62 (56) ↓
Synthese 18 (110m)	84,15	86,06	82,52	74 bis 81 (77)	63 bis 74 (69) ↓

Tableau 8: Taux de charge potentiels observés et projetés à l'échelle de Kaub pendant le semestre hydrologique d'été.

Jours de sous-dépassement et de dépassement d'un niveau d'eau x					
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté
[Jours par an]					
Sous-passement de 120 cm	50	37	44	42 bis 68 (53)	55 bis 88 (72) ↑

Tableau 9: Somme annuelle des jours de sous-dépassement ou de dépassement de certains seuils à l'échelle de Kaub.

Propriétés de l'eau						
	Période de référence 1971-2000 Observé	Passé 1981 - 2010 Observé	Présent 1991 - 2020 Observé	Futur proche 2031 - 2060 Projeté	Futur lointain 2071 - 2100 Projeté	
Matières en suspension [Mt a ⁻¹ pendant la période de référence ; % pendant toutes les autres périodes]						
Charge de matières en suspension	1,25	1,10 (-10%)	0,91 (-25 %)	↗	↗	↑
Concentration en chlorure [%]						
Δc chez MNM7Q	0	-	-	-3 bis +11 (+4)	+7 bis +33 (+16)	↑
Température de l'eau [x]						
En cours de livraison						

Tableau 10: 1) Dose moyenne annuelle de MES à à la station de mesure de Maxau et modifications (tendances). Les données futures sont des tendances attendues et non des projections. 2) Modifications projetées de la concentration de chlorures en période d'étéage (moyenne trentenaire du NM7Q) en supposant que le flux de substances reste constant. 3) xxx

4 Annexe : Explications des indicateurs du chapitres 2 et 3

4.1 Explication des simulations climatologiques

"Les scénarios des gaz à effet de serre atmosphériques, c'est-à-dire les hypothèses sur l'évolution dans le temps de leurs concentrations dans l'air, constituent la base de toutes les simulations de modèles climatiques". (Brienen et al., 2020, p. 6). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) formule différents scénarios concernant les concentrations de gaz à effet de serre ; dans la présente fiche, c'est le scénario RCP8.5 (continuer comme avant) qui est considéré. "Les simulations des modèles climatiques régionaux concernant l'évolution du climat au 21^e siècle sont des projections basées sur des hypothèses concernant les états climatiques possibles. Une prédiction exacte du climat futur n'est pas possible en raison de différents facteurs, notamment :

- Sélection des scénarios climatiques
- Précision limitée du modèle
- Variabilité climatique interne
- Imprécisions dans la cascade de modèles". (Brienen et al., 2020, p. 17).

Afin de pouvoir tirer des conclusions solides malgré ces incertitudes, plusieurs simulations, appelées ensembles, sont réalisées pour chaque scénario. Ces ensembles, constitués dans le cas présent de 21 simulations, sont évalués statistiquement afin de représenter une fourchette réaliste des états futurs possibles. Dans ce contexte, le 15^e percentile est indiqué comme limite inférieure réaliste et le 85^e percentile comme limite supérieure réaliste des changements simulés. En outre, les valeurs de simulation sont généralement soumises à une procédure d'ajustement des biais. "Cette procédure consiste à estimer les erreurs systématiques internes au modèle (biais) dans la comparaison entre l'exécution historique du modèle et les données d'observation sur une période de référence d'au moins 30 ans et à les ajuster dans la mesure du possible". (Brienen et al., 2020, p. 17). De plus amples informations sur les simulations climatiques utilisées sont disponibles dans Brienen et al. (2020).

4.2 Validation des paramètres hydrologiques

Le modèle de bilan hydrique (LARSIM-ME) reproduit de manière satisfaisante les valeurs observées dans le cycle de référence, c'est-à-dire en utilisant des données d'entraînement météorologiques basées sur l'observation (écarts $\leq 10\%$) (tableau 11 à titre d'exemple pour l'échelle de Maxau). On trouvera de plus amples informations sur les projections climatiques utilisées et sur le modèle de bilan hydrique dans BfG (2021), chez Nilson et al. (2020) ou Nilson (2021).

Tableau 11: Validation de LARSIM-ME à l'échelle de Maxau, évaluée pour la période 1971 à 2000 sur la base de données d'observation des échelles et d'une simulation LARSIM-ME alimentée par des données météorologiques observées (HYRAS).

Valeur	Observation [m ³ /s]	LARSIM [m ³ /s]	Différence [%]
NM7Q	675	621	-8
NM7QS	812	741	-9
NM7QW	685	666	-3
MNQ	645	599	-7
MNQS	775	708	-9
MNQW	653	642	-2
MQ	1264	1225	-3
MQS	1354	1329	-2
MQW	1174	1119	-5
MHQ	3176	3095	-3
MHQS	2760	2687	-3
MHQW	2940	2814	-4

4.3 Débit, jours de sous-dépassement et de dépassement, niveaux de charge potentiels

Les modifications des ressources en eau sont indiquées, après concertation entre le WSV et la BfG unité M2, sous forme de débits qui, en moyenne pluriannuelle (30 ans), correspond au

- a) débit d'étiage annuel (MNQ)
- b) débit le plus faible sur 7 jours (NM7Q)
- c) débit annuel moyen (MQ)
- d) débit de crue annuel (MHQ)
- e) HQ10 (crue décennale)
- f) HQ100 (crue centennale)

En outre, le nombre de jours par an où certains niveaux sont dépassés ou non a été analysé et les niveaux de chargement potentiels ont été déterminés pour différents types de navires. Les projections sont basées sur le scénario de fortes émissions RCP8.5. L'estimation de l'incertitude est basée sur 16 simulations, la fourchette étant saisie sous la forme d'un résultat de simulation relativement bas, d'un résultat relativement élevé et du résultat central (correspondant respectivement aux 15e, 85e et 50e centiles). Les valeurs caractéristiques NM7Q, MQ, MNQ et MHQ sont calculées sur la base de séries annuelles en tant que moyenne pour 30 périodes annuelles.

Les modifications des indicateurs sont évaluées pour des périodes glissantes de 30 ans sous forme de pourcentage de variation par rapport à la période de référence 1971-2000. Afin d'assurer la cohérence avec l'analyse des effets et des risques climatiques de l'Etat Fédéral Allemand (Umweltbundesamt, 2021), les périodes 2031 à 2060 et 2070 à 2099 sont prises en compte. De plus, les valeurs et les modifications sont indiquées pour les périodes "passées" (ici de 1981 à 2010) et "présentes" (ici de 1991 à 2020) afin de rendre tangibles les changements déjà intervenus par rapport à la période de référence standard.

En règle générale, plus les événements considérés sont extrêmes et rares, plus les conclusions sont incertaines. C'est pourquoi une procédure alternative a été choisie pour les analyses statistiques des valeurs extrêmes des paramètres HQ10 et HQ100 : On utilise comme base de données les valeurs HQ annuelles de 13 projections sélectionnées en particulier pour les crues, par période de 30 ans. Ces valeurs caractéristiques sont déterminées à l'aide de séries combinées (approche "Grand Sample"). A cet effet, les valeurs HQ de toutes les projections par période de 30 ans sont regroupées pour l'établissement des statistiques sur les valeurs extrêmes, ce qui permet de fonder les statistiques sur les valeurs extrêmes par tranche de temps sur 390 années (13 x 30 valeurs HQ) et d'obtenir une meilleure garantie statistique que si chaque projection était traitée séparément (seulement 30 valeurs HQ). Toutefois, la méthode est encore en cours d'expérimentation et présente certaines limites en ce qui concerne la structure et l'équilibre de la population. Par ailleurs, aucune donnée absolue n'est déduite pour la période d'observation des paramètres statistiques des valeurs extrêmes. Nous renvoyons ici aux valeurs officielles de mesure et de référence, par exemple celles des Länder allemands.

Pour calculer les jours de sous-dépassement ou de dépassement, on détermine d'abord le niveau d'eau correspondant à partir des données de débit au moyen des tables de débit de l'échelle respective, puis on détermine le nombre de jours de dépassement ou de sous-dépassement sur la base du niveau d'eau.

Pour déterminer les niveaux de chargement potentiels, la profondeur d'eau est d'abord calculée selon la formule suivante :

$$\text{Profondeur d'eau} = \text{niveau d'eau} - \text{niveau d'eau équivalent (GIW)} + \text{profondeur sous GIW (TuGIW)}.$$

Les niveaux de charge potentiels sont ensuite déterminés sur la base de la profondeur d'eau. Pour ce faire, on utilise les valeurs caractéristiques des différents types de bateaux présentées dans le tableau 8.

Tableau 12: Caractéristiques des différents types de navires.

Type de navire	Tirant d'eau minimal [m]	Tirant d'eau maximal [m]	Capacité de charge minimale [t]	Capacité de charge maximale [t]	Distance de sécurité [m]
Grand Rhéna (110m)	1,35	3,5	400	2900	0,3
Grand Rhéna (135m)	1,35	3,5	670	3800	0,3
Johann Welker (80m)	1,2	2,5	300	1250	0,2

4.4 Matières en suspension

Le flux annuel moyen de MES indiqué se fonde sur les données de débit à l'échelle de Bâle Rheinhalle et sur les mesures de la concentration de MES à la station de mesure de Weil à partir du réseau de mesure de la durée de séjour des MES du WSV. Les données de mesure sont disponibles pour la période 1971-2018.

Les modifications attendues de la future charge de matières en suspension résultent des modifications attendues du débit de crue et des modifications des matériaux érodés disponibles. En cas de débit plus élevé, davantage de matières en suspension peuvent être transportées. Les matériaux fins érodés sont transportés par les affluents et les petits cours d'eau du bassin versant vers les voies navigables fédérales. En raison de l'augmentation prévue des fortes pluies, on s'attend à ce que l'érosion des sols augmente à l'avenir. Cette relation peut être quantifiée à l'aide de la valeur caractéristique de l'érosivité pluviale annuelle moyenne (la capacité de la pluie à provoquer l'érosion du sol). Dans le bassin versant du Rhin jusqu'à

Weil, on s'attend à ce que l'érosivité des pluies augmente de 14,6% dans un avenir proche et de 43% dans un avenir lointain. L'érosivité des pluies a été calculée à partir de simulations climatiques à haute résolution réalisées avec le modèle COSMO-CLM en utilisant le scénario RCP8.5 (Uber et al., 2024). Les valeurs indiquées ici sont des moyennes spatiales calculées sur le bassin du Rhin jusqu'à Weil, moins la partie en amont du lac de Constance. Cette partie n'a pas été considérée, car le lac de Constance fait office de puits pour les matières en suspension.

Il convient de noter que cette approche simplifiée néglige les processus qui peuvent être décisifs pour l'érosion et les apports de sédiments dans les rivières. Il s'agit notamment des modifications de l'utilisation des sols, des processus glaciaires le cas échéant, ainsi que des modifications de la connectivité entre les versants et les cours d'eau. En outre, les valeurs indiquées indiquent des charges dans le fleuve qui ne sont pas nécessairement liées aux apports dans le bassin portuaire.

4.5 Salinité

L'indicateur de salinité pris en compte dans cette fiche est la concentration d'ions chlorure (Cl-) dans l'eau. Le chlorure est présent sous forme dissoute dans l'eau, provient de sources naturelles et de rejets anthropiques et est plus ou moins dilué en fonction du débit. Les concentrations les plus élevées sont donc attendues en cas de faibles débits et de dilution réduite correspondante. Le changement climatique influence, entre autres variables, le débit d'eau, et donc indirectement la concentration de substances. La concentration de chlorure dépend non seulement du débit d'eau, mais aussi de la quantité de substance apportée. Pour simplifier les calculs effectués ici, on a supposé que cette quantité était constante dans le temps et ne variait pas en fonction des saisons.

Dans le présent rapport, les futures modifications de la concentration de chlorures en période d'étiage sont indiquées sous forme de modification relative en pourcentage par rapport à la période de référence 1971-2000 (tableau 6, valeur caractéristique " Δc pour MNM7Q "). L'étiage " MNM7Q " pris comme base correspond à la moyenne NM7Q calculée sur 30 ans (voir tableau 4).

Les projections se fondent sur le scénario RCP8.5. L'estimation de l'incertitude se base sur 16 simulations, la fourchette étant saisie sous forme d'un résultat de simulation relativement faible, d'un résultat relativement élevé et du résultat central (correspondant respectivement aux 15ème, 85ème et 50ème centiles).

Afin d'établir une cohérence avec l'analyse des effets et des risques climatiques de l'État fédéral (Umweltbundesamt, 2021), l'accent est mis sur les périodes 2031 à 2060 et 2070 à 2099 (les faibles écarts par rapport à ces périodes sont dus à la référence aux années hydrologiques [avril-mars] plutôt qu'aux années civiles).

Le changement relatif de concentration (Δc) est calculé à partir du changement relatif de débit (ΔQ) par rapport à la période de référence (1971-2000). S'il n'y avait pas de changement de débit, ΔQ serait égal à zéro. Les données de débit utilisées proviennent de projections de débit (modélisations) du service de base DAS.

La relation entre Δc et ΔQ se présente comme suit :

$$\Delta c = -\frac{\Delta Q}{\Delta Q + 1}$$

Dans le tableau 6 et la figure 6, le résultat a été converti en pourcentage.

Pour interpréter les résultats, il convient de noter que les concentrations de chlorures mesurées à la station de mesure la plus proche, celle de Weil am Rhein, se situent à un faible niveau (concentration maximale mesurée entre 2001 et 2023 : 28,5 mg/l, moyenne de 12 mg/l), de sorte qu'il ne faut pas s'attendre à des effets négatifs significatifs sur l'infrastructure portuaire de Bâle, même avec l'augmentation projetée de la concentration.

4.6 Graphiques de séries chronologiques

Les valeurs des deux colonnes "Projeté" dans les tableaux de valeurs se basent sur un ensemble de 16 projections d'avenir. Le graphique ci-dessous montre l'enveloppe et la distribution interne de l'ensemble sous forme de moyennes égales sur 30 ans des modifications de la valeur caractéristique à l'exemple de la valeur caractéristique hydrologique MNQ. Les valeurs tabulaires pour les différentes valeurs caractéristiques ont été extraites de ces collections de données pour les tranches de temps définies (2031-2060 et 2071-2100).

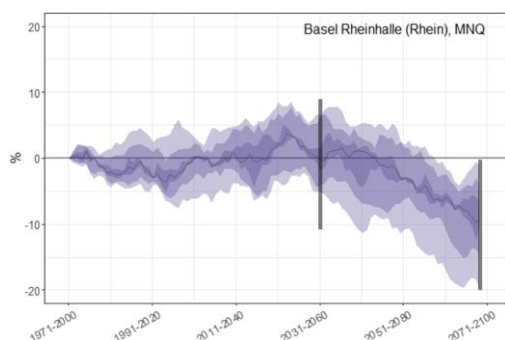


Figure 1: Modifications des valeurs moyennes sur 30 ans (période indiquée par l'axe x) du MNQ, à l'échelle de Bâle Rheinhalles (Rhin), projetées avec le modèle de bilan hydrique LARSIM-ME sur la base de 16 projections climatiques en supposant le scénario RCP8.5. Plage d'incertitude (de l'extérieur vers l'intérieur) : 15/85%, 25/75%, 40/60%, 50% (ligne noire). Données/graphique : BfG-M2

5 Bibliographie

BfG (2021). WS-Klimaportal. Available at: <https://ws-klimaportal.bafg.de/#Hintergrund>

Deutscher Wetterdienst (DWD) (o.D.). Umgang mit den vorhandenen Bandbreiten. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtsl_umgangbandbreiten_node.html. [Aufgerufen am 7.8.2024]

Die Bundesregierung (2008). Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/das_gesamt_bf.pdf [Aufgerufen am 7.8.2024]

IPCC (2018). Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, doi:10.1017/9781009157940.008

IPCC (2014). Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meerespiegelanstieg, Bonn, 2017. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtsl_umgangbandbreiten_node.html. [Accessed on 7/8/2024]

Nilson E, Astor B, Bergmann L, Fischer H, Fleischer C, Haunert G, Helms M, Hillebrand G, Kikillus A, Labadz M, et al. (2020). Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstrassenspezifische Wirkungszusammenhänge. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. Report. DOI: 10.5675/ExpNNE2020.2020.07

Nilson E. (2021). Vier Probleme bei der Umsetzung von 'Klimawissen' in die Praxis – Überlegungen zum Aufbau von Klimaprojektionsdiensten aus der Perspektive einer gewässerkundlichen Bundeseinrichtung. PROMET 104: 63–70

Uber, M., Haller, M., Brendel, C., Hillebrand, G., and Hoffmann, T. (2024). Past, present and future rainfall erosivity in central Europe based on convection-permitting climate simulations, Hydrol. Earth Syst. Sci., 28, 87–102, <https://doi.org/10.5194/hess-28-87-2024>

Umweltbundesamt (UBA) (2021). Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021. Report. Umweltbundesamt. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Zusammenfassung>. [Accessed on 7/8/2024]

Umweltbundesamt (UBA) (2023). Durchführung einer robusten Klimarisiko- und Vulnerabilitätsanalyse nach EU-Taxonomie – Empfehlungen für Unternehmen. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/factsheet_durchfuehrung_einer_robusten_klimarisiko-_und_vulnerabilitaetsanalyse_nach_eu_taxonomie.pdf. [Accessed on 8/8/2024]