

# Annexe 1

## FICHE DESCRIPTIVE

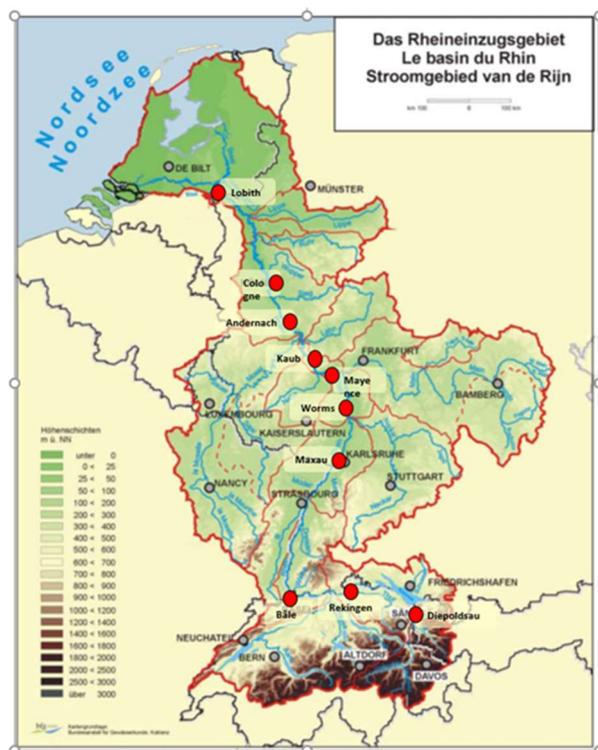
### Inventaire des étiages sur le Rhin

Les étiages font partie du régime d'écoulement naturel des fleuves, mais peuvent engendrer des problèmes écologiques et économiques. Alors que les crues s'écoulent rapidement et peuvent causer des dommages élevés en peu de temps, les phases d'étiage se développent sur de longues périodes et semblent peu spectaculaires dans un premier temps. Pourtant, ces phases d'étiage peuvent engendrer des pertes financières directes, notamment lorsqu'elles sont prolongées, en raison de restrictions de la navigation et de la baisse de la production hydroélectrique plus faible. D'autres vulnérabilités apparaissent entre autres au niveau de l'approvisionnement en eau et de l'agriculture. La réduction des habitats peut avoir des incidences négatives sur les biocénoses aquatiques, notamment lorsque les étiages sont combinés à des températures élevées de l'eau et à de faibles teneurs en oxygène dans les eaux, comme c'était le cas lors de l'été caniculaire de 2003. En outre, la genèse et l'étendue des phases d'étiage peuvent évoluer sous l'effet du changement climatique.

L'inventaire fournit aux Etats riverains du Rhin une approche commune de compréhension des étiages et, plus particulièrement, de leurs effets transfrontaliers. Les connaissances disponibles sur les périodes d'étiage dans le bassin du Rhin ont été rassemblées et des données de mesures hydrologiques depuis le début du siècle passé ont été analysées. Les débits d'étiage du Rhin au centre des analyses sont ceux dont la genèse et l'intensité découlent naturellement des conditions hydrométéorologiques en présence dans le bassin.

#### **Analyse des conditions hydrologiques**

Le secteur analysé s'étend de l'échelle de Diepoldsau sur le Rhin alpin en amont du lac de Constance à l'échelle de Lobith aux Pays-Bas (voir fig. 1). Les stations d'analyse situées entre ces échelles montrent l'influence croissante des grands affluents du Rhin. La fig. 1 indique, outre les échelles, la modification du débit d'étiage moyen pluriannuel sur 7 jours consécutifs (MNM7Q). Les débits d'étiage originaires du bassin alpin et préalpin, correspondant à un volume de 527 m<sup>3</sup>/s à l'échelle de Bâle, peuvent encore représenter jusqu'à deux tiers du débit d'étiage de 850 m<sup>3</sup>/s mesuré à l'échelle de Mayence et la moitié du débit d'étiage de 1 095 m<sup>3</sup>/s à l'échelle de Lobith. L'apport de base des débits d'étiage moyens est donc fourni par le bassin alpin et préalpin. Cet espace est caractérisé par des débits élevés en été et des débits plus faibles en hiver dus à la retenue de l'eau sous forme de neige. Vient s'y ajouter l'effet de rétention des grands lacs subalpins. Les grands affluents rehaussent les paramètres d'étiage de 12 % (Neckar) à 18 % (Main et Moselle) en moyenne. Des étiages prononcés sur le Rhin apparaissent souvent à la suite de débits décroissants dans le bassin alpin et préalpin à partir de septembre/octobre et durant les hivers secs ou très froids. Outre l'évolution des débits d'étiage sur le linéaire du Rhin, on a également analysé la durée des étiages sous forme de nombre de jours consécutifs durant lesquels sont dépassées des valeurs seuils données. Les chroniques pluriannuelles ont été soumises à différentes analyses statistiques pour déterminer des tendances. Les paramètres d'étiage ont été évalués à partir de valeurs statistiques extrêmes pour garantir leur comparabilité aux différentes échelles et avoir ainsi pour la période de référence 1961 - 2010 des valeurs seuils correspondant à leur probabilité d'occurrence respective. On peut ainsi obtenir sur le linéaire du Rhin des classifications directement comparables malgré des débits différents.



## Détermination des échelles d'analyse

Débit d'étiage aux échelles du Rhin : ●

(1961 -2011)

Lobith	1 095 m <sup>3</sup> /s
Cologne	1 028 m <sup>3</sup> /s
Andernach	998 m <sup>3</sup> /s
Kaub	851 m <sup>3</sup> /s
Mayence	850 m <sup>3</sup> /s
Worms	720 m <sup>3</sup> /s
Maxau	645 m <sup>3</sup> /s
Bâle	527 m <sup>3</sup> /s
Rekingen	238 m <sup>3</sup> /s
Diepoldsau	92 m <sup>3</sup> /s

Figure 1 : localisation des échelles d'analyse sur le Rhin, y compris débit d'étiage moyen pluriannuel sur 7 jours consécutifs (MNM7Q) (modifiée d'après Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG)

L'évaluation de chroniques historiques a montré que les étiages du Rhin étaient nettement plus prononcés dans la première moitié du siècle passé que dans les 50 dernières années, avec des débits également plus bas et plus longtemps inférieurs aux seuils fixés. On note aussi une tendance à la hausse significative des débits d'étiage du Rhin entre Diepoldsau et Andernach sur l'ensemble de la période considérée de 1901 à 2010. Cette tendance est **surtout due à l'effet de la gestion des retenues en zone alpine. Les précipitations annuelles tendanciellement en hausse** relevées au cours du 20<sup>e</sup> siècle dans le bassin du Rhin peuvent également contribuer à cette évolution. On ne détecte aucune tendance particulière de 1961 à 2010 concernant les débits d'étiage. La perception actuelle des épisodes d'étiage est influencée d'une part par l'absence prolongée d'étiages significatifs et d'autre part par une plus grande vulnérabilité.

## Influences sur les étiages

Les débits d'étiage du Rhin sont impactés par des apports et dérivations d'eau ainsi que par la gestion des retenues. Les principaux transferts d'eau sont ceux effectués depuis le bassin de l'Inn vers celui du Rhin (7,8 m<sup>3</sup>/s) et depuis le bassin du Danube vers celui du Main/Rhin (jusqu'à 16 m<sup>3</sup>/s). Les dérivations à partir du bassin du Rhin vont vers le bassin du Tessin (env. 2 m<sup>3</sup>/s) et vers celui du Rhône (env. 3 m<sup>3</sup>/s). On chiffre comme prélèvements directs à partir du Rhin jusqu'à 1,5 m<sup>3</sup>/s perçus sur le Rhin supérieur septentrional pour recharger la nappe par infiltration et des valeurs de pointe de courte durée jusqu'à 5 m<sup>3</sup>/s destinés à l'irrigation agricole. Les mesures susmentionnées font que les apports dominent et que le bilan final est globalement positif pour le Rhin.

La gestion des retenues en zone alpine et préalpine pour l'exploitation hydroélectrique a un impact encore plus positif sur les débits d'étiage du Rhin. Ici, un volume de plus de 1,8 milliards de m<sup>3</sup> est mis à disposition pour retenir les eaux estivales et pour les restituer ensuite au Rhin après turbinage pendant la période d'étiage dominante en hiver. Les débits d'étiage du Rhin en hiver sont ainsi **rehaussés** dans un ordre de grandeur de l'ordre de **100 à 120 m<sup>3</sup>/s** (soit **10 à 20 % des débits d'étiage moyens pluriannuels MNM7Q**). Au total, les influences positives sur le régime d'étiage du Rhin sont dominantes.

## **Vulnérabilités face aux étiages**

La qualité de l'eau et l'écologie sont directement impactées par les étiages. Des impacts négatifs sont relevés sur les usages tels que la navigation, la production énergétique, l'industrie, l'agriculture, le tourisme et les loisirs, de même que pour la sécurité des équipements et infrastructures.

Lors d'épisodes d'étiage passés, il n'a pas été identifié d'impacts négatifs graves et prolongés sur la qualité des eaux du Rhin sur le cours principal. Ceci est notamment dû aux efforts considérables réalisés dans le domaine de l'épuration des eaux usées au cours des décennies passées. Des problèmes d'ordre écologique surviennent en particulier pendant les étiages estivaux, où les faibles débits sont accompagnés d'une hausse de température des eaux et, par conséquent, d'une baisse des teneurs en oxygène (mortalité de poissons et de coquillages en 2003).

En phase d'étiage, la navigation intérieure et les personnes et entreprises économiques dépendant de cette activité sont touchées à une échelle transfrontalière avec, à la clé, des répercussions négatives sur l'économie et des pénuries d'approvisionnement énergétique et de matières premières. Aux Pays-Bas, l'approvisionnement en eau est perturbé quand les eaux de surface sont salinisées par l'intrusion d'eau de mer dans les terres. Ceci peut entraîner l'arrêt du captage d'eau pour la production d'eau potable ou du prélèvement d'eau d'irrigation des cultures agricoles. Le secteur de la production d'énergie est touché d'une part par une baisse de production des usines hydroélectriques et d'autre part par des restrictions de prélèvement d'eau de refroidissement ou de rejet d'eaux réchauffées. Les entreprises industrielles et les PME peuvent aussi être amenées à réduire leurs activités. Les digues de tourbe érigées aux Pays-Bas peuvent s'assécher à certains endroits en période d'étiage et présentent donc un risque de rupture.

## **Répercussions futures possibles du changement climatique**

A la lumière des futures projections de débit disponibles pour la période 2021-2050, les débits d'étiage du Rhin oscillent sous l'effet du changement climatique dans une fourchette allant de baisses d'env. 10 % à des hausses d'env. 10 % également, sans laisser percevoir d'évolution nette. Dans un avenir plus lointain (2071-2100), les projections de débit font apparaître uniformément des baisses de débit d'étiage importantes pendant l'été hydrologique.

En partant d'un scénario pessimiste sur la période comprise entre 2021 et 2050, on obtient pour des périodes de retour croissantes des baisses plus importantes de l'ordre de 7 à 14 % maximum pour des débits d'étiage d'une récurrence de 2 à 50 ans. La baisse de débit est accompagnée d'une nette prolongation de la durée de l'étiage.

Des étiages estivaux pourraient gagner en importance sur le Rhin à l'avenir, en particulier en regard de leurs répercussions sur l'écologie. En effet, quand les débits sont bas, les températures de l'eau peuvent augmenter plus fortement en été. Les épisodes d'étiages estivaux de 2003 et 2006 peuvent être pris ici comme exemples de telles répercussions. Selon les analyses réalisées par la CIPR, il faut compter avec une augmentation des températures estivales des eaux du Rhin de l'ordre de 1,5 degrés pour le futur proche et de plus de 3 degrés pour le futur éloigné. Il en résulte pour le futur, notamment en périodes de faibles débits, une augmentation des jours avec des températures de l'eau dépassant 25 degrés (valeur seuil critique sous l'angle écologique) sur le Rhin.

## Surveillance des étiages

A partir d'une analyse détaillée de chroniques historiques des débits, on a déterminé pour le Rhin, en concertation avec les Commissions Internationales pour la Protection de la Moselle et de la Sarre (CIPMS), **des valeurs seuils à l'aide desquelles un épisode d'étiage peut être classifié en cinq niveaux d'intensité allant « d'étiage normal » à « étiage extrêmement rare »**. Les chroniques historiques de débit ont confirmé l'adéquation de cette classification, qui ordonne les épisodes d'étiage de manière différenciée, et ont permis sa validation (voir figure 2).

On retient en résumé que **les étiages du Rhin ne sont pas plus sévères qu'il y a un siècle** mais qu'ils affectent aujourd'hui plus fortement de nombreux usages (navigation, industrie, agriculture, production énergétique, etc.). La demande en eau et les répercussions socio-économiques sur la ressource en eau pourraient augmenter dans le bassin du Rhin. En outre, les étiages peuvent affecter les écosystèmes aquatiques, notamment quand ils sont accompagnés de températures élevées de l'eau. Quelques projections climatiques laissent penser que les épisodes d'étiage accompagnés de températures d'eau plus élevées se produiront plus fréquemment en été à l'avenir. Tous ces aspects incitent à surveiller les évolutions futures des étiages sur le Rhin.



Figure 2 : jours d'étiage par an depuis « l'étiage normal » (classe 1) jusqu'à « l'étiage extrêmement rare » (classe 5) aux échelles de Bâle, Kaub et Lobith sur le Rhin sur la période 1919 - 2015.