



La biologie du Rhin

Rapport de synthèse sur le
programme d'analyse
biologique 'Rhin'
2018/2019 et évaluations
nationales réalisées au
titre de la DCE

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 280



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, télécopieur +49-(0)261-94252-52
Courriel électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org
<https://twitter.com/ICPRhine/>

La biologie du Rhin

Rapport de synthèse sur le programme d'analyse biologique 'Rhin' 2018/2019 et évaluations nationales réalisées au titre de la DCE

Pilotage :	Nikola Schulte-Kellinghaus, Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)
Collaboration :	Mechthild Banning, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) ; Guillaume Demortier, Agence de l'Eau Rhin-Meuse ; Thomas Ehlscheid, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) ; Helmut Fischer, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ; Jochen Fischer (président du GE BMON), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) ; Paulin Hardenbicker, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) ; David Heudre, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Grand Est ; Jeroen Postema, Rijkswaterstaat - WVW ; Yael Schindler, Office fédéral de l'Environnement (OFEV) ; Franz Schöll, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ; Renate Semmler-Elpers, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW);
Coordination et rédaction :	Nikola Schulte-Kellinghaus, Laura Poinot, Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)

Sommaire

Synthèse	3
1. Introduction	5
2. Phytoplancton	7
3. Macrophytes	11
4. Phytobenthos	15
5. Macrozoobenthos	20
6. Faune piscicole	25
7. Bilan - Facteurs impactant l'écologie du Rhin	34
Bibliographie	41
Glossaire	44
Annexes	46

Synthèse

Dans le cadre du programme « Rhin 2020 », les algues microscopiques en suspension (phytoplancton), les plantes aquatiques (macrophytes), les diatomées benthiques (volet spécifique du phytobenthos), les invertébrés aquatiques (macrozoobenthos) et la faune piscicole ont été analysés en 2018 et 2019 sur l'ensemble du cours du Rhin. Le « programme d'analyse biologique 'Rhin' », dont la méthode est ajustée à l'échelle internationale, est un inventaire biologique du Rhin réalisé à intervalles réguliers. Il vise à illustrer et à évaluer les modifications des biocénoses. Exception faite du tronçon aval du Rhin alpin, toutes les masses d'eau du Rhin jusqu'à Bâle (haut Rhin) sont classées « naturelles », puis « fortement modifiées » plus en aval (du Rhin supérieur au delta du Rhin inclus). Pour ces masses d'eau, l'objectif de développement n'est pas, contrairement aux masses d'eau naturelles, le bon état écologique mais le bon potentiel écologique. Les eaux côtières et la mer des Wadden sont classées eaux naturelles.

Grâce à la bonne qualité actuelle de l'eau et aux mesures déjà réalisées pour améliorer la continuité et accroître la diversité morphologique, les biocénoses du cours principal du Rhin ont connu des améliorations sensibles depuis le début des années 90. On note ainsi le retour d'espèces invertébrées caractéristiques du milieu fluvial dans quelques tronçons du Rhin. L'éventail des espèces piscicoles est presque complet, même si on ne retrouve pas celles-ci dans tous les tronçons et dans des rapports de dominance tels qu'ils existaient à l'origine. Les pics de développement phytoplanctonique dans les eaux se sont nettement atténués à la suite des mesures prises pour réduire la teneur en phosphore dans l'eau. Il en résulte que l'eau du Rhin est plus limpide que par le passé. Du fait de ces meilleures conditions de luminosité, des communautés macrophytiques typiques du milieu fluvial et alluvial de certains tronçons ont pu s'établir dans les bras anciens ou les champs d'épis protégés du Rhin et enrichir les habitats des espèces piscicoles phytophiles.

Malgré ces tendances positives, de nombreuses zones précieuses de frai et d'habitats de juvéniles restent encore inaccessibles du fait des obstacles à la migration en place. En outre, la mise en œuvre de mesures visant à enrichir la morphologie des berges et à créer ainsi de nouveaux habitats pour la faune et la flore rhénanes typiques n'avance que lentement en raison des obstacles de taille à surmonter tant au niveau économique que social. La hausse des températures de l'eau et les étiages représentent également un défi majeur pour les espèces caractéristiques du milieu rhéan. Par ailleurs, le flux constant d'espèces allochtones (néobiotes), principalement via les canaux de navigation, modifie en permanence les biocénoses, surtout celle des invertébrés mais également, depuis 2006, celle des poissons, ce qui se traduit par un recul dramatique des espèces indigènes. Le corridor de migration principal est le canal reliant le Main et le Danube. Différents petits crustacés et mollusques ainsi que les premières espèces de gobies ont transité par cette voie depuis le Danube. Le gobie à taches noires s'est ainsi solidement implanté à partir du Rhin supérieur mais certains signes laissent penser que sa phase de prolifération massive arrive à terme dans les zones fortement colonisées. Il est également possible que des changements sensibles se produisent au cours des prochaines années dans la chaîne alimentaire et qu'ils mènent à une régulation des peuplements de gobies. Les effets d'éviction de ce néozoaire sur les espèces indigènes sont avérés. La faune rhénane actuelle est ainsi sujette à des modifications continues, ce qui se reflète dans les fortes variations de peuplements d'espèces concurrentes ou dans les rapports prédateurs/proies. Il existe également des néophytes parmi les plantes aquatiques et les algues dans l'hydrosystème du Rhin. Mais seules quelques espèces présentes dans le Rhin sont jugées particulièrement expansives, comme par ex. l'élodée de Nuttall *Elodea nuttallii*. La diatomée néophyte *Achnantheidium delmontii* est aussi détectée entre-temps en quantités très importantes dans le tronçon du Rhin supérieur.

Les poissons et les invertébrés, entre autres, qui ont une place déterminante dans l'évaluation écologique sont les éléments de qualité biologiques les plus touchés par ces processus migratoires. L'évaluation écologique actuelle du Rhin est un aperçu instantané qui retranscrit des interactions biologiques extrêmement rapides dans le cadre des échanges faunistiques et des réactions des biocénoses aux programmes de mesures (voir tableaux 1 et 2 au chap. 7). Il arrive également parfois que des aspects méthodologiques entraînent des modifications au niveau de l'évaluation (détermination du potentiel écologique, meilleures techniques de recensement, etc.). Sur les vingt dernières années, les tendances à long terme permettent cependant aussi d'identifier des améliorations significatives et durables de l'écosystème. Ainsi, le phytoplancton affiche aujourd'hui un bon, voire un très bon état, sur de longs tronçons du Rhin. Ce phénomène s'accompagne d'effets écosystémiques secondaires dont profitent les macrophytes, mais aussi une partie de la faune (notamment piscicole). La biocénose des diatomées benthiques (sessiles) tout comme celle du phytoplancton sont plus proches d'un état naturel grâce à la réduction des apports de nutriments dans le Rhin (voir chapitre 7 et tableau 1). La restauration hydromorphologique des habitats de berges, la remise en connexion de bras latéraux et les mesures de rétablissement de la continuité sont bénéfiques à la faune indigène menacée et vont donc dans la bonne direction. Il n'est certes pas possible de refouler les néobiotes invasifs qui se sont déjà établis, mais les nombreuses mesures contribuent à atténuer les effets écologiques négatifs des changements faunistiques et à stabiliser la biodiversité dans l'écosystème rhénan.

Pour redynamiser les biocénoses du Rhin, les mesures de restauration du milieu physique et de la qualité de l'eau doivent se poursuivre.

1. Introduction

Le présent rapport de synthèse expose les résultats de l'inventaire biologique du 3^e cycle de surveillance (2018/2019) réalisé dans le cadre du troisième Plan de gestion 2022-2027 coordonné au niveau international du district hydrographique international (DHI) du Rhin (CIPR 2021a), de même que les résultats d'évaluations nationales effectuées par certains États, et les compare aux résultats du 2^e cycle 2012/2013. Le programme couvre l'analyse biologique du fleuve au titre du programme « Rhin 2020 » et les exigences de surveillance au titre de la Directive Cadre Eau (DCE) (évaluation de l'état ou du potentiel écologique). Dans ce cadre, les données sur les éléments de qualité biologiques phytoplancton, macrophytes/phytobenthos, macrozoobenthos et faune piscicole sont soumises à une analyse globale pour le cours principal du Rhin. La figure 1 donne un aperçu des six principaux tronçons du Rhin et des sous-bassins de l'hydrosystème rhénan. Ces études sont le prolongement des rapports de surveillance biologiques effectués tous les 5 ans entre 1990 et 2000 dans le cadre du « Programme d'Action Rhin » de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR). À l'époque déjà, ces rapports contenaient des données de comparaison qualitatives et quantitatives pour les poissons, les invertébrés benthiques (macroinvertébrés) et le plancton (phytoplancton et zooplancton). Du fait des obligations requises par la DCE, les rapports actuels traitent également du compartiment 'Macrophytes/phytobenthos'. Les informations détaillées sur les méthodes d'analyse et les méthodes d'évaluation des États membres figurent dans le programme d'analyse biologique 'Rhin' 2018/2019 (CIPR 2017a) ainsi que dans les rapports détaillés sur les différents éléments de qualité biologiques (CIPR 2020a-d, IKS2021b).

Les évaluations écologiques nationales des différents éléments de qualité effectuées au titre de la DCE pour le troisième Plan de gestion DCE coordonné au niveau international du DHI Rhin (version du projet du 15 avril 2021) sont présentées sous forme de tableaux et de cartes (annexes) en plus des résultats du programme d'analyse biologique et comparées aux évaluations de 2015. En complément, une évaluation globale de l'état/potentiel écologique au titre de la DCE est présentée dans une carte en annexe 10 pour le troisième Plan de gestion (version du projet du 15 avril 2021).

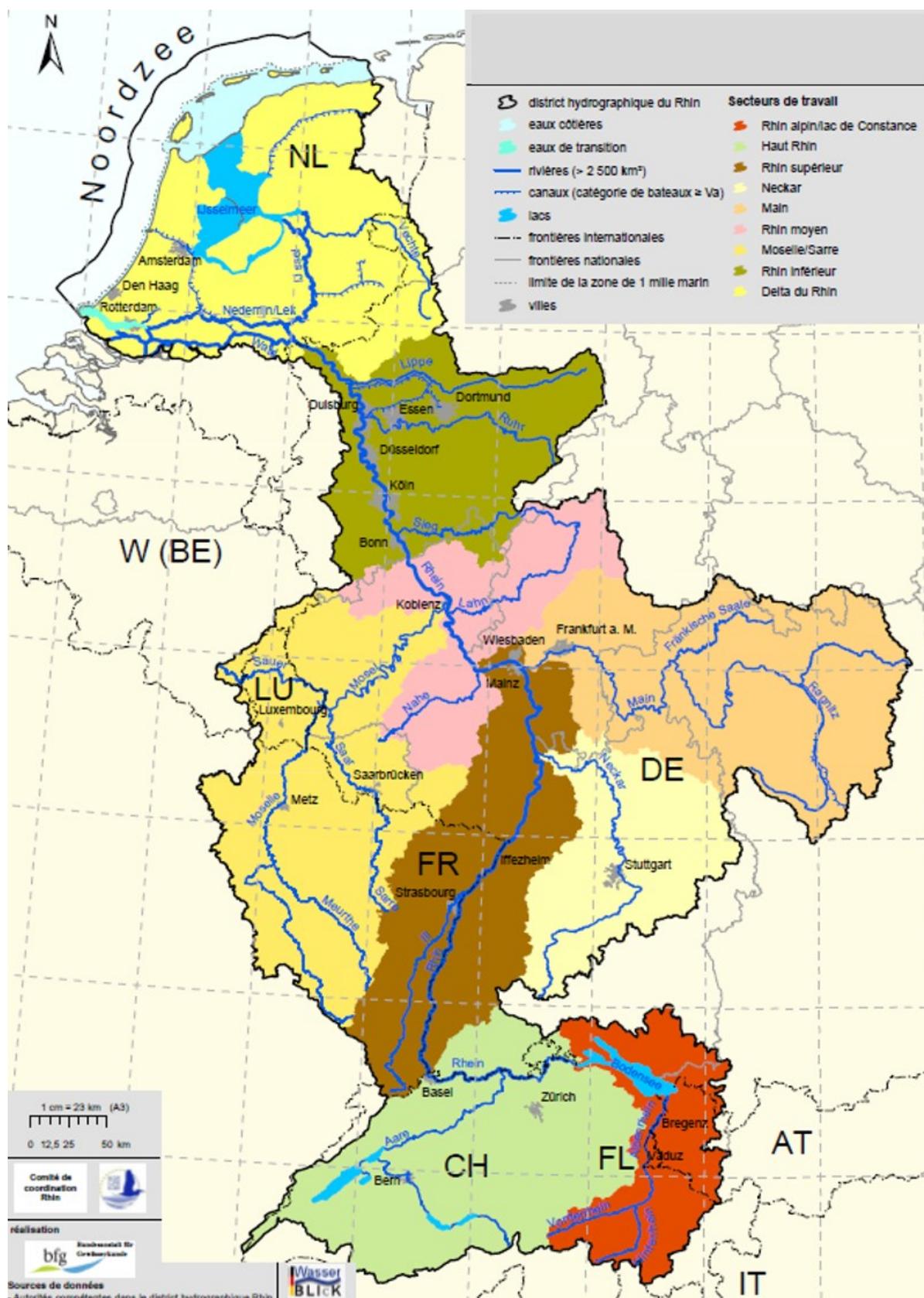


Figure 1 : tronçons du Rhin et sous-bassins dans l'hydrosystème rhénan (AR : Rhin alpin ; HR : haut Rhin ; OR : Rhin supérieur ; MR : Rhin moyen ; NR : Rhin inférieur ; DR : delta du Rhin)

2. Phytoplancton

Microalgues en suspension

Voir CIPR 2020a

En quoi le phytoplancton nous renseigne-t-il sur l'état des pressions sur une masse d'eau ?

Pour qu'une biocénose phytoplanctonique puisse se constituer, il lui faut un temps de séjour suffisamment long dans un milieu aquatique. On rencontre donc cet élément de qualité en densité élevée dans les affluents du Rhin aménagés en retenues et les tronçons de son cours aval. La composition des espèces et la biomasse phytoplanctonique fournissent des indications sur les pressions par les nutriments d'un cours d'eau. Pour les eaux côtières et les eaux de transition, le phytoplancton (et ici plus précisément les éléments chlorophylle a et *Phaeocystis*) est particulièrement important car ses pics de développement mettent clairement en relief les phénomènes d'eutrophisation et leurs impacts sur la qualité des eaux. Il agit donc comme un système d'avertissement précoce pour les eaux côtières.

Comment la biocénose du Rhin se présente-t-elle ?

Le phytoplancton, très riche en espèces, joue un rôle important dans le réseau alimentaire des grandes rivières et des fleuves. Il peut être absorbé tant par le zooplancton que par des filtreurs actifs zoobenthiques (des bivalves par ex., en particulier la moule zébrée *Dreissena polymorpha*, la palourde asiatique *Corbicula fluminea* ou encore les crustacés amphipodes du genre *Chelicorophium* présents en densités élevées). Lorsque les concentrations zooplanctoniques sont très élevées ou les populations d'organismes filtreurs importantes, de grandes quantités de phytoplancton peuvent ainsi être éliminées de la colonne d'eau. Les stades juvéniles de nombreuses espèces piscicoles dépendent de la présence d'une alimentation zooplanctonique elle-même directement liée à la biomasse phytoplanctonique. La production primaire planctonique constitue donc une ressource essentielle pour le reste du réseau alimentaire et par conséquent pour les organismes supérieurs tels que les poissons.

En 2018, les diatomées (classe de bacillariophycées) couvrent de loin la part la plus importante de la biomasse planctonique. Au printemps, elles représentent largement plus de 90% du biovolume phytoplanctonique total à hauteur des stations d'analyse de Coblenz (Rhin moyen) et de Bimmen (Rhin inférieur). Les espèces les plus fortement représentées sont les diatomées centriques *Skeletonema subsalsum*, *Aulacoseira normanii* et *Skeletonema potamos* pendant le pic algal de fin mai à Bimmen. Plus en amont à Breisach (Rhin supérieur), on trouve également, en plus des diatomées, des cryptomonades (cryptophycées) qui occupent une large part de la biomasse phytoplanctonique totale, plus particulièrement l'espèce *Rhodomonas lacustris*.

La composition taxonomique du phytoplancton pendant l'efflorescence algale de l'été est observée de plus près à hauteur de la station d'analyse de Coblenz. On note ici tout d'abord un bloom de diatomées très marqué formé le 8 août 2018 de diatomées centriques de l'espèce *Skeletonema potamos* dans un ordre de grandeur de 80 %. Cette espèce, considérée thermophile, est typique des grands fleuves et constitue ici fréquemment une grande part de la biomasse. On suppose qu'elle profitera à l'avenir de la hausse des températures induite par le changement climatique (DUBELA et al. 2014). Une analyse effectuée le 15 août 2018 dans la station de Coblenz montre cependant que la biomasse de *Skeletonema potamos* est retombée à environ 2 pour cent de la valeur du 8 août 2018. La position dominante est alors occupée par la diatomée *Cyclotella meneghiniana* typique du milieu fluvial, mais ceci dans une biomasse phytoplanctonique beaucoup plus restreinte. À nouveau une semaine plus tard, le 22 août 2018, c'est au tour des chlorophycées du genre *Coelastrum polychordum* de dominer la communauté phytoplanctonique et de former un second bloom algal de composition totalement différente.

La dynamique phytoplanctonique frappante relevée au niveau de la station de Coblenz est confirmée par les comptages mensuels de phytoplancton réalisés dans les autres stations. La chlorophycée *Coelastrum polychordum*, qui a provoqué un bloom planctonique à la station d'analyse de Coblenz le 22 août 2018, est une espèce typique des grands lacs préalpins. Il est donc logique qu'on l'ait détectée en grand nombre loin en amont et jusqu'au débouché de l'Aar. À hauteur de la station d'analyse de Breisach, *Coelastrum polychordum* représente déjà presque 60 % de la biomasse algale le 21 août 2018. Le 20 août 2018, cette espèce est même représentée à plus de 90 % dans la biomasse phytoplanctonique totale à Mayence. Plus en aval, à hauteur de la station d'analyse de Bimmen, l'efflorescence des chlorophycées n'est manifestement pas encore pleinement arrivée à ces dates. *Coelastrum polychordum* est certes présent en grand nombre mais les diatomées dominent encore, comme à Coblenz une semaine plus tôt.

Au total, les résultats sur le phytoplancton dans le Rhin et ses affluents montrent d'une part que les biomasses algales continuent à régresser au printemps et que l'état trophique s'améliore de ce fait. D'autre part, les efflorescences algales très visibles en été démontrent que le potentiel trophique de développement de biomasses algales élevées reste présent dans le Rhin comme dans ses affluents (en 2018 dans la Moselle et la Lahn) et que différentes espèces phytoplanctoniques peuvent en profiter.

Pour l'interprétation du phytoplancton, on a également fait appel aux analyses de zooplancton réalisées à quelques emplacements sélectionnés. En 2018, le nombre d'espèces et la biomasse zooplanctoniques sont également bas. Les rotifères sont des organismes zooplanctoniques typiques des eaux courantes. Cependant, on a détecté tout au plus 9 unités/l dans le Rhin à hauteur des stations d'analyse de Coblenz et de Bimmen pendant toute la campagne d'analyse. Ce nombre très bas est surprenant car des efflorescences phytoplanctoniques marquantes sont survenues pendant la phase d'étiage, offrant une alimentation abondante aux rotifères. Ces blooms phytoplanctoniques ont peut-être été trop courts pour que les rotifères, dont le temps de régénération est long, aient pu y réagir.

On compte parmi les autres organismes zooplanctoniques typiques du Rhin les larves (dites véligères) des dreissènes *Dreissena polymorpha* et *Dreissena rostriformis bugensis*. En 2018 cependant, le nombre de larves véligères est relativement faible. On suppose que ce faible nombre est dû à la régression de la dreissène polymorphe, espèce ayant immigré dans le Rhin et qui en est progressivement refoulée par la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*), espèce de plus grande taille.

Quelle est l'évaluation du Rhin ?

Depuis le **haut Rhin** jusqu'au **Rhin supérieur** en amont du débouché du Neckar, le phytoplancton est dans un « très bon état » (cf. annexe 1). La partie méridionale du Rhin supérieur n'est évaluée que côté allemand. L'état est « bon » en aval du débouché du Neckar et jusqu'en amont du débouché du Main ; il passe ensuite à un état « moyen » dans le **Rhin moyen** et **Rhin inférieur**. Par rapport à 2015, l'évaluation écologique des éléments de qualité affiche une tendance négative entre le débouché du Main et Duisbourg sur le Rhin inférieur. Ainsi, ces tronçons du Rhin passent d'un bon état à un état moyen. Dans le **delta du Rhin**, l'évaluation du phytoplancton a porté sur les eaux côtières et les eaux de transition, les canaux et les eaux calmes mais les grands fleuves n'ont pas été évalués. L'IJsselmeer et la mer des Wadden affichent un potentiel/état « moyen », ce qui représente une dégradation par rapport au « bon » état antérieur de la mer des Wadden. Les eaux côtières sont toutes dans un « bon » état écologique, ce qui est dû à l'amélioration de l'état de la côte de la mer des Wadden.

La **comparaison avec les résultats d'analyses antérieures** montre que les conditions hydrologiques et météorologiques actuelles se superposent aux tendances sur le long terme et encouragent la formation de blooms algaux saisonniers. Au cours d'une période

printanière de fort débit, comme en 2009 et en 2018 également en tendance, le développement phytoplanctonique est faible. L'influence des conditions météorologiques est particulièrement visible pendant l'épisode d'étiage estival de 2018. Ici, le phytoplancton profite des temps d'écoulement prolongés, des températures élevées de l'eau et d'une activité ralentie des coquillages. Ces conditions lui permettent de croître en concentrations élevées à Coblenz et à Bimmen (figures 2 et 3). Par conséquent, la formation d'efflorescences algales dans le Rhin reste toujours possible, malgré le net recul des concentrations de phosphore total (figure 4).

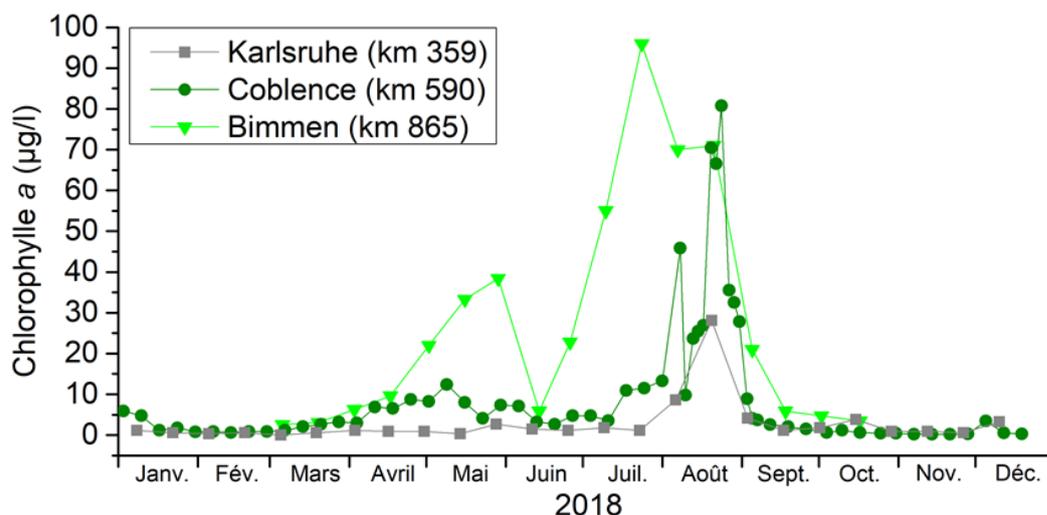


Figure 2 : évolution saisonnière de la concentration de chlorophylle a à hauteur des stations d'analyse de Karlsruhe, Coblenz et Bimmen

Dans l'ensemble, la dynamique phytoplanctonique exceptionnelle de 2018, qui est due à des conditions météorologiques particulières, montre clairement la nécessité urgente d'effectuer un monitoring durable du phytoplancton avec des grilles de prélèvements relativement rapprochés, ceci pour mettre en évidence le succès des mesures de gestion et pour documenter les évolutions environnementales dans le long terme.

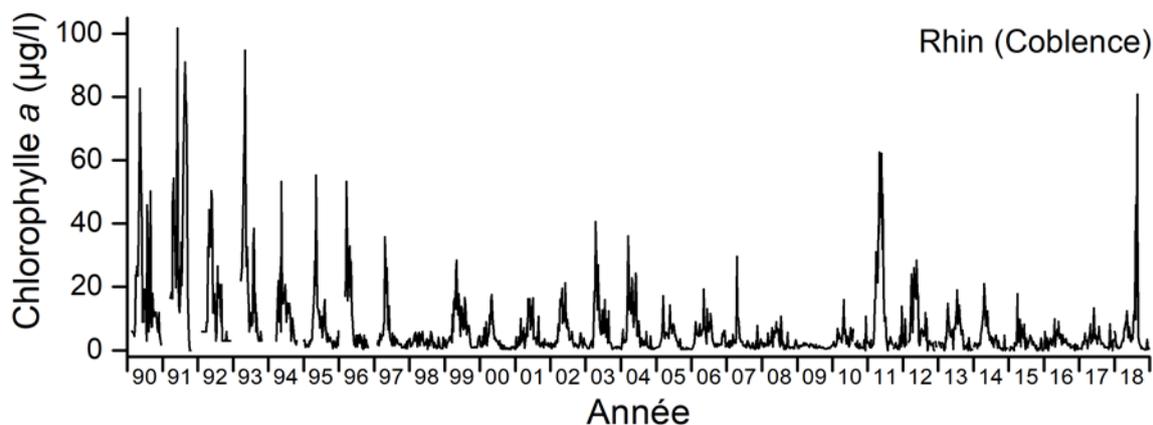


Figure 3 : évolution de la concentration de chlorophylle a à hauteur de la station d'analyse de Coblenz depuis 1990. Données : l'institut fédéral d'hydrologie (*Bundesanstalt für Gewässerkunde* – BfG).

Quelles sont les tendances identifiables dans le long terme ?

Les études sur l'évolution du phytoplancton du Rhin dans le long terme mettent en relief une nette baisse des biomasses phytoplanctoniques correspondant au recul de la concentration en P total (FRIEDRICH & POHLMANN 2009, HARDENBICKER et al. 2014). La concentration annuelle moyenne de P total passe de 0,56 mg/l en 1978 à 0,10 mg/l en 2018 à hauteur de la station d'analyse de Coblenz (figure 4). Alors que l'on constate encore au début des années 1990 des densités maximales de phytoplancton de 80 à 100 µg/l de chlorophylle a, des valeurs aussi élevées n'apparaissent plus pendant longtemps par la suite. Il est cependant probable que le recul des quantités phytoplanctoniques dans le Rhin ne soit pas uniquement dû à la baisse des apports de P, mais également à une diminution des apports provenant du lac de Constance et d'affluents, et plus encore à l'effet de filtration intensifié de la moule zébrée (*Dreissena sp.*), une espèce exotique (WEITERE & ARNDT 2002, HARDENBICKER et al. 2014, CIPR 2015c). Cependant, il est possible que les conditions hydrologiques et météorologiques actuelles se superposent aux tendances sur le long terme et encouragent la formation de blooms algaux saisonniers, comme celui survenu en été 2018.

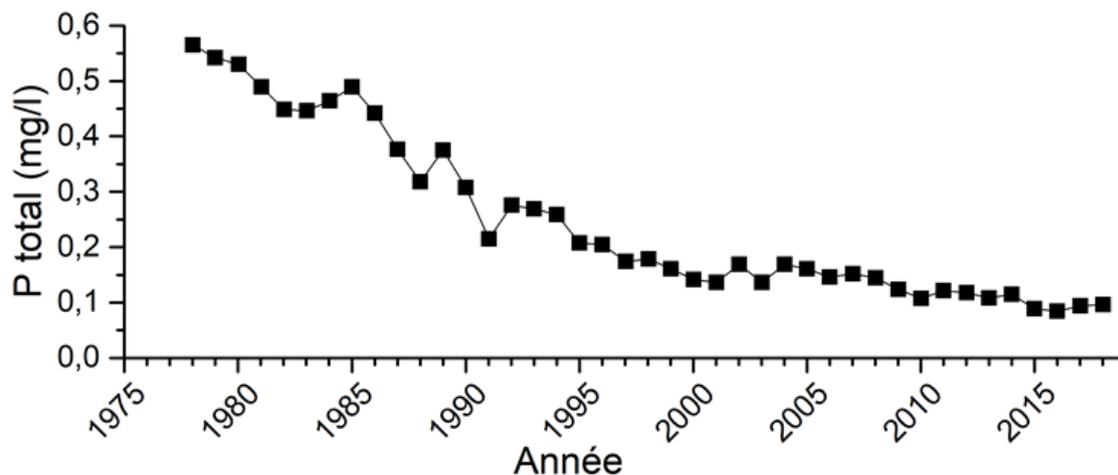


Figure 4 : évolution de la concentration de phosphore total (moyennes annuelles) au droit de la station d'analyse de Coblenz de 1978 à 2018. Données : Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Dans le long terme, le monitoring futur permettra de montrer si les biomasses phytoplanctoniques inhabituellement élevées de l'été 2018 constituent un cas particulier survenu lors d'une année extrêmement sèche et chaude ou si l'évolution climatique favorise de tels blooms algaux et contrecarre ainsi les efforts réalisés pour améliorer l'état trophique du Rhin.

3. Macrophytes

Plantes vasculaires, mousses, characées

Voir CIPR 2020b

Que signalent les plantes aquatiques sur les pressions que subit un cours d'eau ?

Les macrophytes aquatiques sont de très bons indicateurs trophiques. Ces organismes végétaux réagissent également sensiblement à d'autres altérations anthropiques du milieu aquatique. Il est ainsi possible d'obtenir des indications sur l'impact d'interventions sur le régime hydrologique, par ex. celui des retenues. Les caractéristiques de la végétation macrophytique renseignent également sur les conditions hydromorphologiques, par ex. sur la diversité et la dynamique du substrat ou sur le degré d'aménagement d'un cours d'eau (cf. tableau 1 du chap. 7).

Comment la biocénose du Rhin se présente-t-elle ?

55 espèces de macrophytes aquatiques ont été identifiées en 2018/2019 dans 50 stations d'analyse sur le cours principal du Rhin : 33 végétaux supérieurs, 18 mousses et 4 characées. On a détecté au total 44 macrophytes aquatiques en 2012/2013.

L'augmentation du nombre d'espèces est à mettre en relation avec le nombre plus élevé de stations d'analyse. *Potamogeton pectinatus* (potamot à feuilles en peigne, 32), *Myriophyllum spicatum* (myriophylle en épis, 29), et *Fontinalis antipyretica* (mousse des fontaines, 26) sont les végétaux les plus souvent détectés. L'élodée de Nuttal (*Elodea nuttallii*) (figure 5), une espèce néophyte qui s'est implantée et répandue très rapidement en Europe centrale depuis le milieu du siècle dernier, est détectée en 2012/2013 dans le Rhin supérieur, le Rhin moyen et le delta, mais ne l'est plus dans le haut Rhin. *Elodea nuttallii* a été détectée en 2006/2007 et en 2018/2019 dans tous les tronçons du Rhin, à chaque fois dans plusieurs stations d'analyse, à l'exception du Rhin alpin et du Rhin inférieur.



Figure 5 : exodée de Nuttal (*Elodea nuttallii*). Photo : Klaus van de Weyer.

Quelle est « l'estimation » du Rhin ?

L'élément de qualité 'Macrophytes' est considéré indépendamment des deux autres sous-éléments « diatomées benthiques » et « autres espèces phytobenthiques » dans le cadre du programme d'analyse biologique 'Rhin'. La couverture totale macrophytique est un critère utilisé dans la méthode d'évaluation néerlandaise appliquée aux rivières (VAN DER MOLEN et al 2012). La méthode du LANUV NRW (2017) tient également compte de la couverture totale de macrophytes aquatiques. Les jugements de valeur dans les autres États se fondent donc sur une **première estimation établie à partir d'expertises** sur

quelques stations d'analyses, compte tenu du nombre d'espèces et de formes de croissance, de la présence d'indicateurs de qualité et du niveau de couverture végétale (voir annexe 6).

On note une couverture totale de macrophytes aquatiques dans le **Rhin alpin**, analysé pour la première fois en 2018/2019 dans une station de prélèvement. Les peuplements macrophytiques sont « bien développés ».

En 2018/2019, les stations d'analyse du **haut Rhin** se caractérisent par une couverture végétale aquatique faible ou moyenne (< 2 % ou 2 à 5 %) et relativement riche en formes de croissance par rapport à 2012/2013. En 2012/2013, les stations d'analyse sur le haut Rhin se caractérisaient par une couverture végétale aquatique faible (inférieure à 2 %). Deux stations d'analyse sont respectivement classées dans la catégorie « légers déficits » ou « nets déficits ».

La plupart des stations d'analyse sur le **Rhin supérieur et le Rhin moyen** affichent des taux de couverture inférieurs à 2 %. En 2012/2013, les taux de couverture observés étaient pour l'essentiel supérieurs à 2 %. Sur ces deux périodes, on trouve également quelques stations d'analyse affichant une couverture végétale aquatique moyenne ou élevée (3 stations avec des valeurs entre 5 et 25 % et une station avec des valeurs supérieures à 25 %).

Dans le **Rhin supérieur**, les peuplements macrophytiques sont hétérogènes : certains présentent des « déficits très prononcés », d'autres affichent un « bon développement ». Dans le **Rhin moyen**, les trois stations de prélèvement présentent des peuplements « bien développés », de « légers déficits », voire certains « nets déficits », et sont riches en espèces et formes de croissance.

En 2018/2019, les macrophytes aquatiques sont complètement absents des stations d'analyse du **Rhin inférieur**, ce qui les classe dans la catégorie « déficits très prononcés ». En 2012/2013, au moins quelques stations d'analyse affichaient une très faible couverture macrophytique.

En 2012/2013, aucune plante aquatique n'a été détectée dans le **delta du Rhin** à l'exception d'une station. La couverture macrophytique est très hétérogène en 2018/2019 : certaines stations de prélèvement présentent des « déficits très prononcés », d'autres affichent un « bon développement ». Outre des stations dénuées de toute végétation, on observe également des stations caractérisées par une couverture végétale faible, moyenne ou élevée.

Les stations de prélèvement de Bacharach (Rhin moyen, PK 541), de Speyer (Rhin supérieur, PK 389 et de l'Oude Maas (delta du Rhin PK 957-985) affichent les peuplements macrophytiques les mieux développés sur le cours du Rhin avec respectivement 14 et 16 espèces.

Il ressort de la **comparaison avec les données de 2012/2013** que quelques espèces ne sont actuellement plus identifiées. En revanche, 18 autres espèces sont détectées pour la première fois. Cette comparaison est compliquée par le fait que le nombre de stations a nettement augmenté, passant de 36 en 2012/2013 à 50 en 2018/2019. Dans le **haut Rhin**, on note en 2018/2019 une hausse du nombre d'espèces de macrophytes aquatiques. La tendance n'est pas claire dans le **Rhin supérieur**. On y observe à la fois des régressions et des hausses. C'est également le cas dans le **Rhin moyen**. Aucun macrophyte aquatique n'est détecté dans le **Rhin inférieur** en 2018/2019. Seules deux espèces ont été détectées dans ce tronçon en 2012/2013. L'absence de macrophytes dans le Rhin inférieur s'explique éventuellement par une hydromorphologie peu diversifiée et anthropisée et par une turbidité plus forte due, entre autres, au trafic fluvial plus dense. On observe également des concentrations de chlorophylle relativement élevées dans le Rhin inférieur, ce qui peut limiter encore plus la lumière disponible. Une hausse est observée dans le **delta du Rhin**. On notera dans ce contexte que des prélèvements ont été effectués dans plusieurs stations d'analyse sur les tronçons analysés. Ces modifications peuvent être dues aux méthodes appliquées. Elles peuvent aussi exprimer de véritables extensions tendancielle de certaines espèces. Cette dernière hypothèse semble plausible pour la mousse *Octodicerias fontanum* et pour quelques potamots (*Potamogeton* spp.) en Allemagne.

Globalement, la comparaison entre les recensements actuels de macrophytes et ceux de 2012/2013 fait ressortir la forte hétérogénéité des résultats autant dans le temps que dans l'espace (cf. figure 6). Trois causes entrent en ligne de compte :

- (1) difficulté d'effectuer un recensement représentatif (nécessité de faire parfois appel à des plongeurs) ;
- (2) variabilité des conditions hydrauliques selon les années ;
- (3) fréquence locale variable d'éléments morphologiques avantageux sur les berges (par ex. champs d'épis protégés avec substrats sablonneux et graveleux, figure 7).

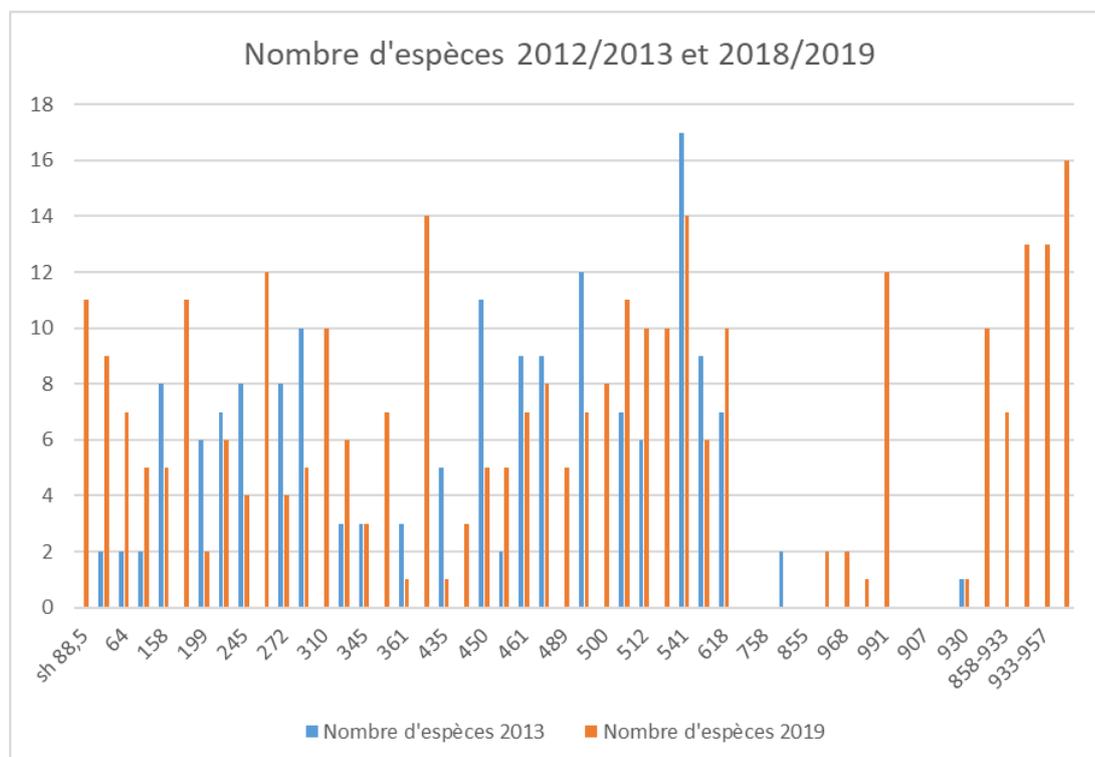


Figure 6 : nombre d'espèces de macrophytes aquatiques dans le cours principal du Rhin avec indication du PK Rhin sur les périodes d'analyse 2012/2013 et 2018/2019 (AR : sh 88,5 ; HR : 64-158 ; OR : 199-512 ; MR : 541-618 ; IR : 758-855 ; DR : 968-933/957)



Figure 7 : habitat dans les champs d'épis du Rhin. Photo : LfU Mainz.

Quelles sont les tendances identifiables dans le long terme ?

Depuis la mise en place du programme Rhin 2006/2007, le développement des plantes aquatiques du Rhin est systématiquement analysé. Les cartographies locales de quelques tronçons du Rhin moyen et du Rhin supérieur ainsi que du champ alluvial du Rhin mettent en évidence une augmentation du nombre et de la fréquence des espèces macrophytiques au cours de cette période. Cette tendance ne s'explique qu'en connaissance du recul parallèle de la biomasse phytoplanctonique dans le Rhin. Les plantes aquatiques et le phytoplancton s'inscrivent dans un rapport concurrentiel déterminé par l'apport de lumière et de nutriments. Moins le phytoplancton peut se développer au printemps, plus la luminosité augmente en profondeur dans la rivière. La lumière du soleil peut pénétrer plus profondément dans les eaux pendant la période de croissance des plantes aquatiques et favoriser ainsi le développement de peuplements plus importants.

Les conditions hydrauliques et plus particulièrement les crues ont un impact déterminant sur la durée et l'étendue de ces évolutions. En outre, la morphologie des berges doit offrir des conditions favorables à de nouvelles implantations. Ces conditions existent sur certains segments du Rhin supérieur et du Rhin moyen. La proximité d'annexes hydrauliques de la zone alluviale riches en espèces dans le Rhin supérieur joue aussi un rôle important sur les possibilités de recolonisation de ces tronçons rhénans. Le Rhin inférieur et le delta du Rhin présentent notamment des déficits morphologiques qui entravent l'apparition de macrophytes (manque de zones calmes, batillage, fortes fluctuations du niveau d'eau).

L'amélioration de la qualité de l'eau se répercute de manière positive sur la végétation macrophytique dans les grandes surfaces d'eaux calmes du bassin du Rhin, comme le lac de Constance, l'IJsselmeer et le Markermeer, de même que dans les lacs de bordure (Randmeren). L'extension des surfaces de végétation macrophytique se traduit à son tour par une augmentation des espèces d'oiseaux s'alimentant de plantes aquatiques (CIPR 2020i).

4. Phytobenthos

Ici : les diatomées benthiques

Voir CIPR 2020c

Dans leur majorité, les États riverains du Rhin tiennent uniquement compte des diatomées benthiques dans l'évaluation de l'élément de qualité 'macrophytes/phytobenthos'. Au Bade-Wurtemberg, les autres formes phytobenthiques entrent cependant en ligne de compte dans l'évaluation en plus des diatomées benthiques. Les Pays-Bas évaluent en commun le phytobenthos et les macrophytes. Les eaux côtières et les eaux de transition sont évaluées à partir des zostères et des puccinellies maritimes (qualité et quantité).

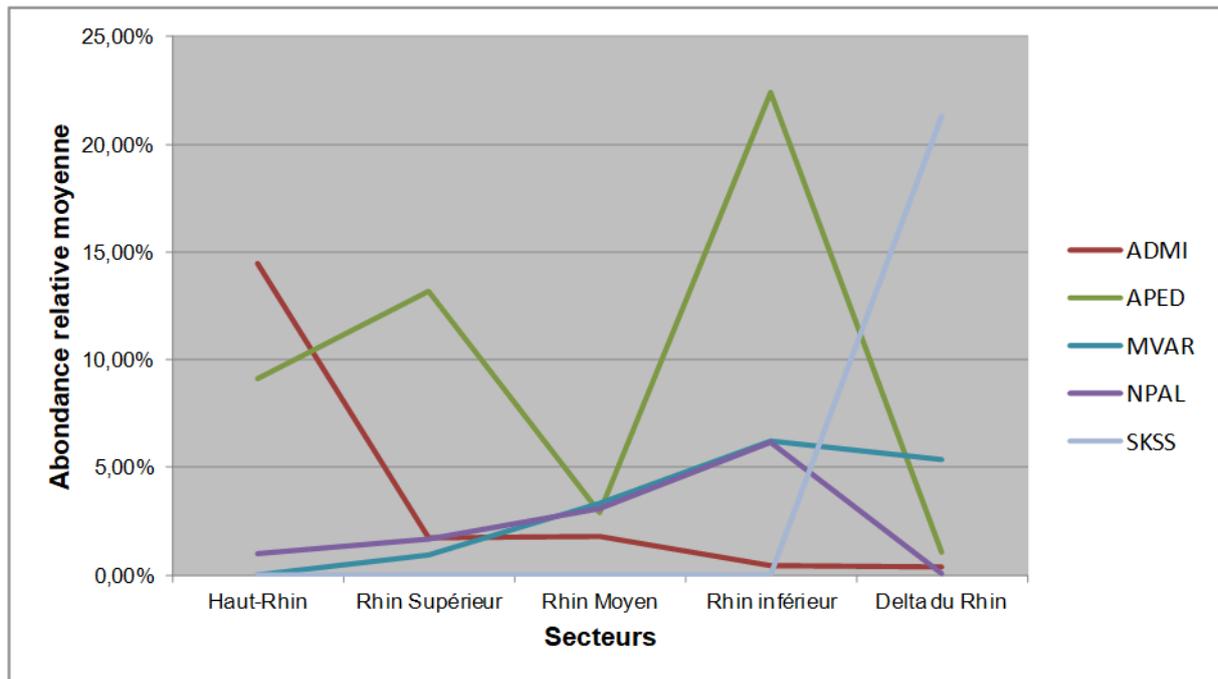
Que signalent les diatomées sur les pressions que subit un cours d'eau ?

Les diatomées sont des algues microscopiques unicellulaires. Elles se développent en particulier dans les eaux courantes en formant un biofilm sur le fond des cours d'eau. Du fait de leur grande diversité, de leur large extension et de leur sensibilité aux conditions physico-chimiques de leurs habitats, ces espèces algales constituent d'excellents indicateurs biologiques. Elles permettent notamment d'estimer la pression due aux nutriments (trophie), le degré d'acidification et de pollution saline, de même que les pressions organiques (saprobie) de leur milieu (VAN DAM et al 1994, ROTT et al. 1997). Du fait de leur temps de génération de courte durée, les biocénoses diatomiques réagissent rapidement aux changements. Les prélèvements ont été réalisés de mai à octobre, de sorte que les résultats des évaluations font ressortir l'état des substances en période de températures élevées. Dans ce contexte, il faut prendre en compte l'importante dispersion des dates de prélèvements et l'étiage de l'été 2018.

Comment la biocénose du Rhin se présente-t-elle ?

Un total de 340 espèces de diatomées sessiles a été recensé sur les 41 sites analysés entre août 2015 et octobre 2018, ce qui représente une diversité taxonomique très importante, même pour un grand fleuve comme le Rhin. On constate néanmoins que beaucoup d'espèces ne sont présentes que sur un faible nombre de stations, alors qu'un nombre relativement faible d'espèces (25) sont présentes sur plus de 50 % des sites prospectés et structurent donc réellement les communautés en place. La figure 8 montre la répartition de la fréquence des cinq espèces de diatomées sessiles les plus couramment rencontrées dans le Rhin (photos en figure 9).

Sur le cours du Rhin (cf. figure 1), les communautés diatomiques constituent des ensembles aux propriétés caractéristiques indicatives (guildes). Leurs formes successives reflètent la baisse de la vitesse d'écoulement et l'enrichissement en nutriments et matières organiques qui les accompagnent : Dans le **haut Rhin**, la composition des espèces est typique des écosystèmes fluviaux faiblement impactés par les nutriments et les matières organiques. Vers l'aval, on note une modification progressive de la succession des cortèges. Les espèces caractéristiques de milieux eutrophes (riches en nutriments) prennent une part importante à partir du **Rhin supérieur et jusque dans le delta du Rhin**. On trouve en outre dans le **delta du Rhin** des espèces planctoniques et halophiles.



ADMI : *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki sensu lato ; APED : *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow ; MVAR : *Melosira Varians* (Agardh) ; NPAL : *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith ; SKSS : *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge.

Figure 8 : Abondance moyenne de cinq espèces diatomiques structurantes dans les tronçons du Rhin

- *Achnantheidium minutissimum* sensu lato est une espèce polluosensible présente en grande densité d'individus dans le haut Rhin et uniquement sporadique dans d'autres tronçons du Rhin (figure 8).
- On détecte certes *Amphora pediculus* dans tous les tronçons du Rhin, mais c'est dans le Rhin inférieur que ce taxon est le plus abondant. Sa faible densité dans le Rhin moyen est néanmoins étonnante si on la compare à l'inventaire 2012/2013. Considérée euryèce et ubiquiste, c'est-à-dire privilégiant les eaux moyennement riches en nutriments, cette espèce tolère des conditions variables dans ses habitats. C'est une espèce pionnière des habitats présentant un fort broutage du biofilm (par exemple par les macroinvertébrés ou les poissons).
- *Melosira varians* et *Nitzschia palea* voient leur abondance moyenne croître de l'amont vers l'aval. *Melosira varians* est une espèce benthique-tychoplantonique typique des eaux calmes eutrophes (riches en nutriments, il est donc logique de la voir prendre une place majeure dans les inventaires de la partie aval du fleuve. L'augmentation progressive de l'abondance moyenne de *Nitzschia palea*, taxon fortement polluorésistant, est à mettre en parallèle avec l'arrivée des flux organiques et donc l'augmentation progressive de la charge organique et trophique du Rhin. Sa disparition dans le delta du Rhin est sans doute davantage due à des conditions très lenticques lui étant peu favorables, plus qu'à une amélioration de la qualité de l'eau.
- *Skeletonema subsalsum* est typique du delta du Rhin. Les conditions particulières très lenticques de ce tronçon favorisant une importante sédimentation expliquent la présence de cette espèce planctonique en forte abondance dans le benthos.

Quatre des cinq espèces les plus fréquentes sont présentées dans la figure 9.

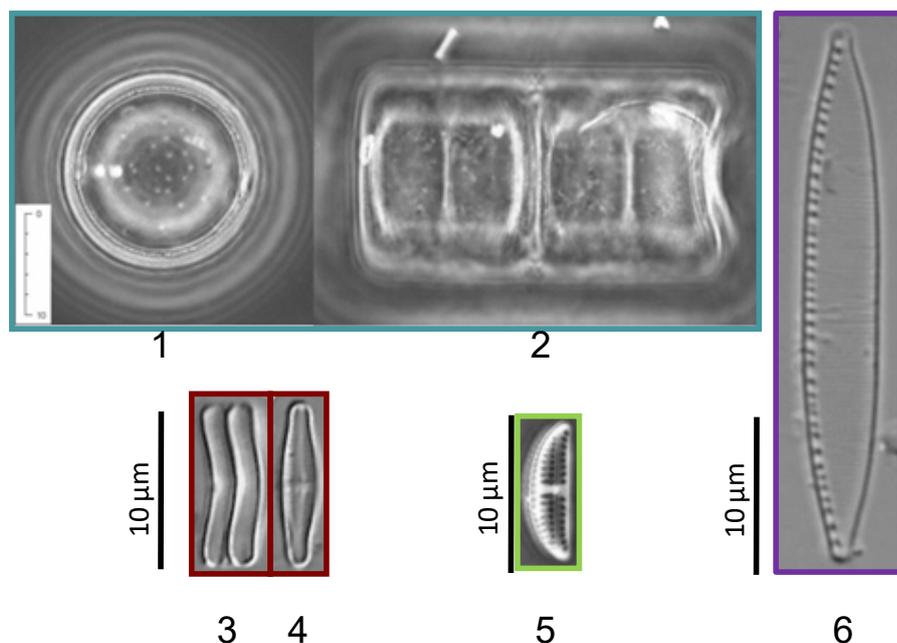


Figure 9 : les quatre espèces structurantes de diatomées benthiques dans le Rhin 1-2 : *Melosira varians* vue de dessus (1) et de côté (2) ; 3-4 : *Achnanthyidium minutissimum* sensu lato vue de côté (3) et de dessus (4), 5 : *Amphora pediculus*; 6 : *Nitzschia dissipata* ; Photos D. Heudre)

Concernant la trophie (offre en nutriments) (c'est-à-dire la sensibilité des cortèges aux nitrates et au phosphore), on note que les cortèges deviennent rapidement eunitrophiles, mais qu'ils évoluent ensuite progressivement vers une dominance de taxons mésonitrophiles (figures 10a et 10b).

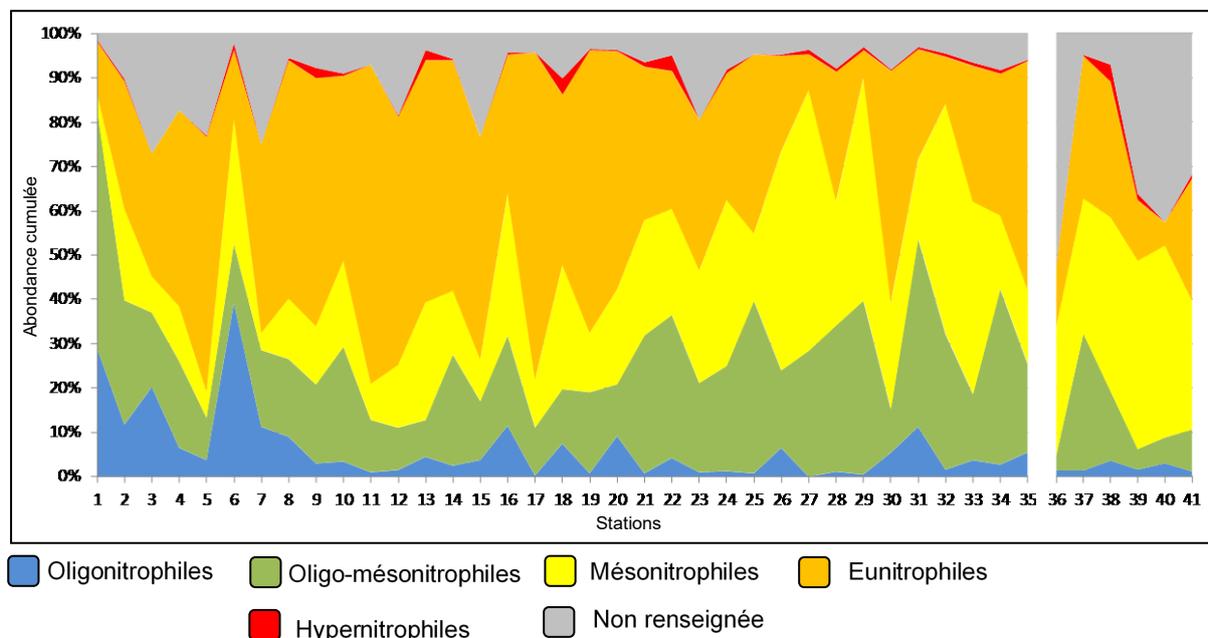


Figure 10a : abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité aux nitrates (CARAYON *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

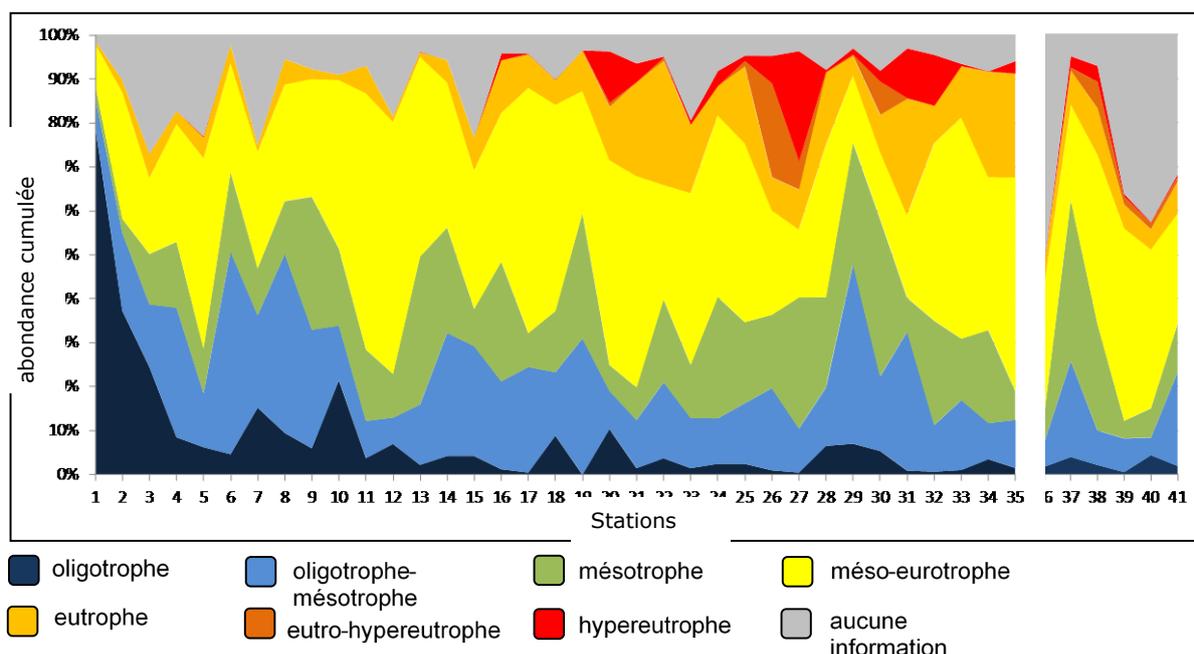


Figure 10b : abondance cumulée des espèces réparties selon leur sensibilité au phosphore (CARAYON *et al.* 2019) (stations par tronçon du Rhin : 1-5 (haut Rhin) ; 6-28 (Rhin supérieur) ; 29-32 (Rhin moyen) ; 33-35 (Rhin inférieur) ; 36-41 (delta du Rhin))

Quelle est l'évaluation du Rhin ?

Comme le montrent l'annexe 2 et l'annexe 7, le **lac de Constance** est évalué en « bon » état en 2018/2019, comme déjà en 2012/2013, dans toutes ses parties, et le **haut Rhin** l'est également jusqu'en amont de l'Aar. Le **Rhin supérieur méridional** jusqu'à Breisach est considéré en « bon » état pour les macrophytes et le phytobenthos côté allemand et en état « moyen » sur la base des diatomées benthiques côté français. De Breisach à Strasbourg, à l'opposé, il est évalué comme étant en état « moyen » côté allemand et en « bon » état côté français. Plus en aval (**Rhin supérieur septentrional**, **Rhin moyen**), l'état du Rhin est partout jugé « moyen » jusqu'à la frontière germano-néerlandaise, mais deux tronçons sont en « bon » état, l'un dans le **Rhin supérieur** (du débouché de la Lauter au débouché du Neckar) et l'autre dans le **Rhin moyen**. Le tronçon du **Rhin inférieur** (du débouché de la Wupper jusqu'au débouché de la Ruhr) s'est amélioré par rapport à 2015, passant d'un état « médiocre » à un état « moyen ». Dans le **delta du Rhin**, de nombreuses masses d'eau atteignent le bon état pour l'élément de qualité 'macrophytes/phytobenthos' : il s'agit du Boven Rijn et du Waal, du Nieuwe Waterweg, du Hartelkanaal, du Calandkanaal et du Beerkanaal, de même que de l'IJsselmeer. La **mer des Wadden** est évaluée dans un état « médiocre ». Les **eaux côtières** constituent un autre type auquel n'est pas appliquée l'évaluation fondée sur les zostères et les puccinellies maritimes.

Dans le cadre du **programme d'analyse biologique Rhin 2018/2019**, des échantillons ont été prélevés dans 41 stations d'analyse, c'est-à-dire 6 de moins qu'en 2012/2013. Cependant, le total des espèces (340) est à présent de 11 % supérieur. Les espèces les plus répandues sur le Rhin sont *Nitzschia dissipata*, *Amphora pediculus* et *Navicula cryptotenella* que l'on observe sur la quasi-totalité des stations. En parallèle, *Cocconeis placentula* sensu lato, *Navicula antonii*, *Nitzschia fonticola*, *Achnanthydium minutissimum* sensu lato, *Navicula tripunctata* et *Cocconeis pediculus* sont également dominantes.

Quelles sont les tendances identifiables dans le long terme ?

Les diatomées benthiques sont analysées dans le cadre du Programme d'analyse 'Rhin' depuis 2006/2007. Une belle succession de communautés diatomiques se déploie donc à mesure que l'on descend le Rhin vers l'aval et que s'opère une baisse de son caractère lotique couplée à un enrichissement du milieu. La majorité du cours du Rhin se caractérise ainsi par des taxons préférant les minéralisations moyennes et par une dominance de taxons caractéristiques des oxygénations élevées et modérées. Concernant la charge du milieu en nutriments, il présente un cas de figure assez classique des grands cours d'eau : l'enrichissement en nitrates est rapide et le phosphore se place en élément limitant avec un accroissement plus progressif de l'amont vers l'aval. Il est cependant indéniable que la biocénose, tout comme le phytoplancton, est plus proche d'un état naturel grâce à la réduction des apports de nutriments dans le Rhin.

5. Macrozoobenthos

Faune invertébrée benthique

Voir CIPR 2020d

En quoi la faune invertébrée nous renseigne-t-elle sur l'état des pressions sur une masse d'eau ?

De par sa composition et ses rapports de dominance, le macrozoobenthos est un indicateur de la qualité des eaux et de la quantité et de la qualité des habitats du milieu aquatique. La colonisation progressive du fleuve par des néozoaires thermophiles permet également de tirer des enseignements sur la pression thermique.

Comment la biocénose du Rhin se présente-t-elle ?

Plus de 500 espèces macrozoobenthiques ont été identifiées au total dans le Rhin depuis les Alpes jusqu'à la mer du Nord. Les plus caractéristiques sont les mollusques, les oligochètes, les crustacés, les insectes, les spongillidés et les bryozoaires.

La biodiversité macrozoobenthique est élevée dans le **Rhin antérieur**, le **Rhin postérieur** et le **Rhin alpin**. On relève une dominance des insectes rhéophiles, c'est-à-dire des larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères, typiques de l'hydrosystème du Rhin alpin. On trouve partout des populations denses du gammare *Gammarus fossarum*. À noter par ailleurs la présence en fortes abondances de larves de blépharicidés dans le Rhin antérieur. Aucune des espèces néozoaires introduites dans les autres tronçons du Rhin n'a percé jusqu'à présent dans le cours aval du Rhin alpin. Les taxons détectés dans le **lac de Constance** sont des espèces typiques des eaux dormantes ou des ubiquistes tels que les turbellariés, la bithynie commune, l'hydrobie des antipodes, l'hélobdelle des étangs, ainsi que différents éphéméroptères, trichoptères et gammars. Les espèces exotiques comme le gammare du Danube et la palourde asiatique affichent des peuplements denses. La moule quagga a également été détectée en 2016 ; elle se propage fortement et refoule la dreissène polymorphe.

Le **haut Rhin** regroupe les éléments biocénotiques d'un large éventail de types de cours d'eau depuis le ruisseau de montagne et les fleuves des massifs moyens jusqu'aux grands lacs préalpins et au milieu potamal. La faune est riche en espèces et parfois encore proche de l'état naturel malgré quelques espèces invasives. Dans le Rhin navigable canalisé en aval de Bâle (Rhin supérieur, Rhin moyen, Rhin inférieur et delta du Rhin), la faune benthique est en majeure partie uniforme avec dominance d'espèces communes et abondantes qui colonisent les grands fleuves et sont peu exigeantes vis-à-vis de la qualité de leurs habitats (espèces ubiquistes). Les espèces néozoaires occupent 60 % de la totalité des peuplements. On retrouve en partie des éléments faunistiques naturels typiques dans les anciens bras et les festons du Vieux Rhin raccordés à la dynamique fluviale.

Le **Rhin supérieur méridional** navigable est caractérisé par les néozoaires. Le **Vieux Rhin** et ses **festons** sont comparativement bien colonisés en raison de leur relative richesse morphologique et on y a ainsi détecté des larves du gomphe à pattes jaunes. La biocénose du **Rhin supérieur septentrional** est similaire à celle du Rhin supérieur méridional, autant en termes de dominance que de constance. On y détecte p. ex. quelques espèces particulières de grosses moules de rivière, p. ex. la mulette des peintres (*Unio pictorum*), la limnée auriculaire (*Radix auricularia*), l'escargot de gravier (*Lithoglyphus naticoides*) et la manne blanche (*Ephoron virgo*) à partir du débouché du Neckar, ainsi que la nérîte fluviatile (*Theodoxus fluviatilis*), qui se propage dans le Rhin vers l'amont et vers l'aval à partir du débouché du Main.

Le pourcentage de néozoaires baisse dans le **Rhin moyen** et celui de quelques espèces rhénanes caractéristiques augmente. La recolonisation du Rhin par des espèces autochtones à partir de refuges situés dans les affluents joue manifestement un rôle ici. On trouve également sur le cours du **Rhin inférieur** les espèces largement répandues dans le Rhin. Certaines espèces sessiles y sont caractéristiques, comme les bryozoaires et les spongiaires dulcicoles, qui contribuent en tant que filtreurs à l'autoépuration du Rhin.

Dans la plaine, le fleuve change de caractère. Les substrats sablonneux sont plus fréquents. Dans le **delta du Rhin**, ceux-ci sont principalement colonisés par des chironomides, des oligochètes et des bivalves, alors que l'on observe sur le substrat dur une biocénose comparable à celle du Rhin inférieur. A proximité des côtes, la faune se compose d'espèces du milieu saumâtre et marin.

Quelle est l'évaluation du Rhin ?

Comme le montrent l'annexe 3 et l'annexe 8, le **Rhin alpin** est riche en espèces et le macrozoobenthos affiche un « bon » potentiel écologique. Le pourcentage d'espèces allochtones augmente sur le cours du **haut Rhin** jusqu'à Bâle, de sorte que l'évaluation débouche uniquement sur un état « moyen ». Le potentiel écologique du macrozoobenthos est « moyen » sur tout le **Rhin supérieur** jusqu'à Bingen. La partie méridionale du Rhin supérieur n'est évaluée ici que côté allemand. Du **Rhin moyen au Rhin inférieur** à hauteur de Duisbourg, le « bon » potentiel écologique est atteint pour le macrozoobenthos. À partir de Duisbourg et jusqu'à la frontière néerlandaise, le potentiel est classé « moyen », ce qui représente une amélioration par rapport au potentiel « médiocre » constaté en 2015. Les bras du Rhin Boven Rijn et Waal sont estimés « moyens » mais les autres masses d'eau du **delta** sont jugées « bonnes ».

L'évolution du macrozoobenthos observée dans le second segment du Rhin supérieur entre Breisach et Strasbourg (évaluation effectuée uniquement côté allemand), de même que dans le segment du Rhin supérieur septentrional entre le débouché de la Lauter et celui du Neckar (passage d'un potentiel « médiocre » à un potentiel « moyen ») est un **changement positif par rapport au second cycle de surveillance**. L'élément de qualité 'macrozoobenthos' s'améliore également sur le Rhin inférieur : de deux classes de Leverkusen à Duisbourg (passant d'un potentiel « médiocre » à un « bon » potentiel) et d'une classe de Duisbourg jusqu'aux Boven Rijn et Waal, bras du delta du Rhin (de « médiocre » à « moyen »). On relève également une amélioration pour la mer des Wadden et la côte hollandaise qui passent d'un potentiel « moyen » à un « bon » potentiel ».

Trois raisons expliquent ces modifications :

- (1) Extension tendancielle d'espèces rhénanes indigènes de grande valeur écologique : On observe depuis 2006 la recolonisation du Rhin par la nérite fluviatile (*Theodoxus fluviatilis*) à partir du Main (figures 11 et 12)¹. En 2018, sa distribution s'étend pratiquement à toute la superficie du Rhin. On note depuis 2012 le rétablissement de quelques espèces typiques du Rhin, telles que celles des trichoptères *Hydropsyche sp.* et *Psychomyia pusilla*.
- (2) Baisse de densité des peuplements de néozoaires : ce phénomène est très net dans certaines parties du Rhin moyen. Les espèces nouvellement introduites font concurrence aux « anciens » néozoaires, les espèces les plus touchées étant les espèces apparentées et/ou celles dont les niches se recourent en grande partie. On citera à titre d'exemple la moule quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) qui évince progressivement la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) (SCHÖLL et al. 2012).
- (3) Présence massive d'espèces de gobies allochtones : le recul d'espèces néobiotiques est éventuellement à mettre sur le compte de ce phénomène. Les espèces de gobies allochtones sont, elles aussi, originaires du bassin pontocaspéen et, de ce fait, les prédateurs naturels de nombreux néozoaires benthiques. Des études récentes montrent que le gobie à taches noires couvre au moins un quart de l'ichtyofaune entre le Rhin supérieur méridional et le Rhin

¹ Le peuplement de *Theodoxus fluviatilis* qui se propage dans le Rhin depuis 2006 vient d'une cohorte génétique implantée dans le bassin du Danube (« cryptic invader »). C'est le résultat d'études scientifiques très récentes (GERGS et al. 2014). Le statut de l'espèce et son rôle dans l'écosystème du Rhin n'en sont pas affectés.

inférieur. Dans certaines masses d'eau ou stations de prélèvement, il arrive que l'on ait plus de 90 % de gobies sur le total des poissons détectés.

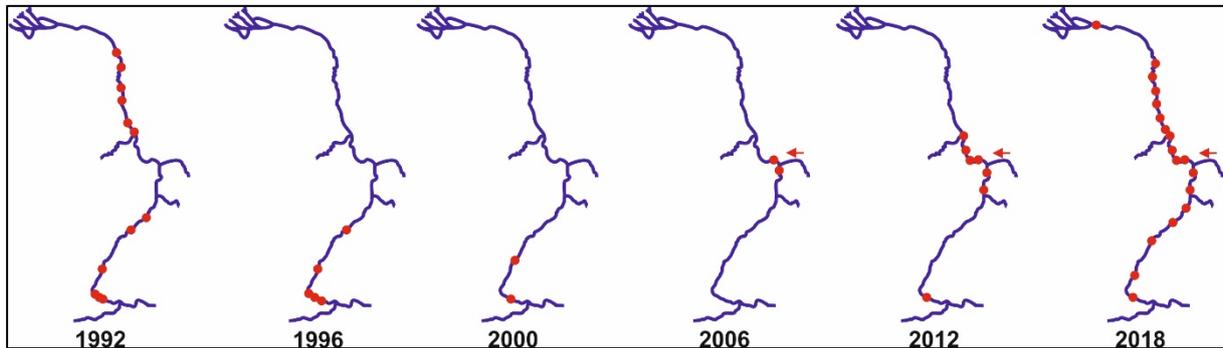


Figure 11 : Propagation de la nérite des rivières *Theodoxus fluviatilis* dans le Rhin navigable (WESTERMANN et al. 2007, complété), les affluents ne sont pas pris en compte.



Figure 12 : *Theodoxus fluviatilis*. Photo : LfU Mainz.

Le transport d'espèces exotiques dû au trafic fluvial transitant par les ports côtiers et les canaux est un phénomène fréquemment mentionné. Jusqu'à présent, les potentialités de la navigation intérieure comme vecteur de propagation d'espèces exotiques n'ont pas été analysées en détail. Il ressort de nouvelles études (SCHWARTZ & SCHÖLL 2018) que toutes les coques des bateaux analysés portaient des bio-salissures mais la densité de l'encrassement et le nombre d'espèces variaient (figure 13). Il convient de signaler la détection d'une colonie de balanes (*Balanus improvisus*) qui a réussi à remonter dans l'hydrosystème du Rhin jusqu'au port de Duisbourg. En outre, la plupart des bateaux transportent des eaux de ballast, ce qui peut favoriser les introductions et propagations d'espèces néobiotiques. Sur les canaux, le pourcentage de bateaux contenant des eaux de ballast (75 %) est nettement plus important que sur les autres voies navigables (54 %) car ces eaux servent à abaisser la hauteur des bâtiments au-dessus de la ligne d'eau au passage de ponts bas.

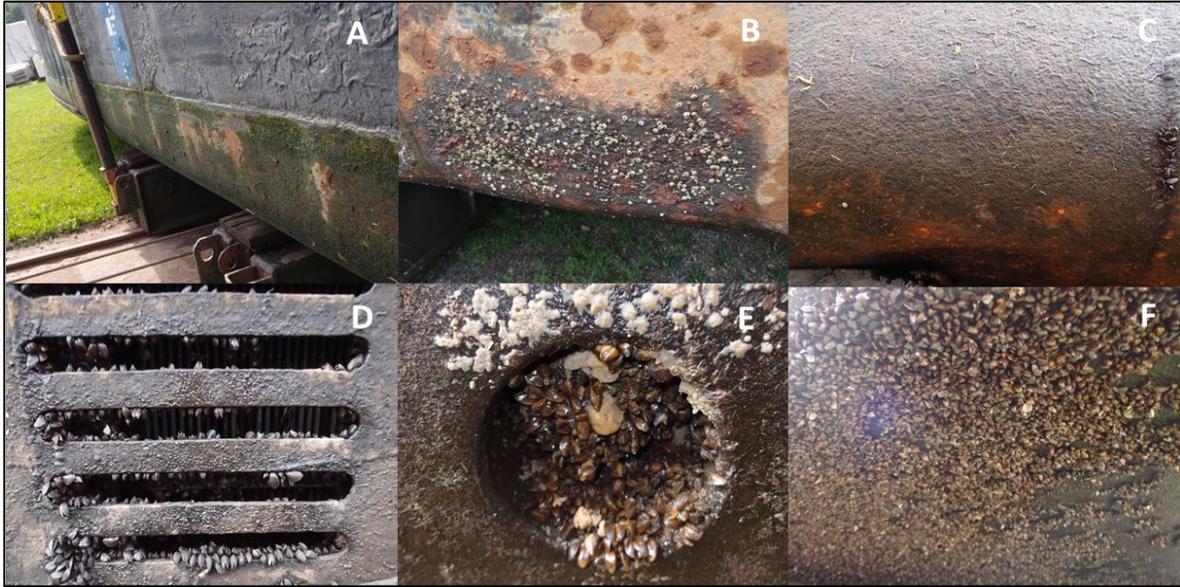


Figure 13 : bio-salissures sur différents types de bateaux : (A) faible encrassement avec couche d'algues vertes. (B) encrassement partiel par balanes (*Balanus improvisus*). (C) encrassement général par microorganismes et par coquillages et larves d'insectes disparates. (D) encrassement par coquillages (*Dreissena rostriformis bugensis*) dans des prises d'eau de mer. (E) encrassement par *D. rostriformis bugensis* et par éponges dans les ouvertures des pompes d'eaux de ballast. (F) encrassement général par *D. rostriformis bugensis* associé à d'autres espèces (SCHWARTZ & SCHÖLL 2018).

Quelles sont les tendances identifiables dans le long terme ?

Après la forte augmentation de la diversité des espèces macrozoobenthiques imputable à l'amélioration croissante de la qualité des eaux du Rhin dans les années 80 et 90, on observe depuis l'an 2006 environ une évolution opposée (figure 14). Les insectes aquatiques notamment présentaient entre 1995 et 2000 une diversité bien supérieure à celle d'aujourd'hui. Cette tendance s'explique par l'immigration d'espèces invasives et allochtones. Il est difficile de dire à l'heure actuelle si cette tendance se stabilisera. Une légère hausse du nombre moyen d'espèces est toutefois reconnaissable depuis 2012 et est accompagnée du rétablissement de quelques espèces typiques du Rhin, telles que celles des trichoptères *Hydropsyche sp.* et *Psychomyia pusilla*.

À l'opposé des poissons migrateurs (voir chapitre 6), les tendances positives observées chez les macroinvertébrés sont rarement imputables à des mesures individuelles concrètes. C'est plutôt la somme de toutes les mesures, dont certaines ont été prises il y a longtemps, qui fait évoluer positivement la situation. Pour redynamiser les biocénoses du Rhin, des mesures supplémentaires de restauration du milieu physique et de la qualité de l'eau sont à prendre. Il est nécessaire en outre d'appliquer des mesures appropriées pour restreindre l'introduction d'espèces exotiques.

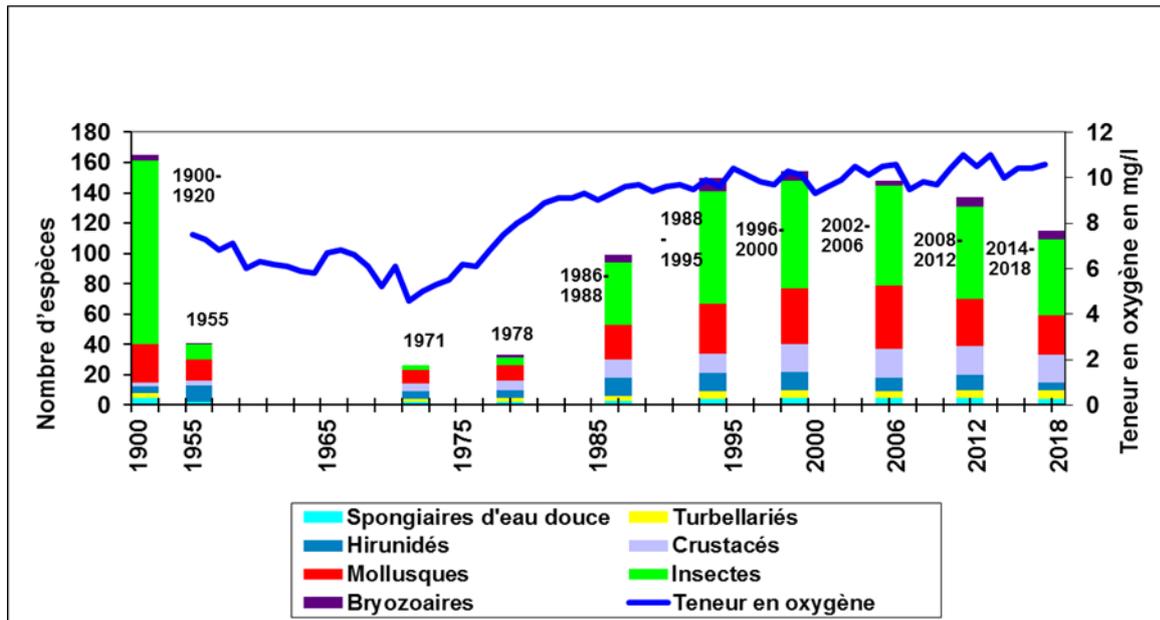


Figure 14 : évolution historique de la biocénose du Rhin entre Bâle et la frontière germano-néerlandaise par rapport à la teneur moyenne en oxygène du Rhin à hauteur de Bimmen (groupes d'espèces sélectionnés)

6. Faune piscicole

Les poissons et les lamproies (cyclostomes)

Voir CIPR 2021b

En quoi l'ichtyofaune nous renseigne-t-elle sur l'état des pressions sur une masse d'eau ?

La composition, l'abondance et la structure d'âge des poissons sont, à grande échelle, des indicateurs de la qualité des habitats importants pour les différents stades de vie et du degré de continuité des cours d'eau. Les modifications du régime hydrologique (retenue, prélèvement, dérivation) et les pressions thermiques ont un impact sur la composition des espèces. Par rapport aux autres éléments de qualité biologiques, les poissons et les lamproies vivent longtemps et sont mobiles ; évaluer l'état écologique à partir de l'ichtyofaune apporte donc des informations intégrées sur la masse d'eau dans son ensemble et sur une longue plage de temps.

Comment la biocénose du Rhin se présente-t-elle ?

Avec 71 espèces au total (y compris les cyclostomes tels que la lamproie fluviatile et la lamproie marine), l'ichtyofaune est aujourd'hui diversifiée. Toutes les espèces rhénanes historiques ont été identifiées à l'exception de l'esturgeon européen. Les résultats des pêches électriques sont dominés en de nombreux endroits par des gobies allochtones, en premier lieu par le gobie à taches noires (figure 15), notamment dans les zones riveraines avec enrochements. Les espèces à bonne capacité d'adaptation écologique, telles que le gardon, la brème, le chevesne, la perche fluviatile et l'ablette, restent les plus fréquentes.

Mis à part quelques interruptions sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur, une augmentation naturelle des espèces de poissons sur le linéaire du Rhin est encore reconnaissable, à mesure que l'on va vers l'aval. En règle naturelle, les espèces de poissons sont les plus nombreuses dans le delta du Rhin. La raison en est en outre le grand nombre de points de pêche individuels regroupés en zones de grande étendue, les méthodes de capture (captures par nasse et par filet en plus des captures par pêche électrique) et la présence de types d'habitats particuliers dans l'IJsselmeer et dans les zones d'eaux saumâtres, ce qui favorise l'échange d'individus. Les interruptions de l'augmentation continue des espèces dans le Rhin moyen sont dues au caractère particulier de la trouée du Rhin, où le paysage fluvial naturel devient rhithral et où les rivières alluviales et latérales sont moins nombreuses dans le passage étroit que se fraye le Rhin. En revanche, le nombre étonnamment faible d'espèces de poissons dans le Rhin inférieur signale l'effet des pressions des usages sur ce tronçon et de la pauvreté morphologique de celui-ci en raison des interventions anthropiques, comme le montre d'ailleurs l'absence quasi-totale de plantes aquatiques dans le Rhin inférieur.

La végétation macrophytique a très fortement augmenté dans les autres tronçons du Rhin, en particulier dans le Rhin supérieur et dans les anciens bras et les champs d'épis du cours principal du Rhin moyen. Ce développement favorise la reproduction d'espèces phytophiles. De nombreuses autres espèces trouvent ainsi dans ce milieu des habitats de juvéniles adéquats.



Figure 15 : ponte de gobies. Photo : LfU Mainz.

18 espèces ont été recensées dans le **Rhin alpin**. Le blageon est la seule espèce surdominante dans les captures. Arrive ensuite le chabot. On trouve comme espèces fréquentes la truite fario et la truite lacustre, la truite arc-en-ciel, espèce exotique, et le chevesne (cf. figure 16). Une étude spéciale de la Commission intergouvernementale du Rhin alpin met en évidence que le Rhin alpin est un tronçon ichthyobiologiquement déficitaire en raison de sa faible diversité hydromorphologique et de l'intense exploitation hydroélectrique par régime en éclusées dont il est l'objet (EBERSTALLER et al. 2013). La présence du blageon, espèce très rare et très exigeante, est probablement due aux zones rivulaires profondes alimentées par les eaux souterraines et au fait qu'il est estimé peu sensible aux conditions des régimes en éclusées.



Figure 16 : les espèces de poissons caractéristiques du Rhin alpin. En haut : truite lacustre, en bas à gauche : blageon ; en bas à droite : truite arc-en-ciel laitée, dont la migration se déroule entre le lac de Constance et le Rhin alpin. Photos : Hydra.

29 espèces ont été recensées dans le **haut Rhin**. Le barbeau et le chevesne sont les espèces dominantes. Mais le spirilin, le gobie à taches noires et l'ablette ne sont pas rares non plus. Les données obtenues dans le cadre du monitoring de poissons juvéniles réalisé par l'OFEV en 2017/2018 font apparaître des fréquences relatives s'écartant de ces pourcentages. Seul le chevesne est classé surdominant. Par rapport à 2011/2012, on note l'absence de jeunes ombres, grémilles, ables de Heckel, aspes et sandres dans le monitoring de poissons juvéniles réalisé par l'Office fédéral suisse de l'environnement (OFEV). Les chiffres en hausse sont ceux des juvéniles de chevesnes, barbeaux, hotus et vandoises, et ceux de gobies à taches noires dont uniquement quelques individus avaient atteint le haut Rhin en 2012.

36 espèces ont pu être détectées dans le **Rhin supérieur méridional**. C'est ici que commence à dominer le gobie à taches noires, espèce exotique. Il représente plus d'un tiers des exemplaires capturés. En revanche, le gobie de Kessler régresse nettement. Dans l'ordre de fréquence, le gardon est actuellement la seconde espèce, suivi de près par l'ablette et le chevesne. On soulignera la capture d'un exemplaire de la loche italienne (*Cobitis bilineata*) à hauteur de Kembs et qu'on ne trouve sinon que dans le haut Rhin. Dans les retenues des barrages, il manque les habitats propices aux espèces rhéophiles comme le hotu qui n'est pas très fréquent. Malgré des habitats potentiellement favorables, notamment dans le Vieux Rhin, les poissons migrateurs

anadromes sont extrêmement rares dans ce secteur, car la continuité écologique des tronçons du Rhin n'est pas encore rétablie à partir du barrage de Rhinau.

On note avec satisfaction que la bouvière a recolonisé le Rhin. Cette espèce se propage régulièrement, notamment dans le **Rhin supérieur septentrional**. La loche de rivière, espèce rarement rencontrée dans le Rhin par le passé, se signale à nouveau dans le Rhin supérieur par une présence régulière. Avec une fréquence de 41 % des effectifs pêchés, le gobie à taches noires atteint ici son taux de dominance le plus élevé. Suivent le gardon et l'ablette. 29 espèces y sont recensées au total.

La vitesse du courant augmente dans la vallée étroite du **Rhin moyen**, créant ainsi de bonnes conditions pour les espèces rhéophiles. 35 espèces sont recensées au total. Ici aussi, les gobies à taches noires représentent à nouveau 38 % des captures. La composition des autres espèces ressemble à celle du Rhin supérieur septentrional. On notera cependant que le hotu couvre 16 % des captures et que l'anguille est un peu plus fréquente dans le Rhin moyen, où elle représente 6 % des effectifs.

Le **Rhin inférieur** affiche 22 espèces. Le gobie à taches noires est également l'espèce la plus capturée dans ce tronçon mais il n'obtient ici que le statut d'espèce dominante. À ses côtés, l'ablette avec 19 %, l'ide mélanote avec 16 % et le gardon avec 12 % ont également des positions dominantes. La perche fluviatile, le hotu et l'anguille suivent avec des abondances sous-dominantes.

Le delta du Rhin et l'IJsselmeer affichent conjointement la plus grande densité d'individus et d'espèces par rapport aux autres tronçons du Rhin. Ici, la perche fluviatile est de loin l'espèce la plus fréquente, ce qui est éventuellement uniquement dû à une année de reproduction particulièrement bonne de cette espèce. Elle est suivie du gardon comme espèce dominante et du gobie à taches noires, de la grémille, de la brème et de la brème bordelière comme espèces sous-dominantes. Par rapport au rapport antérieur de 2012/2013, on note en particulier la nette régression des captures de grémilles et la hausse de celles de gobies à taches noires. Cependant, cette chute brutale constatée chez la grémille peut venir tout particulièrement du plus grand nombre de stations de prélèvement. 41 espèces ont pu être ici recensées au total.

Quelle est l'évaluation du Rhin ?

Pour la plupart, les États du Rhin ont évalué la qualité du compartiment piscicole sur la base d'une méthodologie nationale. Les tronçons transfrontaliers ont toutefois fait l'objet d'une concertation bilatérale. L'état du **Rhin antérieur et postérieur** suisse n'a pas été évalué. Comme le montrent les annexes 4 et 9, le potentiel de l'ichtyofaune est jugé « moyen » dans le **Rhin alpin** autrichien. Par rapport à 2015, le potentiel écologique s'améliore de deux niveaux. Le Rhin alpin est toutefois complètement canalisé, à l'exception d'un petit tronçon ; sa continuité longitudinale n'est toujours pas rétablie et le régime en éclusées des usines hydroélectriques fait pression sur le milieu. Le **lac de Constance** est dans un « bon » état ichtyoécologique. L'ichtyofaune du **haut Rhin** canalisé est estimée de qualité « moyenne ». La faune piscicole du **Rhin supérieur méridional** est estimée de qualité « moyenne » côté Allemagne/Bade-Wurtemberg à l'exception de celle du tronçon compris entre Breisach et Strasbourg classée « médiocre ». Côté français, ces tronçons ne sont pas évalués, car l'élément de qualité biologique 'Poissons' n'est pas pris en compte en France dans l'évaluation du potentiel écologique des masses d'eau fortement modifiées. Dans le **Rhin supérieur septentrional**, l'évaluation est également « moyenne » jusqu'au débouché du Main. Plus vers l'aval et dans le Rhin moyen, le potentiel est évalué comme « bon » et s'améliore d'un niveau (par rapport au potentiel « moyen »). Le potentiel du **Rhin inférieur** est « moyen ». À partir du débouché de la Ruhr vers l'aval et jusque dans la première masse d'eau du **delta du Rhin** (Boven-Rijn/Waal), la qualité du Rhin est estimée « médiocre ». Le Nieuwe Waterweg, le Hartelkanaal, le Calandkanaal et le Beerkanaal, de même que l'**IJsselmeer** sont évalués comme « moyens ». La directive ne prescrit pas d'évaluation de l'ichtyofaune pour les **eaux côtières** et la **mer des Wadden**.

La **modification** la plus prononcée **par rapport au dernier recensement effectué dans le Rhin en 2012/2013** est la forte extension de l'aire d'implantation et

l'augmentation des peuplements d'espèces de gobies à taches noires allochtones. Par rapport au recensement antérieur, on observe des décalages parfois importants des rapports de dominance. Entre le Rhin supérieur méridional et le Rhin inférieur, le gobie à taches noires représente en moyenne un quart des spécimens détectés et peut même dépasser localement 90 % du total en fréquence relative. Pourtant, les fréquences relatives de l'espèce sont en baisse entre le Rhin supérieur septentrional et le Rhin inférieur par rapport à la dernière campagne (CIPR 2015d). C'est peut-être un signe que la phase de prolifération massive vient à terme dans les zones fortement colonisées jusqu'à présent. En revanche, les gobies à taches noires se sont propagés plus encore dans le haut Rhin et le delta du Rhin depuis le dernier recensement effectué en 2012/2013. Les effets d'éviction de ce néozoaire sur les espèces indigènes ont été démontrés par HOLM et al. (2016) (figure 17).

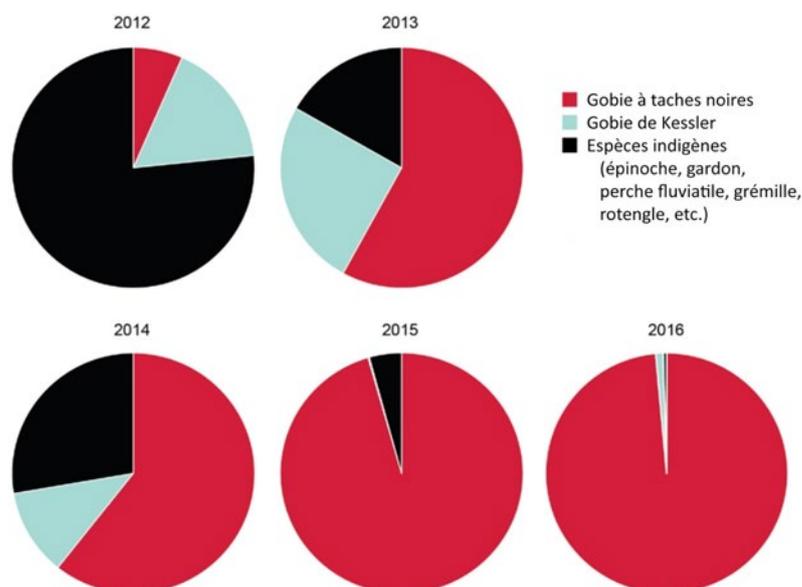


Figure 17 : recul de l'ictyocénose actuelle et du gobie de Kessler sous l'effet de la propagation massive des gobies à taches noires dans le port de Kleinhüningen près de Bâle (de 2012 à 2016). Source : HOLM et al. 2016.

Par rapport au rapport antérieur de 2012/2013, on note en particulier la nette régression des captures de grémilles et la hausse des captures de gobies à taches noires (figure 17). Dans le même temps, le nombre de stations de prélèvement a augmenté. La grémille connaît une régression de ses peuplements due entre autres aux enrochements, qui offrent des conditions morphologiques idéales pour les gobies à taches noires et leur permettent d'atteindre des densités élevées.

À l'inverse, tous les gobies néozoaïres représentent une nouvelle source d'alimentation pour d'autres espèces prédatrices telles que le sandre, le brochet, le barbeau, l'aspe, le silure et la perche fluviatile. Le cannibalisme et la prédation interne semblent être répandus (REY & HESSELSCHWERDT 2020, en cours de préparation). On peut donc imaginer que des changements sensibles se produiront au cours des prochaines années dans la chaîne alimentaire et qu'ils pourront se traduire par d'autres régulations des peuplements de gobies. Dans les tronçons notamment où les juvéniles d'espèces rhénanes doivent se dissimuler principalement dans les enrochements dans lesquels les gobies trouvent des conditions de vie idéales, il est probable que ces derniers aient un impact sur l'ichtyocénose du Rhin (NEHRIG et al. 2010, REY & HESSELSCHWERDT 2020, en cours de préparation).

Quelles sont les tendances identifiables dans le long terme ?

L'ichtyofaune du Rhin a connu des transformations sensibles au cours des 25 dernières années. Sous l'effet de l'amélioration de la qualité des eaux, quelques espèces ont pu s'étendre à nouveau, de sorte que le nombre d'espèces a augmenté. Cette évolution notable ressort de la comparaison des chiffres de recensement d'espèces au cours des cinq campagnes d'analyse de la CIPR de 1995 à 2019 (figure 18). Les espèces de poissons allochtones représentent aujourd'hui env. 22 % de l'éventail des espèces.

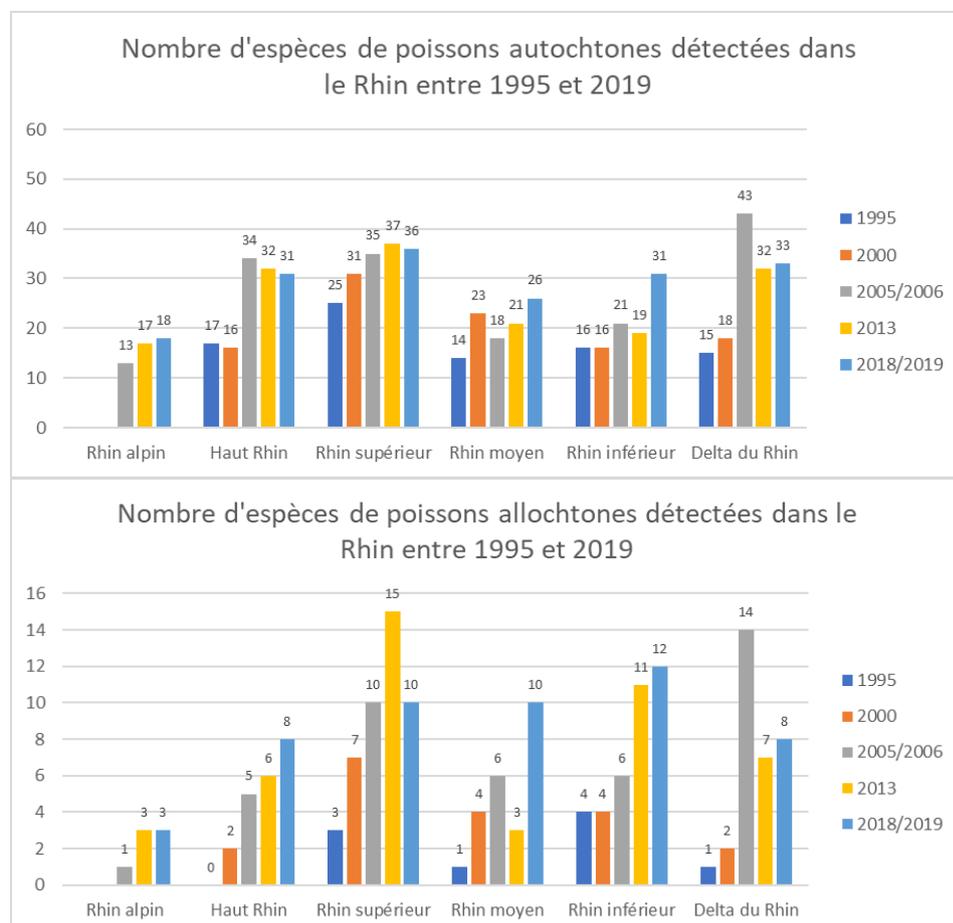


Figure 18 : nombre d'espèces autochtones (en haut) et allochtones (en bas) identifiées dans les différents tronçons du Rhin sur la période allant de 1995 à 2019.

Le nombre d'espèces ne peut toutefois être le seul critère pour juger de l'amélioration écologique car il augmente également, comme on l'a vu, par l'immigration d'espèces allochtones. Par ailleurs, l'intensité des analyses a augmenté dans le cadre de la surveillance requise par la DCE et de nouvelles méthodes de recensement ont été introduites, par ex. les stations de contrôle automatique au droit des dispositifs de franchissement. On peut ainsi détecter de temps à autre des espèces rares qui, sinon, ne pourraient être identifiées (voir ci-dessous). La prise en compte d'analyses supplémentaires s'est également traduite par un gain important de connaissances sur les peuplements de différentes espèces (CIPR 2015d).

Quant à l'**abondance** des différentes populations de poissons, les données du Rhin inférieur et celles obtenues à partir de la nasse de Coblenze/Moselle montrent que la densité des poissons a fortement baissé depuis les années 80, puis s'est à peu près stabilisée depuis 1993. Cette évolution s'explique par la régression des gardons présents en masse jusqu'alors et par la réduction des nutriments et de la pollution organique dans les années 80 et au début des années 90 (voir chapitre 7 et tableau 1). L'apport de nourriture (par ex. le plancton) a baissé de ce fait dans le Rhin. Les densités de poissons échantillonnées varient également selon les tronçons du Rhin et au cours d'une année de

par l'activité des poissons, qui diffère selon les saisons et les espèces, et de par le mode d'échantillonnage. Les rapports de dominance fluctuent également, notamment chez les espèces très fréquentes telles que le gardon, la brème, le chevesne, la perche fluviatile et l'ablette. À l'heure actuelle, le développement massif des populations de gobies à taches noires invasifs masque en partie les variations naturelles des rapports de dominance. Depuis le dernier monitoring poissons de la CIPR (CIPR 2015d), aucune conclusion plus détaillée ne peut être avancée sur une nouvelle évolution de la densité des peuplements de poissons dans le Rhin.

Les progrès atteints en matière de rétablissement de l'accès aux rivières de reproduction au cours des 25 dernières années ont permis d'améliorer dans un premier temps la situation des **grands migrateurs**. On constate en effet jusqu'en 2007 des taux de retour en hausse, notamment de **saumons** et de **lamproies marines**, ainsi qu'une augmentation sensible des constats de reproduction dans les rivières accessibles. On note cependant un recul des détections entre 2008 et 2013, du moins chez les grands salmonidés saumon et **truite de mer** (figures 19 et 20). Les causes sont, outre une évolution des procédés de recensement, éventuellement à localiser dans le corridor migratoire commun que constituent le Rhin et/ou la zone côtière : pêche, forte prédation sur les smolts par des poissons carnassiers et des cormorans et taux de mortalité élevés dû au passage des smolts dans les installations hydroélectriques. Les taux de survie en baisse en milieu marin sont également sujets à discussion. Dans les tronçons du Rhin supérieur, les travaux de mise en place de la 5^e turbine au droit du barrage d'Iffezheim entre avril 2009 et octobre 2013 ont entraîné une régression de la migration.

Entre 2013 et 2020, les nombres d'adultes de retour ont enregistré à nouveau une hausse, en particulier ceux du **saumon**, de la **lamproie marine** et de la **truite de mer**. Ceci s'explique certainement par l'arrivée à terme des travaux réalisés sur les passes à poissons d'Iffezheim et de Gambshheim. Les chiffres faibles enregistrés pour les adultes de retour en 2018 proviennent d'une part du monitoring irrégulier effectué en juin et d'autre part des travaux réalisés sur la passe à poissons d'Iffezheim entre août et novembre, de même que de l'étiage survenu entre juillet et novembre 2018 (CIPR 2020e). En août, alors que les températures de l'eau atteignaient 27 °C, on a observé une mortalité de poissons dans le haut Rhin (CIPR 2019b). 2019 a également été une année de sécheresse prolongée et les détections sont restées à un faible niveau similaire. Un point critique à évoquer est celui du raccordement des affluents au Rhin, car le débit est un facteur moteur pour les activités de migration. La continuité interrompue se traduit par de très faibles chiffres de remontée de poissons migrateurs dans de nombreux affluents du Rhin et par l'absence de dévalaison d'anguilles matures (CIPR 2020f). Le 12 octobre 2019, un premier saumon a été découvert dans la passe à poissons de Kembs (Vieux Rhin) sur son trajet vers la Suisse (figure 21).

Le nouveau programme Rhin 2040 adopté en février 2020 dans le cadre de la 16^e Conférence ministérielle sur le Rhin fixe des objectifs concrets de rétablissement de la continuité dans le bassin du Rhin (CIPR 2020g).

En regard du nombre limité de poissons identifiés, il est actuellement impossible d'évaluer si les peuplements de **lamproies fluviatiles** suivent une tendance similaire à celle des grands salmonidés.

Le nombre de **grandes aloses** de retour devrait nettement augmenter au cours des prochaines années en raison des alevinages effectués les années antérieures en Hesse et en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Les comptages réalisés au droit de la passe à poissons d'Iffezheim sur le Rhin supérieur confirment cette hypothèse. En 2014, pour la première fois dans cette passe, on constate un nombre élevé (157) de grandes aloses remontant dans le Rhin (figure 19). Quelques alosos observés en 2013 et 2014 dans le Rhin supérieur, c'est-à-dire en amont de toutes les opérations d'alevinage, laissent penser par ailleurs que la grande alose se reproduit naturellement. En 2015 également, le nombre de grandes aloses identifiées est relativement élevé, même si les détections se stabilisent ensuite à un niveau nettement plus faible. Ces chiffres sont toutefois nettement plus élevés que les rares détections antérieures à 2014. Par ailleurs, on note à nouveau une

légère hausse des aloses dans l'ensemble du bassin du Rhin et à hauteur de la station de contrôle d'Iffezheim depuis 2017, malgré les étiages de 2018 et de 2019.

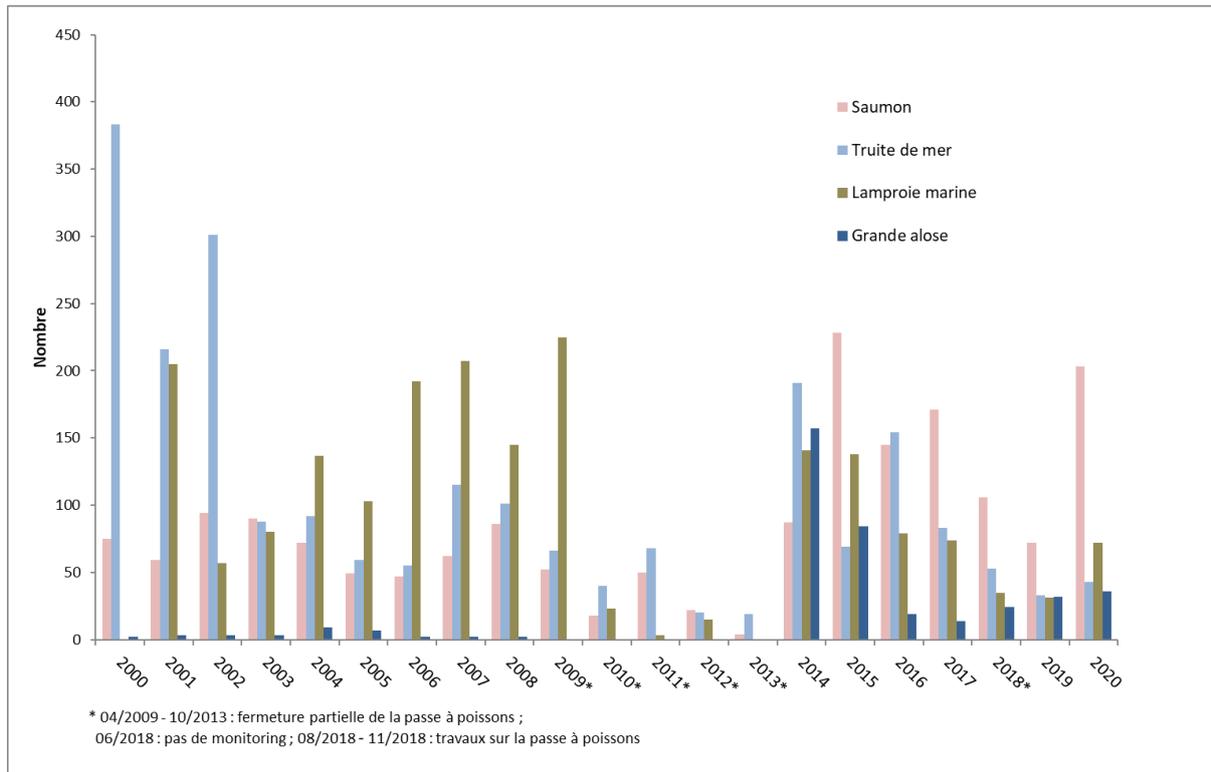


Figure 19 : résultats des comptages réalisés au droit du barrage d'Iffezheim depuis 2000 pour des espèces sélectionnées de poissons grands migrateurs

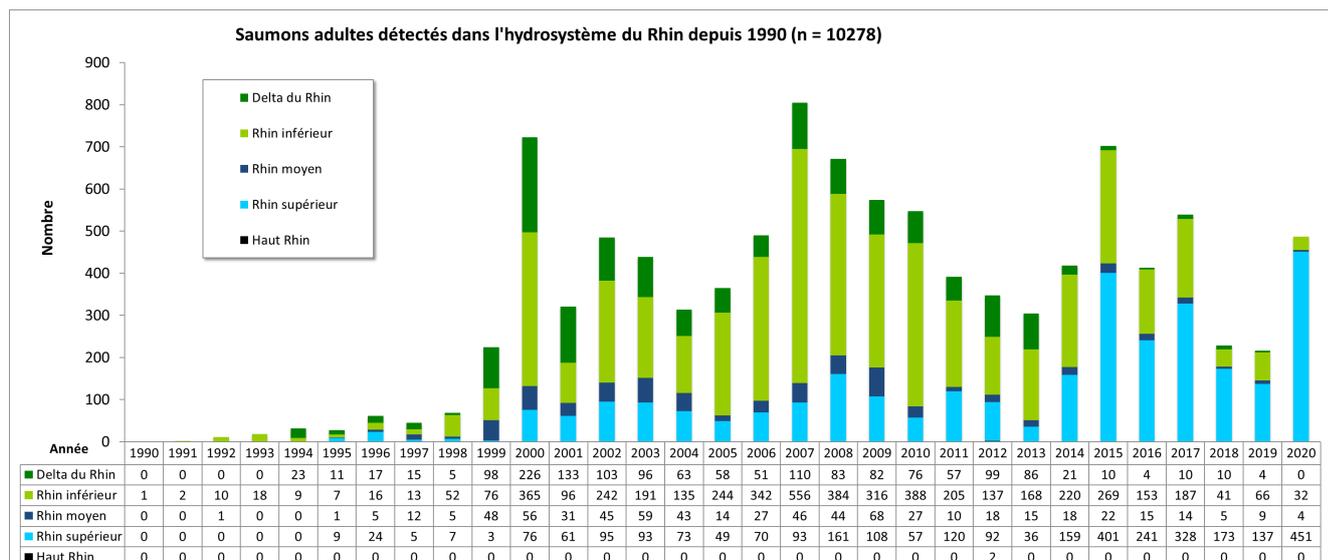


Figure 20 : Saumons détectés dans l'hydrosystème du Rhin (Rhin, y compris les rivières salmonicoles prioritaires) de 1990 à 2020.

Nota : Pour des raisons méthodologiques, les chiffres ne sont pas comparables entre tronçons du Rhin. Le nombre indiqué pour chaque tronçon correspond au total des chiffres de plusieurs stations de contrôle (en partie successives sur le Rhin supérieur) et aux pêches électriques. En outre, les moyens de détection peuvent varier au cours du temps : fonctionnement restreint de la passe à poissons à Iffezheim d'avril 2009 à octobre 2013. En raison de l'arrêt de la pêche à la nasse aux Pays-Bas, les chiffres de saumons adultes de retour dans le Rhin étayés par détection ont baissé depuis 2011. La CIPR travaille sur les résultats des mesures et les possibles interprétations qui en résultent.

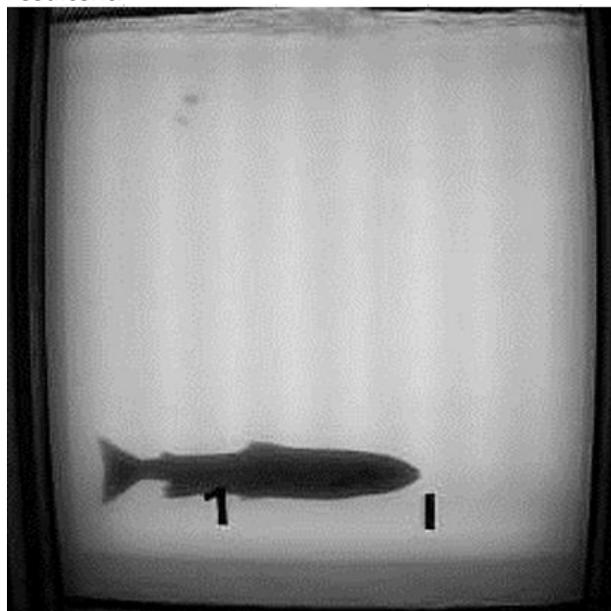


Figure 21 : premier saumon découvert dans la passe à poissons de Kembs sur son trajet vers la Suisse. Photo : EDF.

Les mesures de construction réalisées entre 2009 et 2013 pour installer une 5^e turbine sur l'usine d'Iffezheim et le suivi biologique perturbé pendant cette phase expliquent en partie la régression des **lamproies marines**. Les chiffres d'adultes de retour continuent à régresser.

La **truite lacustre** (*Salmo trutta lacustris*) est le seul grand poisson migrateur vivant dans le sous-bassin du Rhin englobant le Rhin alpin et le lac de Constance. Les habitats

de la truite lacustre sont aujourd'hui très restreints par rapport à l'aire de propagation historique de cette espèce. Dans le lac de Constance et ses masses d'eau « lac supérieur » et « lac inférieur », qui affichent aujourd'hui un bon état chimique et écologique, les eaux libres sont l'habitat privilégié de la truite lacustre. Après y avoir grandi et atteint l'âge de reproduction, elle remonte dans les affluents du lac de Constance ainsi que dans le Rhin alpin et ses tributaires pour y frayer. Dans les années 1970, les peuplements de truites du lac de Constance ont baissé continuellement malgré des opérations d'alevinage. On peut affirmer rétrospectivement que c'est grâce au premier programme mis en place par le « Groupe de travail Truite lacustre » pour sauvegarder cette espèce que celle-ci a pu survivre dans le lac de Constance et qu'elle peut y être pêchée à nouveau aujourd'hui. Les mesures décisives ont consisté à sauver les derniers géniteurs ; elles ont été suivies de mesures de repeuplement et d'élimination progressive d'obstacles à la migration dans les affluents frayères.

Les stocks de **l'anguille européenne** ont nettement baissé au cours des dernières décennies sur l'ensemble de son aire de distribution. Le Rhin et ses affluents ne sont pas épargnés. La remontée des civelles dans les fleuves ne représente plus aujourd'hui que quelques pour cent de la moyenne des années antérieures. Après une légère hausse en 2013 et 2014, les chiffres sont retombés à nouveau à un faible niveau (CIPR 2018a). Les causes connues sont entre autres les altérations des habitats, les infestations parasitaires, les aménagements hydroélectriques, la surpêche des peuplements de civelles et d'anguilles argentées et les polluants dans les sédiments, de même que la prédation exercée par le cormoran, etc. Les déplacements migratoires de l'anguille sont perturbés par la présence d'ouvrages transversaux dans presque tous les cours d'eau du bassin du Rhin dans lesquels elle est répandue, et notamment dans le delta du Rhin, le cours amont du Rhin supérieur et dans la plupart des affluents du Rhin. Les anguilles dévalantes sont souvent happées dans les turbines des usines, les ouvrages de prise d'eau, les pompes, etc. Leur taille allongée les expose à de graves lésions, souvent létales, et la mortalité cumulative peut s'avérer très élevée dès lors que plusieurs obstacles transversaux successifs interrompent leur axe migratoire.

7. Bilan - Facteurs impactant l'écologie du Rhin

L'amélioration de la **qualité de l'eau** du Rhin au cours des 25 dernières années fait que l'éventail des espèces de poissons est à nouveau presque complet et de nombreuses espèces fluviales caractéristiques parmi les invertébrés, considérées un temps comme éteintes ou fortement décimées dans le Rhin, sont à nouveau solidement implantées dans quelques tronçons du Rhin. Cette remarque s'applique aussi partiellement aux macrophytes aquatiques. On voit clairement p. ex. à la baisse de concentration annuelle moyenne de P total, qui passe de 0,56 mg/l en 1978 à 0,10 mg/l en 2018 à hauteur de la station d'analyse de Coblenz (cf. figure 4), que la qualité de l'eau du Rhin s'est améliorée.

Certaines espèces de poissons dans le Rhin et ses affluents (l'anguille par ex.) sont toujours en partie contaminées par des **polluants** (dioxines, furanes, PCB de type dioxine, mercure, PCB indicateurs, hexachlorobenzène = HCB, acide perfluorooctanesulfonique = PFOS), provenant entre autres de pollutions historiques (CIPR 2018b).

Il a été réalisé en 2014 et 2015 un premier programme d'analyse commun (CIPR 2014) sur la contamination du biote (poissons) par des polluants dans le bassin du Rhin. L'évaluation de ce projet pilote a été confiée au Fraunhofer Institut en coopération avec la CIPR (CIPR 2018b). Le but était d'obtenir des données comparables, car les différences entre les analyses des États étaient auparavant si importantes qu'elles empêchaient pratiquement toute évaluation commune. Pour ce programme pilote, des espèces sélectionnées de poissons ont été analysées dans 37 stations du bassin du Rhin. On a constaté que les NQE du mercure et des diphényléthers bromés (PBDE) étaient dépassées pratiquement partout. Certains dépassements des NQE ont été relevés pour l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS), l'hexachlorobenzène (HCB), de même que pour l'heptachlore et l'époxyde d'heptachlore. On note une certaine variabilité dans les pressions, tant sur le cours longitudinal du Rhin qu'entre les espèces de poissons. À l'avenir également, on s'efforcera d'effectuer les analyses du biote dans le bassin du Rhin de la manière la plus harmonisée et comparable possible. Aux termes de la DCE, les NQE doivent être respectées d'ici 2027. Les États sont tenus de prendre ici les mesures qui s'imposent.

Les **micropolluants** représentent un enjeu supplémentaire pour la politique de protection des eaux. Dans les actuelles stations d'épuration conventionnelles à traitement mécanique et biologique, de nombreux micropolluants, comme les produits phytosanitaires, les hormones ou les résidus de médicaments, ne sont pas ou ne sont que partiellement retirés des eaux usées et rejoignent donc les eaux de surface. Il apparaît clairement dès à présent que leur impact sur la qualité des eaux peut être négatif et représenter un risque significatif tant pour l'écologie que pour la production d'eau potable.

Le bilan 2017 (CIPR 2017b) montre que l'on détecte sur l'ensemble du bassin du Rhin des matières actives pharmaceutiques, de même que leurs produits de dégradation et de transformation. En se fondant sur ce bilan, la CIPR a émis en 2019 des recommandations sur la manière de réduire dans une plus grande mesure les apports de micropolluants dans les eaux. Les matières actives pharmaceutiques et les agents de contraste radiographiques y sont explicitement traités (CIPR 2019a). Les apports de micropolluants dans les eaux doivent être réduits d'au moins 30 % d'ici 2040 (CIPR 2020g).

Beaucoup plus que dans les eaux intérieures, la **pression de l'azote** sur les eaux marines côtières est déterminante pour leur équilibre écologique et, de ce fait, plus critique que celle du phosphore. Les efforts doivent donc se poursuivre ici pour réduire les apports de cette substance. Le flux d'azote a pu être abaissé de 15 à 20 % jusqu'en 2015 grâce à la modernisation, à l'optimisation et à l'aménagement progressifs des stations d'épuration urbaines et industrielles. Une réduction sensible des apports de

nutriments d'origine diffuse (en premier lieu dans le secteur agricole, mais aussi dans les zones urbaines) n'a pas encore pu être obtenue (CIPR 2020h).

La problématique des **(micro)plastiques** reste un sujet central d'intérêt public, notamment en raison de la pollution des mers, et de nombreux projets de recherche et d'analyse y sont dédiés. Un échange annuel d'informations à lieu à ce sujet depuis 2013 au sein de la CIPR. Cet échange d'informations et les études disponibles jusqu'à présent montrent que de très grandes lacunes subsistent encore en matière de connaissances sur le comportement et les répercussions des microplastiques sur l'environnement et qu'il est donc nécessaire d'améliorer les bases de données.

Dans le prolongement du **changement climatique**, des **seuils de température critiques** pour les poissons pourraient être dépassés, par ex. 25 °C en général et 20-23 °C pour les espèces sténothermes froides comme la truite fario et l'ombre commun. Selon les simulations, le nombre de jours consécutifs où la température de l'eau dépassera les 25 °C augmentera ; dans le futur éloigné, les années sans dépassement de 25 °C ou même de 28°C seront très rares.

Il est démontré que la **température moyenne de l'eau** a augmenté d'env. 1 °C à 1,5 °C de 1978 à 2011 (CIPR 2013). Les scénarios d'avenir partent d'une hausse de la température de l'eau d'environ 1,5 °C dans un futur proche (d'ici 2050) et de quelque 3,5 °C dans un futur éloigné (d'ici 2100) (période de référence : 2000-2010) (CIPR 2015a).

De plus, les **faibles niveaux d'eau** et les températures élevées de l'eau ont des répercussions sur les organismes aquatiques. Dans le Rhin à hauteur de Coblenz par exemple, la valeur de 25 °C, critique pour de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés dans le Rhin, a été dépassée en 2018 durant 31 jours consécutifs. En août, alors que les températures de l'eau atteignaient 27 °C, on a observé des mortalités de poissons dans le haut Rhin (CIPR 2020e).

En 2015, la CIPR a publié la première stratégie CIPR d'adaptation au changement climatique pour le bassin du Rhin (CIPR 2015a). Elle englobe un relevé des connaissances et constitue un cadre d'action pour d'éventuelles adaptations. Des études et des actions de surveillance doivent appuyer le développement des connaissances sur l'impact du changement climatique sur les biocénoses et les écosystèmes liés au fleuve. La **pression thermique** du Rhin due à l'activité humaine devrait donc être maintenue dans des limites raisonnables.

L'évaluation écologique actuelle du Rhin est un aperçu instantané qui retranscrit des interactions biologiques dynamiques dans le cadre des échanges faunistiques et des réactions des biocénoses aux programmes de mesures (voir tableaux 1 et 2). Il arrive parfois que des aspects méthodologiques entraînent des modifications au niveau de l'évaluation (détermination du potentiel écologique, meilleures techniques de recensement, etc.). Sur les 25 dernières années, les tendances à long terme permettent cependant aussi d'identifier des améliorations significatives et durables de l'écosystème. À l'avenir, la réalisation de différentes mesures écologiques pourrait contribuer à prolonger cette tendance, notamment de celles prévues dans le programme Rhin 2040.

La **restauration des habitats** végétaux et animaux dans le Rhin passe nécessairement, en tout lieu possible, par une remise en connexion du cours principal avec son milieu alluvial pour redonner accès aux bras latéraux et annexes hydrauliques riches en végétaux (amélioration de la continuité latérale, cf. tableau 1). En relation avec les mesures de protection contre les inondations, plus de 130 km² de zones inondables ont déjà été redynamisés de 2000 à fin 2018 (CIPR 2020h). Ces dernières années, on s'est rapproché progressivement de l'objectif de 160 km² fixé pour 2020 (figure 22).

Les ouvrages parallèles ou les champs d'épis partiellement comblés peuvent constituer des biotopes de remplacement en formant des zones de faible courant protégées du batillage et morphologiquement diversifiés. Les poissons juvéniles, les plantes aquatiques

(macrophytes) et le macrozoobenthos entre autres profitent de cette diversification des berges. Le retrait d'ouvrages superflus de stabilisation des berges (par ex. sur les berges convexes) peut constituer une mesure efficace pour atténuer les conséquences écologiques de l'expansion rapide des gobies à taches noires, espèce invasive profitant en premier lieu des habitats offerts par les enrochements (cf. tableau 1).

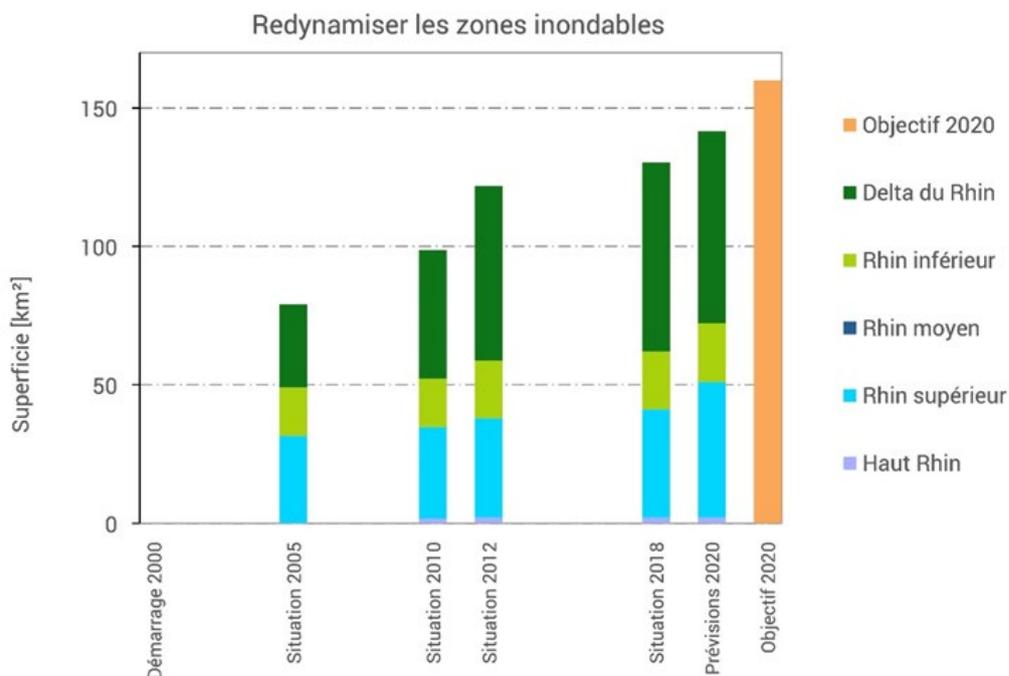


Figure 22 : redynamisation de plaines inondables entre 2000 et 2018, voir CIPR (2020h).

Jusque fin 2018, 124 cours d'eau alluviaux ont été raccordés au cours principal du Rhin pour **accroître la diversité des habitats** (CIPR 2020h). L'objectif visé de 100 anciens bras et bras latéraux reconnectés au Rhin d'ici 2020 a donc été largement dépassé dès la fin 2018. Le nombre de rivières latérales réalimentées en eau augmente à un rythme soutenu depuis le début du programme Rhin 2020.

Des mesures visant à accroître la diversité morphologique ont été réalisées sur 166 km de berges jusque fin 2018 (CIPR 2020h). L'objectif initial ambitieux d'une amélioration morphologique des berges du Rhin et de ses affluents sur 800 km d'ici 2020 est donc loin d'être atteint. Les usages multiples pratiqués le long du cours principal du Rhin entravent en de nombreux endroits la mise en œuvre des mesures correspondantes.

La figure 23 donne un aperçu des mesures mises en œuvre entre 2000 et fin 2018 pour la remise en communication de vieux bras (en haut) et l'amélioration de la morphologie des berges rhénanes (en bas).

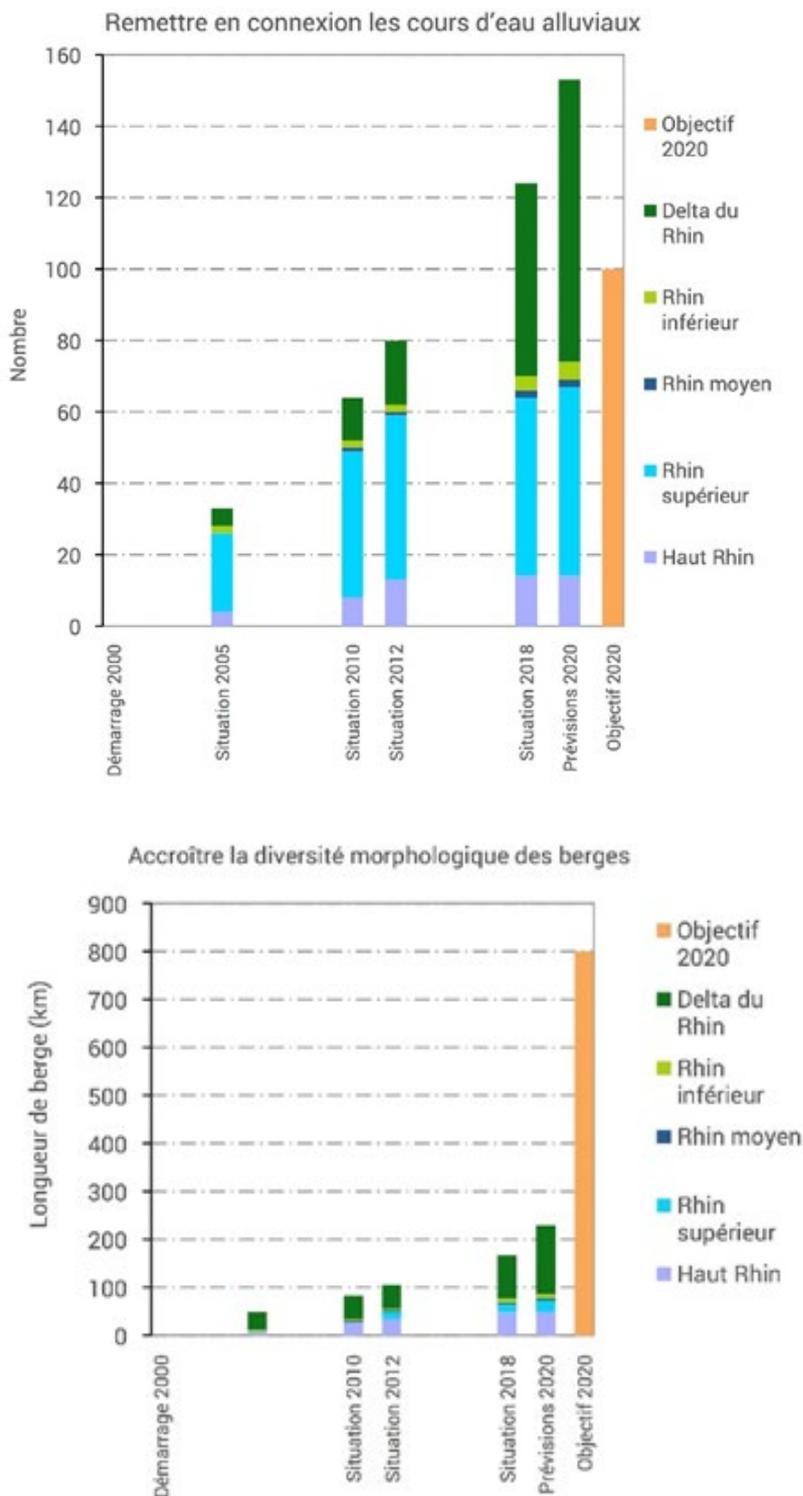


Figure 23 : nombre de cours d'eau alluviaux remis en communication avec le Rhin (en haut) et longueur des tronçons de berges sur le cours principal du Rhin sur lesquels des mesures d'amélioration morphologique ont été réalisées jusqu'en 2018 (en bas), voir CIPR (2020h).

Le nouveau programme Rhin 2040 de la CIPR, qui s'inscrit dans le prolongement du programme Rhin 2020, est une référence importante de planification des mesures de restauration du réseau de biotopes, c'est-à-dire de l'ancien système de connexion de biotopes typiques du Rhin. Les progrès réalisés ont été décrits en dernier lieu à l'exemple

de projets positifs mis en œuvre dans chaque tronçon du Rhin sur la période 2005-2013 (CIPR 2015b). Les résultats du prochain monitoring, qui a été réalisé pour la première fois sur la base de données satellitaires, seront vraisemblablement publiés fin 2021.

Il est essentiel de poursuivre les efforts visant à **rétablir la continuité longitudinale** du Rhin (barrages de Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun) et de ses affluents, en premier lieu pour stabiliser et pérenniser les peuplements de poissons amphihalins en cours de reconstitution ou de restauration (voir tableau 1).

Cependant, de grands pas en avant ont déjà été faits pour rétablir la continuité sur le cours principal du Rhin. Avec l'ouverture partielle des écluses du Haringvliet fin 2018 au sud de Rotterdam, les saumons ont à nouveau accès à la Meuse et au Rhin à partir de la mer du Nord quand le débit est suffisant. En outre, grâce à la construction de quatre passes à poissons, le cours principal du Rhin est désormais franchissable sur les grands barrages du Rhin supérieur à Iffezheim (2000), Gamsheim (2006), Strasbourg (2016) et Gerstheim (2019) jusqu'à l'aval de Rhinau.

Le « Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin » de la CIPR, remis à jour en 2018 sur la base de nouvelles évolutions et connaissances (CIPR 2018a), et le programme Rhin 2040 (CIPR 2020g) sont des documents de référence pour la planification de mesures dans ce sens.

Au total, on retient pour la période comprise entre l'an 2000 et fin 2018 que presque 600 obstacles à la migration ont été démantelés ou équipés de passes à poissons dans le Rhin et dans les affluents importants pour la réimplantation des poissons migrateurs (cf. figure 24). On s'est certes rapproché progressivement de l'objectif de réouverture du Rhin à la migration des poissons depuis la mer du Nord jusqu'en Suisse, mais il n'est cependant pas encore atteint. De nombreuses zones précieuses de frai et d'habitats de juvéniles restent encore inaccessibles du fait des obstacles à la migration en place.

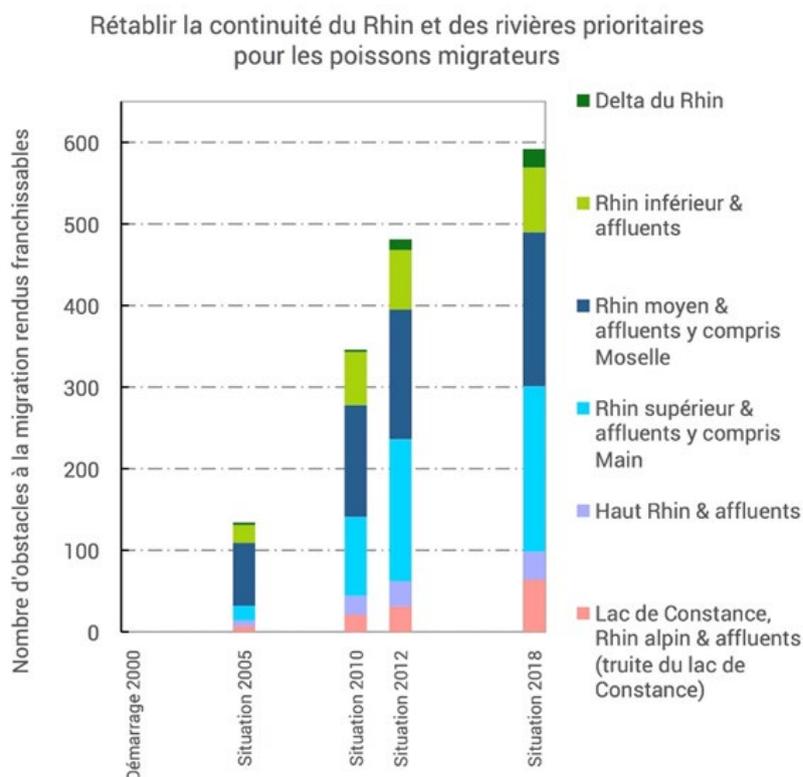


Figure 24 : rétablissement de la continuité du Rhin et des rivières prioritaires pour les poissons migrateurs : nombre d'obstacles à la migration rendus franchissables. Situation en 2018, voir CIPR (2020h).

En revanche, il est difficile de prendre des mesures contre les introductions d'**espèces néobiotiques** en raison de la multitude des voies d'apport (par ex. coque des navires, eaux de ballast, rejets intentionnels ou fortuits, commerce aquariophile etc.) et de la difficulté à les contrôler. Une gestion maîtrisée d'espèces néobiotiques déjà implantées ne réussit également que dans de rares cas. On sait cependant que les espèces introduites ont tendance à se développer de manière explosive dans un premier temps avant de retomber et de se stabiliser à un niveau plus bas. Dans l'évaluation de ces nouvelles espèces, il ne faut pas oublier que les processus naturels ne sont pas statiques mais dynamiques et qu'ils sont soumis à des évolutions permanentes. La restauration de la continuité écologique favorisera la reconquête par les espèces indigènes de zones dont les habitats sont restés plus diversifiés.

La réalisation de différentes mesures écologiques et la poursuite d'une surveillance biologique intense et coordonnée permettront de suivre à l'avenir les tendances dans le long terme et les évolutions sur la base de données robustes. Le règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 sur les espèces exotiques envahissantes apporte ici le cadre juridique requis. Ceci apparaît très important en regard notamment du changement climatique.

Tableau 1 : mesures dans le cours principal du Rhin

Mesure	Effet sur les éléments de qualité biologique					Où ?
	Macrozoobenthos	Ichtyofaune	Phytoplancton	Phytobenthos	Macrophytes	
Réduire les pressions dues aux nutriments	(+) biocénose plus naturelle	(+) biocénose plus naturelle, moins de biomasse	(+) biocénose plus naturelle, moins de biomasse	(+) biocénose plus naturelle	(+) soutien des populations par réduction de l'ombragement du lit (moins de phytoplancton)	tout le cours principal du Rhin (voir rapports CIPR n°s 273, 275, 279 ²)
Retirer les aménagements de consolidation des berges (surtout les enrochements) / Réduire le degré de consolidation des berges	(+) accroissement de la biodiversité ; réduction des espèces exotiques (notamment celles sessiles)	(+) réduction du nombre de gobies allochtones			(+) accroissement de la biodiversité	tout le cours principal du Rhin (voir rapport CIPR n° 223)
Dans les zones de faible courant, ouvrages parallèles ou champs d'épis partiellement comblés, formant biotopes de remplacement protégés du batillage et morphologiquement diversifiés	(+)	(+) soutien particulier des juvéniles	(+)	(+)	(+) accroissement de la biodiversité	Rhin moyen, Rhin inférieur, delta du Rhin (voir rapports CIPR n°s 274, 279)
Améliorer la connexion des affluents, des cours d'eau alluviaux et des annexes hydrauliques / continuité latérale, raccorder au Rhin le milieu alluvial	(+) recolonisation du Rhin par des espèces autochtones à partir de refuges situés dans les affluents	(+) soutien des espèces frayant sur les plantes et sur le gravier et de la reproduction d'espèces phytophiles (rotengle, brochet, loche de rivière, tanche) ; zones de grossissement pour d'autres espèces			(+) dispersion de graines	tout le cours principal du Rhin (voir rapport CIPR n° 223 et chap. 7 dans le PdG Rhin 2022-2027)
Aménager ou optimiser des dispositifs de montaison et de dévalaison des poissons	(+) concerne uniquement les dispositifs de montaison des poissons	(+) les grands migrateurs rejoignent les affluents-frayères ; les moyens migrateurs peuvent changer d'habitat (en fonction du stade de vie) ; lien entre les populations locales fragmentées => hausse de tonus des poissons			(+) dispersion de graines avec les poissons en cours de montaison (zoochorie)	Delta du Rhin Rhin supérieur Haut Rhin et affluents du Rhin (voir annexe 7 dans le PdG Rhin 2022-2027)

² Rapport CIPR n° 279 (en préparation)

Bibliographie

- CARAYON, D., TISON-ROSEBERY, J. & F. DELMAS (2019): Defining a new autoecological trait matrix for French stream benthic diatoms. *Ecological Indicators* 103: 650-658.
- CIPR (2013) : Présentation de l'évolution des températures de l'eau du Rhin sur la base de températures mesurées et validées de 1978 à 2011, rapport CIPR n° 209, www.iksr.org.
- CIPR (2014) : Proposition de programme pilote d'analyse de la contamination des biotes/poissons par des polluants dans le bassin du Rhin en 2014/2015. Rapport CIPR n° 216, www.iksr.org.
- CIPR (2015a) : Stratégie d'adaptation au changement climatique dans le DHI Rhin. Rapport CIPR n° 219, www.iksr.org
- CIPR (2015b) : Rapport synoptique de l'évolution du « Réseau de biotopes sur le Rhin » 2005-2013. Rapport CIPR n° 223, www.iksr.org.
- CIPR (2015c) : Le phytoplancton du Rhin 2012. Rapport CIPR n° 224, www.iksr.org
- CIPR (2015d) : Faune piscicole du Rhin 2012/2013. Rapport CIPR n° 228, www.iksr.org
- CIPR (2017a) : Programme d'analyse biologique 'Rhin' 2018/2019. Rapport CIPR n° 241, www.iksr.org.
- CIPR (2017b) : Micropolluants dans le bassin du Rhin. Bilan 2017. Rapport CIPR n° 246, www.iksr.org.
- CIPR (2018a) : Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin 2018 - mise à jour du Plan directeur 2009. Rapport CIPR n° 247, www.iksr.org.
- CIPR (2018b) : Évaluation statistique des analyses de la contamination du biote/des poissons par des polluants dans le bassin du Rhin en 2014/2015. Rapport CIPR n° 252, www.iksr.org.
- CIPR (2019a) : Recommandations CIPR pour la réduction des micropolluants dans les eaux. Rapport CIPR n° 253, www.iksr.org.
- CIPR (2019b) : Surveillance des étiages du Rhin et de son bassin par la CIPR. Rapport CIPR n° 261, www.iksr.org.
- CIPR (2020a) : Le phytoplancton du Rhin 2018. Rapport CIPR n° 273, www.iksr.org
- CIPR (2020b) : Distribution des macrophytes dans le Rhin 2018/2019. Rapport CIPR n° 274, www.iksr.org
- CIPR (2020c) : Diatomées benthiques dans le Rhin 2018/2019. Rapport CIPR n° 275, www.iksr.org
- CIPR (2020d) : Le macrozoobenthos du Rhin 2018. Rapport CIPR n° 276, www.iksr.org
- CIPR (2020e) : Rapport sur l'épisode d'étiage de juillet-novembre 2018. Rapport CIPR n° 263, www.iksr.org.

- CIPR (2020f) : Mesures nationales sur l'anguille dans le bassin du Rhin 2014-2016. Rapport CIPR n° 264, www.iksr.org.
- CIPR (2020g) : Programme Rhin 2040. Le Rhin et son bassin : un milieu géré durablement et résilient aux impacts du changement climatique. Résultats de la 16^e Conférence ministérielle sur le Rhin tenue le 13 février 2020 à Amsterdam, www.iksr.org.
- CIPR (2020h) : Bilan Rhin 2020, www.iksr.org.
- CIPR (2020i) : Waterbirds in the international Rhine Valley: numbers, distribution and trends. Rapport CIPR n° 277, www.iksr.org.
- CIPR (2021a) : Plan de gestion 2022-2027 coordonné au niveau international du district hydrographique international Rhin (version du projet du 15 avril 2021, partie A), www.iksr.org
- CIPR (2021b) : Poissons dans le Rhin 2018/2019. Rapport CIPR n° 279 (en préparation)
- DULEBA, M., ECTOR, L., HORVATH, Z., KISS, K.T., MOLNAR, L. F., POHNER, Z., SZILAGYI, Z., TOTH, B., VAD, C. F., VARBIRO, G. & E. ÁCS (2014): Biogeography and phylogenetic position of a warm-stenotherm centric diatom, *Skeletonema potamos* (C.I. Weber) Hasle and its long-term dynamics in the river Danube. *Protist* 165, 715-729.
- EBERSTALLER, J., FRANGEZ, C. & F. DITULLIO (2014): Monitoring Alpenrhein - Fischökologisches Monitoring 2013. Mit Beiträgen von P. Rey & S. Werner. Herausgeber: Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- FRIEDRICH, G. & M. POHLMANN (2009): Long-term plankton studies at the lower Rhine/Germany. – *Limnologica* 39, pp. 14-39.
- GERGS, R., KOESTER, M., GRABOW, K., SCHÖLL, F., THIELSCH, A. & A. MARTENS (2014): *Theodoxus fluviatilis* re-established in the River Rhine - a native relic or a cryptic invader? - *Conservation Genetics* ISSN 1566-0621 *Conserv Genet*.
- HARDENBICKER, P., ROLINSKI, S., WEITERE, M. & H. FISCHER (2014): Temporal trends in the phytoplankton dynamics of the rivers Rhine and Elbe. - *International Review of Hydrobiology* 99, 287-299.
- HOLM, P., HIRSCH, P., ADRIAN-KALCHHAUSER, I., & A. N'GUYEN (2016): Nicht-heimische Grundelarten in der Schweiz. Maßnahmen zur Eindämmung und zur Schadensminimierung. Zwischenbericht 2015. Universität Basel.
- LANUV NRW (2017): NRW-Verfahren zur Bewertung von Fließgewässern mit Makrophyten – Fortschreibung und Metrifizierung. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage incl. Entwicklung der Auswerte-Software MaBS. LANUV Arbeitsblatt 30: 93 S. & Anhang: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/Arbeitsblatt_30_2._Auflage.pdf.
- NEHRING, S., ESSL, F., KLINGENSTEIN, F., NOWACK, C., RABISCH, W., STÖHR, O., WIESNER, C. & C. WOLTER (2010): Schwarze Liste invasiver Arten: Kriteriensystem und Schwarze Listen invasiver Fische für Deutschland und für Österreich. BFN-Skripten 285, 189.

- ROTT, E., BINDER, N., VAN DAM, H., ORTLER, K., PALL, K., PFISTER, P. & E. PIPP (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation und autökologische Anmerkungen.- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien: 1.-248.
- SCHÖLL, F., EGGERS, T. O., HAYBACH, A., GORKA, M., KLIMA, M. & B. KÖNIG (2012): Verbreitung von *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Deutschland (Mollusca: Bivalvia). *Lauterbornia* 74, 111-15.
- SCHWARTZ, N. & F. SCHÖLL (2018): Blinde Passagiere auf Binnenschiffen. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL). Ergebnisse der Jahrestagung 2017 (Cottbus), 424-433, Hardeggen 2018.
- VAN DAM, H., MERTENS, A. & J. SINKELDAM (1994): A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-133.
- VAN DER MOLEN, D. T., POT, R., EVERS, C. H. M. & L. L. J. VAN NIEUWERBURGH (eds.) (2012): Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn water 2015-2021. Stowa rapport 2012-31.
- WEITERE, M. & H. ARNDT (2002): Top-down effects on pelagic heterotrophic nanoflagellates (HNF) in a large river (River Rhine): do losses to the benthos play a role? – *Freshwater Biology* 47, 1437-1450.
- WESTERMANN, F., SCHÖLL, F. & A. STOCK (2007): Wiederfund von *Theodoxus fluviatilis* im nördlichen Oberrhein. – *Lauterbornia* 59, 67-72.

Glossaire

Abondance : densité de la population ; nombre d'individus d'une espèce par unité de surface ; pour les diatomées : pourcentage d'une espèce par rapport au chiffre total des individus comptés sur un site de prélèvement donné

Anadrome : migrant de la mer vers les eaux douces pour y frayer

Benthos : ensemble des organismes vivant à proximité du fond d'un cours d'eau

Benthique : vivant à proximité du fond d'un cours d'eau

Bioindicateur : espèce indicative ; organisme qui indique les modifications dues aux effets d'impacts environnementaux

Épi : sorte de digue aménagée perpendiculairement à la rive d'un fleuve.

Chironomides : famille d'insectes diptères similaires aux moustiques

Diatomées : algues brunes

Dominance : prédominance d'une espèce dans une biocénose

Euryèce : pouvant coloniser de nombreux habitats

Eutrophe : riche en éléments nutritifs, à haute teneur en phosphate et par conséquent à forte production organique

Faune : ensemble de toutes les espèces animales dans une région

Flore : ensemble de toutes les espèces végétales dans une région

Gilde : groupe d'espèces ; biocénose

Habitat : milieu de vie caractéristique d'un organisme végétal, animal ou autre

Halophile : vivant dans un milieu à forte concentration en sel

Invasive (espèce) : qui se propage dans un milieu dont il n'est pas originaire

Invertébrés : animaux multicellulaires sans colonne vertébrale

Létal : mortel

Macrophytes : plantes aquatiques visibles à œil nu

Macrozoobenthos : ensemble des organismes invertébrés benthiques visibles à l'œil nu

Mésotrophe : milieu dans lequel la teneur en éléments nutritifs est moyenne

Mortalité : nombre de décès sur une période donnée

Néobiotes : espèces allochtones, non indigènes

Néophyte : espèce végétale non indigène

Néozoaire : espèce animale non indigène

Nitrophile : qui apprécie un milieu riche en nitrates (azote)

Oligochètes : vers aquatiques annelés

Phytobenthos : ensemble des algues qui vivent sur le substrat

Phytophile : rapporté au mode de reproduction : frayant sur la végétation aquatique

Phytoplancton : micro-algues en suspension ; plancton végétal

Pionnière (espèce) : espèce à forte capacité d'adaptation qui colonise en premier un nouvel espace écologique

Plancton : organismes aquatiques flottants sans capacité de nage et soumis à l'action du courant

Planctonique : relatif au plancton

Potamal : cours aval d'une rivière

Rhéophile : espèce qui apprécie le courant

Saprobie : pollution organique

Smolt : stade de croissance de jeunes salmonidés (saumon, truite de mer) entamant leur dévalaison vers la mer

Taxon : entité d'organismes au sein de la systématique biologique (par ex. espèce)

Taxonomie : systématique des liens de parenté entre organismes

Taxonomique : concernant la taxonomie

Thermophile : qui aime la chaleur

Trophie : pression / offre en nutriments

Tychoplancton : ensemble des organismes accidentellement planctoniques

Ubiquiste : omniprésent ; très répandu

Zooplancton : plancton animal

Annexes

Remarque :

La numérotation des tableaux correspond à celle du troisième Plan de gestion du DHI Rhin (version du projet du 15 avril 2021, partie A).

À propos des annexes 1 à 4 :

En 2009, l'Allemagne ne disposait pas encore de méthode biologique de détermination du potentiel écologique des masses d'eau fortement modifiées (MEFM). Une nouvelle méthode d'évaluation du potentiel a été appliquée aux éléments de qualité 'Macrozoobenthos' et 'Ichtyofaune' en 2014. Seul l'état - et non pas le potentiel - est déterminé dans le cadre de l'évaluation des éléments végétaux (macrophytes, phytobenthos).

Aux Pays-Bas, le potentiel a déjà été indiqué en 2009 pour tous les éléments de qualité et pour l'évaluation globale. Il n'existe pas ici de méthode particulière ; l'échelle d'évaluation des masses d'eau naturelles est toujours utilisée et des objectifs moins stricts sont fixés pour les MEFM. En France, le potentiel écologique n'est pris en compte que dans l'évaluation globale.

- Annexe 1 : évaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009, 2015 et 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 2 : Évaluation de l'élément de qualité biologique 'Macrophytes/phytobenthos' dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009, 2015 et 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 3 : évaluation du macrozoobenthos dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009, 2015 et 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 4 : évaluation de la faune piscicole dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009, 2015 et 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 5 : Carte de l'évaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion en 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 6 : carte de la première estimation fondée sur l'expertise de l'élément de qualité 'macrophytes'
- Annexe 7 : carte de l'évaluation du phytobenthos/des macrophytes dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion en 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 8 : carte de l'évaluation du macrozoobenthos dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion en 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 9 : Carte de l'évaluation de la faune piscicole dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion en 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)
- Annexe 10 : carte de l'évaluation de l'état/du potentiel écologique total dans le Rhin selon la DCE pour le Plan de gestion en 2021 (*version du projet du 15 avril 2021*)

Annexe 1 : évaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009 et 2015 et pour le PdG 2021 (version du projet du 15 avril 2021)

Évaluation du phytoplancton dans le Rhin selon la DCE pour le PdG 2009, le PdG 2015 et le PdG 2021 (projet)						oui	1	
						bon	2	
État : Avril 2021						moyen	3	
Évaluation des éléments de qualité non requise						médiocre	4	
pas de recensement ou d'évaluation de l'élément / base de données insuffisante						mauvais	5	
Masse d'eau	PK	Station d'analyse CIPR du contrôle de surveillance dans la masse d'eau	Etat / Land	Catégorie PdG 2009	Catégorie PdG 2015	PdG 2009	PdG 2015	PdG 2021 (projet)
LAC DE CONSTANCE								
BOD-OS Lac supérieur du lac de Constance	aucun kilométrage	Fischbach-Uttwil	DE-BW	naturelle	naturelle	2	2	2
BOD-USZ Lac inférieur du lac de Constance		Lac de Zeller	CH / St. Gall	naturelle	naturelle	2	2	2
HAUT RHIN (Lac de Constance – Bâle)								
Haut Rhin 1 - du lac de Constance au débouché de l'Aar	24-102,7	Sortie du lac inférieur Öhningen, Reckingen	CH / DE-BW	naturelle	naturelle		1	1
Haut Rhin 2 - du débouché de l'Aar à Bâle	102,7-170		CH / DE-BW	fortement modifiée	naturelle		1	1
RHIN SUPERIEUR (Bâle - Bingen)								
Rhin supérieur 1 - OR 1 - Vieux Rhin de Bâle à Breisach	170-225	Weil am Rhein	CH / DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée		1	1
Rhin supérieur 2 - OR 2 - Rhin 2 - Ensemble de festons du Rhin de Breisach à Strasbourg	225-292	en amont de Rhinau	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée		1	1
Rhin supérieur 3 - OR 3 - Rhin 3 - Rhin canalisé de Strasbourg à Iffezheim	292-352	Karlsruhe	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée		1	1
Rhin supérieur 4 - OR 4 - Rhin 4 - Du barrage d'Iffezheim jusqu'en amont du débouché de la Lauter	352-428		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée		1	1
Rhin supérieur 5 - OR 5 - Débouché de la Lauter jusqu'au débouché du Neckar	352-428		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	2	1	1
Rhin supérieur 6 - OR 6 - Débouché du Neckar jusqu'au débouché du Main	428 - 497	Worms	DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	2
Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main ju	497 - 529	Mayence/Wiesbaden	DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	3
RHIN MOYEN (Bingen - Bonn)								
Rhin inférieur 1 - NR 1 - de Bad Honnef à Leverkusen	639-701	Cologne-Godorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	3
Rhin inférieur 2 - NR 2 - de Leverkusen à Duisbourg	701-764	Port de Düsseldorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	3
Rhin inférieur 3 - NR 3 - de Duisbourg à Wesel	764-811	Duisburg-Walsum /Orsoy	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
Rhin inférieur 4 - NR 4 - de Wesel à Clèves	811-865	Niedermoermt / Rees	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
DELTA DU RHIN Lobith – Hoek van Holland								
Boven-Rijn, Waal	880-930	Lobith	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Maas-Waalkanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Nederrijn/Lek	954-980		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Dordtse Biesbosch	972-982		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Beneden Merwede, Boven Merwede, Sliedrechtse Biesbosch, Waal, Afdamde Maas-Noord	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Oude Maas (en amont du Hartelkanaal), Spui, Noord, Dordtsche Kil, Lek jusqu'à Hagestein	977-998		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Hollandsche IJssel	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	.i.	.i.	.i.
Nieuwe Maas, Oude Maas (en aval du Hartelkanaal)	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	3	
Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Calandkanaal, Beerkanaal	998-1013	Maassluis	NL	artificielle	artificielle	2	2	2
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Noordzeekanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Twentekanal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Zwarte meer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Ketelmeer + Vossemeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Markermeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Randmeren-Oost	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Randmeren-Zuid	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
IJsselmeer	n.c.	Vrouwezand	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
Littoral de la mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.	Dantziggat, Doove Balg West	NL	naturelle	naturelle	3	2	3
Côte hollandaise (eaux côtières)	n.c.	Noordwijk 2	NL	naturelle	naturelle	2	2	2
Côte de la mer des Wadden (eaux côtières)	n.c.	Boomkensdiep	NL	naturelle	naturelle	2	3	2

Annexe 2 : évaluation de l'élément de qualité biologique 'macrophytes/phytobenthos' dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009 et 2015 et pour le PdG 2021 (version du projet du 15 avril 2021)

Évaluation de l'élément de qualité biologique 'Macrophytes/phytobenthos' dans le Rhin selon la DCE pour le PdG 2009, le PdG 2015 et le PdG 2021 (projet)	J.	Évaluation des éléments de qualité non requise	très bon	1	Potentiel écologique	
		Pas de recensement ou d'évaluation de l'élément / base de données insuffisante	bon	2	2	
		Macrophytes/phytobenthos : ** en DE-BW, ce résultat se réfère à l'ensemble des éléments biologiques. En France, l'évaluation porte uniquement sur les diatomées.	moyen	3	3	
			médiocre	4	4	
État : Avril 2021			mauvais	5	5	
Masse d'eau	PK	Station d'analyse CIPR du contrôle de surveillance dans la masse d'eau	État / Land	PdG 2009	PdG 2015	PdG 2021 (projet)
RHIN ALPIN Reichenau – lac de Constance						
AR 3 Rhin alpin, masse d'eau de surface AT 10109000		Fussach	AT / Vorarlberg/CH (SG)	2	2	2
LAC DE CONSTANCE						
BOD-OS Lac supérieur du lac de Constance	aucun kilométrage	Fischbach-Uttwil	DE-BW	2	2	2
BOD-USZ Lac inférieur du lac de Constance		Lac de Zeller	CH / St. Gall	2	2	2
HAUT RHIN (Lac de Constance – Bâle)						
Haut Rhin 1 - du lac de Constance au débouché de l'Aar	24-102,7	Stein, Ellikon	CH / DE-BW	1	2	2
Haut Rhin 2 - du débouché de l'Aar à Bâle	102,7-170	Sisseln, Pratteln/Wyhlen	CH / DE-BW	1	2	3
RHIN SUPERIEUR (Bâle - Bingen)						
Rhin supérieur 1 - OR 1 - Vieux Rhin de Bâle à Breisach	170-225	Weil am Rhein	DE-BW	1	3	2
			FR	2	2	3
		Résultat de la concertation			2	
Rhin supérieur 2 - OR 2 - Rhin 2 - Ensemble de festons du Rhin de Breisach à Strasbourg	225-292		DE-BW	2	3	3
		en amont de Rhinau	FR	2	2	2
		Résultat de la concertation			2	
Rhin supérieur 3 - OR 3 - Rhin 3 - Rhin canalisé de Strasbourg à Iffezheim	292-352		DE-BW	2	3	3
		en amont de Gamsheim	FR	3	2	3
		Résultat de la concertation			2	
Rhin supérieur 4 - OR 4 - Rhin 4 - Du barrage d'Iffezheim jusqu'en amont du débouché de la Lauter	352-428	Karlsruhe	DE-BW	2	3	3
		en amont de Lauterbourg-Karlsruhe	FR		3	3
		Résultat de la concertation			3	
Rhin supérieur 5 - OR 5 - Débouché de la Lauter jusqu'au débouché du Neckar	352-428		DE-BW	2	3	3
			DE- RP	2	3	2
Rhin supérieur 6 - OR 6 - Débouché du Neckar jusqu'au débouché du Main	428 - 497		DE-BW	3	3	3
			DE-HE		3	3
		Worms	DE- RP	3	3	3
Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main jusqu'au débouché de la Nahe	497 - 529	Mayence/Wiesbaden	DE-HE		3	3
			DE- RP	3	3	3
RHIN MOYEN (Bingen - Bonn)						
Rhin moyen (MR)	529-639		DE-HE		3	3
		Coblence	DE- RP	3	3	3
RHIN INFÉRIEUR (Bonn - Clèves-Bimmen/Lobith)						
Rhin inférieur 1 - NR 1 - de Bad Honnef à Leverkusen	639-701	Cologne-Godorf	DE-NW	3	3	3
Rhin inférieur 2 - NR 2 - de Leverkusen à Duisbourg	701-764	Port de Düsseldorf	DE-NW	2	4	3
Rhin inférieur 3 - NR 3 - de Duisbourg à Wesel	764-811	Duisburg-Walsum /Orsoy	DE-NW	3	3	3
Rhin inférieur 4 - NR 4 - de Wesel à Clèves	811-865	Niedermoermter / Rees	DE-NW	2	3	3
DELTA DU RHIN (Lobith – Hoek van Holland)						
Boven-Rijn, Waal	880-930	Lobith	NL	2	2	2
Maas-Waalkanaal	n.c.		NL	./.	./.	./.
Nederrijn/Lek	954-980		NL	2	3	
Dordtse Biesbosch	972-982		NL	2	2	
Beneden Merwede, Boven Merwede, Sliedrechtse Biesbosch, Waal, Afdamde Maas-Noord	n.c.		NL	./.	./.	./.
Oude Maas (en amont du Hartelkanaal), Spui, Noord, Dordtsche Kil, Lek jusqu'à Hagestein	977-998		NL	2	2	
Hollandsche IJssel	n.c.		NL	./.	./.	./.
Nieuwe Maas, Oude Maas (en aval du Hartelkanaal)	n.c.		NL	./.	./.	./.
Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Calandkanaal, Beerkanaal	998-1013	Maassluis	NL	2	2	2
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	n.c.		NL	./.	./.	./.
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	n.c.		NL	./.	./.	./.
Noordzeekanaal	n.c.		NL	./.	./.	./.
Twentekanaal	n.c.		NL	./.	./.	./.
Zwarte meer	n.c.		NL	./.	./.	./.
Ketelmeer + Vossemeer	n.c.		NL	./.	./.	./.
Markermeer	n.c.		NL	./.	./.	./.
Randmeren-Oost	n.c.		NL	./.	./.	./.
Randmeren-Zuid	n.c.		NL	./.	./.	./.
IJsselmeer	n.c.	Vrouwezand	NL	2	2	2
Littoral de la mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.		NL	5	3	
Mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.	Dantziggat, Doove Balg West	NL	4	4	4
Côte hollandaise (eaux côtières)	n.c.	Noordwijk	NL			
Côte de la mer des Wadden (eaux côtières)	n.c.	Boomkensdiep	NL	./.	./.	./.
Dans les masses d'eau 'Mer des Wadden' et 'Littoral de la mer des Wadden', l'évaluation ne se fonde pas sur le phytobenthos mais sur les zostères et les puccinellies maritimes (qualité et quantité).						
Aux Pays-Bas, les échelles d'évaluation appliquées aux macrophytes (et aux poissons) ont été perfectionnées en 2012, ce qui fait que les valeurs fournies par l'indice de qualité écologique EKR (<i>ecologische kwaliteitsratio</i>) s'écartent parfois fortement des anciennes valeurs. Pour pouvoir comparer les anciennes échelles aux nouvelles, les données de 2012 ont été vérifiées à partir des deux échelles. Le bon potentiel écologique a ensuite été adapté de façon à ce que les évaluations de 2009 puissent malgré tout être comparées de manière satisfaisante à celles de 2012.						

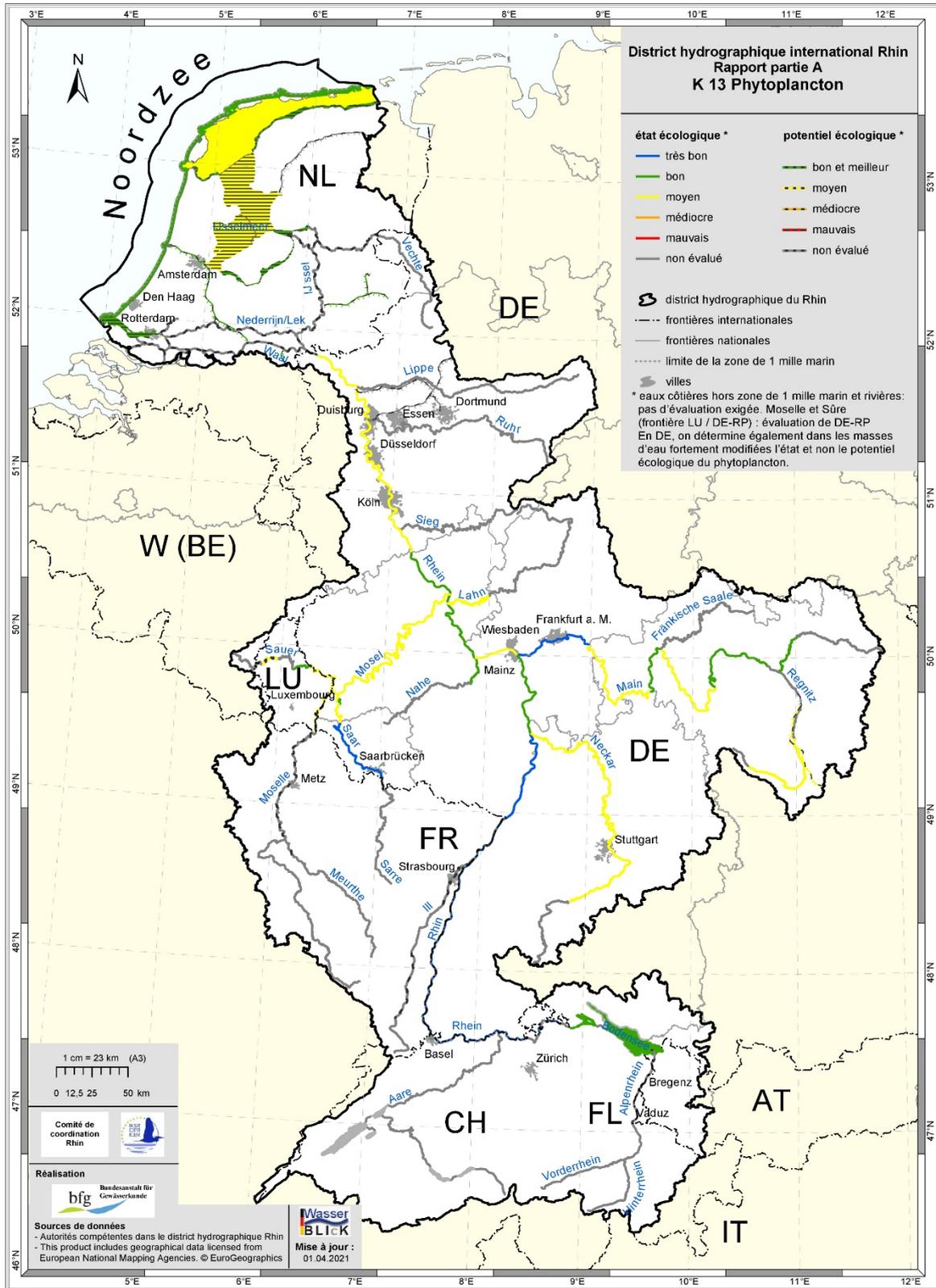
Annexe 3 : évaluation du macrozoobenthos dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009 et 2015 et pour le PdG 2021 (version du projet du 15 avril 2021)

Évaluation du macrozoobenthos dans le Rhin selon la DCE pour le PdG 2009, le PdG 2015 et le PdG 2021 (projet)					oui	1	Potentiel écologique	
					bon	2	2	
État : Avril 2021					moyen	3	3	
Évaluation des éléments de qualité non requise					médiocre	4	4	
pas de recensement ou d'évaluation de l'élément / base de données insuffisante					mauvais	5	5	
Masse d'eau	PK	Station d'analyse CIPR du contrôle de surveillance dans la masse d'eau	État / Land	Catégorie PdG 2009	Catégorie PdG 2015	PdG 2009	PdG 2015	PdG 2021 (projet)
RHIN ALPIN Reichenau – lac de Constance								
AR 3 Rhin alpin, masse d'eau de surface AT 10109000		Fussach	AT / Vorarlberg/CH (SG)	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	2
LAC DE CONSTANCE								
BOD-OS Lac supérieur du lac de Constance	aucun kilométrage	Fischbach-Uttwil	DE-BW	naturelle	naturelle		J.	
BOD-USZ Lac inférieur du lac de Constance		Lac de Zeller	CH / St. Gall	naturelle	naturelle			
HAUT RHIN (Lac de Constance – Bâle)								
Haut Rhin 1 d'Eschenzer Horn jusqu'en amont de l'Aar	24-102,7	amont du débouché Hemishofer B. - Rietheim	CH / DE-BW	naturelle	naturelle	2	2	3
Haut Rhin 2 en aval de l'Aar jusqu'à la Wiese (incluse)	102,7-170	aval du débouché Aar - Bâle	CH / DE-BW	fortement modifiée	naturelle	3	3	3
RHIN SUPERIEUR (Bâle - Bingen)								
Rhin supérieur 1 - OR 1 - Vieux Rhin de Bâle à Breisach	170-225	Weil am Rhein	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
			FR	fortement modifiée	fortement modifiée	3		
		Résultat de la concertation		fortement modifiée	fortement modifiée		3	
Rhin supérieur 2 - OR 2 - Rhin 2 - Ensemble de festons du Rhin de Breisach à Strasbourg	225-292		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	3
		en amont de Rhinau	FR	fortement modifiée	fortement modifiée		4	
		Résultat de la concertation		fortement modifiée	fortement modifiée		4	
Rhin supérieur 3 - OR 3 - Rhin 3 - Rhin canalisé de Strasbourg à Iffezheim	292-352		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
		en amont de Gamsheim	FR	fortement modifiée	fortement modifiée	4	5	
		Résultat de la concertation		fortement modifiée	fortement modifiée		3	
Rhin supérieur 4 - OR 4 - Rhin 4 - Du barrage d'Iffezheim jusqu'en amont du débouché de la Lauter	352-428	Karlsruhe	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
		en amont de Lauterbourg-Karlsruhe	FR	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	
		Résultat de la concertation		fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	
Rhin supérieur 5 - OR 5 - Débouché de la Lauter jusqu'au débouché du Neckar	352-428		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	3
Rhin supérieur 6 - OR 6 - Débouché du Neckar jusqu'au débouché du Main	428 - 497		DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	3
			DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
		Worms	DE- HE	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main jusqu'au débouché de la Nahe	497 - 529	Mayence/Wiesbaden	DE- HE	fortement modifiée	fortement modifiée	4	2	3
			DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	3
RHIN MOYEN (Bingen - Bonn)								
Rhin moyen (MR)	529-639		DE-HE	fortement modifiée	fortement modifiée	4	2	2
		Coblence	DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	4	2	2
RHIN INFÉRIEUR (Bonn - Clèves-Bimmen/Lobith)								
Rhin inférieur 1 - NR 1 - de Bad Honnef à Leverkusen	639-701	Cologne-Godorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	2
Rhin inférieur 2 - NR 2 - de Leverkusen à Duisbourg	701-764	Port de Düsseldorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	2
Rhin inférieur 3 - NR 3 - de Duisbourg à Wesel	764-811	Duisburg-Walsum /Orsoy	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	5	4	3
Rhin inférieur 4 - NR 4 - de Wesel à Clèves	811-865	Niedermeremter / Rees	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	5	4	3
DELTA DU RHIN Lobith – Hoek van Holland								
Boven-Rijn, Waal	880-930	Lobith	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	3
Maas-Waalkanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Nederrijn/Lek	954-980		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	
Dordtse Biesbosch, Nieuwe Merwede	972-982		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	
Beneden Merwede, Boven Merwede, Sliedrechtse Biesbosch, Waal, Afdamde Maas-Noord	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	
Oude Maas (en amont du Hartelkanaal), Spui, Noord, Dordtsche Kil, Lek jusqu'à Hagestein	977-998		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Hollandsche IJssel	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	
Nieuwe Maas, Oude Maas (en aval du Hartelkanaal)	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	
Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Calandkanaal, Beerkanaal	998-1013	Maassluis	NL	artificielle	artificielle	2	2	2
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Noordzeekanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	3	
IJssel	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	
Twentekanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Zwarte meer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Ketelmeer + Vossemeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Markermeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	3	
Randmeren-Oost	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
Randmeren-Zuid	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
IJsselmeer	n.c.	Vrouwezand	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	2
Littoral de la mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.	Dantziggat, Doove Balg West	NL	naturelle	naturelle	2	3	2
Côte hollandaise (eaux côtières)	n.c.	Noordwijk	NL	naturelle	naturelle	2	3	2
Côte de la mer des Wadden (eaux côtières)	n.c.	Boomkensdiep	NL	naturelle	naturelle	3	2	2

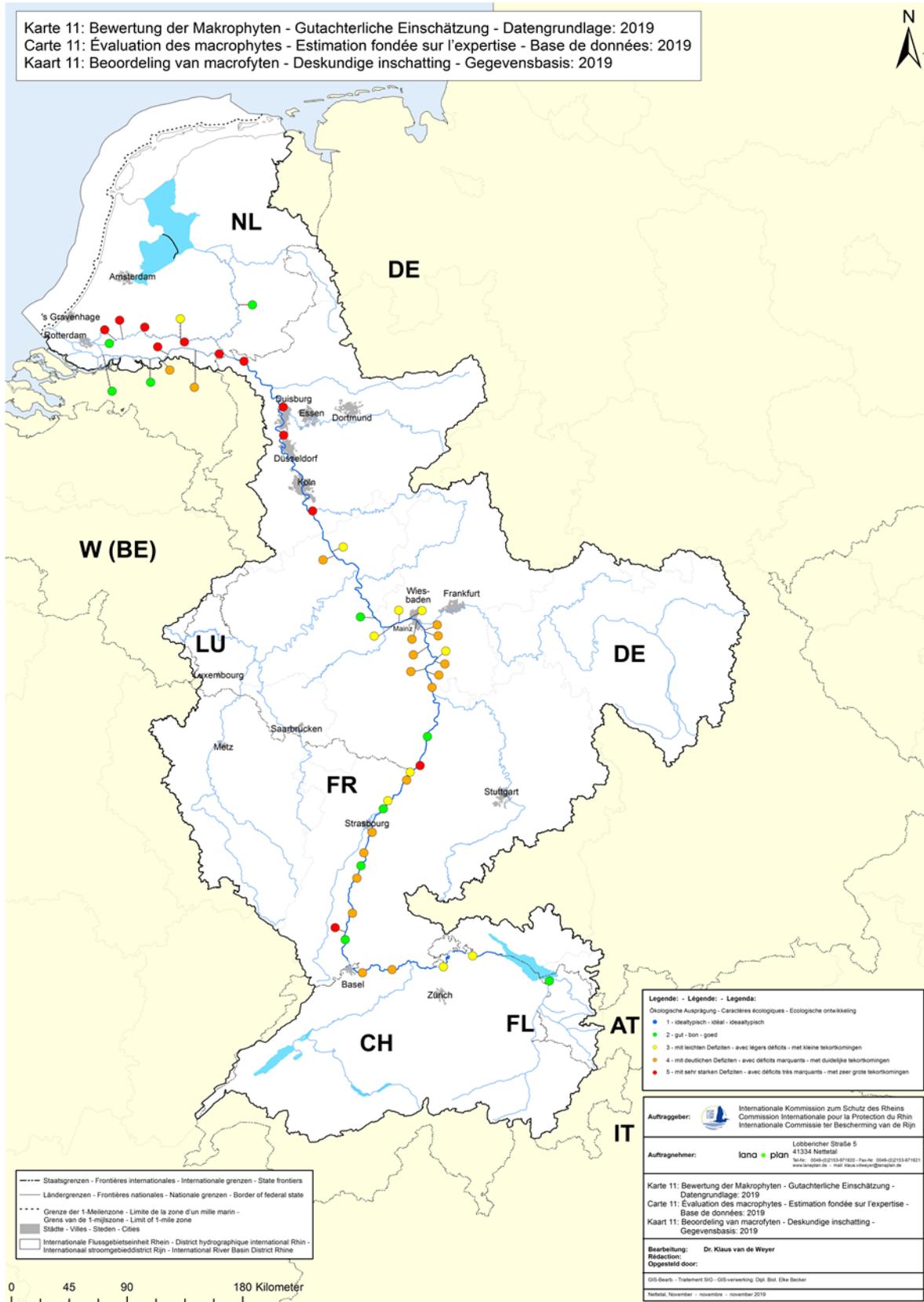
Annexe 4 : évaluation de la faune piscicole dans le Rhin selon la DCE pour les Plans de gestion 2009 et 2015 et pour le PdG 2021 (version du projet du 15 avril 2021)

Évaluation de la faune piscicole du Rhin selon la DCE pour le PdG 2009, le PdG 2015 et le PdG 2021	J.	Évaluation des éléments de qualité non requise		très bon	1	Potentiel écologique		
		Pas de recensement ou d'évaluation de l'élément / base de données insuffisante		bon	2	2		
État : Avril 2021		évaluations différentes		moyen	3	3		
		Poissons : En DE-NW, il n'a pas encore été déterminé de potentiel écologique dans les affluents du Rhin inférieur. **** Dans les masses d'eau 'Rhin supérieur 7' et 'Rhin moyen', l'écart du principe one-out-all-out est ajusté entre DE-RP et DE-HE (les résultats obtenus pour les poissons en DE-RP sont plus représentatifs).		médiocre	4	4		
				mauvais	5	5		
Masse d'eau	PK	Station d'analyse CIPR du contrôle de surveillance dans la masse d'eau	État / Land	Catégorie PdG 2009	Catégorie PdG 2015	PdG 2009	PdG 2015	PdG 2021 (projet)
RHIN ALPIN Reichenau – lac de Constance								
AR 3 Rhin alpin, masse d'eau de surface AT 10109000		Fussach	AT / Vorarlberg/CH (SG)	fortement modifiée	fortement modifiée	5	5	3
LAC DE CONSTANCE								
BOD-OS Lac supérieur du lac de Constance	aucun kilométrage	Fischbach-Uttwil	DE-BW	naturelle	naturelle		2	2
BOD-USZ Lac inférieur du lac de Constance		Lac de Zeller	DE-BW	naturelle	naturelle			2
HAUT RHIN (Lac de Constance – Bâle)								
haut Rhin 1 - du lac de Constance au débouché de l'Aar	24-102,7	Hohentengen, Kadelburg	CH / DE-BW	naturelle	naturelle	3	3	3
haut Rhin 2 - du débouché de l'Aar à Bâle	102,7-170	en amont et en aval de Rheinfelden	DE-BW	fortement modifiée	naturelle	2		3
RHIN SUPERIEUR (Bâle - Bingen)								
Rhin supérieur 1 - OR 1 - Vieux Rhin de Bâle à Breisach	170-225	Weil am Rhein	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
			FR	fortement modifiée	fortement modifiée		2	
		évaluations différentes		fortement modifiée	fortement modifiée			
Rhin supérieur 2 - OR 2 - Rhin 2 - Ensemble de festons du Rhin de Breisach à Strasbourg	225-292		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	4
		en amont de Rhinau	FR	fortement modifiée	fortement modifiée		2	
		évaluations différentes		fortement modifiée	fortement modifiée			
Rhin supérieur 3 - OR 3 - Rhin 3 - Rhin canalisé de Strasbourg à Iffezheim	292-352		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
		en amont de Gamsheim	FR	fortement modifiée	fortement modifiée		2	
		évaluations différentes		fortement modifiée	fortement modifiée			
Rhin supérieur 4 - OR 4 - Rhin 4 - Du barrage d'Iffezheim jusqu'en amont du débouché de la Lauter	352-428	Karlsruhe	DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
		en amont de Lauterbourg-Karlsruhe	FR	fortement modifiée	fortement modifiée		2	
		évaluations différentes		fortement modifiée	fortement modifiée			
Rhin supérieur 5 - OR 5 - Débouché de la Lauter jusqu'au débouché du Neckar	352-428		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
			DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
Rhin supérieur 6 - OR 6 - Débouché du Neckar jusqu'au débouché du Main	428 - 497		DE-BW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
			DE-HE	fortement modifiée	fortement modifiée		3	3
		Worms	DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	3
Rhin supérieur 7 - OR 7 - Débouché du Main jusqu'au débouché de la Nahe	497 - 529		DE-HE	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	2
			DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	2
RHIN MOYEN (Bingen - Bonn)								
Rhin moyen (MR)	529-639		DE-HE	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	2
		Coblence	DE- RP	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	2
RHIN INFÉRIEUR (Bonn - Clèves-Bimmen/Lobith)								
Rhin inférieur 1 - NR 1 - de Bad Honnef à Leverkusen	639-701	Cologne-Godorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	2	3	3
Rhin inférieur 2 - NR 2 - de Leverkusen à Duisbourg	701-764	Port de Düsseldorf	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
Rhin inférieur 3 - NR 3 - de Duisbourg à Wesel	764-811	Duisburg-Walsum /Orsoy	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	4
Rhin inférieur 4 - NR 4 - de Wesel à Clèves	811-865	Niedermaerter / Rees	DE-NW	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	4
DELTA DU RHIN Lobith – Hoek van Holland								
Boven-Rijn, Waal	880-930	Lobith	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	4	4
Maas-Waalkanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Nederrijn/Lek	954-980		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	
Dordtse Biesbosch	972-982		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	4	
Beneden Merwede, Boven Merwede, Sliedrechtse Biesbosch, Waal, Afgedamde Maas-Noord	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Oude Maas (en amont du Hartelkanaal), Spui, Noord, Dordtsche Kil, Lek jusqu'à Hagestein	977-998		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Hollandsche IJssel	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	
Nieuwe Maas, Oude Maas (en aval du Hartelkanaal)	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée		3	
Nieuwe Waterweg, Hartelkanaal, Calandkanaal, Beerkanaal	998-1013	Maassluis	NL	artificielle	artificielle		3	3
Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	3	2	
Amsterdam-Rijnkanaal Noordpand	n.c.		NL	artificielle	artificielle	3	2	
Noordzeekanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
IJssel	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	4	3	
Twentekanaal	n.c.		NL	artificielle	artificielle	2	2	
Zwarte meer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	
Ketelmeer + Vossemeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	
Markermeer	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	
Randmeren-Oost	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	2	2	
Randmeren-Zuid	n.c.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	2	
IJsselmeer	n.c.	Vrouwezand	NL	fortement modifiée	fortement modifiée	3	3	3
Littoral de la mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.		NL	fortement modifiée	fortement modifiée	./.	./.	./.
Mer des Wadden (eaux côtières)	a.i.	Dantzigat, Doove Balg West	NL	naturelle	naturelle	./.	./.	./.
Côte hollandaise (eaux côtières)	n.c.	Noordwijk	NL	naturelle	naturelle	./.	./.	./.
Côte de la mer des Wadden (eaux côtières)	n.c.	Boomkensdiep	NL	naturelle	naturelle	./.	./.	./.

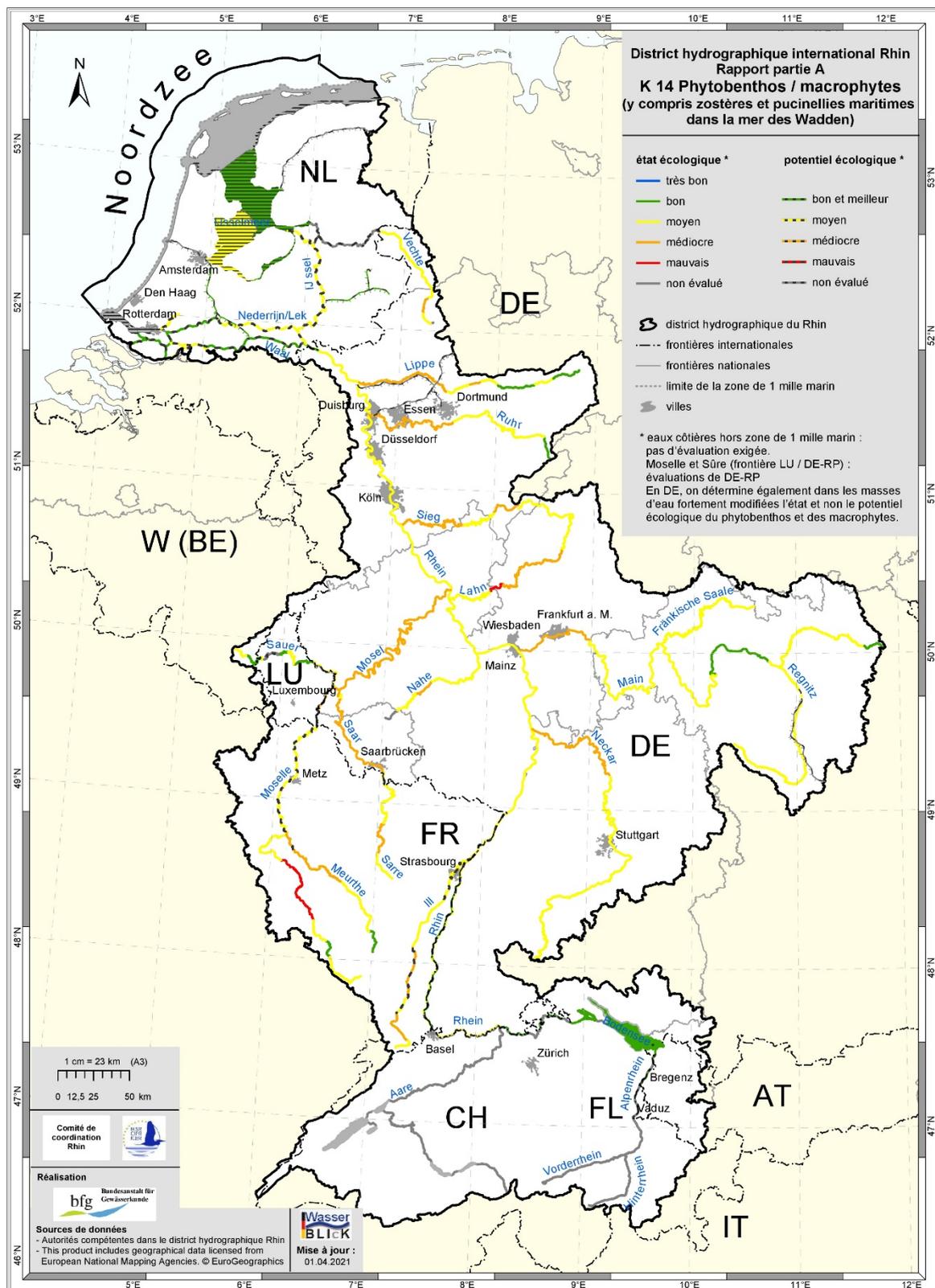
Annexe 5 : carte de l'évaluation du phytoplancton
 Carte 13 tirée du 3^e PdG Rhin (version du projet du 15 avril 2021)



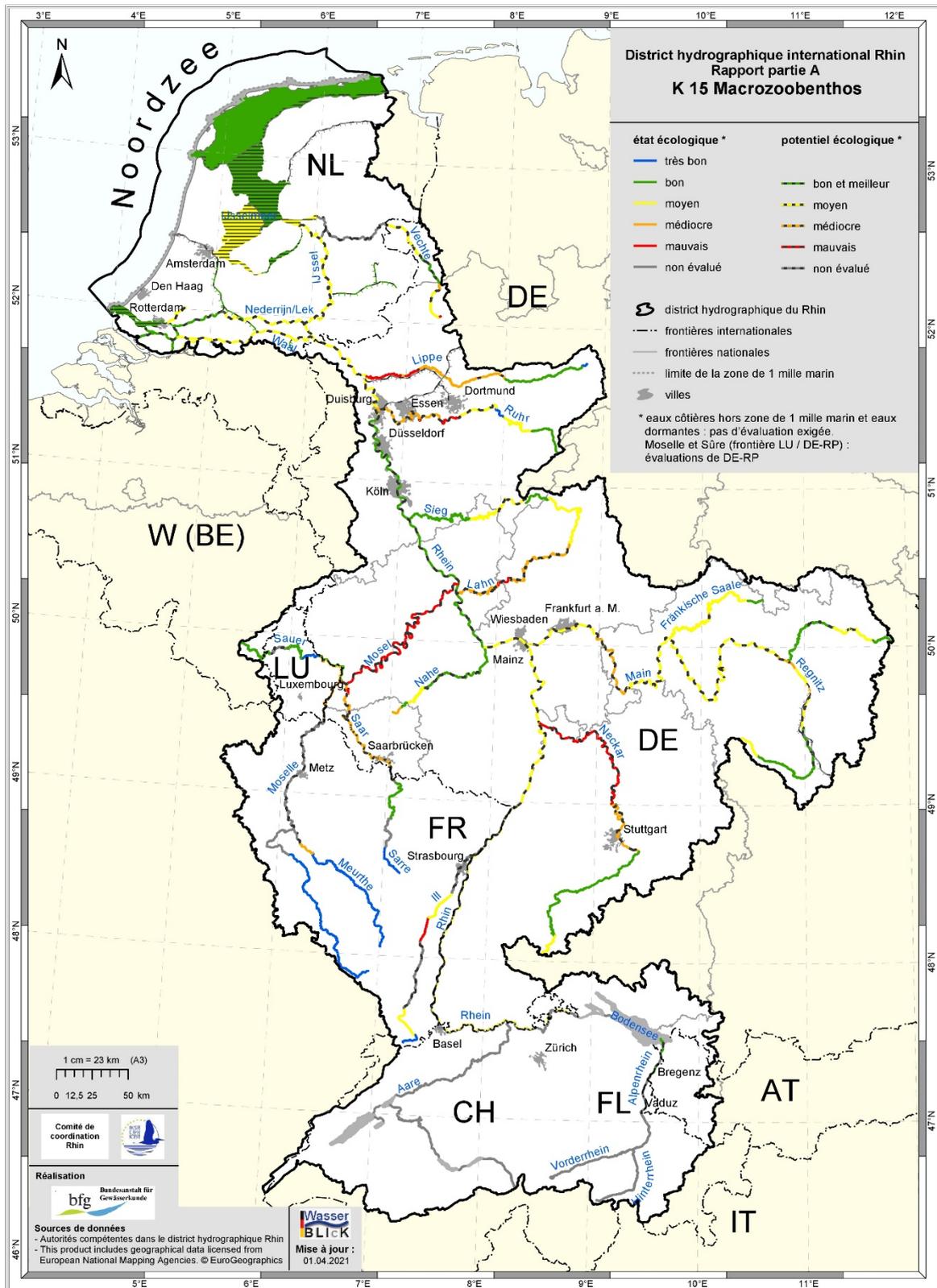
Annexe 6 : carte de la première estimation fondée sur l'expertise de l'élément de qualité 'macrophytes' (base de données : 2019)



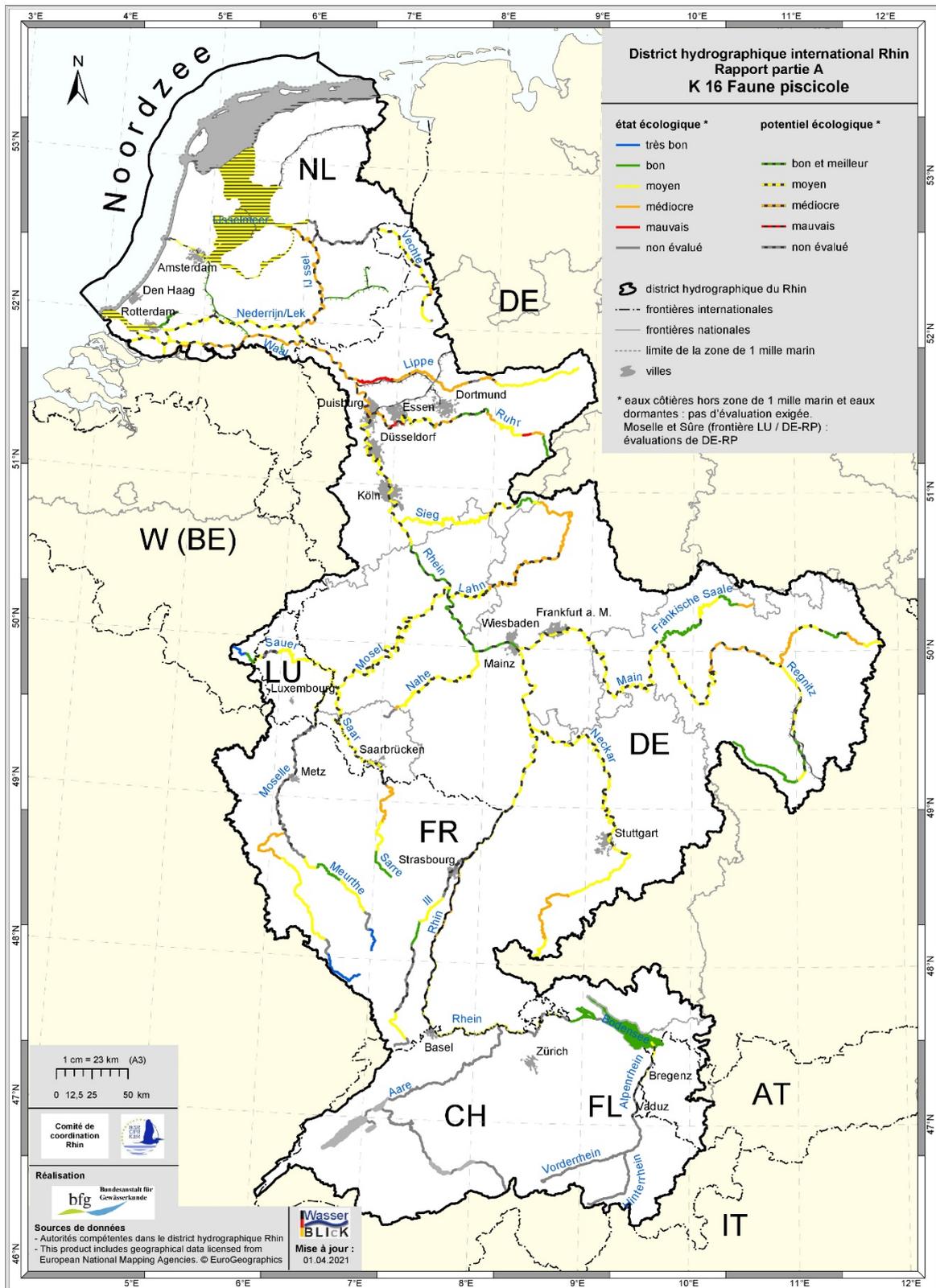
Annexe 7 : carte de l'évaluation du phytobenthos/des macrophytes
 Carte 14 tirée du 3^e PdG Rhin (version du projet du 15 avril 2021)



Annexe 8 : carte de l'évaluation du macrozoobenthos
 Carte 15 tirée du 3^e PdG Rhin (version du projet du 15 avril 2021)



Annexe 9 : carte de l'évaluation de l'ichtyofaune
 Carte 16 tirée du 3^e PdG Rhin (version du projet du 15 avril 2021)



Annexe 10 : carte de l'évaluation de l'état/du potentiel écologique total
 Carte 17 tirée du 3^e PdG Rhin (version du projet du 15 avril 2021)

