



Rapport sur les résultats du Groupe de projet ‚Rhin Supérieur‘ de la CIPR 2015-2019

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 262



Editeur:

Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Coblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Coblenz
Téléphone +49-(0)261-94252-0, téléfax +49-(0)261-94252-52
Courrier électronique: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

Rapport sur les résultats du Groupe de projet 'Rhin Supérieur' de la CIPR 2015-2019

1. Synthèse des évolutions depuis la 15^e Conférence ministérielle sur le Rhin 2013

Le Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin de la CIPR a été publié pour la première fois en 2009 et remis à jour en 2018 (cf. rapport CIPR n° 247). Il met en évidence, dans un cadre financier et sur une période définies, les possibilités de réimplantation de populations de saumons en équilibre naturel dans le bassin du Rhin jusqu'aux chutes du Rhin à Schaffhouse.

En 15^e Conférence ministérielle sur le Rhin du 28.10.2013, les ministres compétents pour le Rhin ont retenu les points suivants à propos du Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin :

25. **Ils constatent** que l'objectif de rendre le Rhin franchissable à la montaison pour les poissons migrateurs jusque dans la région de Bâle apparaît de plus en plus réaliste et planifiable grâce aux mesures en cours. Ces mesures permettront aux poissons migrateurs d'accéder à nouveau dans cette région aux frayères de la Birs, de la Wiese et de l'Ergolz à partir de 2020.

26. **Ils soulignent** que pour atteindre dans le cours principal du Rhin les objectifs visés par le programme « Rhin 2020 » et le Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin

26 d. le transfert des poissons dans le Vieux Rhin à hauteur du barrage de Vogelgrun/Breisach représente un défi technique. **Ils chargent la CIPR** de permettre en 2014 un échange d'expériences entre experts, compte tenu des résultats des études réalisées jusqu'à présent, afin de contribuer à l'émergence d'une solution technique optimale pour le rétablissement de la montaison dans le Rhin supérieur jusqu'à Bâle ;

26 e. un système de passes à poissons performant doit être planifié et réalisé pour assurer le passage des barrages suivants de Rhinau, de Marckolsheim et de Vogelgrun sur le Rhin supérieur afin que les poissons puissent atteindre le Vieux Rhin et Bâle à l'horizon 2020.

Les trois grands obstacles à la migration de **Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun** placés sur le cours du Rhin supérieur constituent actuellement des obstacles à la migration infranchissables entre le long parcours continu sur le cours aval du Rhin et les rivières plus en amont dont la franchissabilité est restreinte (voir carte K7 dans le 2^e PdG Rhin, décembre 2015)

- le Vieux Rhin avec 64 ha d'habitats de frai rien que pour le saumon (on ne dispose pas d'informations comparables pour d'autres espèces de poissons migrateurs actuellement), voir chapitre 2.9 ;
- le haut Rhin et ses affluents ainsi que l'Aar et ses affluents (zone de Bâle : Birs, Wiese, Ergolz : 44 ha ; cours principal du Rhin : 60 ha ; hydrosystème de l'Aar : 200 ha ; aménagement de 61 ouvrages transversaux).

Sur la base des mandats confiés en 15^e Conférence ministérielle sur le Rhin, la CIPR a organisé un échange d'expériences entre experts à Colmar en septembre 2014 dans le but de dégager des approches de solution techniquement optimale de rétablissement de la continuité au droit du barrage de Vogelgrun.

Un Groupe de projet spécial (GP ORS) a ensuite été mis en place à la mi-2015. Dans un premier temps, le mandat de ce Groupe de projet était limité jusqu'en 2018 et a été prolongé en 2019 jusqu'à l'Assemblée plénière de 2020 pour que le Groupe puisse achever les travaux restants.

Plateforme d'information et de discussion dotée d'une fonction consultative, le GP ORS accompagne pour le compte de la CIPR la mise au point d'un système performant de passes à poissons sur le Rhin supérieur à hauteur des barrages de Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun ainsi que des mesures de moindre ampleur visant à rétablir la continuité sur les seuils et barrages fixes situés dans les festons. Le GP ORS apporte ainsi une expertise et un support technique à l'appui du maître d'ouvrage EDF à l'occasion de points d'étapes sur l'avancement des études et travaux engagés par ses soins sur le Rhin supérieur.

Les progrès atteints par le Groupe de projet de la CIPR sur la période 2015-2019 portent notamment :

- (1) sur deux solutions faisables sous l'angle technique et ichtyobiologique pour un dispositif de montaison piscicole à Vogelgrun ;
- (2) sur des approches de solution techniques pour l'entrée dans les dispositifs de montaison sur les barrages de Rhinau, de Marckolsheim et de Vogelgrun ;
- (3) sur la prise en compte des meilleures techniques disponibles et de techniques innovantes pour améliorer la continuité écologique du Rhin dans son ensemble et dans le Rhin supérieur en particulier.

Conformément aux mandats confiés en 15^e Conférence ministérielle sur le Rhin de 2013, le GP ORS a fourni au cours des années passées une contribution importante à l'atteinte des objectifs visés par le programme Rhin 2020 et le Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin dans le cours principal du Rhin.

2. État des mesures du Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin significatives pour le Rhin supérieur

Le Groupe de projet de la CIPR a non seulement accompagné les plans de rétablissement de la continuité sur le Rhin supérieur mais rassemblé aussi au cours des années passées des informations sur les mesures déjà mises en œuvre pour améliorer la continuité piscicole dans le cours principal du Rhin et dans les bras néerlandais du Rhin et sur l'état d'avancement d'autres mesures planifiées et significatives pour la continuité du Rhin supérieur.

Dans l'exécution de ses tâches, le Groupe doit tenir compte du fait que celles-ci sont étroitement liées à toutes les autres mesures (réalisées ou planifiées) du Plan directeur 'Poissons migrateurs' dans le Rhin vers l'amont comme vers l'aval, de même que dans les rivières prioritaires de son bassin.

Le tableau 1 donne un aperçu général des coûts liés aux mesures sur les ouvrages transversaux et de leur état de mise en œuvre.

Tableau 1 : coûts des mesures sur les ouvrages transversaux et état de mise en œuvre (en juin 2019)

	Ouvrages transversaux	Coûts (en millions d'euros, chiffres arrondis)	Finalisation de la/des mesure/s
1	les écluses du Haringvliet	80 (NL)	2018
2	Nederrijn-Lek (3)	9,2 (NL)	2001, 2004
3	Digue terminale de l'IJsselmeer	1,9+0,5+4,5 55 (évaluation des coûts par NL) = 61,9	2015 2023 (date prévue)
4	Iffezheim	10 (DE/FR)+7,5 (Rench, DE) + montant inconnu > 3 (Ill, FR) > 20,5	2000
5	Gambsheim	12 (FR/DE)+39,5 (Kinzig, DE) = 51,5	2006
6	Strasbourg	19 (FR)	2016
7	Gerstheim	15 (FR)+25 (Elz, DE)=40	2019
8	Rhinou	35 (estimation des coûts d'EDF)	?
9	Marckolsheim	35 (estimation des coûts d'EDF)	?
10	Vogelgrun	70 ¹ ou env. 80 ² (estimation des coûts d'EDF)	?
11	Barrage agricole de Breisach	À l'étude	2019 ?
12	Kembs/Märkt	8 (FR)	2016
13	Haut Rhin / Aar	200-300 millions de CHF (CH, estimation des coûts jusqu'en 2030/40)	Jusqu'en 2030/2040
		Coûts totaux : env. 500 - 600 millions d'euros (au moins)	

La subdivision du Rhin en trois bras juste en aval de Lobith à hauteur de la frontière germano-néerlandaise se traduit par une nouvelle répartition du débit (env. 2/3 sur le Waal, 2/9 sur le Nederrijn-Lek et 1/9 sur l'IJssel, cf. figure 1).

¹ Estimation des coûts sur la base de la solution du point haut : sur ce montant, 35 millions d'euros correspondent aux entrées des passes à poissons et 35 millions d'euros au transfert des poissons vers le Vieux Rhin.

² Estimation des coûts sur la base de la solution tunnel/siphon inversé

Les poissons remontant depuis la mer tels que le saumon atlantique, la truite de mer et la grande alose etc. peuvent actuellement emprunter comme axe migratoire sans obstacle celui les faisant transiter, à partir de la mer du Nord, par le Nieuwe Waterweg à hauteur de Rotterdam et par le Waal (voie navigable).



Figure 1 : ouvrages transversaux dans le delta du Rhin. Point : sans dispositif de montaison ; crochets : avec dispositif de montaison. Vert : franchissable ; orange : franchissabilité restreinte ; rouge : non franchissable. Extrait de la carte K 7 du projet de 2^e PdG Rhin, version de décembre 2015.

À partir de la frontière germano-néerlandaise (PK Rhin 700), le cours principal du Rhin est sans obstacle pour les poissons jusqu'à Iffezheim (PK Rhin 334) (voir figure 2) et, après mise en service de la passe à poissons de Gerstheim (PK 272 du Rhin) en juin 2019, accessible pour les poissons jusqu'à Rhinau via les passes construites sur les barrages d'Iffezheim, de Gamsheim, de Strasbourg et de Gerstheim (voir plus bas). On renverra au Plan de Gestion 2015 établi au titre de la directive cadre 'Eau', chapitre 7.1.1, pour toutes indications plus spécifiques sur l'état de franchissabilité des affluents du Rhin inférieur, du Rhin moyen et du Rhin supérieur septentrional.

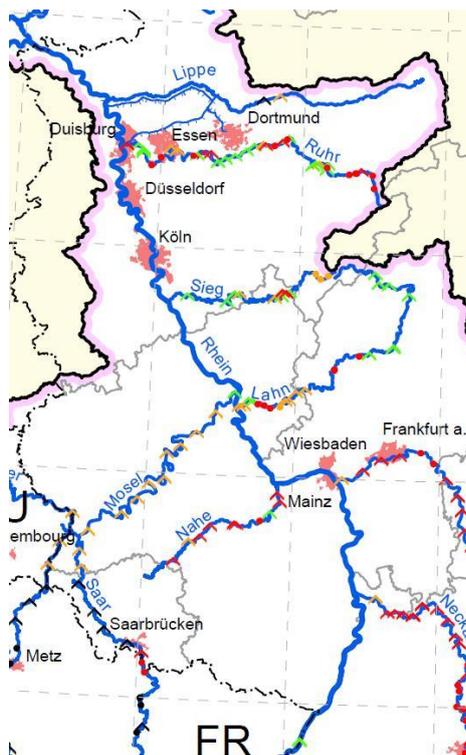


Figure 2 : tronçons du Rhin à écoulement libre depuis la frontière germano-néerlandaise jusqu'à Iffezheim. Extrait de la carte K 7 du projet de 2^e PdG Rhin, version de décembre 2015.

État des mesures sur les ouvrages transversaux :

La figure 1 montre où sont situés les deux grands ouvrages transversaux dans le delta du Rhin.

On ne connaît ni le nombre de poissons migrateurs susceptibles d'emprunter cet axe de migration ni la composition des espèces. Les dimensions des milieux aquatiques concernés font qu'un suivi est difficile à mettre en place. Les études télémétriques réalisées jusqu'à présent avec des poissons individuels équipés d'émetteurs, les analyses génétiques sporadiques de saumons et de truites de mer et les résultats des pêches ne donnent que des indications générales sur l'origine des poissons et leur comportement migratoire dans le delta.

2.1 Écluses du Haringvliet

À la suite des inondations catastrophiques de 1953 (qui ont fait 1 830 victimes), l'estuaire a été coupé du milieu marin par différentes digues et barrages anti-raz-de-marée (voir figure 3). L'objectif était de raccourcir la ligne de côte, ce qui a permis de garantir la sécurité. La ligne rouge dans la figure montre la ligne de côte actuelle. Les digues constituent un élément central des dispositifs primaires de protection contre les eaux.

Le barrage du Haringvliet (au sud de Rotterdam) a été fermé en 1971, ce qui a transformé le Haringvliet, ancienne zone marine soumise aux marées, en un lac d'eau douce où l'impact des marées est quasiment nul.

Des écluses de chasse ont été aménagées dans le barrage pour évacuer les eaux du Rhin et de la Meuse. Les écluses sont ouvertes à marée basse et fermées à marée haute. La vitesse d'écoulement dans les vannes de chasse est telle que les poissons sont incapables pour la plupart de passer de l'eau salée à l'eau douce.

Avec la réalisation du projet 'Kier' (coûts de 80 millions d'euros), la voie s'ouvre à nouveau depuis le 15 novembre 2018 aux saumons désirant remonter dans la Meuse et

le Rhin à partir de la mer du Nord, pour autant que le débit soit suffisant. Les saumons peuvent désormais rejoindre leurs rivières natales pour s'y reproduire dans des conditions naturelles. En fonction du débit, une ou plusieurs portes d'écluse peuvent à présent être entrouvertes, même à marée haute, pour laisser les poissons franchir la digue terminale du Haringvliet (au sud de Rotterdam).

Une zone d'eau saumâtre prendra forme. Le degré d'ouverture dépendra du débit du Rhin et de la Meuse, pour faire en sorte que l'eau salée reste à l'ouest de Middelharnis (à peu près au milieu du Haringvliet). Si le débit des fleuves est très faible et que l'eau de mer menace de dépasser la ligne de l'écluse Middleharnis, les portes resteront complètement fermées et le Haringvliet sera submergé d'eau douce.

Au préalable, il a fallu déplacer quelques points de captage d'eau potable vers l'est pour les protéger de la salinisation. Le déplacement des points de captage (les 'mesures compensatoires') a représenté le plus grand travail, autant au niveau de l'exécution qu'à celui de la planification et de l'octroi des autorisations.

Des informations détaillées sur les travaux figurent sur le site www.kierharingvliet.nl/index.html.



Figure 3 : estuaire avec digues et barrages anti-raz-de-marée

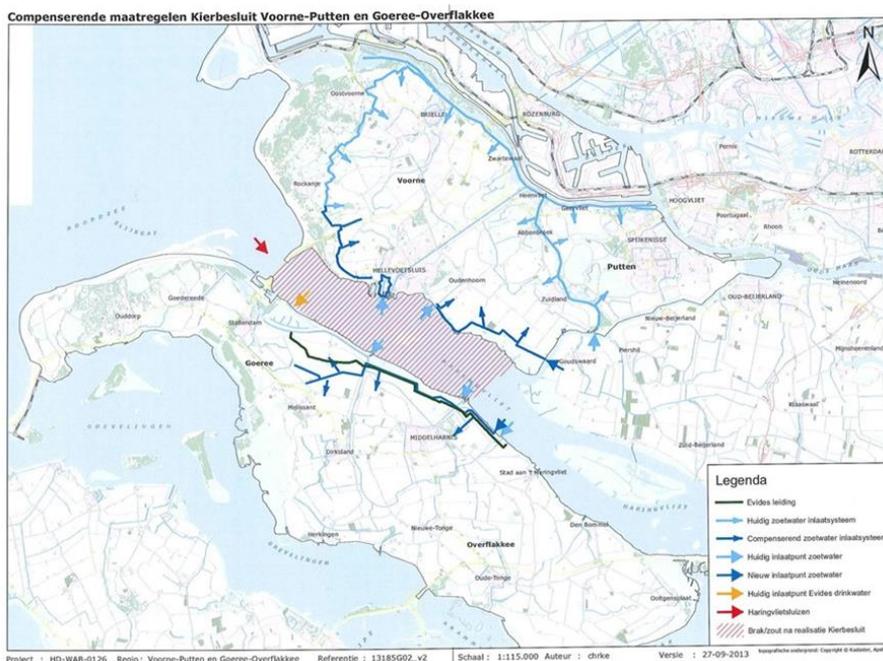


Figure 4 : zone saumâtre et points de captage d'eau dans le Haringvliet

La figure 5 montre la première entrouverture des écluses du Haringvliet le 16 janvier 2019 lorsque le débit du Rhin a été à nouveau suffisant après l'épisode d'étiage extrême de 2018.

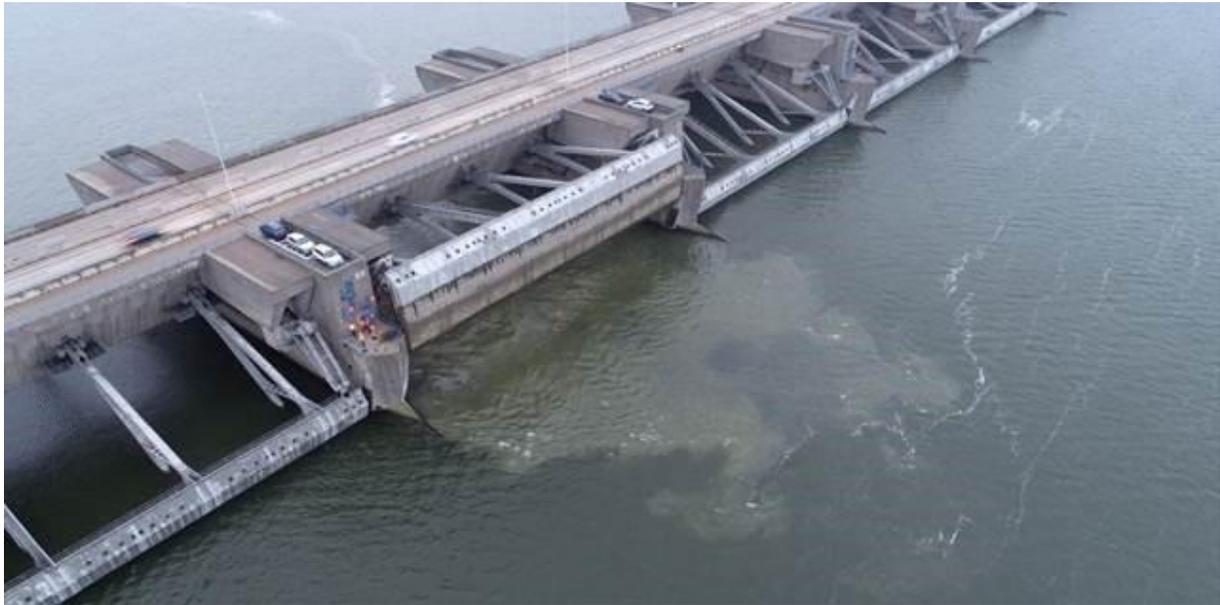


Figure 5 : une des écluses du Haringvliet a été ouverte pour la première fois le 16 janvier 2019. Photo : Rijkswaterstaat

2.2 Barrages sur le Nederrijn-Lek

Les poissons migrateurs peuvent déjà emprunter l'axe passant par le **Nederrijn-Lek** depuis qu'ont été construites entre 2001 et 2004 trois passes à poissons ou rivières de contournement sur les trois barrages (de Driel (2001), Amerongen (2004) et Hagestein (2004)) pour un total de 9,2 millions d'euros.

Le même type de passe à poissons est utilisé sur ces trois barrages : une passe à bassins successifs avec des cloisons intermédiaires en forme de V et une fente verticale au milieu descendant jusqu'au fond (Vertical Slot, voir figure 6).

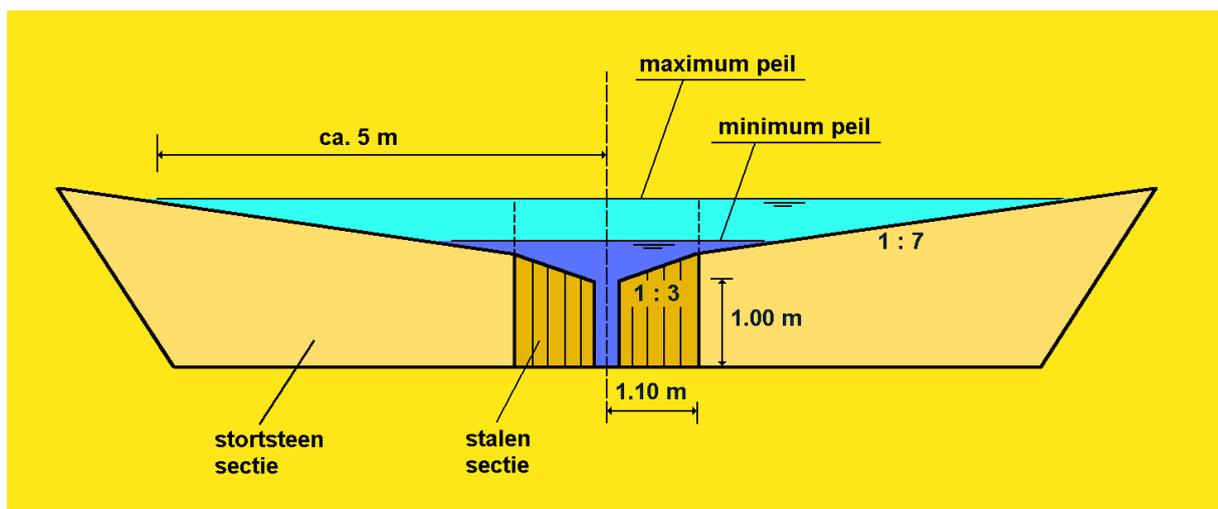


Figure 6 : représentation schématique d'un seuil (source : Rijkswaterstaat). Légende : maximum peil/minimum peil = niveau d'eau maximal/minimal ; stortsteen sectie = section en enrochements ; stalen sectie = section en acier

Les passes à poissons forment un by-pass permettant de contourner le barrage (voir figure 7). Leur longueur varie entre 400 m (Hagestein) et env. 700 m (Amerongen) Le

nombre de bassins s'élève à 19 à Driel avec une hauteur de chute de 0,15 m entre chaque bassin. Les deux autres passes à poissons ont 24 bassins avec une hauteur de chute de 0,16 m. Les poissons comme le saumon peuvent ainsi surmonter un dénivelé de 3 à 4 m et rejoindre la sortie de la passe de l'autre côté du barrage.

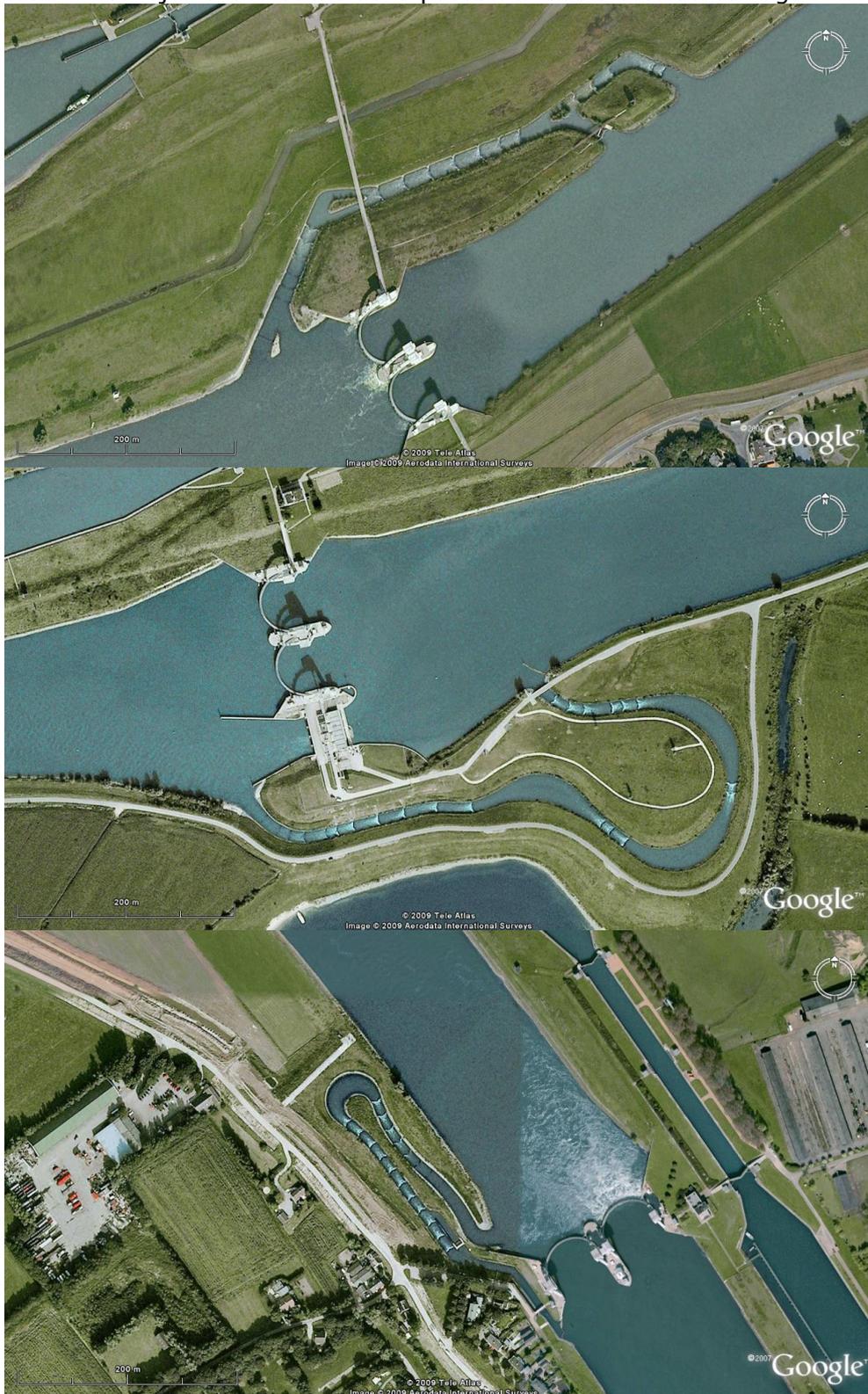


Figure 7 : les trois barrages et passes à poissons du Nederrijn-Lek (même échelle)
(source : Rijkswaterstaat) : Driel (en haut), Amerongen (au milieu), Hagestein (en bas)

2.3 Digue terminale de l'IJsselmeer

La construction de la digue terminale en 1932 a présenté de grands avantages au niveau de la sécurité et de l'évolution de l'économie dans le nord des Pays-Bas. Toutefois, la construction a également porté atteinte au milieu naturel. Deux grandes réserves naturelles néerlandaises (la mer des Wadden et la Zuidersee) ont été soudainement séparées l'une de l'autre. Ceci a eu pour conséquence d'abaisser les peuplements de poissons dans l'IJsselmeer et dans la mer des Wadden et de bloquer les voies de migration permettant aux poissons migrateurs de remonter dans les fleuves européens.

L'État néerlandais souhaite rétablir des liens écologiques entre la mer de Wadden et l'IJsselmeer. L'impact est positif pour le milieu naturel et en particulier pour les poissons dans ces deux réserves naturelles importantes. Jusque dans les années soixante-dix du siècle passé, la nature était surtout vue comme un ennemi dont il fallait combattre les forces, notamment celles de l'eau, en les bridant. Cette approche a évolué progressivement. Nous nous efforçons à présent de ménager le milieu naturel lors de travaux de génie hydraulique. C'est à la fois un défi et une nécessité que de dynamiser la transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique.

Trois projets, dont deux sont déjà achevés, se situent sur la digue terminale :

- passe à poissons Den Oever (complexe d'écluses sur la partie occidentale de la digue terminale ; coûts de 1,9 millions d'euros)
- gestion ichtyocompatible des écluses : fonctionnement ichtyocompatible des écluses de chasse et des écluses à sas (coûts : 0,5 million d'euros) et mesures visant à limiter la teneur en sel à Den Oever et à Kornwerderzand du fait du nouveau régime de chasse (mise en place d'un système d'évacuation de l'eau salée ; coûts pour les deux sites : 4,5 millions d'euros)
- rivière de migration piscicole à hauteur de Kornwerderzand (complexe d'écluses sur la partie orientale de la digue terminale ; coûts probables de 55 millions d'euros)

2.3.1 Passe à poissons Den Oever

La passe à poissons a été inaugurée officiellement le 21 mai 2016, Journée internationale de la migration piscicole. Les premiers résultats du suivi montrent que des dizaines de milliers de civelles et de petites épinoches empruntent la passe à poissons.

La passe à poissons fonctionne de la manière suivante : une conduite permet aux poissons de traverser la digue. Mais ils ne le font pas d'emblée. Les poissons savent qu'ils peuvent s'engager dans l'IJsselmeer dès qu'ils rencontrent de l'eau douce. Pour cette raison, le Rijkswaterstaat a aménagé un bassin en bordure de l'IJsselmeer. Dans ce bassin, le niveau d'eau est maintenu constamment au-dessus du niveau d'eau de la mer des Wadden par l'intermédiaire d'une pompe. De l'eau douce s'écoule ainsi en permanence dans la mer des Wadden et les poissons nagent à contre-courant dans l'IJsselmeer (voir figures 8, 9, 10).

On a tout d'abord pensé à ce même type de passe à poissons à Kornwerderzand, mais on privilégie actuellement la rivière de migration piscicole.

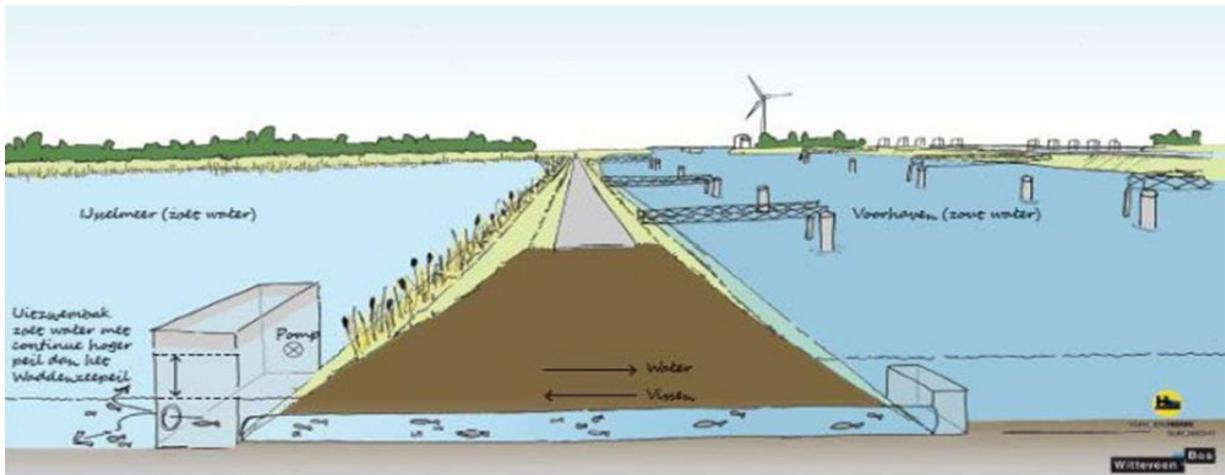


Figure 8 : passe à poissons Den Oever



Figure 9 : photo donnant une idée de la taille de la conduite (diamètre de 1,5 mètre).



Figure 10 : bassin de sortie avec la pompe dans l'IJsselmeer

2.3.2 Gestion ichtyocompatible des écluses de chasse et des écluses à sas au droit de Den Oever et Kornwerderzand (depuis 2015)

Le système des écluses de la digue terminale se compose d'écluses à sas mises en place pour la navigation et d'écluses de chasse servant à évacuer l'eau douce de l'IJsselmeer dans la mer des Wadden (entre autres l'eau s'écoulant de l'IJssel qui correspond à 1/9^e du débit du Rhin).

Le Rijkswaterstaat a analysé en 2014 comment rouvrir aux poissons la digue terminale en mettant en place une gestion d'écluses de chasse et d'écluses à sas ichtyocompatible. Cette gestion ichtyocompatible des écluses de chasse et des écluses à sas fonctionne depuis 2015.

Gestion ichtyocompatible des écluses à sas

Le fonctionnement d'une écluse à sas (le bateau s'engage dans l'écluse, la porte aval de l'écluse se referme et l'eau s'engouffre dans le sas pour élever le niveau à celui du bief amont, la porte amont est ouverte et le bateau sort de l'écluse) peut également profiter aux poissons. Ils nagent le plus souvent dans l'écluse en soirée et pendant la nuit. Le Rijkswaterstaat a réalisé des tests de gestion ichtyocompatible d'écluses à sas en 2014 en ouvrant les écluses en soirée pour les poissons. Les premiers résultats sont prometteurs : plusieurs milliers de poissons par heure traversent une écluse.

Gestion ichtyocompatible des écluses de chasse au moyen d'un système d'évacuation de l'eau salée

La digue terminale est équipée de 25 vannes de chasse qui évacuent deux fois par jour vers la mer des Wadden l'excédent d'eau provenant de l'IJsselmeer. Des millions de litres d'eau transitent ainsi par les écluses de chasse sur une brève phase de temps. C'est pendant ces brèves périodes que les poissons peuvent s'engager avec le courant dans la mer des Wadden, mais celui-ci est trop fort en revanche pour permettre à la plupart des poissons de nager à contre-courant pour rejoindre l'IJsselmeer.

Les écluses de chasse ont pour fonction d'évacuer l'excédent d'eau douce de l'IJsselmeer vers la mer des Wadden. On les ouvre normalement juste au moment où le niveau d'eau de la mer des Wadden est plus bas que celui de l'IJsselmeer. En ouvrant un peu plus tôt les écluses de chasse, de l'eau issue de la mer des Wadden peut s'introduire dans l'IJsselmeer et une multitude de poissons peuvent se faufiler dans ce passage pour rejoindre les eaux intérieures. L'eau salée qui entre dans les eaux intérieures est évacuée au moyen de 'systèmes d'évacuation de l'eau salée' (voir plus bas). Cette gestion de chasse ichtyocompatible peut être appliquée deux fois par 24 heures. Les seules périodes d'exception sont celles de phases de sécheresse ou d'humidité extrême. Là, le Rijkswaterstaat doit maintenir totalement fermés tous les panneaux et toutes les vannes ou se limiter à les entrouvrir légèrement. Cette forme de gestion ichtyocompatible des écluses de chasse permet également aux petits poissons et aux poissons à faible puissance de nage de se déplacer de la mer des Wadden vers l'IJsselmeer.

Le Rijkswaterstaat a mis en place à Den Oever et à Kornwerderzand un système d'évacuation de l'eau salée s'introduisant dans les eaux intérieures sous l'effet de la gestion ichtyocompatible des écluses (voir figure 11).

Le système d'évacuation de l'eau salée fonctionne selon le principe des vases communicants. Dès que le niveau d'eau de la mer des Wadden passe au-dessous de celui de l'IJsselmeer, la pression de l'eau agit de telle sorte que l'eau peut s'écouler en pente naturelle de l'IJsselmeer vers la mer des Wadden via un tuyau. Quand le niveau de la mer des Wadden remonte et dépasse celui de l'IJsselmeer, le système se referme automatiquement pour empêcher un reflux d'eau salée dans l'IJsselmeer.

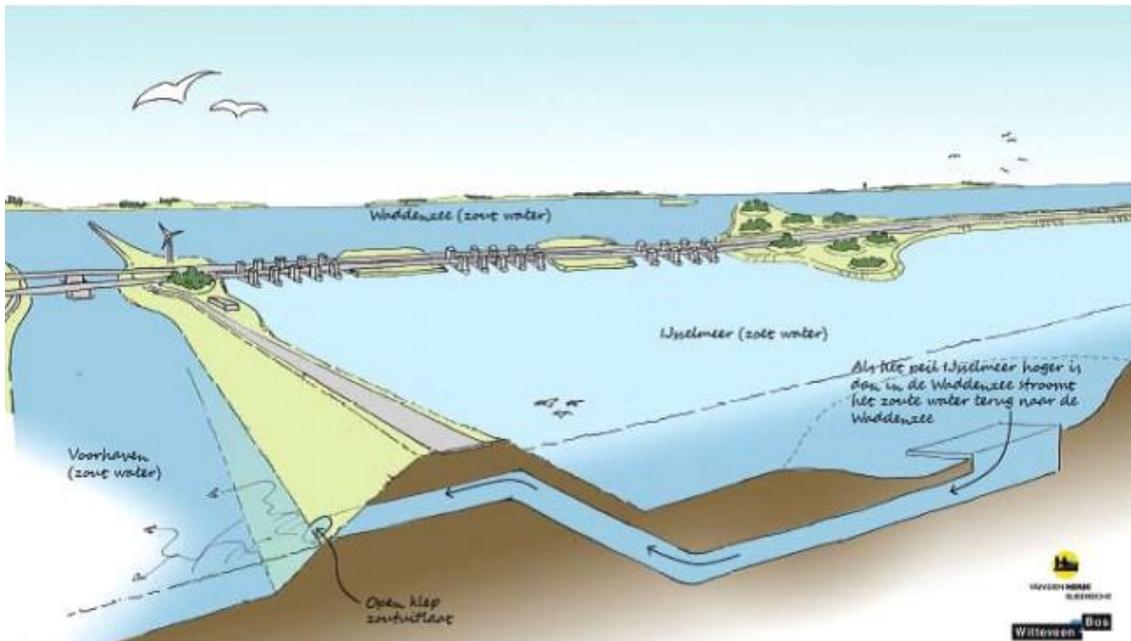


Figure 11 : système d'évacuation de l'eau salée



Figure 12 : sites où sont réalisées les mesures à Den Oever. Installation d'une passe à poissons, mise en place de systèmes d'évacuation de l'eau salée, gestion ichtyocompatible des écluses à sas et des écluses de chasse



Figure 13 : sites où sont réalisées les mesures de Kornwerderzand. Mise en place de systèmes d'évacuation de l'eau salée, gestion ichtyocompatible des écluses à sas et des écluses de chasse

2.3.3 Rivière de migration piscicole de Kornwerderzand

La rivière de migration piscicole de la digue terminale, dont la réalisation doit être engagée en 2019 et la finalisation est prévue en 2023, peut être vue comme un écoduc serpentant sur plusieurs kilomètres dans l'eau. La longueur de cette rivière permet aux poissons de s'adapter progressivement à la transition eau salée/eau douce. Ils peuvent séjourner un certain temps dans cette zone intermédiaire avant de continuer ensuite à nager vers leurs zones de frai dans l'IJsselmeer et plus en amont. Au cours de leur voyage de la mer des Wadden vers l'IJsselmeer, le flux de la marée montante donne aux poissons un petit coup de pouce.

L'eau douce commence à affluer dans la rivière de migration piscicole quand la mer des Wadden est à marée basse. L'eau douce de l'IJsselmeer s'écoule dans la mer des Wadden. Quand la marée monte, ce flux s'arrête progressivement dans la rivière. A marée haute, l'eau salée s'introduit dans la rivière à partir de la mer et le courant s'inverse : c'est une des grandes particularités de cette rivière de migration piscicole. Les migrateurs à nage puissante comme le saumon et la truite de mer aiment s'engager dans un fort courant d'eau douce. Ils peuvent alors rejoindre les eaux douces de l'IJsselmeer de leurs propres moyens à marée basse. Les flets, les anguilles juvéniles, les éperlans et les épinoches ont une plus faible capacité de nage. Ils se laissent entraîner par le courant à marée montante pour rejoindre l'IJsselmeer. Ainsi, la rivière de migration piscicole donne à toutes les espèces de poissons migrateurs des opportunités idéales de franchissement de l'obstacle à tout instant et toute l'année.

La rivière de migration piscicole peut être fermée à ses deux extrémités. La possibilité de la fermer et la longueur de la rivière font qu'il n'entre pas d'eau salée dans l'IJsselmeer. Ce point est à souligner car l'IJsselmeer est un lac d'eau douce constituant une source de captage importante pour l'eau potable et l'eau utilisée dans l'agriculture. La fonction de protection de la digue terminale reste également assurée avec la rivière de migration piscicole. Grâce à son système de fermeture, la rivière de migration piscicole de la digue terminale respecte les exigences fixées pour la première ligne de protection contre les raz-de-marée.

Le centre d'accueil des visiteurs 'Afsluitdijk Wadden Center' a ouvert ses portes le 22 mars 2018. Pour plus d'informations sur la rivière de migration piscicole (avec film d'animation), voir www.deafsluitdijk.nl/projecten/vismigratierivier/ (en partie en anglais).



Figure 14 : rivière de migration piscicole de Kornwerderzand (projection)

2.4 Aménagement du Rhin supérieur et histoire de la création des barrages

Au début du 19^e siècle, le Rhin supérieur est encore un fleuve sauvage caractérisé par de nombreuses ramifications entre Bâle/Huningue et Lauterbourg/Au et forme un chevelu composé d'une multitude de bras, puis se transforme plus au nord en une zone de méandres. Avec la correction du Rhin réalisée selon les plans de Johann Gottfried Tulla (1770-1828), un système de protection contre les inondations est mis en place de Bâle à l'aval de Mannheim. Selon les plans de Tulla, ces premiers travaux sont suivis entre 1840 et 1884 de la création d'un tracé en ligne droite sur le tronçon frontalier franco-badois (de Bâle jusqu'au débouché de la Murg/ancienne Lauter) qui transforme le lit sauvage ramifié en un lit régulier et monotone. En aval de ce débouché, de nombreux méandres sont court-circuités et séparés du fleuve de 1817 à 1861.

Le nouveau tracé fluvial raccourcit le cours du Rhin qui passe de 357 à 273 km entre Bâle et Worms. Une fois le fleuve corrigé et son lit majeur stabilisé, il est possible de mettre en place un système de digues uniforme et quasi continu à une distance variable de 0,5 à 3 km du lit moyen du Rhin (digues de Tulla). Après les travaux de correction, le fond du lit du Rhin est cependant exposé à une érosion croissante. Ce phénomène touche surtout le tronçon compris entre Kembs /Istein et Vogelgrun/Breisach où le creusement progressif du lit entre 1860 et 1960 atteint parfois jusqu'à 7 m, ce qui empêche le Rhin de s'écouler dans son champ alluvial, même en périodes de grandes crues. Pour atténuer les conséquences de ce creusement et pour améliorer les conditions de la navigation, plusieurs mesures de régulation des étiages sont réalisées successivement (de 1907 à 1924 en aval de Strasbourg et de 1930 à 1963 entre Strasbourg et Bâle) dans le lit corrigé du Rhin.

En outre, cinq barrages et huit usines sont érigés sur le Rhin entre le PK 170 à Bâle et le PK 291,5 à Strasbourg pour exploiter l'énergie hydraulique (sur la base du Traité de Versailles de 1919) et pour améliorer la navigabilité. Quatre usines sont sur le Grand canal d'Alsace construit de 1928 à 1959 entre Bâle et Breisach (PK Rhin 226).

Le chantier du Grand Canal d'Alsace et la construction du barrage de Kembs débutent en 1928. Mis en service en 1932, centrale, écluses et barrage sont sérieusement endommagés pendant la seconde guerre mondiale. Reconstitués après-guerre, les ouvrages sont nationalisés en 1946 et transmis à Electricité de France qui vient d'être créée. L'aménagement moderne du Rhin est lancé et 3 centrales avec écluses sont

réalisées successivement à Ottmarsheim (1952), Fessenheim (1956) et Vogelgrun (1959).

Ainsi, 4 ensembles barrage-écluses centrales sont mis en service.

La Convention franco-allemande de Luxembourg en 1956 préconise l'abandon du Grand Canal d'Alsace pour permettre à l'Allemagne de disposer sur ses rives d'un accès pour la navigation et la mise en place d'installations portuaires. A l'issue cette Convention, un nouveau type d'aménagement est ainsi retenu avec la création de dérivations « ponctuelles » du Rhin sur lesquelles sont construites les usines et les écluses. Il s'agit d'aménagements dits en « feston » comportant une dérivation qui concernent la section Vogelgrun-Strasbourg.

Ils permettent aux populations riveraines de bénéficier d'une protection contre les crues de retour de 1000 ans (contre 200 ans auparavant).

Quatre chutes sont alors construites : Marckolsheim (1961), Rhinau (1963), Gerstheim (1967) et Strasbourg (1970). Parallèlement, la mise en place d'un barrage agricole au niveau de Breisach sur le Vieux-Rhin est décidée afin de soutenir en amont le niveau de la nappe phréatique qui avait baissé suite à la construction du Grand Canal d'Alsace.

En 1969, les États français et allemand décident par convention la construction en commun de deux aménagements hydroélectriques « en ligne » en aval de Strasbourg : Gamsheim (PK Rhin 309, 1974) et Iffezheim (PK Rhin 334, 1977).

2.5 Iffezheim

la passe à poissons ouverte en l'an **2000** (coûts : 10 millions d'euros, hors études) donne accès aux affluents rhénans de l'**Ill** (FR) et de la **Rench** (DE).

L'hydrosystème de l'**Ill** et de ses affluents représente un potentiel d'habitat de frai d'environ 100 ha pour le saumon (Ill : 5 ha ; Bruche : 25 ha ; Giessen : 8 ha ; Liepvrette : 6 ha ; Weiss : 8 ha ; Fecht : 15 ha ; Lauch : 7 ha ; Thur : 16 ha ; Doller : 11 ha).



Figure 15 : barrage d'Iffezheim

Données techniques sur la passe à poissons d'Iffezheim :

- **Dénivelé** : 11 mètres
- **3 entrées** : 2 en rive gauche contre l'assise du barrage : zone de fortes turbulences accessible et attirante pour les espèces migratrices et rhéophiles, 1 entrée placée le long de la rive pour les poissons de capacité motrice plus réduite.
- **Un bassin de répartition** qui distribue le débit dans les trois entrées et regroupe et guide les poissons remontant vers les bassins successifs. Il collecte le débit des bassins (1 m³/s) mais aussi un débit d'attrait (12 m³/s) capté en amont du barrage.

- **Les bassins successifs** : 37 bassins de 30 cm de dénivelé entre eux, 15 m² avec environ 4,5 m de long, 3,3 m de large et 1,5 m de profondeur, conçus pour permettre la montaison d'un maximum d'espèces piscicoles (deux passages différents)

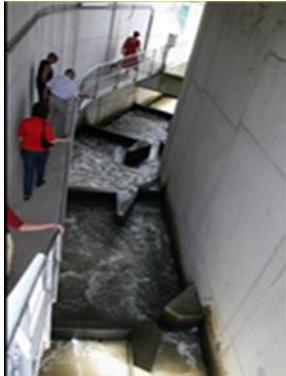


Figure 16 : les bassins successifs de la passe à poissons

- **Un local d'observation** : l'avant-dernier bassin comprend dans l'une de ses parois une vitre d'observation qui se trouve dans une zone de contre-courant (où les poissons marquent une pause)



Figure 17 : local d'observation

- Mise en place d'une caméra de vidéo-surveillance subaquatique et d'un système de piégeage



Figure 18 : surveillance vidéo

Une 5^e turbine a été mise en place sur l'usine du barrage d'Iffezheim entre 2009 et 2013. Les travaux ont entraîné d'importantes perturbations de la passe à poissons. Depuis la fin des travaux, la passe est à nouveau empruntée par les poissons. Elle a été optimisée à l'automne 2018 entre autres au niveau du courant d'attrait et de la station de capture et de comptage pour un montant de 252 500 euros. Les travaux restant à accomplir sur la station de comptage seront réalisés au premier semestre 2019. Il est prévu de réaliser en 2019 un monitoring ichtyobiologique de contrôle du fonctionnement optimisé de la passe à poissons, condition prescrite à l'exploitant en contrepartie de l'installation de la 5^e turbine.

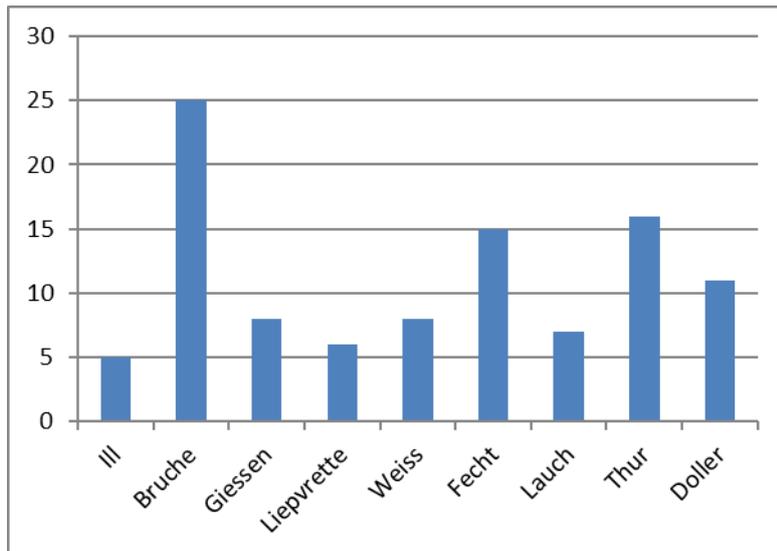


Figure 19 : habitat en hectares dans les cours d'eau de l'hydrosystème de l'Ill pour le saumon et accès aux habitats en fonction des passages ouverts aux poissons dans les barrages

La continuité est aujourd'hui assurée sur 13 barrages du cours principal de l'Ill et de nombreuses mesures ont été réalisées pour améliorer la qualité des habitats. La continuité de la **Rench** (19 ha de frayères) a été rétablie sur 15 barrages et de nombreux habitats ont été restaurés. D'autres mesures sont prévues.

2.6 Gamsheim

La passe à poissons, mise en service en **2006**, est équipée d'un centre d'accueil des visiteurs, d'une station d'observation et d'une station de comptage (coûts : 12 millions d'euros hors études). Elle donne accès à 68 ha de frayères dans la **Kinzig** (DE-BW). Dans la partie du bassin de la Kinzig visée pour la réimplantation du saumon, la continuité pour les poissons migrateurs a été rétablie sur 19 barrages et de nombreux habitats ont été restaurés. D'autres mesures sont prévues, entre autres dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE, pour rendre également franchissable la Kinzig en dehors de la zone de réimplantation du saumon.

Données techniques sur la passe à poissons de Gamsheim :

Elle est composée de plusieurs éléments :

- une **passerelle (succession de bassins) longue de 200 mètres** entrecoupée de 39 petits bassins. Le courant moyen y est de 1,2 m³/s. Chaque bassin mesure 4 m de long sur 3,3 m de large pour une profondeur de 1,65 m. La différence d'altitude entre deux bassins consécutifs est de 25 cm. Après le passage de chaque petit dénivelé, le poisson peut se reposer dans le bassin supérieur.
- **deux turbines d'une microcentrale** cumulent une puissance de 1 100 kW et produisent également de l'électricité. Elles captent l'eau en provenance du bassin supérieur et génèrent un débit d'attrait compris entre 11 et 15 m³/s.
- **un bassin de répartition** distribue le débit dans les trois entrées, regroupe et guide les poissons remontant vers les bassins successifs. Il collecte le débit des bassins (1 m³/s) mais aussi un débit d'attrait (12 m³/s) capté en amont du barrage.
- **les trois entrées de la passerelle** sont adaptées :

- pour les grands migrateurs, avec deux entrées où ils se sentent attirés par les remous des turbines ;
- pour les poissons locaux et la faune macroscopique, avec une entrée située dans des eaux plus calmes.



Figure 20 : passe à poissons sur le barrage de Gamsheim

2.7 Strasbourg

La localisation des ouvrages transversaux dans le Rhin supérieur franco-allemand entre Strasbourg et Bâle et dans le cours inférieur de l'Ill peut être consultée dans la carte K7 du 2^e PdG Rhin, décembre 2015.

La passe à poissons (passe à bassins successifs et passe naturelle de contournement avec local de comptage ; coûts : 19 millions d'euros hors études) a été mise en eau en décembre 2015 (voir figures 24 à 27). L'inauguration officielle a eu lieu le 19 mai 2016 dans le cadre de la fête de la nature et du World Fish Migration Day. Le débit d'attrait est actuellement optimisé.

Données techniques sur la passe à poissons de Strasbourg :

Cette nouvelle passe à poissons est constituée :

- d'une double entrée : une pour les « grands migrateurs » et une pour tous les « poissons locaux »,
- d'une succession de 18 bassins en béton
- suivie d'une rivière pseudo-naturelle, longue de 500 mètres et large de 5,5 mètres,
- d'une nouvelle succession de 18 bassins en béton.

À l'amont de la rivière de contournement se trouve un local de comptage des passages de poissons. 5 saumons ont été comptés en 2016, 27 en 2017 et 8 en 2018.



Figure 21 : différents éléments de la passe à poissons de Strasbourg



Figure 22 : bassins de la passe à poissons de Strasbourg



Figure 23 : entrée de la passe à poissons de Strasbourg et débit d'attrait



Figure 24 : rivière de contournement pour la remontée des poissons à Strasbourg

2.8 Gerstheim

La passe à poissons de Gerstheim (coûts : 15 millions d'euros) a été mise en eau le 15 octobre 2018 et est opérationnelle depuis le printemps 2019. Il est prévu d'y installer une station de comptage des poissons. La passe est de conception similaire à celle de Strasbourg, à la différence cependant que le débit d'attrait n'est pas turbiné à Gerstheim mais généré par une pompe.



Figure 25 : passe à poissons à Gerstheim. Photos : EDF

Les nouvelles passes à poissons de Strasbourg et de Gerstheim ouvrent aux poissons migrateurs l'accès aux 59 ha potentiels de frayères (à saumons) de l'hydrosystème **Elz-Dreisam** si les conditions de franchissement sont améliorées dans le même temps au droit des trois seuils fixes (1-2 m de chute) placés sur l'ancien lit du Rhin de Tulla dans les festons de Gerstheim (1) et de Rhinau (2), afin que les poissons puissent remonter vers les habitats via le canal Leopold (voir carte K 7 du 2^e PdG Rhin, décembre 2015, et chapitre 2.9.6).

38 ouvrages transversaux ont déjà été aménagés entre 2000 et 2015 dans l'hydrosystème Elz-Dreisam. Grâce à ces mesures, l'hydrosystème Elz-Dreisam est déjà rendu continu sur 85 km. 10 autres suivront d'ici 2018 et 30 autres d'ici 2027 (coûts totaux Elz et Dreisam : 25 millions d'euros).

2.9 Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun

Les trois grands obstacles à la migration de Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun installées sur des dérivations du Rhin supérieur, constituent actuellement des obstacles infranchissables entre le long parcours continu sur le cours aval du Rhin et les rivières plus en amont dont la franchissabilité par les grands migrateurs est restreinte (voir carte K 7 du 2^e PdG Rhin, décembre 2015) :

- le Vieux Rhin avec 64 ha d'habitats (salmonicoles), voir chapitre 2.9 ;
- le haut Rhin et ses affluents ainsi que l'Aar et ses affluents (zone de Bâle : Birs, Wiese, Ergolz : 44 ha ; cours principal du Rhin : 60 ha ; hydrosystème de l'Aar : 200 ha ; aménagement de 61 ouvrages transversaux).

Ils posent des défis techniques spécifiques différents de ceux rencontrés pour les passes à poissons des barrages plus en aval (difficulté de l'attrait, position des écluses, passage des différentes espèces, coûts des investissements, etc.).

La restauration écologique et durable de la continuité piscicole sur les trois barrages du Rhin supérieur Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun, de même que l'aménagement des seuils fixes des festons du Vieux Rhin et l'amélioration de la réparabilité de la passe du barrage agricole de Breisach, sont au centre des travaux du Groupe de projet ORS de la CIPR.

2.9.1 Rhinau

Par rapport aux autres usines du Rhin supérieur telles que Gerstheim par ex., les conditions hydrauliques en présence à Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun sont particulières car ces trois usines sont équipées de turbines Kaplan au lieu de groupes Bulbes et il n'existe pas de dalle continue au-dessus des aspirateurs. Il a donc été nécessaire de déterminer dans un premier temps le positionnement optimal des entrées piscicoles et du débit d'attrait eu égard aux conditions locales d'écoulement. L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) a analysé pour le compte d'EDF les écoulements à l'aval de l'usine de Rhinau à l'aide d'une étude sur modèle physique couplé à des simulations numériques. Dans toutes les configurations de turbinage, il a été identifié comme meilleur positionnement possible des entrées du dispositif de montaison celui prévoyant de placer ces entrées en bout de rive droite et de rive gauche. Les entrées placées plus près des déchargeurs n'ont pas donné de résultats probants. Les conditions techniques s'appliquant aux deux entrées dans le bief aval de Rhinau, analysées à la fois pour les passes à poissons fixes et pour le dispositif de capture et de transport, ont été définies. La France ayant renoncé à l'été 2018 au dispositif de capture et de transport prévu jusque-là pour les poissons du Rhin supérieur, aucun dossier de demande d'autorisation n'a été soumis aux autorités françaises pour des mesures de construction correspondantes sur le barrage de Rhinau.

2.9.2 Marckolsheim

Les résultats des études sur le meilleur positionnement possible des entrées pour le dispositif de remontée piscicole de Rhinau (voir ci-dessus) sont transposables aux barrages de Marckolsheim et de Vogelgrun du fait de conditions hydrauliques identiques.



Figure 26 : barrage de Vogelgrun

2.9.3 Vogelgrun

Le rétablissement de la continuité sur le site de Vogelgrun est particulièrement complexe. Les poissons en cours de montaison doivent être transférés du bief aval de l'usine dans le Grand Canal d'Alsace dans le Vieux Rhin par un passage au-dessous/au-dessus des écluses de navigation et de l'île du Rhin (voir figure 27).

Le GP ORS a pu dégager deux solutions principales jugées techniquement et ichtyobiologiquement faisables pour franchir le bief aval de l'usine de Vogelgrun à l'aide d'un pont de passes à poissons, traverser ensuite les écluses de navigation et amener finalement les poissons dans le Vieux Rhin :

1. solution du point haut
2. Solution tunnel/siphon inversé

Les experts piscicoles consultés dans le cadre du GP ORS partent toutefois du principe que la solution 'tunnel/siphon inversé' est plus efficace pour les poissons que la solution 'point haut'.

Les coûts de construction de dispositifs de montaison piscicole à Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun (avec la solution du point haut de Larinier/Travade) sont estimés dans l'état des études de faisabilité à un total de 150 millions d'euros. EDF a estimé les coûts d'une solution tunnel/siphon inversé à Vogelgrun à un montant avoisinant les 80 millions d'euros, ce qui les place dans un ordre de grandeur similaire à ceux de la solution du point haut (70 millions d'euros). À Rhinau et Marckolsheim, environ 80 % des coûts portent sur les entrées du système de collecte, sur la traversée du déchargeur ainsi que sur la production du débit d'attrait. Les coûts globaux estimés par EDF pour ces barrages sont nettement supérieurs à ceux de la passe de Strasbourg, en raison notamment de la construction d'une installation de production du débit d'attrait sur chaque rive.

La planification des entrées des passes à poissons s'applique autant à la solution du point haut qu'à la solution tunnel/siphon inversé. Elle se base sur les résultats des études sur le meilleur positionnement possible du débit d'attrait pour le dispositif de remontée piscicole de Rhinau (voir chapitre 2.9.1), qui sont transposables au barrage de Vogelgrun du fait de conditions hydrauliques identiques. Deux entrées sont prévues sur les parois latérales du canal sur chacune des rives ainsi que deux entrées à proximité des turbines côté berge avec un débit d'attrait de 15 m³/s au total. Pour produire un courant d'attrait

perceptible à distance, la hauteur de chute à l'entrée de la passe a été dimensionnée à 30 cm. Cette hauteur de chute peut encore être adaptée selon EDF. La chute est de 20 cm dans les bassins suivants.

À peu près au niveau de l'usine, les deux trajectoires des passes à poissons rive gauche et rive droite se rejoignent dans un bassin de raccordement. C'est à cet endroit qu'est installé le local de comptage qui peut recenser séparément les poissons venant des deux rives. Un débit complémentaire de 1,2 m³/s est injecté à partir d'une conduite d'eau soustraite du bief amont de l'usine pour alimenter suffisamment en eau les deux passes à poissons. Jusque-là, le tracé de la solution 'point haut' et de la solution 'tunnel/siphon inversé' est identique.

2.9.4 Solution du point haut

À la mi-2015, la France a jugé techniquement faisable la solution du point haut initialement présentée par les ingénieurs Travade et Larinier (voir figure 27). Dans la solution du point haut, il est prévu que les poissons passent au-dessus des écluses par un pont à passes et empruntent ensuite un autre pont et un dispositif de descente pour rejoindre le Vieux Rhin depuis l'île du Rhin. Cette solution est au stade d'avant-projet.

Les poissons doivent surmonter un dénivelé d'environ 10 mètres du bief aval de l'usine à l'écluse en empruntant une passe à bassins d'une profondeur d'eau de 1,80 m chacun. Ils sont amenés jusqu'au point haut à une cote de 196,80 m et passent au-dessus des écluses à l'aide d'un pisciduc qui les relie ensuite au chenal traversant l'île du Rhin jusqu'au Vieux Rhin. Rien n'est encore planifié sur la rugosité du pisciduc. Le tracé a une longueur totale de 2 100 mètres, la vitesse d'écoulement est de 0,5 m/s et la pente de 0,01 % pour une profondeur d'eau de 1,40 m. Pour franchir le dénivelé de 5 m compris entre le pisciduc et le Vieux Rhin, un ouvrage de chute similaire à l'ascenseur à poissons installé à Golfech sur la Garonne est prévu. Les poissons nagent dans un sas équipé de grilles rabattables les empêchant de faire demi-tour et sont déversés dans le Vieux Rhin à intervalles par ouverture d'une vanne et d'une glissière accompagnant leur chute.

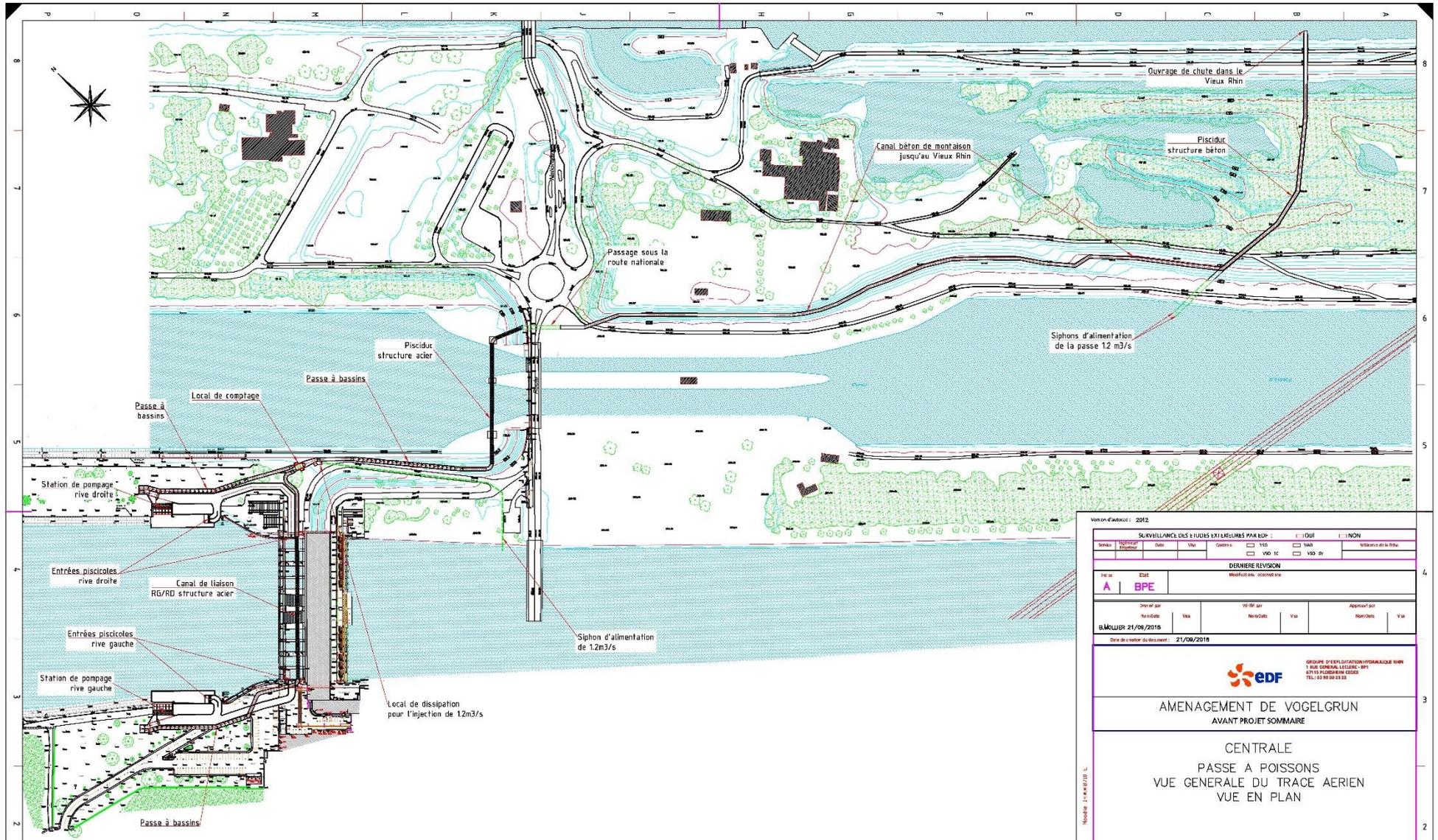


Figure 27 : tracé de la solution du point haut dans l'avant-projet d'EDF

2.9.5 Solution du tunnel/siphon inversé

En option à la solution consistant à traverser les écluses de navigation par un point haut, la France/EDF a examiné et a jugé techniquement faisable la solution tunnel/siphon inversé, c'est-à-dire celle prévoyant une canalisation à écoulement libre jusqu'au garage amont de l'écluse puis un tunnel en charge en forme de siphon inversé sous le garage amont des écluses. Un avant-projet en a été mis au point (cf. figure 28). Les délégations allemande, néerlandaise et suisse ont mis à la disposition d'EDF des informations techniques sur les siphons inversés et de nombreux résultats d'études ichtyobiologiques sur le comportement des poissons dans les siphons inversés. L'utilisation d'un siphon inversé à la place du tunnel à écoulement libre examiné initialement donne une marge de manœuvre plus importante au niveau des lignes d'eau à respecter pour la traversée des déchargeurs.

Le positionnement des entrées de passe sur rive gauche et rive droite et la jonction des deux tracés avec local de comptage sont les mêmes pour la solution 'tunnel/siphon inversé' et la solution du point haut (voir chapitre 2.9.3). Des différences entre les deux variantes de solutions n'apparaissent que sur le tracé postérieur au local de comptage au niveau amont de l'usine.

Il a été discuté au départ d'une solution 'tunnel' prévoyant le transit des poissons dans un tunnel en charge (siphon inversé) de 160 m de long (pour un diamètre de 2,50 m) passant sous les écluses. En entrée du siphon inversé, les poissons auraient dû descendre de 11,4 m et en sortie remonter de 10,9 m pour retrouver le bief amont.

Une nouvelle ébauche de l'avant-projet d'EDF pour la solution 'tunnel' prévoit que les poissons sont guidés dans un ouvrage long de 900 m et composé d'une passe à bassins et d'un tunnel à écoulement à surface libre, qui démarre quelques mètres après le local de comptage, et d'un siphon inversé (tunnel en charge) de 400 m traversant en passage souterrain à une profondeur de 4 à 6 m les écluses et l'île du Rhin pour déboucher directement dans le Vieux Rhin (cf. figure 28). Ce siphon inversé a un diamètre de 1,80 m (jusqu'à 2 m techniquement possible selon le tunnelier utilisé) et l'écoulement est de l'ordre de 0,5 m/s. Le point le plus bas du siphon inversé est environ 20 m au-dessous de la ligne d'eau à l'entrée de ce siphon. Dans le cadre de cette solution, les poissons ont env. 4 mètres de dénivelé à surmonter au total dans une passe à bassins qui les guide vers l'entrée du tunnel.

L'option d'un siphon inversé à écoulement libre en place d'un siphon inversé en charge a également été examinée par les experts mais elle n'a pas été poursuivie plus en détail en raison des contraintes techniques auxquelles elle était liée.

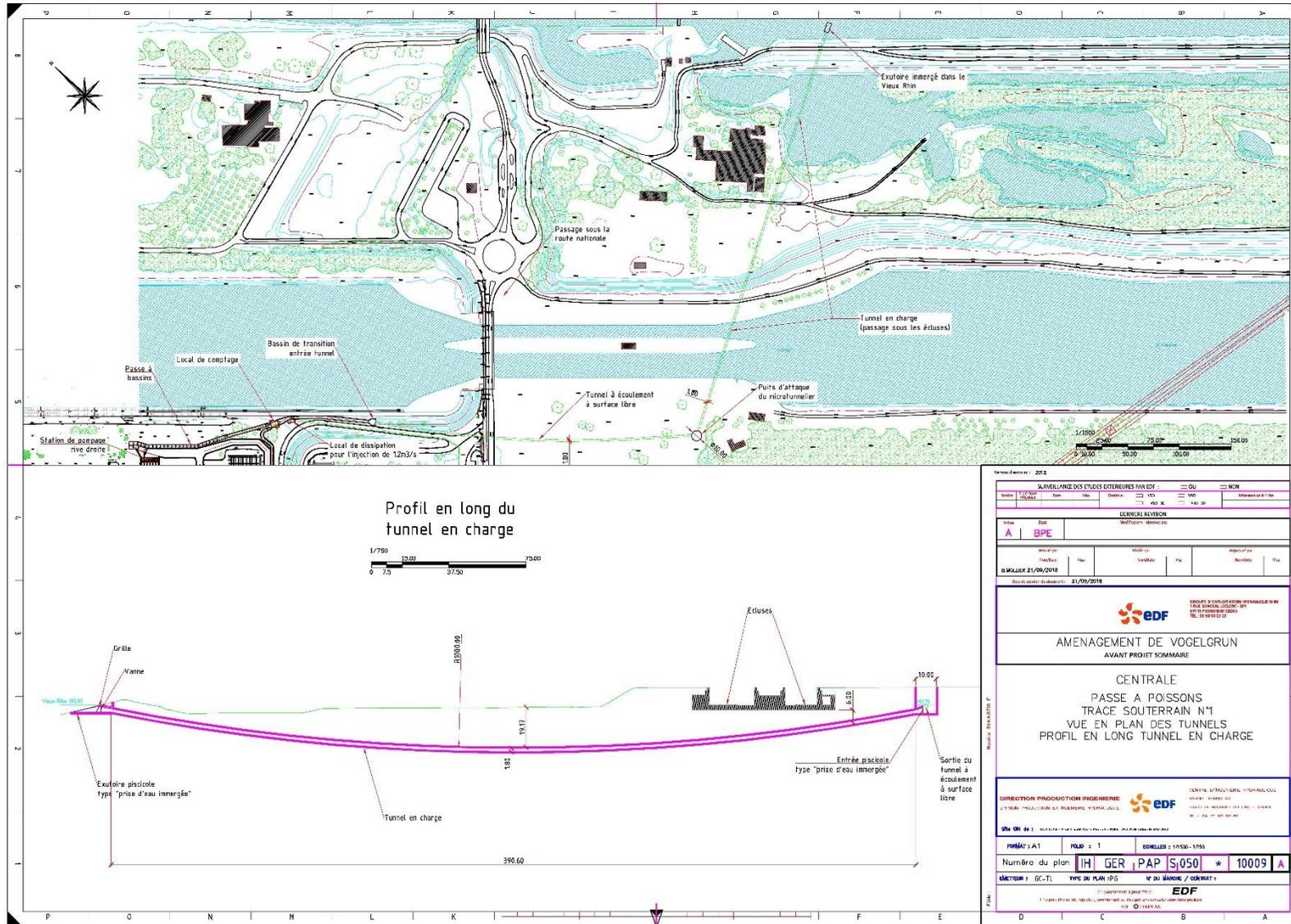


Figure 28 : schéma du tracé de la solution tunnel/siphon inversé en aval des écluses (avant-projet EDF)

Évaluation ichtyobiologique de la solution 'point haut' et de la solution 'tunnel/siphon inversé'

Il a été constaté dans le cadre du GP ORS et avec l'aide d'experts piscicoles internationaux que la solution 'point haut' et la solution 'tunnel/siphon inversé' étaient toutes deux jugées faisables sous l'angle ichtyobiologique. De l'avis d'experts, chaque mètre d'altitude à franchir réduit l'efficacité ichtyobiologique d'une passe à poissons, car il prolonge le temps de séjour du poisson dans la passe et accentue son état de fatigue. Étant donné que la solution du point haut prévoit le franchissement d'un dénivelé d'env. 10 m et que celui-ci n'est que de 4 m dans la passe à bassins de la solution 'tunnel/siphon inversé', les experts partent du principe que la solution 'point haut' est moins efficace pour les poissons que la solution 'tunnel/siphon inversé'.

Dans les deux solutions, il convient selon les experts de tenir compte du fait qu'une hauteur de chute de 30 cm au niveau des entrées de passe peut poser problème à certaines espèces de poissons. On propose des ouvertures de passe pouvant être ajustées en fonction du débit, comme c'est le cas sur les passes à poissons d'Iffezheim et de Gamsheim. Une attention particulière doit ici être accordée aux turbulences se produisant dans le local de comptage après regroupement des poissons venant de rive droite et de rive gauche, et au mélange des flux d'eau, entre autres pour des questions de température.

Dans les deux variantes de solution, il convient de tenir compte du fait que des prédateurs, les silures par ex., peuvent s'installer durablement dans les longs tracés de passes à poissons. Des éléments constructifs en forme d'entonnoir peuvent empêcher les silures de s'engager dans les passes à partir du bief amont. Pour les prédateurs progressant dans la passe à partir du bief aval, aucune solution n'est encore connue.

Indépendamment de la variante de solution considérée, les impacts d'éventuelles différences de température entre le Vieux Rhin et le Grand canal d'Alsace sur le comportement des poissons restent à analyser. Les experts piscicoles estiment en majorité que l'éventuelle différence de température entre le Vieux Rhin et le Grand canal d'Alsace ne posera pas problème. Étant donné que l'eau alimentant le tunnel et le siphon inversé vient du Vieux Rhin, les poissons migrant du bief aval du Grand Canal d'Alsace vers l'amont peuvent s'acclimater progressivement dans le tunnel/siphon inversé à la température de l'eau du Vieux Rhin.

Sous l'angle ichtyobiologique, la température est à prendre en compte au niveau du pisciduc, élément exposé aux impacts météo, dans la **solution du point haut**. Une isolation spéciale, un revêtement de peinture béton ou encore un ombragement pourraient éviter que l'eau ne s'échauffe trop. On trouvera des informations sur les effets de température dans les dispositifs d'aide au franchissement des poissons sur le site de l'Université des ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne (BOKU) <https://www.boku.ac.at/en/personen/person/019A747CB990F126/>.

Des expériences sur les effets de température dans les passes à poissons existent également pour la Columbia River aux États-Unis.

Selon EDF, des expériences sur des dispositifs de descenderie du type prévu entre le pisciduc et le Vieux Rhin dans la solution du point haut existent en France et aux USA. Les experts piscicoles du GP ORS signalent que les poissons regroupés dans le sas de collecte du dispositif de descenderie sont susceptibles de se blesser (https://www.sfv-fsp.ch/fileadmin/user_upload/Herausforderungen/Fischabstieg/PIT_Tagging_Untersuchungen_am_Hochrhein_KW_Rheifelden.pdf). Par ailleurs, une descente sur un dénivelé de 5 m dans le Vieux Rhin induit un risque accru de désorientation et d'apathie des poissons. Ce risque peut être amplifié par le changement brutal de température entre l'eau d'alimentation du pisciduc, qui est soustraite du Grand canal d'Alsace, et l'eau du Vieux Rhin. À côté de l'effet de désorientation, le mode de fonctionnement intermittent de déversement des poissons dans le Vieux Rhin renforce le risque de prédation dû à la capacité d'adaptation des cormorans par ex., à ce rythme.

Le dispositif de descenderie dans le Vieux Rhin devrait être conçu de manière à ce que l'impact soit le « moins brutal » possible afin d'éviter la désorientation des poissons et la prédation en résultant.

Selon les experts, la pression exercée dans le **siphon inversé** ne devrait pas poser problème car les poissons, même les physoclistes, peuvent s'adapter progressivement aux changements de pression sur un tracé de cette longueur. La vitesse d'écoulement indiquée de 0,5 m/s se situe dans la partie supérieure de la plage de 0,3 à 0,5 m/s mentionnée par les experts. Un tunnel d'un diamètre un peu supérieur, par ex. de 2 m, serait plus aisément franchissable par les bancs de poissons et aurait une vitesse d'écoulement plus faible.

Selon les informations des experts, les aloses interrompent leur migration dans l'obscurité et ont donc besoin d'un éclairage avec rythme diurne/nocturne dans les tunnels/siphons inversés

(<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.582.2039&rep=rep1&type=pdf>). Il a été démontré par ex. dans le cadre d'études effectuées sur l'écluse à poissons de Höllenstein que l'éclairage avait un impact positif sur l'efficacité de la migration de nombreuses espèces piscicoles. Les aloses migrant en bancs, un tunnel/siphon inversé de plus grand diamètre serait préférable (voir ci-dessus).

De l'avis des experts, la longueur du tunnel/siphon inversé ne pose pas problème aux poissons. Ainsi, sur une usine hydroélectrique de Norvège, des saumons ont nagé 1,5 km vers l'amont en empruntant par erreur un tunnel en charge évacuant l'eau en sortie de turbine (<https://www.smith-root.com/barriers/sites/rygenefossen-powerplant>).

Afin de clarifier les questions en suspens sur le comportement des poissons dans des siphons inversés, auxquelles la France souhaitait qu'il soit apporté réponse, des entretiens d'experts avec visites de terrain ont eu lieu en Allemagne du Nord et aux Pays-Bas fin 2017/début 2018 avec présentation de rapports d'expériences sur le comportement des poissons dans les siphons inversés.

Les études ichtyobiologiques réalisées dans des siphons inversés non conçus comme passes à poissons montrent que les siphons inversés sont franchissables par de nombreuses espèces de poissons potamodromes et amphihalins. L'efficacité des dispositifs ne faisait pas l'objet de ces études. Les informations ne manquent que pour la grande alose, car cette espèce n'est pas ou n'est que rarement présente dans les deux régions visitées.

En règle générale, la franchissabilité d'un siphon inversé est fonction des performances de nage des poissons (espèce, taille), de la section transversale d'écoulement de l'ouvrage, de l'hydrogramme annuel de débit et de la longueur de l'ouvrage.

De l'avis d'experts néerlandais disposant d'expériences tirées d'études ichtyobiologiques sur les siphons inversés, il est possible de construire des siphons inversés aisément franchissables par les poissons si les aspects suivants sont pris en compte :

- L'entrée et la sortie du siphon inversé doivent toujours être bien alimentés en eau, car un jet d'eau en entrée et une cuvette peu profonde en sortie peuvent entraver le poisson dans sa migration.
- La pente doit être modérée dans l'ouvrage d'entrée (1:3) et dans l'ouvrage de sortie (< 1:3) du siphon inversé.
- Éviter les coudes marqués.
- Éviter les vitesses de courant trop élevées (max. 0,3 à 0,5 m/s selon les espèces visées).
- Assurer que les poissons trouvent la direction les menant au siphon inversé (le débit ne doit pas être trop faible).
- Même sans substrat déposé intentionnellement sur le fond de siphons inversés, ceux-ci sont franchissables pour les poissons. La mise en place de conditions d'écoulement

variées et de zones de refuge, par ex. à l'aide de substrat et de vanes, peut cependant faciliter la remontée de plusieurs espèces piscicoles et est utile en fonction de la longueur de l'ouvrage.

- Le projet de siphon inversé devrait prévoir la possibilité d'effectuer a posteriori des mesures d'optimisation.
- Une grille anti-débris à l'entrée du siphon inversé peut être utile. Cependant, l'écart inter-barreaux doit être tel que les poissons puissent passer au travers.
- L'obscurité totale ne semble pas être un problème (de taille).
- Le mode d'exploitation du siphon inversé doit être adapté aux migrations piscicoles.

En synthèse, on retiendra pour le tronçon de Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrun le résultat suivant :

les progrès atteints par le GP ORS sur la période 2015-2018 portent notamment sur les points suivants :

- (1) deux solutions faisables sous l'angle technique et ichtyobiologique sont disponibles pour un dispositif de montaison piscicole à Vogelgrun ;
- (2) des approches de solutions techniques sont disponibles pour l'entrée dans les dispositifs de montaison sur les barrages de Rhinau, de Marckolsheim et de Vogelgrun ;
- (3) il est ainsi possible de prendre en compte les meilleures techniques disponibles et techniques innovantes pour améliorer la continuité écologique du Rhin dans son ensemble et dans le Rhin supérieur en particulier.

2.9.6 Travaux de moindre ampleur concernant le rétablissement et l'optimisation de la continuité sur les seuils et les barrages agricoles dans ce tronçon

Les nouvelles passes à poissons de Strasbourg et de Gerstheim (voir chapitres 2.7 et 2.8) ouvrent aux poissons migrateurs l'accès aux 59 ha potentiels de frayères (à saumons) de l'hydrosystème Elz-Dreisam si les conditions de franchissement sont améliorées dans le même temps au droit des trois seuils fixes (1-2 m de chute) placés sur l'ancien lit du Rhin de Tulla dans les festons de Gerstheim (1) et de Rhinau (2), afin que les poissons puissent remonter vers les habitats via le canal Leopold (voir carte K 7 du 2^e PdG Rhin, décembre 2015).

Ces seuils sur les festons du Rhin de Gerstheim et de Rhinau sont équipés depuis leur construction d'une passe à bassins en rive droite et d'une passe à ralentisseurs en rive gauche mais sont toutefois peu franchissables ; en effet quelques poissons les franchissent mais ce constat n'est pas validé par un monitoring. Pour chaque seuil, une étude de faisabilité finalisée en 2006 sur mandat de la CIPR propose 3 scénarii de niveaux différents impliquant tous la construction d'une nouvelle passe à poissons fonctionnelle sur au moins une rive (voir rapport CIPR n° 158). De l'avis de l'Allemagne, ceci est nécessaire pour rendre accessible l'hydrosystème Elz-Dreisam et atteindre dans ces cours d'eau les objectifs définis par la directive cadre sur l'eau. La France propose elle des solutions d'amélioration des passes existantes sur la rive gauche.

Il existe aussi des connexions importantes entre le Rhin et des espaces alluviaux de haute qualité écologique en amont des deux seuils fixes du feston de Marckolsheim. Des poissons grands migrateurs y ont déjà été détectés récemment (par ex. dans la Blauwasser en DE-BW), bien que les passes à poissons existant sur les seuils ne soient pas franchissables selon la carte K7 du 2^e PdG Rhin, décembre 2015, ou que leur franchissabilité soit très restreinte (France). Cette constatation illustre la pression migratoire en présence et les potentialités de repeuplement en poissons migrateurs qu'offrent ces zones.

Sous l'angle de l'Allemagne, il est important de relier dans un réseau ichtyobiologique le Rhin et ses affluents en aval de Vogelgrun pour atteindre les objectifs de la Directive cadre 'Eau' côté allemand. Pour l'Allemagne, il est nécessaire que la France effectue les

aménagements requis pour améliorer la continuité ichtyobiologique sur les autres seuils fixes situés dans les festons du Rhin.

La CIPR et son GP ORS constituent une plate-forme d'information et de discussion dotée d'une fonction consultative. Dans ce contexte, cette plateforme suit les travaux de planification des avant-projets à mettre au point et de la phase de projet de construction de mesures supplémentaires de moindre ampleur concernant le rétablissement et l'optimisation de la continuité dans les festons sur les seuils et barrages agricoles (entre autres passe à poissons sur le barrage agricole de Breisach). Elle effectue également une évaluation des résultats.

La gestion et l'exploitation de ces seuils sont suivies par le Comité A franco-allemand conformément aux accords bilatéraux de 1956³.

Le GP ORS de la CIR a mis à disposition du Comité A un document regroupant les conditions ichtyobiologiques s'appliquant aux mesures visant à rétablir la continuité sur les seuils fixes des festons rhénans ainsi que sur le barrage agricole de Breisach.

2.10 barrage agricole de Breisach

Le barrage a été créé pour soutenir le niveau de la nappe en Allemagne. Il joue aussi un rôle dans la gestion des inondations.

Une microcentrale exploite depuis 2008 la chute de 5,7 m pour la production énergétique. La passe à poissons construite à cette date permet aux poissons migrateurs de remonter dans le Vieux Rhin. Le dispositif de dévalaison leur permet de rejoindre le Rhin en direction de la mer. Ces systèmes de franchissement ont été conçus pour les saumons et truites de mer, les poissons blancs locaux et les anguilles.

La passe à poissons de montaison est installée en rive gauche de la centrale avec un débit de 0,8 m³/s. Elle comprend 21 bassins, afin de fractionner la hauteur à franchir, réduite à 25 cm entre bassins.

Le dispositif de dévalaison est constitué de 2 ouvrages, en rive droite et en rive gauche de la centrale, avec un débit unitaire de 1,5 m³/s. Il se compose de quatre entrées : deux en surface pour les poissons migrant dans le haut de la colonne d'eau, comme les smolts de saumons, et deux au fond pour les poissons se déplaçant au fond des cours d'eau, comme les anguilles.

L'entrée de la passe à poissons au droit du barrage agricole de Breisach doit encore être améliorée (voir Plan de Gestion Rhin 2015 coordonné au niveau international).

Le **Vieux Rhin** en amont du barrage agricole de Breisach est ouvert à la migration piscicole. On y trouve environ 60 ha de frayères et d'habitats potentiels de juvéniles pour les poissons migrateurs, par ex. le saumon.

Des mesures sont en cours sur rive allemande pour prévenir les inondations et améliorer durablement les conditions écologiques des habitats aquatiques et alluviaux entre Kembs et Breisach sur 50 km. Ces mesures devraient se traduire par une restauration à grande échelle de l'écosystème du Vieux Rhin. Le chapitre 2.11 décrit ci-après d'autres mesures prises dans le Vieux Rhin.



Figure 29 : barrage agricole et microcentrale de Breisach

³ Convention de 1956 entre la République française et la République fédérale d'Allemagne sur l'aménagement du cours supérieur du Rhin entre Bâle et Strasbourg.

2.11 Kembs/Märkt (à proximité de Bâle)

De nombreuses mesures en relation avec le renouvellement de la concession de l'usine de Kembs ont été réalisées depuis 2010.

À proximité du barrage de Kembs (Märkt), une nouvelle centrale hydroélectrique est équipée de 2 turbines à axe horizontal d'une puissance de 4,2 MW chacune. Elle contribue à la délivrance dans le Vieux Rhin du débit réservé (débit minimum nécessaire au développement de la vie aquatique) à hauteur de 52 m³/s en hiver et jusqu'à 150 m³/s en été. Ce débit minimum, qui était de 20 m³/s avant 2010, a été relevé sur proposition d'EDF dans le cadre du renouvellement de la concession.

La nouvelle centrale de restitution fait transiter 7 m³/s dans une petite rivière latérale qui débouche dans le Vieux Rhin. L'ouverture officielle de cette rivière latérale dénommée « Petit Rhin » a eu lieu le 5 juin 2015. Les 7 m³/s permettent d'alimenter les zones humides favorisant le retour de la biodiversité. En outre, une partie de l'île du Rhin a été renaturée. De plus, des processus hydromorphologiques plus étendus sont tolérés sur la rive française (érosion maîtrisée à deux endroits). Un projet INTERREG auquel étaient associés des experts alsaciens (F) et bade-wurtembergeois (D) a pris fin en 2012 (apport de débit solide par déversement contrôlé de gravier). Les matériaux extraits du chantier de la nouvelle centrale hydroélectrique de Kembs ont été utilisés pour l'apport en débit solide.

De nouvelles passes à poissons, une pour la montaison et une pour la dévalaison (avec centrale de restitution), ont été aménagées à l'extrémité de la centrale en amont du Vieux Rhin. Elles sont entrées en service à la mi-2016 (coûts : 8 millions d'euros). Elles sont directement intégrées dans le génie-civil de la centrale, ce qui améliore leur efficacité et leur intégration au bâtiment.



Figure 30 : vue du site du barrage et de la passe à poisson de Kembs/Märkt. À gauche : barrage de Kembs/Märkt ; Grand canal d'Alsace et Vieux Rhin. À droite : dispositifs de montaison sur le barrage de Kembs/Märkt. Photo : EDF

2.12 Haut Rhin

Pour que les poissons migrateurs puissent poursuivre leur remontée dans le Rhin, une fois Bâle atteinte, et rejoindre les frayères et zones de grossissement (env. 200 ha pour le saumon selon de nouvelles connaissances obtenues en 2013, par ex. dans l'Aar jusqu'au lac de Bienne et dans la Limmat, la Reuss, la Sihl, la Reppisch, la Bünz, la Suhre, la Wigger, ainsi que dans les affluents du haut Rhin, par ex. la Thur, la Töss, la Glatt et le Mohlinbach), la Suisse a étendu les mesures du Plan directeur 'Poissons migrateurs' aux affluents du haut Rhin et de l'Aar.

La remise en état de 10 usines du haut Rhin (plus celle de Schaffhouse non pertinente pour les poissons migrateurs amphihalins) est planifiée conformément aux plans stratégiques des cantons.

L'Aar doit être rendue accessible jusqu'au lac de Bienne (15 ouvrages transversaux) ; à ceci s'ajoutent 2 ouvrages transversaux sur la Birs (7 étant déjà franchissables), 1 sur l'Ergolz, 6 sur la Biber, 1 sur le tronçon suisse de la Wiese.

Les coûts devraient évoluer dans un ordre de grandeur total d'au moins 200 à 300 millions de CHF. Les efforts de recherche se poursuivent en Suisse pour rétablir le passage des poissons à la dévalaison à hauteur des grandes usines hydroélectriques. Par ailleurs, deux projets pilotes ont été lancés pour améliorer la dévalaison des poissons dans l'Aar. Ces mesures soulignent le poids particulier accordé à la question de la dévalaison dans le haut Rhin et les autres fleuves en Suisse.

Toutes les usines hydroélectriques suisses doivent être restaurées d'ici 2030 au plus tard. Sur le haut Rhin, les cantons ont fixé les échéances de restauration de la montaison jusqu'en 2022. Les échéances de deux usines sur le haut Rhin ne sont pas encore fixées. Les échéances de restauration des usines ont été ajustées aux décisions contraignantes prises en Conférence ministérielle à Bâle de 2013 et prescrivant le retour des saumons à Bâle d'ici 2020. La figure 31 montre les restaurations ponctuelles à entreprendre sur les usines hydroélectriques et les habitats potentiels de frai à l'exemple du saumon atlantique.

Tableau 2 : mesures de restauration de la continuité piscicole en Suisse

Bassin	Nombre de mesures d'aide à la montaison	Nombre de mesures d'aide à la dévalaison
Haut Rhin	6 (AG) 1 (BL)	13 (AG) 2 (BL)
Aar (jusqu'au lac de Biemme)	13 (AG) 1 (BE) 1 (SO)	15 (AG) 1 (BE) 4 (SO)
Aar (du lac de Biemme à Thoune)	2 (BE)	2 (BE)
Limmat	5 (AG) 5 (ZH)	10 (AG) 5 (ZH)
Reuss	5 (AG) 3 (LU)	5 (AG) 3 (LU)
Wiese	1 (BS)	2 (BS)
Birs	8 (BL)	8 (BL)
Plus petits affluents dans la zone salmonicole potentielle	à compléter	à compléter

Légende : cantons Argovie (AG), Bâle-Campagne (BL), Bâle-Ville (BS), Berne (BE), Lucerne (LU), Soleure (SO), Zurich (ZH)

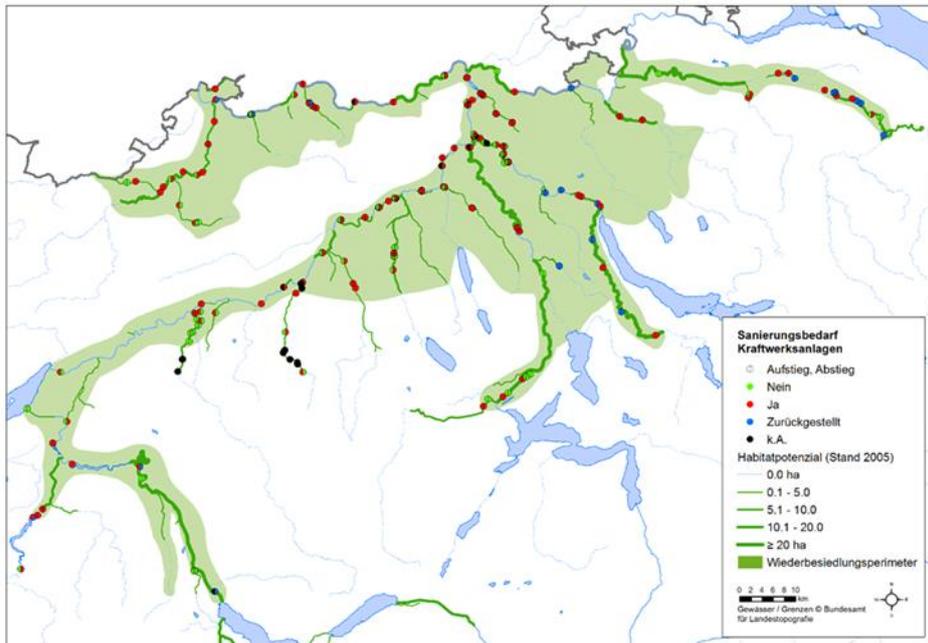


Figure 31 : restaurations à entreprendre sur les usines du haut Rhin, de l'Aar et dans les affluents suisses. Moitié gauche du point : montaison, moitié droite : dévalaison. Point vert : pas de restauration nécessaire ; point rouge : restauration nécessaire ; point bleu : reporté ; point noir : aucune indication. L'épaisseur du trait vert des rivières symbolise les potentialités en habitats pour l'espèce migratrice 'saumon atlantique' (en 2005) : de 0,1-5,0 ha à ≥ 20 ha ; la surface en vert montre le périmètre de réimplantation. Source : OFEV

Pour la partie allemande de l'hydrosystème du haut Rhin, ce sont la Wiese en amont du cours aval situé en Suisse et quelques-uns de ses affluents qui ont été désignés les zones de réimplantation du saumon. Dans ces zones, 15 ouvrages ont été rendus franchissables et la morphologie fluviale a été améliorée. En outre, l'aménagement de 29 autres ouvrages et d'autres mesures de restauration des habitats sont successivement programmés jusqu'en 2027. Il est prévu de reconquérir ainsi 22 ha de frayères et de zones de grossissement au total.