

**Analyse ichtyo-écologique globale
et évaluation de l'efficacité
des mesures en cours
et des mesures envisagées
dans le bassin du Rhin
pour réintroduire
les poissons migrateurs**

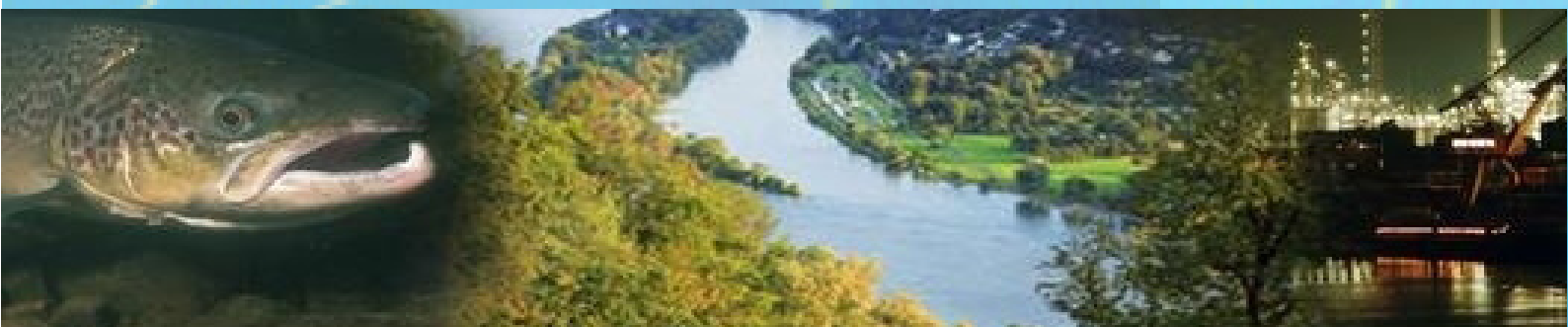


Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport n° 167



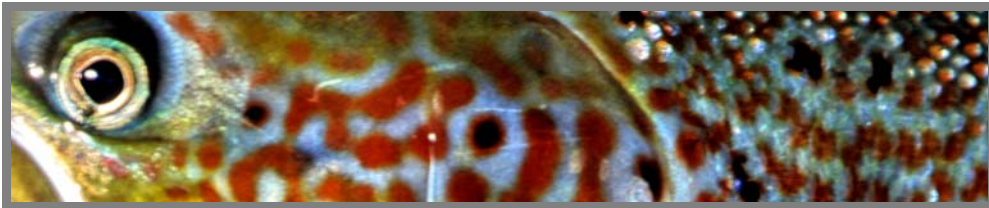
Editeur:

Comission 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

Traduction: Isabelle Traue, Dominique Falloux

ISBN 978-3-941994-03-04
© IKSr-CIPR-ICBR 2009

Analyse ichtyo-écologique globale et évaluation de l'efficacité des mesures en cours et des mesures envisagées dans le bassin du Rhin pour réintroduire les poissons migrateurs.



Etude réalisée pour le compte de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin (CIPR), 2009

Jörg Schneider
Bürogemeinschaft für Fisch- und gewässerökologische Studien – BFS
Unterlindau 78, D-60323 Francfort sur le Main

Francfort sur le Main, mai 2009

SOMMAIRE

Glossaire sur les poissons migrateurs	4
1. Introduction	6
2. Nombre d'adultes de retour et interprétation de l'abondance des peuplements	10
3. Analyse des facteurs	23
3.1 Quels sont les facteurs pertinents ayant une influence sur les poissons amphihalins ?	23
3.2 Quelles espèces amphihalines (ou stades de vie) sont fortement influencées par quels facteurs et quelles sont les périodes de migration de ces espèces ?	28
3.3 Quelle est l'influence de la continuité linéaire sur les peuplements de poissons migrateurs et quel est le nombre probable d'adultes de retour en cas d'accessibilité de frayères et zones de grossissement appropriées dans les différents sous-bassins (sélection : Rhin inférieur, Rhin moyen, Moselle, Main, Rhin supérieur méridional, haut Rhin) et dans quels sous-bassins ou segments du Rhin les potentialités sont-elles les plus élevées ?	41
3.4 Quel est le rapport entre les efforts de repeuplement salmonicole et le nombre d'adultes de retour enregistré au droit des stations de contrôle (<i>taux de retour</i>) et quels facteurs peuvent éventuellement être identifiés comme facteurs d'influence ?	51
3.5 Quels sont les facteurs <i>limitants</i> (pour les usines hydroélectriques : quels sont les critères pertinents) ?	64
4. Propositions de mesures	98
4.1 Pêche	98
4.2 Continuité	99
4.2.1 Ecluses d'Haringvliet	99
4.2.2 Rhin supérieur méridional	100
4.2.2.1 Recommandations sur les propositions de l'étude STUCKY – Phase II (2006)	100
4.2.2.2 Kembs	102
4.2.2.3 Augmentation de l'efficacité des installations de remontée des poissons à Iffezheim et Gamsheim	103
4.2.3 Biefs sur la Moselle	104
4.2.4 Intégration des écluses de navigation et de passage des bateaux de plaisance dans les projets de remontée	104
4.2.5 Affluents	104
4.3 Prédation	108
4.4 Température	109
4.5 Qualité des habitats, qualité des eaux et sédiments	109
4.6 Liste des priorités et coûts des mesures proposées pour les sous-bassins et l'hydrosystème dans son ensemble	111
4.7 Propositions d'analyses complémentaires	130
5. Aménagement/rétablissement de la continuité vers l'amont au droit des barrages de Strasbourg et de Gerstheim (barrages mobiles inclus) et aménagement de seuils dans les festons de Gerstheim et Rhinau aux fins d'ouvertures de l'hydrosystème Elz-Dreisam	131
Bibliographie	134

ANNEXE

I. Recommandations de la CIPR aux Etats riverains du Rhin sur la réduction des pêches accessoires et des captures illicites de saumons, truites de mer et truites lacustres (salmonidés)

II. Procès-verbal de l'entretien sur le thème « Captures accessoires et pêche illégale »

III. Données sur les débits du Rhin 1998 - 2007

IV. Résultats des comptages de poissons au droit des passes à poissons d'Iffezheim et de Gamsheim

V. Statistiques de la CIPR « Saumons identifiés dans l'hydrosystème du Rhin » 1990 - 2008

VI. Résultats des recherches de l'université de Kassel : Pompe de débit d'attrait, meilleure conversion de l'énergie dans les passes à fentes par la mise en place d'éléments-brosses

VII. Connexions entre l'hydrosystème Elz-Dreisam et le Rhin supérieur

Glossaire sur les poissons migrateurs :

Alevin : poisson juvénile dans les premiers mois de sa croissance depuis l'éclosion jusqu'au stade de tacon (voir ce terme)

Allochtone : qui n'est pas indigène (terme également utilisé pour les saumons importés ou issus d'alevinage et d'origine étrangère) ; opposé à autochtone (voir ce terme).

Ammocète : larve de la lamproie

Anadrome : se dit d'une espèce dont la reproduction et la phase juvénile se déroulent en eau douce et la phase adulte en mer (exemple : saumon, truite de mer, grande alose, lamproie marine, esturgeon).

Autochtone : qui est indigène (terme également utilisé pour les saumons initialement d'origine étrangère mais issus entre-temps d'une reproduction naturelle dans l'hydrosystème du Rhin) ; opposé à allochtone (voir ce terme).

Catadrome : se dit d'une espèce dont la reproduction et la phase juvénile se déroulent en milieu marin et la phase adulte en eau douce (par exemple l'anguille)

Courant d'attrait : appelé également *courant d'appel* ; courant perçu par les poissons migrateurs comme signal d'orientation (leur permettant entre autres de repérer les entrées des dispositifs de remontée)

Emergence : phase pendant laquelle l'alevin quitte son abri entre les graviers de la frayère (milieu interstitiel) une fois épuisées ses réserves vitellines ; début de l'alimentation autonome.

Homing (anglais) : « retour au gîte », capacité des saumons adultes à retrouver leur rivière natale

Juvénile : jeune poisson (stade de vie correspondant à la phase de croissance en eau douce chez les espèces anadromes)

Madeleineau (syn. castillon, grilse) : saumon de petite taille retournant en eau douce après un seul hiver en mer (également appelé saumon d'un hiver)

Métapopulation : groupe de populations ou de sous-populations procédant entre elles à des échanges génétiques (le plus souvent restreints)

Migration : terme englobant à la fois la montaison et la dévalaison

Milieu interstitiel : système d'interstices du radier graveleux alimenté en courant, dans lequel se déroule la phase de croissance des œufs et des larves vésiculées des poissons frayant sur gravier (entre autres le saumon et la truite de mer)

Poisson erratique : (anglais: *strayer*): poisson adulte en cours de montaison qui ne remonte pas dans sa rivière d'origine mais dans un autre cours d'eau (dans le cas du saumon, il s'agit le plus souvent de rivières géographiquement proches de son site d'origine)

Poisson laité : Poisson mâle mature

Poisson oeuvé : poisson femelle mature

Population : peuplement constituant une unité de reproduction relativement autonome et dont l'échange génétique avec d'autres populations reste faible

Post-smolt : smolt ayant atteint la mer

Potamodrome : se dit d'une espèce effectuant l'intégralité de son cycle de vie en eau douce ; elle peut migrer au sein du milieu fluvial (par exemple la truite fario)

Prédateur : se dit d'un organisme capturant des proies vivantes pour s'en nourrir

Salmonidés : famille de poissons comprenant entre autres le saumon atlantique, le saumon pacifique et les différentes espèces de truites

Saumon PHM ou grand saumon : Saumon ayant passé « Plusieurs Hivers en Mer » ; adulte migrateur de grande taille ayant séjourné au moins deux ans (hivers) en mer

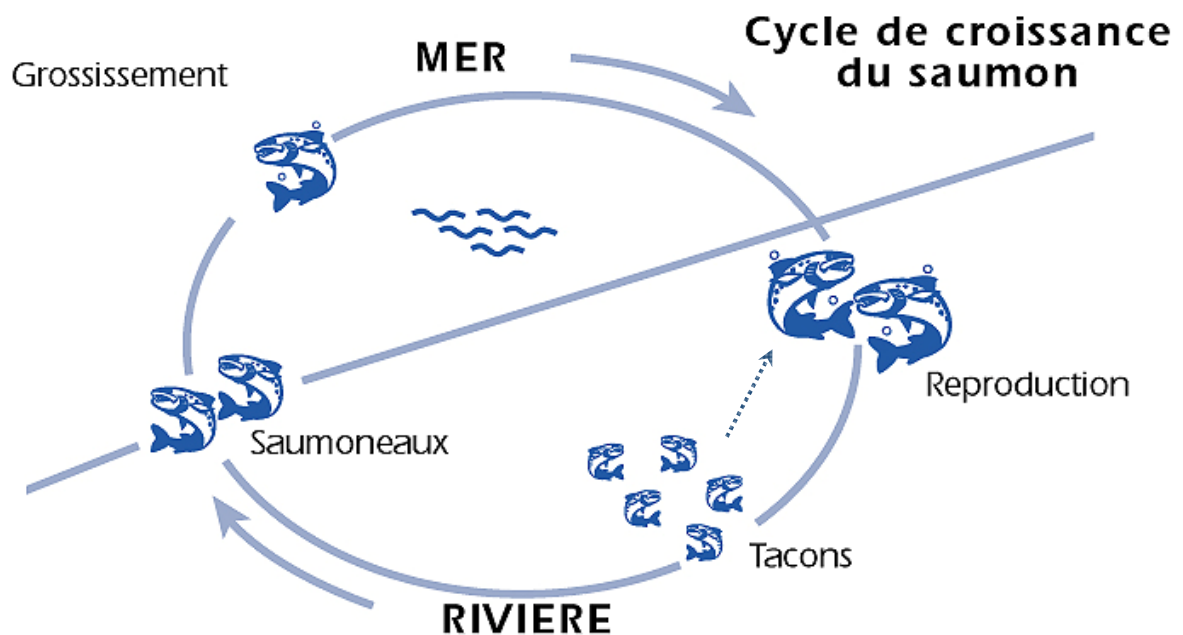
Smolt (ou saumoneau dans le cas du saumon) : juvénile de salmonidé de robe argentée après la métamorphose (« smoltification ») survenant fréquemment entre la 2^{ème} et la 4^{ème} année. Le smolt dévale en direction de la mer en groupes ou en bancs le plus souvent au printemps

Smoltification : transformation physiologique du tacon en smolt (lui permettant entre autres de s'adapter aux eaux salées)

Sous-population : peuplement constituant une unité de repeuplement peu isolée et en échange génétique permanent avec des sous-populations voisines au sein d'une même population

Tacon spermiant : jeune saumon déjà mature en eau douce avant sa dévalaison au stade de saumoneau (smolt) et apte à se reproduire (il s'agit pour l'essentiel de tacons mâles précocement « laités ») ; dans de rares cas, ces poissons ne dévalent pas (tacons précoces stationnaires)

Tacon : jeune saumon de 1 à 3 ans avant la smoltification ; sa robe est similaire à celle de la truitelle



1. Introduction

Conformément au communiqué ministériel du 18 octobre 2007, la présente étude a pour but de mettre en avant l'efficacité des mesures de réintroduction des poissons migrateurs amphihalins dans le bassin du Rhin déjà réalisées. L'accent est mis sur la restauration d'un peuplement naturel de saumons ; les données disponibles sur la truite de mer, la grande alose et la lamproie marine, y compris leurs stades de vie, sont également évaluées et considérées par espace géographique (sous-bassins et hydrosystèmes). Les peuplements d'anguilles *ne font pas* l'objet de la présente étude ; cette espèce est traitée à part dans le Plan directeur de la CIPR.

Sur cette base, il est prévu de proposer des mesures ou des combinaisons de mesures de restauration complémentaires et cohérentes. Ces mesures doivent par ailleurs justifier les priorités à fixer de manière à ce que les moyens financiers disponibles à l'horizon 2015 et après 2015 soient utilisés de manière optimale.

A partir de ces propositions, les Etats choisiront les mesures qui deviendront partie intégrante des programmes de mesures nationaux au titre de la DCE et du programme « Rhin 2020 ». Ces mesures prévues seront intégrées d'ici fin 2009 dans le « Plan directeur 'Poissons migrateurs' Rhin » qui fera partie du Plan de gestion international Rhin (partie A). Les mesures seront réalisées par les Etats en deux phases, soit d'ici 2015 soit d'ici 2020/2027.

L'étude met l'accent sur le Rhin supérieur méridional, ce tronçon présentant les plus grands déficits au niveau de la continuité longitudinale et impliquant par là même les investissements les plus lourds pour réimplanter et/ou promouvoir les peuplements de poissons migrateurs amphihalins. Par ailleurs et à l'opposé de ce qui se passe dans le delta du Rhin (par ex. Haringvliet) ou dans les grands affluents du Rhin (par ex. la Moselle), il n'existe pas encore de plans détaillés dépassant le cadre d'études générales de faisabilité pour la plupart des barrages et autres ouvrages. Il convient de concrétiser entre autres les conditions requises pour l'ouverture de l'hydrosystème Elz-Dreisam et celles nécessaires à la mise en place de passes à poissons au droit du barrage de Gerstheim et des barrages agricoles dans les festons de Gerstheim et Rhinau. Les conditions d'accessibilité des frayères pour les espèces amphihalines jusqu'à la région de Bâle sont également à examiner.

Une première phase consistera à présenter les connaissances disponibles sur l'état des peuplements (conditions génétiques, taille actuelle des peuplements) des espèces cibles. Ici, on se fondera pour l'essentiel aux données collectées dans des stations de contrôle sélectionnées (Rhin : Iffezheim et Gambsheim ; Moselle : Coblenz et Sieg : Buisdorf) ainsi qu'aux données sur la reproduction naturelle dans l'hydrosystème rhénan (chapitre 2).

La seconde étape consistera à évaluer les données disponibles en fonction des différentes questions posées (chapitre 3).

L'analyse des données disponibles doit permettre de répondre aux questions suivantes :

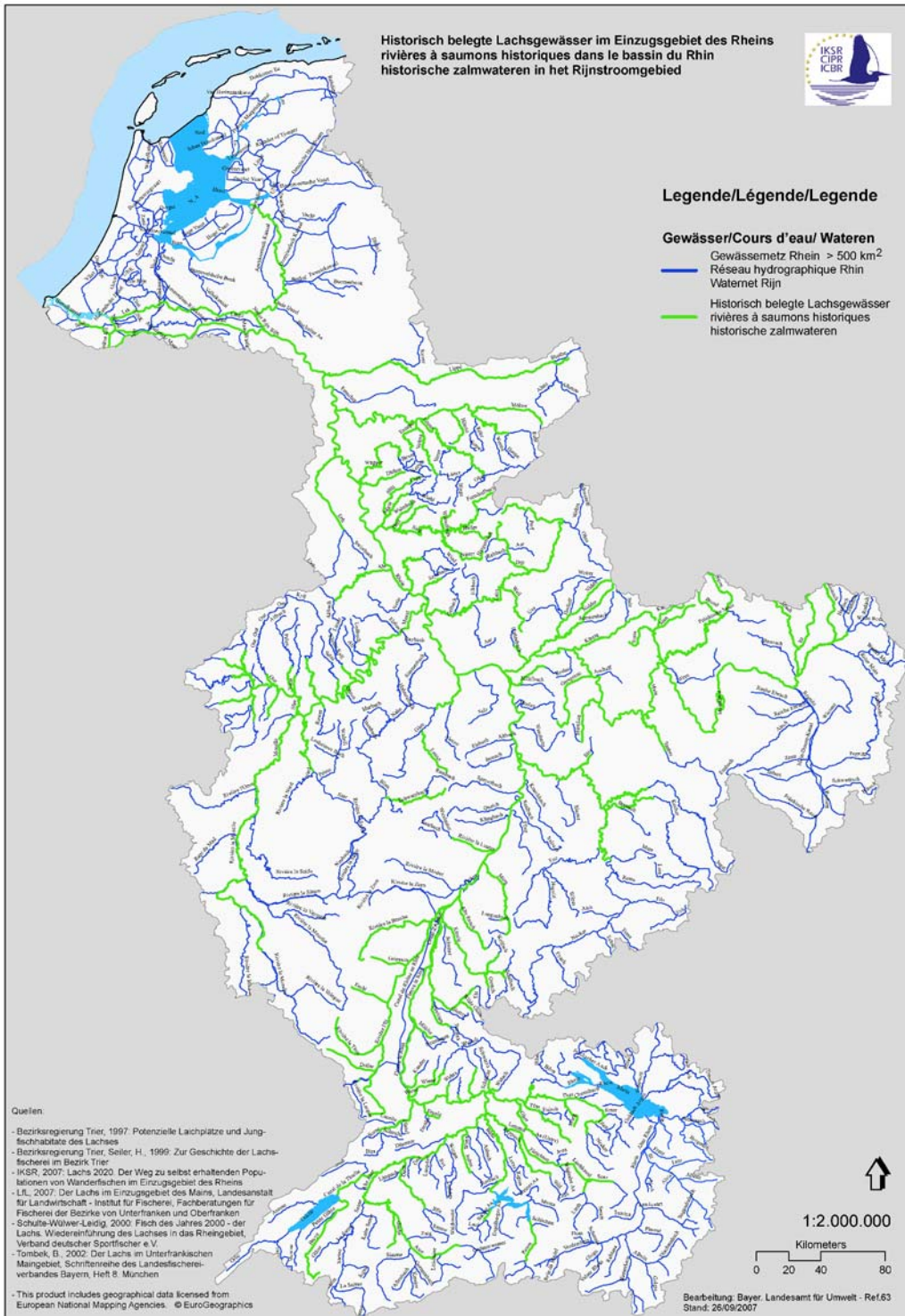
- I. Quels sont les facteurs pertinents ayant une influence sur les poissons amphihalins ?
- II. Quelles espèces piscicoles amphihalines (ou stades de vie) sont fortement influencées par quels facteurs et quelles sont les périodes de migration de ces espèces ?
- III. Quelle est l'influence de la continuité linéaire sur les peuplements de poissons migrateurs et quel est le nombre probable d'adultes de retour en cas d'accessibilité de frayères et zones de grossissement appropriées dans les différents sous-bassins (sélection : Rhin inférieur, Rhin moyen, Moselle, Main, Rhin supérieur méridional, haut Rhin) et dans quels sous-bassins ou segments du Rhin les potentialités sont-

elles les plus élevées ? [approche théorique rapportée à la surface selon frayères et zones de grossissement]

- IV. Quel est le rapport entre les efforts de repeuplement et le nombre d'adultes de retour enregistré au droit des stations de contrôle (*taux de retour*) et quels facteurs peuvent éventuellement être identifiés comme facteurs d'influence ? [seulement le saumon à cause des opérations de repeuplement]
- V. Quels sont les facteurs *limitants* (pour les usines hydroélectriques : quels sont les critères pertinents) ?

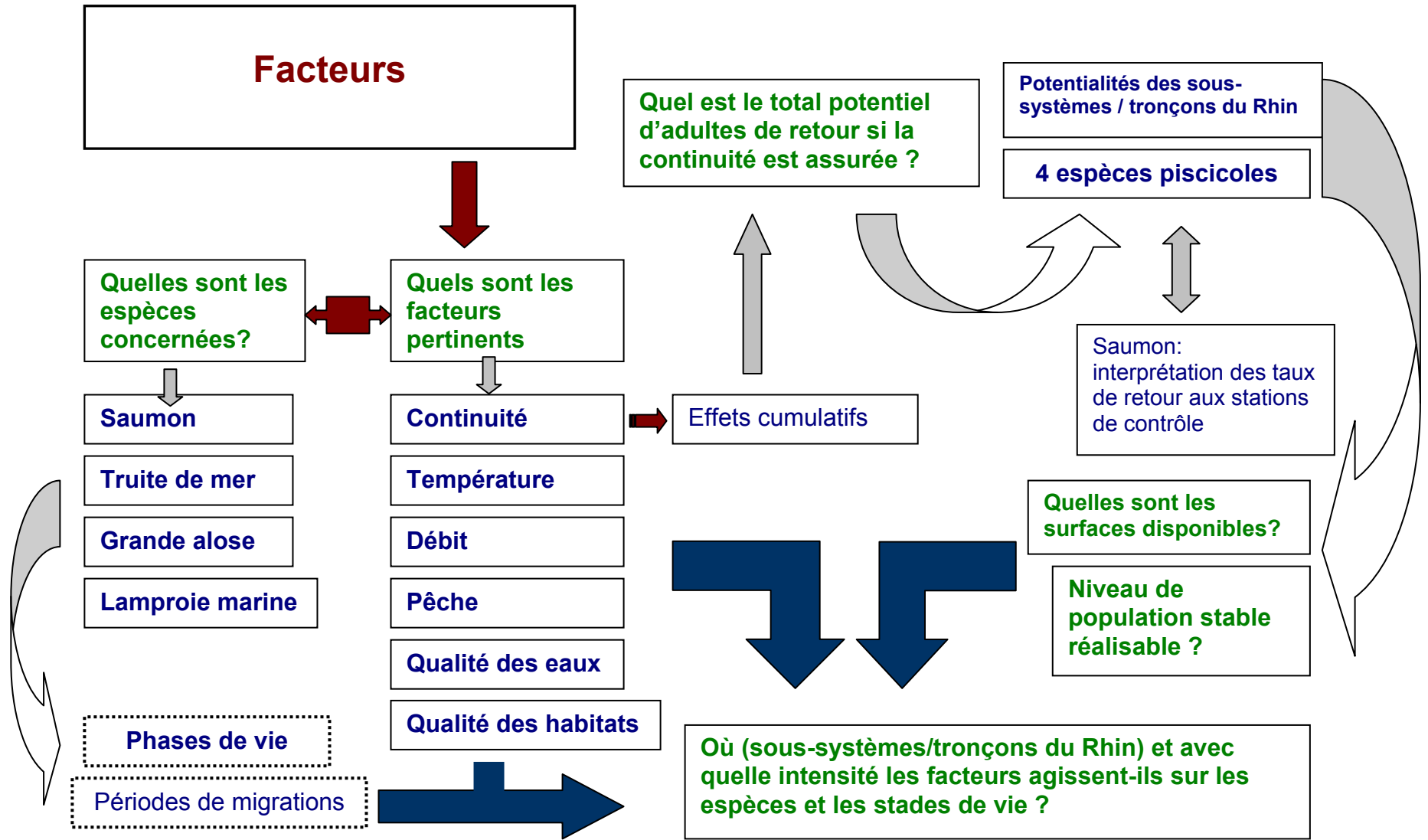
A partir des informations disponibles, on proposera des mesures classées en fonction de leur priorité eu égard aux principaux déficits. Ceci englobera également des propositions de lancement d'autres études (chapitre 4.).

Le chap. 5 rassemblera les informations sur l'aménagement/le rétablissement de la continuité vers l'amont au droit des barrages de Strasbourg et de Gerstheim et l'aménagement des obstacles à la migration dans les festons de Gerstheim et Rhinau pour l'ouverture de l'hydrosystème Elz-Dreisam.



Carte historique des rivières salmiconales dans l'hydrosystème du Rhin (CIPR, 2007)

Schéma : Phases d'évaluation



2. Nombre d'adultes de retour et interprétation de l'abondance des peuplements

Conditions génétiques générales relatives aux espèces cibles

Il s'impose d'interpréter les peuplements des espèces pour pouvoir estimer les impacts potentiels (positifs ou négatifs) des facteurs mentionnés au chapitre 3. Pour ce faire, nous esquisserons tout d'abord les différentes conditions génétiques requises par les espèces cibles du fait de leur cycle spécifique et de leur comportement migratoire.

Les petites populations, éventuellement dispersées dans l'espace, sont toujours plus sensibles aux facteurs négatifs et moins bien « armées », à cause du nombre limité d'individus, que les peuplements abondants concentrés dans une grande zone cohérente. En conséquence, la connaissance de l'état actuel des populations de poissons migrateurs dans le Rhin est très importante pour procéder à une gestion différenciée. On s'intéressera particulièrement à la question de la taille critique des peuplements, c'est-à-dire aux peuplements si petits qu'ils se trouvent dans une situation de « *bottle-Neck* » sous l'angle génétique (perte de la variabilité génétique, risque de consanguinité), faisant ainsi augmenter le risque d'effondrement de la population.

Dans ce contexte, la structure des populations entre autres est déterminante au méta-niveau : est-ce que la population est pour l'essentiel isolée (= les échanges génétiques avec d'autres populations sont très limités) ou est-ce que le peuplement est formé à partir d'une métapopulation en mesure de compenser par la migration et la recolonisation des baisses de populations ou des effondrements locaux ? Un facteur décisif est le phénomène de « *homing* » (imprégnation de la « rivière natale »). Est-ce qu'une espèce recherche pour se reproduire, et avec quelle précision, le cours d'eau ou l'hydrosystème qu'ont quitté les juvéniles ? Le *homing* peut être interprété comme une *isolation géographique comportementale* et la recolonisation potentielle de rivières « orphelines » est d'autant plus faible que le *homing* est prononcé et que le taux d'erratisme est bas. Pour le saumon (qui a un sens du *homing* très prononcé), la *recolonisation potentielle* est donc très faible ; elle est limitée chez la grande alose et la truite de mer (*homing* élevé et modéré) et très élevée chez la lamproie marine (qui n'a pas de sens du *homing*).

Un autre facteur déterminant pour la recolonisation potentielle (ou la stabilité des peuplements) dans des hydrosystèmes où la continuité n'est que partielle est le « degré d'anadromie ». Pour les espèces qui ont des variantes anadromes et potamodromes (ou presque sédentaires) et dont le « degré d'anadromie » est faible (par ex. la truite *Salmo trutta*), les grands migrateurs (potamotoque : truite de mer) se recrutent également dans les populations d'eau douce (truite fario), ce qui explique que l'amélioration de la qualité des eaux du Rhin en tant que corridor de migration au début des années 80 a conduit assez rapidement à une réapparition de la truite de mer. A l'opposé, les lamproies marines et les grandes aloses dans l'hydrosystème Rhin sont obligatoirement potamotoques (degré maximal d'anadromie) ; leur potentiel de recolonisation dépend donc directement du taux d'erratisme. Le saumon est un cas un peu particulier car (du moins dans les rivières productives comme l'hydrosystème rhénan) une partie de la population (tacons juvéniles « matures à un stade précoce » des classes d'âge 0+, 1+, 2+) est mature en eau douce et migre vers la mer (le plus souvent l'année suivante) ou reste pour un faible pourcentage (1 à < 5%) en eau douce sans migrer (SCHNEIDER, 1998). Les femelles étant obligatoirement potamotoques (exception faite des populations enclavées ou des populations d'eau douce en Europe du Nord et en Amérique du Nord), cette forme « d'anadromie facultative » n'a que de faibles impacts sur le potentiel de recolonisation du saumon.

Les données de base susmentionnées donnent lieu à une évaluation complètement différente des dangers auxquels sont soumises les quatre espèces cibles considérées dans la présente étude :

- Pour les lamproies marines, on ne connaît pas de phénomène de homing au sens d'une imprégnation (les rivières colonisées semblent cependant « plus attractives » du fait des phéromones émises par des individus du sexe opposé et des odeurs émises par les ammocètes ; l'espèce est potamotouque (pas de population d'eau douce dans l'hydrosystème rhénan). Le potentiel de recolonisation est élevé et directement lié à la taille de la métapopulation en mer. Une population ne peut passer au-dessous de la taille critique que si la métapopulation atteint également une valeur critique.
- Les grandes aloses affichent un taux d'erratisme modéré. La situation de cette espèce en Europe est précaire ; la distance qui sépare le Rhin de la dernière population importante et génétiquement « saine » dans l'hydrosystème Gironde-Dordogne (sud-ouest de la France) est grande. Seules quelques aloses ont été identifiées dans le Rhin (par ex. à Iffezheim et Gambenheim, voir ci-dessous) au cours des dernières années ; aucun indice ne laisse penser qu'il existe une population *reproductrice*.
- Les truites de mer se recrutent aussi à partir de « populations de truites fario » potamodromes et sont donc caractérisées par un potentiel de recolonisation élevé malgré leur homing relativement prononcé. Le comportement potamotouque a cependant également une composante génétique. L'abondance de la population potamotouque n'est donc pas négligeable sous l'angle génétique. L'espèce ne semble toutefois pas être fortement menacée pour le moment.
- Le saumon atlantique strictement potamotouque (rapporté au pourcentage de femelles) est caractérisé par un homing très prononcé (= faibles taux d'erratisme) ; le potentiel de recolonisation est donc extrêmement faible et est encore plus limité du fait de l'effondrement des populations dans les hydrosystèmes voisins du Rhin. Son sens développé du homing a des conséquences importantes sur la détermination de la taille minimale d'une population et du nombre minimum de saumons de retour nécessaires au rétablissement de populations en équilibre naturel : la taille d'une population et la variabilité génétique sont les facteurs déterminants dans le cadre des processus d'adaptation ; plus la population est petite, plus les déficits de variabilité génétique (dus entre autres aux effets de consanguinité) sont fréquents. Une population de saumons en équilibre naturel est donc caractérisée par un nombre minimal d'individus se *reproduisant avec succès* (= taille de la population réelle sous l'angle génétique). Le nombre d'adultes de retour ne permet de déduire qu'approximativement la taille réelle de la population, car seule une partie des saumons de retour se reproduit avec succès. Par ailleurs, les saumons amphihalins ne déterminent pas à eux seuls la taille de la population ; les tacons spermiantes sont également extrêmement actifs dans le processus de reproduction. Les tacons spermiantes sont très nombreux dans les rivières de l'hydrosystème rhénan et représentent entre 50% et 100% des tacons mâles (SCHNEIDER, 1998). Ces deux groupes (géniteurs amphihalins + tacons spermiantes) forment *conjointement* la « population génétique réelle ». La population génétique réelle N_e traduit le nombre d'individus dans une population totale N_c (*census population size*) participant réellement à la reproduction et, par là même, à la transmission du patrimoine génétique. Pour le saumon, on propose comme objectif de gestion minimal une population réelle minimale (N_e) de quelque 500 individus reproducteurs par population / sous-bassin. Pour de brèves périodes (5-10 générations), on considère qu'une population réelle de $N_e = 50$ constitue un seuil critique. Si la taille de la population passe en deçà de cette valeur critique, il est probable que les effets de consanguinité auront tendance à augmenter (CONSUEGRA & NIELSEN, 2007). Les auteurs soulignent cependant que la diversité génétique semble préservée même si les populations sont < 100 jusqu'à $13 N_e$, ce qui s'explique probablement par des échanges génétiques entre les populations par le biais des exemplaires erratiques et par l'augmentation de l'abondance réelle des populations grâce aux tacons spermiantes. En cas de fluctuations dans la taille de la population, on prendra l'abondance la plus faible comme taille réelle de la population. En cas de sex-ratio déséquilibré, le groupe le plus faible (en général les

poissons œuvés) constituent le facteur limitant. Un pourcentage élevé de tacons spermiantes dans la population reproductrice contribue cependant à augmenter l'abondance réelle de la population. Si la répartition entre les mâles et les femelles est déséquilibrée, on peut exprimer la taille de la population réelle à l'aide de la formule suivante :

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f} \quad (m = \text{mâles} ; f = \text{femelles})$$

150 poissons œuvés amphihalins et 1000 poissons laités (par ex. 100 géniteurs mâles + 900 tacons spermiantes) débouchent sur une taille réelle de la population N_e légèrement supérieure à 500 individus. Les pourcentages de tacons spermiantes étant très élevés dans l'hydrosystème rhénan, il est réaliste de prendre comme hypothèse un tel déséquilibre de la répartition mâles/femelles. La reproduction d'une génération de poissons œuvés dans l'hydrosystème rhénan s'étendant sur une période de 4 ans (madeleineaux de la classe d'âge 2+ jusqu'aux PHM de la classe d'âge 5+), il faut théoriquement 37,5 ou quelque 40 « géniteurs œuvés effectifs » *par an* pour une population stable N_e de 500 individus (à condition que le nombre de poissons laités, tacons spermiantes compris, soit très élevé). Dans de nombreuses populations, N_e ne représente que 10% de N_c . On suppose que ces pourcentages s'appliquent également aux populations salmonicoles. Des recherches restent cependant à effectuer sur cette question. N_c se réfère toutefois visiblement aux géniteurs de retour dans la zone d'embouchure (les poissons ne survivent pas tous jusqu'au frai (par ex. à cause de maladies, de lésions, de la prédation, de captures). Pour les saumons de retour qui ont déjà atteint les rivières de frai, N_e devrait représenter environ 50-75% de N_c (dans les bassins de stabulation de géniteurs, N_e représente plus de 80% de N_c). Par ailleurs, les poissons œuvés notamment pourraient représenter un pourcentage relativement élevé de N_e , alors que chez les poissons laités le nombre de saumons de retour participant avec succès à la reproduction sur les frayères (ici en particulier les mâles amphihalins moyennement fréquents) est plus faible (structure sociale, affaiblissement, fécondation d'œufs uniquement après la fécondation par les mâles fréquents et/ou les tacons spermiantes). On prendra donc comme hypothèse de travail une N_e représentant au plus 75% de N_c pour les femelles *dans la rivière de frai* par an (si $N_e=40$, $N_c=53$). Partant d'un sex-ratio de 1:1, ceci correspondrait à un retour nécessaire d'environ 100 individus par an et sous-bassin. Dans les petits sous-bassins en contact avec les hydrosystèmes voisins, le taux de retour nécessaire peut être nettement inférieur, les individus erratiques qui remontent faisant augmenter la population (voir ci-dessus). Dans l'hypothèse d'un taux de retour de 3% (objectif de gestion, voir chap. 3.3), chaque sous-système doit disposer d'une surface d'habitat de quelque 3,3 ha (capacité de production : env. 3.300 saumoneaux ou env. 1.000 saumoneaux/ha) pour que reviennent 100 individus/an et sous-bassin (= taille minimale d'une population d'env. 500 individus, y compris tacons spermiantes).

Le saumon remontant avec une très grande précision dans les hydrosystèmes et notamment dans les affluents frayères et zones de grossissement dont il est issu, du fait de son homing très prononcé, les sous-populations sont relativement isolées les unes des autres. En raison de cette isolation géographique, les saumons s'adaptent aux rivières natales par des processus de sélection évolutifs ; ces adaptations se manifestent par des caractéristiques génétiques spécifiques et se traduisent au niveau biologique entre autres par une durée de séjour en mer et des comportements migratoires différents ainsi que par des périodes de frai calées sur la température des rivières natales. Les populations donatrices utilisées pour les opérations de repeuplement dans l'hydrosystème rhénan étant toutes allochtones (c'est-à-dire originaires d'hydrosystèmes extérieurs et non adaptées aux nouvelles rivières), la recolonisation doit être considérée comme un processus d'adaptation continu qui s'imprime dans les cours d'eau récepteurs sur plusieurs générations et sur une longue

période au travers de facteurs sélectifs importants. Les déficits d'adaptation (« condition physique » insuffisante) peuvent se traduire entre autres par une reproduction faible ou absente, de faibles taux de survie pendant la phase de grossissement, une mortalité élevée à la dévalaison et des taux de retour insuffisants. On s'est certes efforcé de pré-sélectionner les populations donatrices pour retenir les souches présentant des particularités spécifiques (distance de migration, séjour en mer, période de frai) et apparaissant prédestinées sur la base des connaissances dont on dispose sur la biologie de la souche initiale. Mais la transposabilité et la pertinence de ces facteurs sont encore incertaines. On sait également que le « saumon rhénan » jadis présent dans le Rhin se composait de sous-populations adaptées à des rivières spécifiques (par ex. Sieg, Moselle, Alsace, hydrosystème du Main) et que ces souches étaient exposées à des conditions climatiques, hydrologiques et écologiques différentes. Les processus d'adaptation nécessaires doivent donc se dérouler au niveau des sous-populations, qu'il convient de considérer comme des unités de gestion distinctes. On ne peut répondre à la question de la taille (nombre d'individus) d'une future population que par sous-bassin (par ex. taille minimale de la population dans l'hydrosystème de l'Ill, de la Moselle, dans le haut Rhin). On ne peut exclure qu'il soit nécessaire à l'avenir de différencier plus encore ces unités de gestion. Compte tenu de ces aspects, il n'est pas judicieux de définir la taille minimale d'une population pour le Rhin. Pour certains sous-bassins, on partira, comme présenté ci-dessus, d'un retour nécessaire d'environ 100 individus par an.

Situation historique des peuplements et effondrements des populations d'espèces cibles dans l'hydrosystème rhénan

Les espèces cibles indiquées font partie (tout comme d'autres espèces amphihalines non considérées dans la présente étude, par ex. l'esturgeon atlantique, l'aloise feinte et le houting) de l'éventail piscicole typique du Rhin. Leur distribution et fréquence et, par là même, leur importance économique, variaient toutefois fortement en fonction des tronçons du Rhin. Le saumon était sans aucun doute l'espèce la plus répandue et la plus importante sous l'angle économique depuis l'embouchure du Rhin (BÜRGER, 1926 ; DE GROOT, 1989) jusqu'au haut Rhin (cf. entre autres les nombreuses informations dans BARTL *et al.*, 1993) et dans divers affluents (entre autres l'Aar, la Moselle, le Main, le Neckar, la Ruhr, la Sieg). La situation historique des peuplements de truites de mer est plus difficile à interpréter car cette truite migratrice ressemble au saumon et a parfois été confondue avec celui-ci. Il est sûr que la truite de mer remontait également jusque dans le haut Rhin et qu'elle avait une grande importance économique. Par contre, les lamproies amphihalines ne remontaient que rarement dans le haut Rhin. Les lamproies marines et les grandes aloses étaient plus fréquentes dans le Rhin supérieur et même pêchées dans le cas de la grande alose. La lamproie fluviatile était localement très fréquente (par ex. Taubergießen, Kinzig). La grande alose remontait en bancs importants entre autres dans les affluents Neckar, Main et Moselle (Sûre incluse). L'esturgeon atlantique était globalement rare, mais remontait parfois jusque dans le Rhin supérieur méridional. Par contre, l'aloise feinte et le houting étaient essentiellement présents dans le delta du Rhin et le Rhin inférieur où ils jouaient un rôle économique important.

La disparition des populations de poissons migrateurs est étroitement liée à la mise en place d'obstacles à la migration ; d'autres facteurs tels que la dégradation de la qualité des eaux, l'aménagement du fleuve et la surpêche ont eu des effets négatifs sur les populations résiduelles. Entre 1900 et 1910 on pêchait encore des saumons dans le haut Rhin (principal poisson de pêche professionnelle). Ici, la construction des usines d'Augst-Whyhlen (1907-1912) et de Laufenburg (1908-1914) a bloqué dès le début du 20^{ème} siècle l'accès aux principales zones de reproduction (entre autres le haut Rhin entre Waldshut et Albruck-Dogern). La remontée des saumons dans le haut Rhin s'est pratiquement arrêtée quand a été construite l'usine de Markt/Kembs (1932), mais a repris provisoirement après la

destruction du barrage lors d'un raid aérien en 1945 (captures en aval de l'usine d'Augst-Whyhlen). On a observé un tel retour de courte durée du saumon dans la Wiese et dans le Rhin à hauteur de Bâle au cours de l'hiver 1944/45 après le bombardement de l'usine de Kembs. Le dernier saumon capturé dans le haut Rhin en 1954 coïncide avec la date de construction de la retenue au droit de l'usine de Birsfelden ; en aval de Birsfelden, les derniers saumons ont été pris en 1958 (BARTL *et al.*, 1993). Les saumons frayaient dans le Rhin et dans les giessen, de même que dans le Vieux Rhin après la construction du barrage de Märkt.

Selon BARTL *et al.* (1993), les derniers saumons (et/ou truites de mer ?) ont encore été capturés dans le Rhin supérieur jusque vers le milieu des années 60. Après la construction des barrages de Rhinau (1964) et de Gerstheim (1967), le saumon et toutes les autres espèces amphihalines ont disparu du cours amont du fleuve.

Les peuplements de poissons migrateurs ont connu une évolution similaire dans tous les autres affluents importants tels que le Neckar, le Main, la Moselle, la Sieg, la Ruhr, etc. Ici aussi, l'effondrement des populations a été imputable en premier lieu à la construction de barrages. Ainsi, la remontée des saumons dans la Moselle a pris fin à la mise en place du barrage de Coblenz (1952) (SEILER, 1999). A la même période, la grande alose (et probablement la lamproie marine et fluviatile) a disparu de l'hydrosystème mosellan.

Aujourd'hui, la dernière preuve d'un saumon dans l'hydrosystème rhénan date de 1969 (plan d'eau de Diersheim en amont de Gamsheim). La présence sporadique de saumons dans les années 60 est probablement imputable à des mesures d'alevinage isolées et/ou à de petits peuplements rélictuels (cf. BARTL *et al.*, 1993). Les grandes aloses identifiées depuis la fin des années 70 proviennent d'une petite population relictuelle (on ne dispose jusqu'à présent d'aucune preuve de reproduction naturelle) ou sont dues à l'immigration d'individus erratiques (BARTL & TROSCHER, 1997).

Situation actuelle des populations des espèces cibles dans l'hydrosystème rhénan

La situation actuelle des espèces cibles peut être esquissée à l'aide du nombre de retours identifiés et de reproductions. Alors que les détections d'adultes de retour par pêche électrique dépendent fortement de la méthode utilisée (efforts de pêche, débits présents lors du prélèvement, profondeur et largeur des cours d'eau), les stations de contrôle fonctionnant en continu ou presque fournissent une image plus précise de la situation. Il existe cependant ici aussi quelques restrictions : il n'est guère possible de détecter les lamproies marines dans les nasses utilisées à cause de l'écart important entre les barreaux ; les détections d'adultes de retour se limitent presque exclusivement aux stations dotées d'un dispositif de surveillance vidéo à Iffezheim et Gamsheim. Les captures de salmonidés dans la nasse installée dans la Sieg sont très faibles lorsque les débits sont élevés, car les poissons peuvent franchir le barrage en sautant et ne sont donc pas recensés. La repérabilité de (l'ancienne) passe à poissons sur la Moselle (Coblenz) dépend fortement du débit et de la mise en service des différentes turbines de l'usine hydroélectrique.

Information : L'évolution des populations de saumons dépendant entre autres des efforts de repeuplement, il est procédé au chap. 3.4 à une évaluation détaillée de la relation entre alevinages et détections d'adultes de retour.

Les stations de contrôle exploitées dans l'hydrosystème rhénan figurent dans le tab. 1. Pour comparer les chiffres et taux de retour, on a choisi quatre sites sur la base des réflexions suivantes :

- Sieg/Buisdorf : site représentatif d'un sous-bassin très propice à la réintroduction du saumon et de la truite de mer ; site choisi également en raison du nombre élevé d'adultes de retour et des données de bonne qualité sur la dévalaison des

saumoneaux et sur les taux d'adultes de retour issus de saumoneaux alevinés (essais de recapture) ainsi que de la durée du projet.

- Moselle : site choisi à cause de la longue période d'exploitation, de la bonne base de données et des habitats de grande étendue dans le bassin susceptibles d'accueillir des saumons et truites de mer (potentialités, voir chap. 3.3).
- Iffezheim : site choisi à cause de la fonction clé qu'il joue pour un grand nombre de bassins dans la partie méridionale du Rhin supérieur (France, Allemagne, Suisse), de la fonction pilote du dispositif de franchissement pour le rétablissement de la continuité dans le cours principal et de la fonction « test » pour l'aménagement des cinq barrages infranchissables plus en amont : Strasbourg, Gerstheim, Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrün.
- Gamsheim : site choisi à cause de sa comparabilité directe avec le site d'Iffezheim situé en aval.

En comparant les poissons identifiés aux stations d'Iffezheim et de Gamsheim, on dispose par ailleurs d'informations sur l'efficacité (repérabilité, franchissabilité) des passes à poissons sur le Rhin auxquelles on peut recourir (avec certaines restrictions) pour évaluer les dispositifs planifiés au droit des usines situées en amont. Enfin, il est possible de comparer les résultats de toutes les stations de contrôle avec les opérations de repeuplement (saumon) effectuées dans le bassin respectif.

Tab. 1: Stations de contrôle dans l'hydrosystème rhénan (* sites évalués de manière spécifique dans la présente étude)

Cours d'eau	Site	en service depuis
IJssel	Westervoort	1997
Lek	Hagestein	1994
Waal	Woudrichem	1994
Dhünn	Auermühle	2002
Sieg	Buisdorf *	2000
Agger	Troisdorf	2000
Moselle	Coblence *	1992
Rhin supérieur	Iffezheim *	2000
Rhin supérieur	Gamsheim *	2006

Rhin supérieur

Les spécimens détectés dans le Rhin supérieur (voir également tab. 1) sont rassemblés dans la fig. 1. On relève pour le saumon (Iffezheim) un recul des populations entre 2004 et 2006 après une pointe en 2002. En 2007, on enregistre une légère augmentation des poissons identifiés et une hausse sensible en 2008 (voir annexe IV). Depuis la mise en service de la station de contrôle de Gamsheim en 2006, on note une hausse sensible et continue du nombre de poissons détectés.

La régression des populations de truites de mer semble nettement plus dramatique. En 2003, on a assisté pour la première fois à un véritable effondrement de la population et aucune tendance à l'inversion ne se profile à l'horizon jusqu'à présent. Le nombre de poissons identifiés à Gamsheim est encore relativement élevé par rapport à celui d'Iffezheim, car des sous-bassins relativement étendus (Ill, Rench) se situent entre ces deux sites. Ces sous-bassins peuvent être colonisés aux fins de reproduction et disposent d'environ 100 ha d'habitats pour la production de truitelles de mer (SAUMON RHIN, 2005, 2008b ; SCHULTZ, 2006).

Les populations de lamproies marines ont subi en 2002 une forte régression et augmentent presque constamment depuis ; en 2007, les stocks avaient à nouveau atteint le niveau de la première année de contrôle complète (2001). La différence entre les spécimens détectés à Iffezheim et ceux de Gamsheim est nettement plus élevée que pour le saumon et la truite de mer, ce qui s'explique éventuellement par le fait que l'espèce trouve des habitats de

reproduction propices en aval de Gamsheim (Ill, Rench, Rhin) (CLAIR *et al.*, 2005 ; BLASEL, 2008). Par ailleurs, la passe à poissons d'Iffezheim n'était pas en service en 2008 pendant la principale phase de remontée de la lamproie marine. Il n'est cependant pas exclu que l'espèce – tout comme la grande alose, voir ci-dessous – emprunte également les écluses ; le nombre de poissons identifiés doit donc être évalué sous cette réserve. Il est possible que les populations de lamproies marines dans le Rhin supérieur soit plus importantes et/ou la colonisation plus dynamique que ne le laissent penser les données disponibles sur la montaison. Cette thèse est également confirmée par des données néerlandaises.

Seules quelques grandes aloses sont détectées chaque année (y compris aux Pays-Bas) ; il n'y a pas de population durablement stable. Il est intéressant de noter que deux individus ont été détectés à Iffezheim en 2006 et en 2007, mais que six spécimens ont été enregistrés à chaque fois à Gamsheim. Ce déséquilibre ne peut s'expliquer que par l'utilisation des écluses de navigation[*].

* Remarque: Il a été démontré à plusieurs occasions que les salmonidés amphihalins empruntaient également les écluses : Adulte de retour dans la Rench en 1999; détections en amont du barrage de Strasbourg en 2002 dans le Grand Canal d'Alsace, en 2003 à hauteur de Fessenheim et en 2008 dans le bief de Strasbourg, décalage dans le temps des détections en 2008 entre Gamsheim et Iffezheim ainsi que première détection d'un saumon depuis plus de 40 ans le 5.10.2008 à Bâle. L'utilisation des écluses par les truites de mer a été démontrée pour le Rhin par le biais d'études de radiopistage (études de l'OFPEP, 2004 & SAUMON RHIN, 2005). Par ailleurs, plusieurs truites de mer ont été capturées en amont de barrages infranchissables. Pour cette raison, des mesures spécifiques à cet aspect seront proposées dans le chapitre 4.

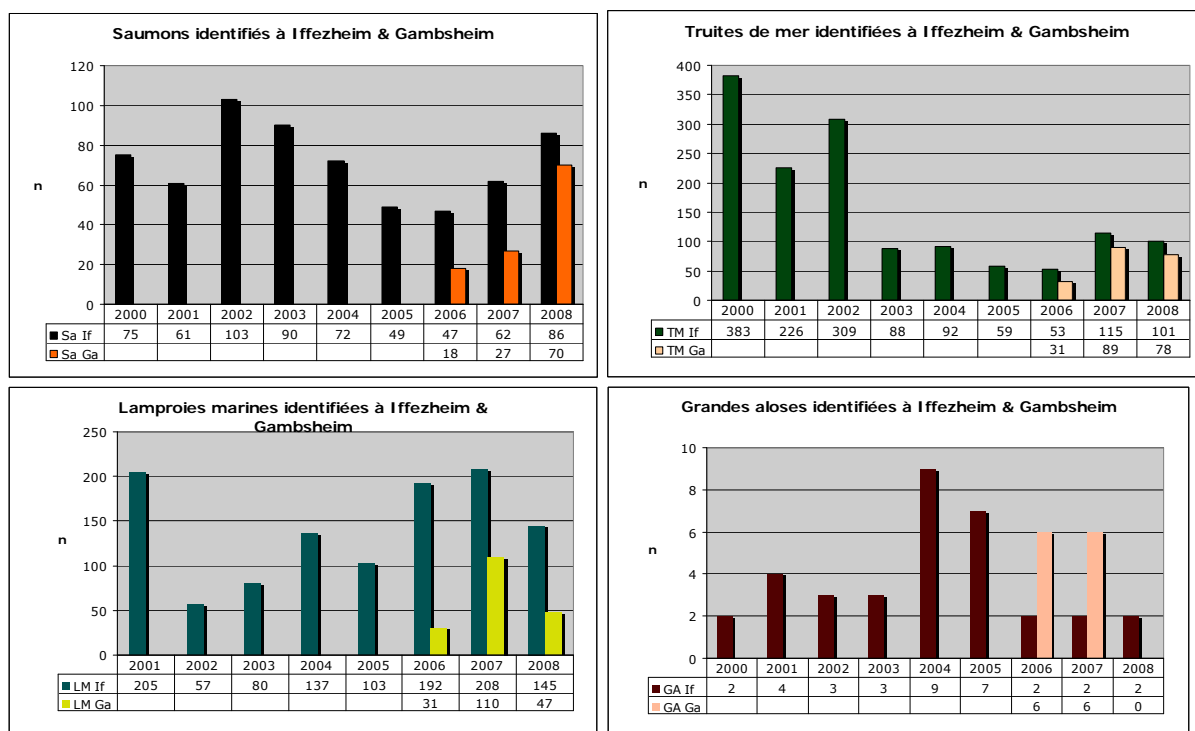


Fig. 1 : Détections des espèces cibles saumon, truite de mer, lamproie marine et grande alose dans les stations de contrôle d'Iffezheim et de Gamsheim (SAUMON-RHIN ; date : 31.12.08). Remarque : En 2008, la passe à poissons d'Iffezheim a été la plupart du temps hors service pendant la phase de remontée de la lamproie marine et de la grande alose (voir aussi tab. 5).

Rhin moyen / Rhin inférieur

Sur la Moselle, les seules espèces cibles enregistrées sont les truites de mer et les saumons (on a réussi à détecter une lamproie marine lorsque la passe à poissons a été vidée en mai 2004). 70 saumons et 642 truites de mer ont été capturés au total entre 1992 et 2007 dans la nasse installée au droit de la passe à poissons de Coblenze et dont la fonctionnalité est restreinte. Un premier effondrement temporaire des populations a été observé en 1997 et 1998. Comme à Iffezheim, on a relevé à nouveau en 2003 un net recul des captures de truites de mer ; depuis, le nombre de poissons identifiés est resté constant à un niveau faible comme dans le Rhin supérieur. Un recul du nombre de saumons de retour n'était attendu qu'en 2005 (arrêt des opérations d'alevinage dans l'hydrosystème mosellan en 2002 et 2003). Tout comme pour la truite de mer, le nombre de spécimens identifiés a toutefois baissé dès 2003. Cette baisse perdure jusqu'en 2007. Les opérations de repeuplement piscicole ayant repris depuis 2004, le nombre de poissons identifié a augmenté à nouveau en 2008. La fig. 2 (en haut) fait état des données disponibles.

La Sieg affiche les chiffres les plus élevés de remontées de saumons, ce qui s'explique par des opérations de repeuplement intensive et une reproduction naturelle croissante (fig. 2 en bas). Ici aussi, les résultats obtenus en 2003 et 2004 étaient plus mauvais qu'en 2002. On aurait pourtant pu s'attendre à une hausse très nette du nombre d'adultes de retour à la suite de mesures de sélection des habitats (cartographie des zones alevinées) et d'une production d'alevins de meilleure qualité. On relève en 2007 et 2008 les chiffres de remontée les plus élevés. L'évolution de la truite de mer correspond à celle observée sur le Rhin supérieur et la Moselle jusqu'en 2006 ; en 2007 et 2008, on note cependant une hausse sensible. Dans l'interprétation du résultat de la station de contrôle et de piégeage de la Sieg, il faut tenir compte du fait qu'au moins 30 à 50% des poissons qui remontent la rivière tous les ans franchissent le barrage lorsque le débit est élevé. La passe à poissons a certes été améliorée en 2006/2007 et est depuis plus facile à repérer. Les débits élevés en 2007 et 2008 ont cependant permis à un grand nombre de saumons et de truites de mer de franchir le barrage. Le nombre total de retours estimé (et confirmé par les recaptures d'individus marqués sur le cours moyen) s'est élevé à quelque 1.000 saumons et presque 180 truites de mer dans l'hydrosystème de la Sieg en 2007, « année record ».

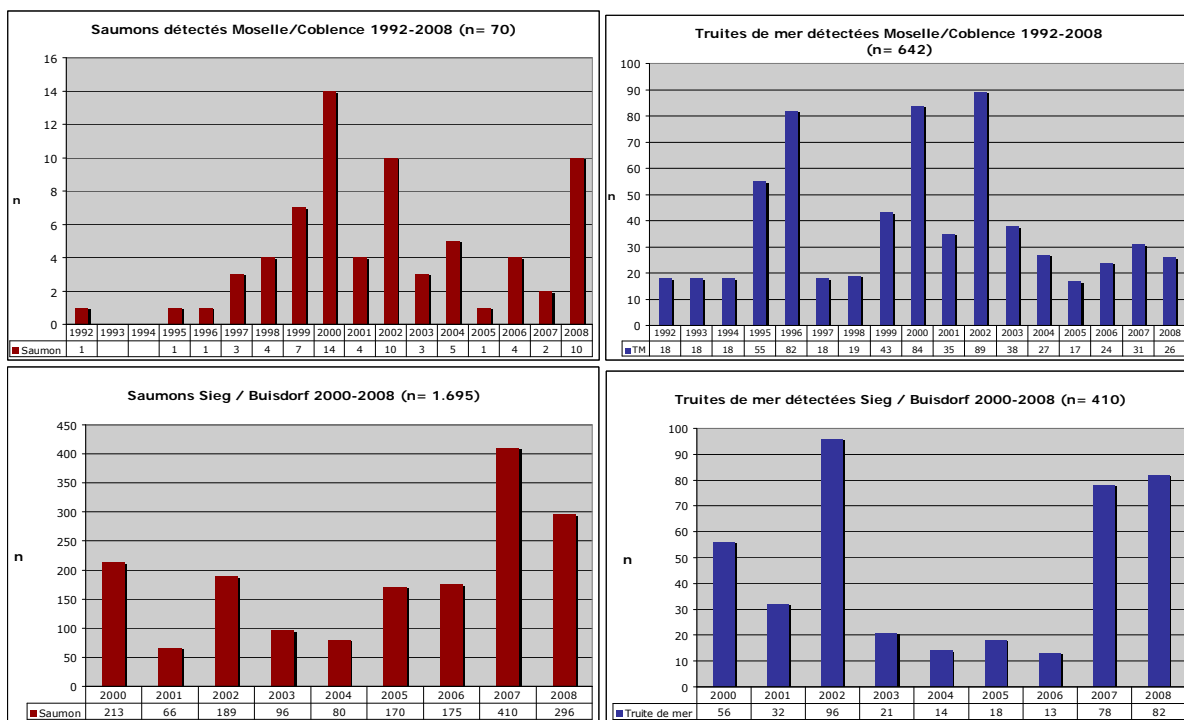


Fig. 2 : Detections de saumons et de truites de mer au droit de la station de contrôle Moselle/Coblenz (en haut) et de la station de contrôle Sieg/Buisdorf (en bas).

A titre d'orientation, les saumons identifiés en Rhénanie-Palatinat (1992-2008) sont présentés dans la figure 3. A l'exception de la Moselle, citée ici à titre de comparaison, tous les saumons ont été détectés en dehors de stations de contrôle, notamment par pêche électrique (pêche en eau peu profonde, pêche à partir d'un bateau), mais également par observations, détections de poissons morts et déclarations de pêcheurs à la ligne. A l'opposé de ce qui s'est passé dans les stations de contrôle, on a détecté un nombre relativement élevé de poissons durant les années caractérisées par des périodes d'étiage (par ex. 2003) et de bonnes conditions de pêche dans les rivières de frai. Les années aux débits élevés en automne (1998 ; 2001) sont caractérisées par de faibles captures. Les disparités au niveau des poissons identifiés s'expliquent par ailleurs par une intensité de pêche variable.

En 2007, « année record » en terme de débit, le nombre de spécimens identifiés était élevé, mais en aucun cas supérieur à la moyenne (voir Sieg/Buisdorf).

Mentionnons également que le choix des habitats à aleviner a été optimisé dans les Länger allemands Rhénanie-du-Nord-Westphalie et Rhénanie-Palatinat depuis l'an 2000 et que la qualité des alevins s'est également améliorée. En outre, le nombre d'alevins déversés entre 2000 et 2002 a été particulièrement élevé. Ces facteurs n'ont toutefois guère eu d'impact positif sur le nombre d'adultes de retour.

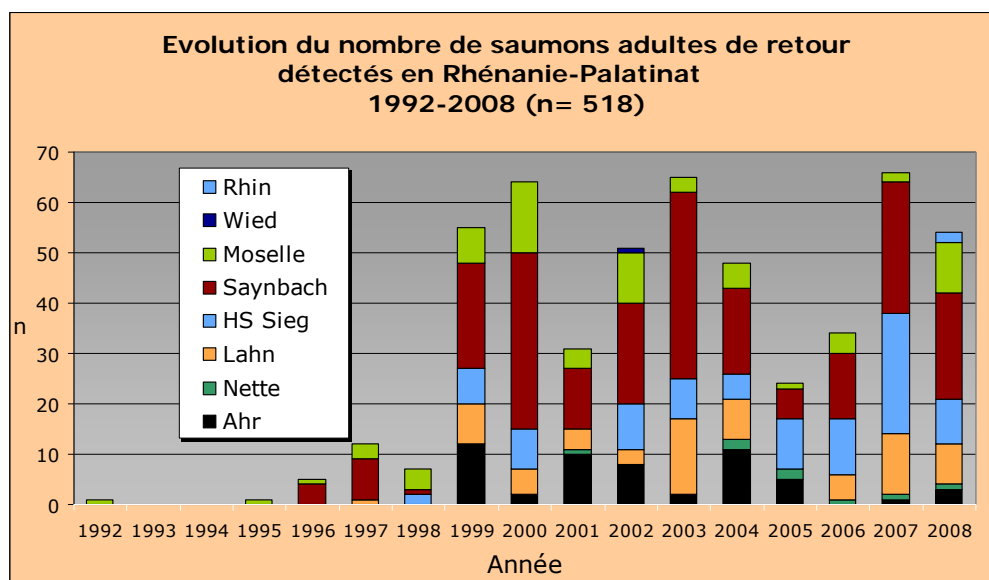


Fig. 3 : Saumons détectés en Rhénanie-Palatinat (Rhin inférieur et Rhin moyen, Moselle incluse)

Delta du Rhin

JURJENS (2006) a mis en évidence que le nombre de saumons identifiés par an dans le delta du Rhin et celui de saumons détectés dans le tronçon allemand du Rhin concordait relativement bien (fig. 4). Entre 2002 et 2005, entre 17 et 30% des poissons identifiés dans le delta chaque année ont été documentés en Allemagne. Les détections faites dans le delta permettent ainsi de prévoir approximativement le nombre de géniteurs attendus sur les zones de frai. Le nombre de poissons identifiés dans le Waal est particulièrement représentatif.

Dans l'interprétation du graphique (fig. 4), il faut tenir compte du fait que la hausse soudaine des identifications en Allemagne à partir de l'an 2000 est due pour l'essentiel à la mise en service des stations de contrôle au droit d'Iffezheim, de Buisdorf/Sieg et de Troisdorf/Agger

(cf. fig. 1 & 2 et tab. 1). Soulignons notamment le recul continu depuis 2001 du nombre de saumons observés autant dans le delta que dans le tronçon allemand du Rhin. Les causes éventuelles de cette tendance à la baisse observée malgré une reproduction naturelle croissante (voir ci-dessous ; tab. 2), un renforcement des opérations de repeuplement et une optimisation de la réalisation des alevinages, sont discutées dans le chap. 3.

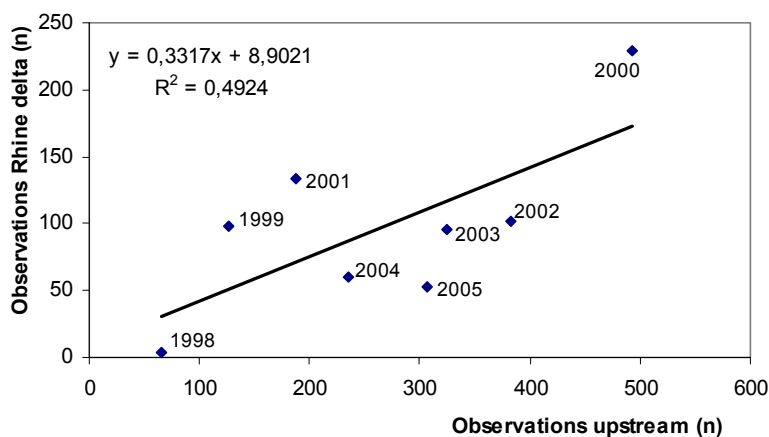
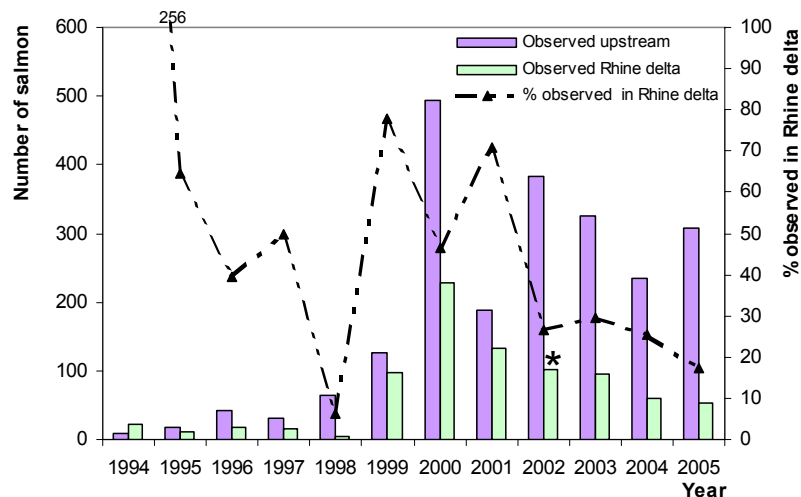


Fig. 4 : En haut : Saumons adultes identifiés en Allemagne (« Observed upstream ») et dans le delta du Rhin (« Observed Rhine delta ») entre 1994 et 2005 ; (*) est une estimation minimale, du fait de conditions de capture désavantageuses dues à des débits élevés. En bas : Relation entre les identifications. La hausse soudaine du nombre de saumons identifiés en Allemagne à compter de l'an 2000 est imputable pour l'essentiel à la mise en service des stations de contrôle au droit d'Iffezheim, de Buisdorf/Sieg et de Troisdorf/Agger (cf. tab. 1) ; la tendance à la baisse du nombre de poissons identifiés se retrouve également dans les chiffres de 2001.

Reproduction naturelle des espèces cibles dans l'hydrosystème rhénan

Saumon :

Le nombre de poissons identifiés et les densités de juvéniles ont sensiblement augmenté au cours des dernières années dans tous les hydrosystèmes *accessibles*. Le tab. 2 fait état des résultats obtenus jusqu'à présent. Il montre le lien direct qui existe entre la reproduction naturelle et l'amélioration de la continuité des cours d'eau. Les principales zones de reproduction se trouvent actuellement dans l'hydrosystème Wupper-Dhünn, dans celui de la Sieg, dans l'Ahr (probablement), dans l'hydrosystème du Saynbach ainsi que dans la Bruche (hydrosystème de l'III). Une forte reproduction naturelle a été observée pour la première fois en 2007/2008 dans la Wisper. Dans la plupart de ces rivières, la continuité (ou l'accessibilité des frayères) est rétablie en grande partie. On ne dispose d'aucune identification ou, tout au plus, d'identifications isolées dans le bassin du Rhin supérieur et dans l'hydrosystème mosellan, ce qui est dû à l'infranchissabilité prolongée des corridors migratoires. En conséquence, les densités de saumons issus d'une reproduction naturelle sont encore insignifiantes.

Par contre et conformément au suivi effectué dans les Länder allemands de Rhénanie-du-Nord-Westphalie et de Rhénanie-Palatinat, il est probable que 5 à 20% des adultes revenus en 2007 et 2008 soient déjà des « saumons sauvages » nés dans le bassin du Rhin dans certains hydrosystèmes du Rhin inférieur et du Rhin moyen (Sieg, Saynbach, éventuellement Ahr et Wisper) (définition de l'expression « saumon sauvage du Rhin » : les adultes de retour *ne* proviennent *pas* d'opérations de repeuplement, mais sont issus d'une reproduction naturelle ; les géniteurs de ces poissons peuvent avoir été alevinés) ; ces poissons appartiennent ainsi au moins à la première génération de « poissons autochtones ». (voir rapport annuel des Etats/Länder à la CIPR 2002-2006). Au cours de l'été 2008, les densités de « saumons sauvages du Rhin » appartenant à la classe d'âge 0+ peuvent fréquemment atteindre des densités élevées d'1 individu/m² dans différentes rivières (entre autres Sieg, Agger, Nister, Kleine Nister, Wisserbach, Saynbach, Wisper) (NEMITZ, communication orale ; SCHNEIDER, en préparation).

Par contre, pour le Rhin supérieur, l'hydrosystème Wupper-Dhünn et la Moselle, on n'attend aucun ou pratiquement aucun retour de géniteurs sauvages du fait des déficits existants au niveau de la continuité des cours d'eau de migration et/ou de reproduction. Il convient de tenir compte de ces disparités au niveau de la restauration de la continuité et/ou de la présence de « saumons sauvages du Rhin » dans l'interprétation du nombre et du taux de géniteurs de retour dans les stations de contrôle.

Truite de mer :

On ne dispose pas de connaissances détaillées sur la réussite de la reproduction de la truite de mer, car il est impossible de distinguer les juvéniles des « truites fario » potamotoques et les deux formes sont en général présentes conjointement.

Les habitats de la truite de mer concordant en grande partie avec ceux du saumon, la reconstitution des peuplements de truites de mer est soumise pratiquement aux mêmes restrictions au niveau des déficits de continuité et de qualité des habitats que le saumon. La reproduction naturelle est probablement élevée dans les rivières où le saumon se reproduit avec succès.

Tab. 2: Relevé synoptique des poissons identifiés et des densités de saumons issus d'une reproduction naturelle et évolution/état de l'accessibilité des nids de ponte dans l'hydrosystème Rhin : l'identification de la reproduction naturelle est étroitement liée au rétablissement de la continuité longitudinale et à l'accessibilité des rivières de frai.

Preuves de reproduction de saumons de retour dans l'hydrosystème Rhin

Pays	Système	Rivières prioritaires - Sélection des principaux affluents (*pas d'alevinage)	Premier alevinage de saumons	Année de reproduction (reproduction au cours de l'automne/hiver écoulé)															Surface d'habitat en ha
				1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
D	Wupper-Dhünn	Wupper Dhünn Eifgenbach	Alevinage de saumons hydrosystème depuis 1983	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	/	/	/	/	(X)	25
D	Sieg	Cours de la Sieg NRW Agger (30 km en aval) Naafbach Pleisbach Hanfbach Bröl Homburger Bröl Waldröl Derenbach Steinchesbach Krabach Gierzhagener Bach Irsenbach Sülz Schlingenbach	Alevinage de saumons dans l'hydrosystème de la Sieg rhénane depuis 1988 ; depuis 1998 également dans des ruisseaux sélectionnés de petite et moyenne taille en plus des régions à ombres et à barreaux classiques	X	/	/	/	/	/	/	X	0	XX	/	/	/	/	/	190
X	/	/	/	/	/	/	0	0	XXX	XXX	XXX	XX	XXXX	XXXX	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	XX	0	/	XXX	XXX	XXX	XXXX	XXXX	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	/	0	/	/	/	X	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	XX	XX	0	XX	XXX	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	XX	XXX	XX	X	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	0	0	XXX	XXX	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	/	/	/	X	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/		
/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	/	/	XX	/	/	/	/		
D	Ahr	Ahr	1995	/	/	/	/	/	/	X	0	0	X	X	0	0	0	?	
D	Nette	Nette *	-	/	/	/	/	/	/	/	X	0	XX	X	X	X	0	X	10
D	Saynbach	Saynbach Brexbach	1994	/	/	/	/	/	/	XX	XX	XX	XXX	XXXX	XXXX	XX	XXXX	XXXX	10
D	Moselle	Eizbach Kyll Hydrosystème de la Prüm	2005 1996 1996	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	0	170
Lux/D	Sûre Our	1992 1992	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	/	/	/	/	/		
D	Lahn	Mühlbach Weil Dill	1994 1995 1995	/	/	/	/	/	(X)	0	/	/	/	/	/	/	/	/	19
D	Nahe	Nahe	2004 (une seule fois)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	?
D	Wisper	Wisper	1999	/	/	/	/	/	/	/	/	0	XX	XX	0	0	XX	XXXX	2
D	Main	Schwarzbach * Hydrosystème de la Kinzig (Hesse)	- 2001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0	0	/	12
D	Alb	Alb	2001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10
D/F	(Wies)Laute	(Wies)Lauter	1991	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	?	?
D	Murg	Murg	2001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	X	X	/	36
F/D	Rhin	Rhin en aval d'Iffezheim*	-	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/	/	/	50 (?)
D	Rench	Rench	2001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	11
F	Ill	Bruche Hydrosystème amont de l'Ill	1991 1991	/	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	72**
D	Kinzig	Kinzig (Baden-Württemberg)	2001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	X	/	/	/	/	68
D	Elz-Dreisam	Elz Dreisam	2005 2008	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	59
F/D	Rhin	Vieux Rhin	1991	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	88
CH	Wiese	Wiese	1984	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	24
CH	Birs	Birs	1995	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	17
CH	Ergolz	Ergolz	1995	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3

LEGENDE

Détections qualitatives / détections individuelles / contrôle de différents lie	X
Détections qualitatives / géniteurs relâchés en amont des obstacles	(X)
Faible reproduction (1 à ≤ 5 tacons/100 m ²)	XX
Reproduction élevée (> 5 - 50 tacons/100 m ²)	XXX
Reproduction très élevée (> 50 tacons/100 m ²)	XXXX
Analyse réalisée, aucune détection	0
Aucune analyse	/
Analyse prévue pour 2009	?

Nids de ponte (en majeure partie) accessibles
Accessibilité partielle/limitée aux nids de ponte
Nids de ponte non ou exceptionnellement accessibles

** Hydrosystème de l'Ill sans la Thur et la Lauch

Lamproie marine :

La lamproie marine se reproduit dans l'ensemble du bassin du Rhin *accessible* (à l'exception du tronçon néerlandais) (voir BLASEL, 2008 pour une synthèse et l'estimation de la superficie des lits d'ammocètes et CLAIR *et al.*, 2005 pour la cartographie en Alsace). Des nids de ponte ont été relevés entre autres dans l'hydrosystème de l'Ill (2001-2004 : au nombre de 299 ; CLAIR *et al.*, 2005), dans la Wieslauter, dans la Murg et sur le Rhin moyen dans la Wisper, le Saynbach (jusqu'à 12), la Nette et l'Ahr. L'hydrosystème de la Sieg et celui de la Wupper-Dhünn comptent également parmi les récentes zones de reproduction. Il est très probable que l'espèce se reproduise également dans le cours principal du Rhin supérieur (jusqu'au barrage de Strasbourg). La population actuelle se reproduit et semble augmenter à nouveau.

Grande alose :

Bien que quelques grandes aloses soient régulièrement observées dans l'hydrosystème du Rhin depuis la fin des années 70 (BARTL & TROSCHER, 1995), une population ne semble pouvoir s'établir. Aucune reproduction de la grande alose et aucun aloson n'ont été détectés dans le bassin (y compris contrôle des grilles au droit des prises d'eau des usines ; WEIBEL, KORTE, NEMITZ – communications orales) et on doit donc supposer que l'espèce ne se reproduit pas encore ou très rarement dans le Rhin. Ceci est vraisemblablement dû à la taille infime de la population.

3. Analyse des facteurs

3.1 Quels sont les facteurs agissant sur le potentiel de réimplantation ou de recolonisation de migrateurs amphihalins ?

On citera comme facteurs pertinents pour la réintroduction ou la propagation naturelle de poissons migrateurs dans l'hydrosystème rhénan :

a) la continuité

La continuité longitudinale d'un hydrosystème fluvial est indispensable pour que les migrateurs amphihalins puissent atteindre les zones de reproduction ou frayères propices dans une période de migration spécifique à l'espèce et dans une fenêtre individuelle de temps jusqu'au début de la période de frai. En fonction des exigences des différentes espèces, les frayères sont caractérisées par différents paramètres tels que la température, l'oxygénation, le substrat ainsi que par les conditions hydrauliques, ce qui limite la reproduction à des tronçons spécifiques (régions) sur le cours longitudinal de la rivière. Le tab. 3 fait état des frayères des quatre espèces ciblées rapportées aux régions fluviales.

Tab. 3: Frayères des espèces indicatives dans les régions piscicoles

Espèce	Régions fluviales	
	Secteurs privilégiés (zones centrales)	Zones transitoires utilisées exceptionnellement
Saumon	hyporithral - métarithral (région à ombres – région à truites inférieure)	Épipotamal (région à barbeaux)
Truite de mer	hyporithral - métarithral (région à ombres – région à truites inférieure)	épirithral (région à truites supérieure)
Lamproie marine	hyporithral (région à ombres)	métarithral ; épipotamal (région à truites inférieure ; région à barbeaux)
Grande alose	Épipotamal (région à barbeaux)	hyporithral (région à ombres)

Dans le cadre de la montaison, la fonctionnalité des dispositifs de franchissement est déterminante pour l'estimation. En fonction du site, la franchissabilité des ouvrages transversaux en présence de débits élevés et le passage par les écluses ont une importance secondaire.

La fonctionnalité se compose de deux facteurs : la *repérabilité* (emplacement du dispositif de franchissement, débit d'attrait) et la *franchissabilité* (dimensionnement et conditions hydrauliques au droit du dispositif de franchissement). La fonctionnalité restreinte peut avoir comme impact négatif :

- l'interruption de la montaison
- le décalage de la montaison
- des blessures (mâchoires, peau, nageoires, branchies)

Ceci peut avoir pour conséquences négatives l'absence de reproduction, un frai dans des habitats suboptimaux ainsi que des infections létales dues aux blessures ou des conditions désavantageuses de reproduction. Par ailleurs, le retard pris dans la montaison est caractérisé par un plus grand risque de mortalité piscicole (*voir également pêche*). Dans le cas le plus favorable, la reproduction peut se faire dans d'autres rivières abritant des habitats de qualité comparable, ce qui, chez le saumon, peut cependant comporter le risque d'une

introduction d'exemplaires erratiques de souche indésirable dans des rivières gérées avec une seule souche ; exemple : trois premières observations dans la Moselle, deuxièmes observations dans la Nette (1) et la Sieg (2).

A la dévalaison, les effets cumulatifs se composent

- une mortalité au passage dans les turbines et ouvrages de prise des usines
- un retard de la dévalaison (y compris prédation accrue).

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour expliquer les lésions causées lors du passage dans les turbines. DAVIES (1988) cite quatre sources de blessure :

- collision avec les pièces rigides ou mobiles des turbines
- changement rapide de pression
- forces de cisaillement et turbulences
- cavitation*

(*l'implosion de bulles d'air dues sous l'effet de différentes pressions dans une turbine.)

Les collisions avec des pièces rigides et/ou mobiles de turbines entraînent fréquemment des segmentations partielles ou intégrales, des fractures (entre autres de la colonne vertébrale) ou d'autres lésions externes graves. Les différences de pression, les forces de cisaillement, les turbulences et la cavitation peuvent entraîner des lésions tels que saignements des yeux, explosion ou perte des yeux, saignements à la base des nageoires (signes externes fiables de lésions dues à la pression dans la turbine) et des lésions internes telles que l'explosion de vessies natatoires, saignement d'organes internes et du tissu ainsi que blessures directes (fréquemment à cause de la cavitation).

Différents systèmes de protection des poissons (grilles fines inclinées, grilles rotatives) sont actuellement testés avec succès pour réduire la *mortalité* dans les turbines ; il semble jusqu'à présent que de tels systèmes ne soient techniquement réalisables que sur des rivières de petite et de moyenne taille. Pour les grands fleuves (Rhin, Moselle, Main, Neckar), on ne dispose pas encore d'approches de solutions durables ; jusqu'à nouvel ordre, la gestion des turbines (turbinage maximal sur quelques turbines et arrêt simultané des autres turbines ; arrêt de courte durée de toutes les turbines) semble être la seule mesure réalisable pour protéger les poissons.

Le *retard* pris au niveau de la dévalaison des juvéniles entraîne obligatoirement une augmentation de la prédation (notamment dans les retenues) ; les juvéniles risquent également de ne pas arriver dans la période favorable de passage dans le milieu marin (*voir également prédation, pêche*).

Ces deux effets se manifestent notamment chez les saumoneaux et les truitelles (longueur totale entre 12 et 20 cm) car ces poissons relativement grands à la dévalaison risquent, plus que d'autres, d'entrer en contact avec les turbines. Ils ont une réaction d'esquive face aux canaux de turbines et à la hausse soudaine de la vitesse du courant au droit des déversoirs. Les grandes aloses et lamproies marines ont une longueur totale de 5-6 cm et de 14-15 cm lorsqu'elles dévalent. Alors que les lamproies marines sont très robustes, les grandes aloses sont sensibles aux différences de pression et aux fortes turbulences ; on suppose que les taux de mortalité du saumon au droit des usines sont comparables bien que le risque de blessures mécaniques imputables à la taille soit faible (LARINIER & TRAVADE, 2002b).

b) Prédation exercée par les oiseaux, les poissons

Les prédateurs de la faune avicole dans l'hydrosystème rhénan sont le héron cendré (uniquement dans les bras latéraux), le cormoran et le harle bièvre. De par son comportement de chasseur, sa propagation et le grand nombre d'individus, le cormoran est considéré comme le prédateur de loin le plus important sur les peuplements de poissons migrateurs. Parmi la faune piscicole, le brochet, le sandre et l'aspe ainsi que, dans une

certaines mesures, les silures sont des prédateurs typiques. Les peuplements d'aspes et de silures ont beaucoup augmenté au cours des dernières années. La prédation porte pour l'essentiel sur les quatre espèces cibles au stade de dévalaison. Dans les zones de grossissement, les truites, chevesnes, barbeaux et chabots entre autres ainsi que les hérons cendrés sont des prédateurs significatifs.

Les saumoneaux et les truitelles argentées dévalant en bancs près de la surface sont souvent la proie de cormorans. Lors d'analyses des estomacs de cormorans hivernant dans l'hydrosystème de la Sieg, on a également trouvé des tacons de saumons (dans 3 des 10 estomacs analysés) (SCHNEIDER, 2005).

Les géniteurs qui remontent les fleuves sont menacés à l'aval d'ouvrages transversaux et en amont des dispositifs de franchissement du fait de leur regroupement. Les individus de grande taille tels que les saumons, truites de mer et grandes aloses adultes, ne font généralement plus partie des proies du cormoran. Des blessures graves, voire même létales, ont cependant été constatées chez le saumon (par ex. Rench ; photo BARTL, 1999 ; tiré de BLASEL, 2004). Parmi les poissons, le silure qui peut atteindre une taille de 200 cm est le principal prédateur de poissons migrateurs adultes.

La prédation est globalement plus importante dans les zones de retenue que dans la masse d'eau courante du fait de l'absence d'une morphologie diversifiée, de la durée de séjour prolongé des stades juvéniles et de la densité parfois élevée des prédateurs. Les smolts notamment sont exposés à une forte prédation de la part du cormoran (JEPSEN *et al.*, 1998) ; on estime que l'aspe et le sandre sont également de grands prédateurs (*voir a) continuité*).

c) Influence des températures du Rhin sur la colonisation et la migration

L'accent est mis ici sur les répercussions d'années dites extrêmes avec des étés plus chauds et plus secs qu'en moyenne. Cette étude prend comme référence l'année 2003. Les températures de l'eau mesurées dans le Rhin ont été proches de 30°C, voire même légèrement supérieures, pendant une période d'environ 6 semaines en juillet/août ; dans les affluents (par ex. la Sieg), la température relevée s'est élevée à quelque 28°C.

La température optimale pour les smolts dévalants varie entre 7 et 14,3 °C (maximum de 19°C). Lorsque les températures atteignent 25°C, les salmonidés qui remontent les rivières interrompent leur migration, ce qui doit être interprété comme un signe de stress. Le seuil supérieur de température létale est toutefois relativement élevé ; il est (en fonction de l'*acclimatation*) de 28,7 à 29,2°C pour les saumons d'été (âgés de 2 à 3 mois), de 27,4 à 32,8°C pour les tacons des cohortes 0+ et 1+ et de 30 à 32°C pour les saumons adultes. En cas de températures élevées au-dessous du seuil léthal, le risque de mortalité imputable au stress et aux infections augmente également.

On examinera au chapitre 3.5 à l'aide des données disponibles si les températures élevées observées lors de l'été caniculaire 2003 ont constitué un facteur limitant pour les poissons migrateurs.

d) Influence du régime hydrologique du Rhin sur la colonisation et la migration

On considère généralement que les débits élevés ont un impact positif sur la migration des poissons migrateurs. Les smolts privilégient les débits élevés et une forte turbidité pour dévaler. Au droit des usines hydroélectriques, ils trouvent par ailleurs d'autres voies leur permettant d'éviter les turbines, par ex. en cas de surverse du barrage ou de débits élevés dans les tronçons court-circuités. En général, les débits élevés réduisent sensiblement la mortalité (y compris la prédation dans les zones de retenue). Lorsque les obstacles à la montaison ne sont que partiellement franchissables, les débits élevés permettent aux individus qui remontent de franchir les ouvrages transversaux et les tronçons court-circuités. On observe fréquemment que les poissons recherchent des frayères situées plus en amont.

Les débits élevés au droit des dispositifs de franchissement peuvent également avoir des impacts négatifs, dus par exemple à une surcharge hydraulique ou à la présence de courants concurrentiels au courant d'attrait à l'entrée des passes à poissons. Si, en outre, la

configuration des ouvrages fait effet d'impasse – citons par ex. les moles de séparation entre l'usine hydroélectrique (équipée d'une passe à poissons) et le barrage submergé, la réparabilité du dispositif de remontée peut éventuellement être restreinte.

Le système complexe d'évacuation des eaux du Rhin dans le delta où l'on gère différents débits en ouvrant et fermant des ouvrages terminaux (Haringvliet) et différentes alimentations des bras du Rhin est un autre aspect important. L'utilisation et l'attractivité des différents corridors de migration pour les espèces amphihalines (montaison et dévalaison) varient en fonction des débits.

e) Pression exercée par la pêche sur les peuplements de poissons migrateurs [pêche illégale / prises accessoires involontaires]

Parmi les activités de pêche, on distingue la pêche professionnelle (pêche côtière comprise), la pêche commerciale d'appoint et la pêche sportive ou pêche à la ligne.

La pêche professionnelle utilise entre autres des nasses (Fykenet), des filets maillants (Gill net), des seines, des filets à armature (anchored stow net) et des filets traïnants (y compris filets traïnants de fond) (trawl fisheries). La pêche commerciale d'appoint travaille pour l'essentiel avec des nasses et des filets maillants (le long de la côte et dans les eaux intérieures). A quelques exceptions près, ces formes de pêche sont presque exclusivement pratiquées dans la zone d'embouchure aux Pays-Bas. La pêche à la ligne est pratiquée sur l'ensemble du bassin du Rhin.

Les impacts de la pêche dépendent de trois facteurs :

- Efforts de pêche (varient en fonction des saisons et des lieux)
- Probabilité de capture (en fonction de l'engin utilisé et de la fréquence d'utilisation)
- Mortalité (type d'engins et de méthodes, température, type et durée de la *manipulation*)

La truite de mer et le saumon étant protégés dans l'ensemble du bassin du Rhin (y compris la zone côtière), il *n'existe pas de possibilité légale de pêcher les grands salmonidés*. On peut donc classer la mortalité piscicole dans les catégories suivantes :

- Prélèvement dans le cadre d'une pêche illicite ciblée (braconnage)
- Prélèvement de prises occasionnelles sans connaissance du statut de protection
- Prises accessoires non intentionnelles, poissons remis à l'eau (mortalité imputable à la manipulation et/ou à des blessures commis par les engins de pêche)

f) Qualité des eaux (micropolluants, pollutions organiques)

On entend par micropolluants les nombreuses substances synthétiques organiques utilisées dans la vie de tous les jours et qui sont rejetées par exemple dans les cours d'eau en transitant avec les eaux usées par les égouts urbains. Ces substances sont détectées dans les eaux dans des concentrations très basses (de l'ordre de nanogrammes à microgrammes par litre). Ces substances sont par exemple des résidus de produits phytosanitaires et de produits utilisés pour la protection des végétaux et de divers matériaux, des composants de produits d'hygiène et de soins corporels, de produits de nettoyage et de concentrations résiduelles de médicaments (BRAUCH, 2007. Les pollutions organiques entraînent une eutrophisation, un manque d'oxygène (y compris manque d'oxygène dans les eaux interstitielles, voir g)) et des altérations de la biocénose piscicole se traduisent par une dominance des espèces peu exigeantes.

g) Qualité des habitats

La qualité des habitats est impactée négativement par l'aménagement des rivières et les restrictions de la dynamique fluviale. On entend également par là les microcentrales qui produisent de l'électricité (construction de nouveaux ouvrages transversaux, hausses du niveau de retenue, dégradation des habitats imputable aux tronçons court-circuités). Les

dégradations des zones de frai (perte de zones de radier graveleuses) ont un impact particulièrement négatif.

Les sédiments peuvent contribuer au colmatage (consolidation) de substrats graveleux et compliquer, voire même empêcher, la mise en place de nids de ponte.

Combinés à des polluants organiques, les dépôts sédimentaires peuvent par ailleurs provoquer des déficits d'oxygène dans le système intersticiel et, par là même, réduire ou anéantir la reproduction. Dans les nids de ponte de salmonidés, la valeur minimale (valeur limite) de la teneur en oxygène doit être supérieure à 5 mg/l pendant l'incubation.

3.2 Quelles espèces piscicoles amphihalines (ou stades de vie) sont fortement influencées par quels facteurs et quelles sont les périodes de migration de ces espèces (fenêtres de temps pendant lesquelles les facteurs ont une influence)?

Pertinence de différents facteurs pour les divers stades de vie

Le tableau 4 fait état de la pertinence des principaux facteurs pour les différents stades de vie. On distingue les impacts positifs et les impacts négatifs.

Tab. 4 : Pertinence de différents facteurs pour les divers stades de vie des saumons et des truites de mer ainsi que des grandes aloses et lamproies marines ; + signifie que l'impact est positif, - que l'impact est négatif.

Légende : élevée moyenne faible très faible

Espèces	Stades	Facteur Impact									
		Obstacles à la migration		Prédation		Débit		Pêche	Qualité des eaux		
		Montaison	Dévalaison	Eau douce	élevé	faible	Côte et hydrosystème Rhin	Pression thermique	Pression organique	Sédiments fin	
Saumon & Truite de mer	Oeufs, larves	néant	néant	faible -	faible -	moyenne -	néant	très faible-	élevée -	élevée -	
	Tacons	faible -	faible -	moyenne -	très faible-	moyenne -	néant	faible -	faible -	très faible-	
	Smolts	néant	élevée -	élevée -	élevée +	élevée -	très faible-	très faible	faible -	très faible-	
	Géniteurs	élevée -	faible -	très faible-	élevée +	moyenne -	élevée -	moyenne -	faible -	très faible-	
Grande alose	Oeufs, larves	néant	néant	élevée -	très faible-	faible -	néant	très faible-	faible -	très faible-	
	Dévalants	néant	élevée -	élevée -	élevée +	élevée -	très faible-	très faible-	faible -	très faible-	
	Géniteurs	élevée -	néant	faible -	élevée +	moyenne -	élevée -	très faible-	faible -	très faible-	
Lamproie marine	Oeufs, larves	néant	néant	moyenne -	très faible-	faible -	néant	très faible-	moyenne -	moyenne -	
	Dévalants	néant	faible -	élevée -	élevée +	élevée -	très faible-	très faible-	faible -	très faible-	
	Géniteurs	élevée -	néant	moyenne -	élevée +	moyenne -	très faible-	très faible-	faible -	très faible-	

Périodes de migration des espèces

La période et les voies de migration des poissons migrateurs dans l'hydrosystème du Rhin sont

- importantes pour estimer l'efficacité de mesures et de plans de gestion axés sur des mesures temporaires ou discontinues visant à permettre la franchissabilité des obstacles à la migration, telles que la gestion des turbines, la gestion écologique des écluses de navigation et des bateaux de plaisance (montaison piscicole), l'abaissement de barrages ou le débit réservé variable selon les saisons dans les tronçons court-circuités (montaison et dévalaison piscicole) ou la capture de poissons en cours de migration dans le but de les transporter dans les zones ciblées en aval ou en amont d'ouvrages infranchissables ou de barrages successifs (« Trap and Truck ») ; cette dernière mesure est également importante pour la « solution double bassin » (montaison piscicole) envisagée dans les scénarios 1 et 2 au droit de l'usine de Vogelgrün (voir étude STUCKY phase II, 2006).
- importantes pour estimer les impacts de facteurs critiques tels que la température de l'eau dans une situation donnée et le régime de température dans le long terme (stimulation de la migration, facteur de mortalité), le régime hydrologique (stimulation de la migration, accessibilité de frayères lorsque les ouvrages sont partiellement franchissables, concentration de polluants), les courants concurrentiels au droit

d'usines hydroélectriques (repérabilité et/ou dotation du dispositif de franchissement par rapport à la quantité d'eau turbinée).

Tab. 5 : Périodes de frai et de migration du saumon et des autres espèces migratrices dans le Rhin. Cases foncées : période principale ; cases claires : Activité plus faible.

Périodes de frai et de migration des espèces amphihalines dans le Rhin												BFS 2006	
Périodes de frai	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.	
Saumon atlantique													
Truite de mer													
Grande alose													
Esturgeon atlantique													
Lamproie marine													
Lamproie fluviatile													
Anguille	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Flet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Migration des géniteurs Rhin													
<i>Montaison</i>													
Saumon atlantique													
Truite de mer													
Grande alose													
Esturgeon atlantique													
Lamproie marine													
Lamproie fluviatile													
<i>Dévalaison</i>													
Anguille													
Flet													
Saumon atlantique													
Migration des juvéniles													
<i>Dévalaison</i>													
Saumon atlantique													
Truite de mer													
Grande alose													
Saumon atlantique													
Lamproie marine													
Lamproie fluviatile													
<i>Montaison</i>													
Anguille													
Flet													

Le tab. 5 donne un aperçu des périodes de migration du saumon et des autres espèces migratrices (y compris l'esturgeon et la lamproie marine) dans le corridor de migration Rhin. Cette liste montre que la montaison du saumon (et dans une certaine mesure de la truite de mer : migration pratiquement absente au printemps) a lieu pendant toute l'année. Les dévalaisons de smolts de salmonidés se limitent à la période allant de mars à juillet (notamment entre avril et mai, également en juin dans le delta). Les tacons spermiant migrent fréquemment dans la partie aval des affluents à la fin de l'été et en automne.

Remarque sur le tab. 5 : « plus faible activité » n'est pas synonyme de « moins important » ; en effet, sous l'angle de la génétique, les individus qui fraient et/ou migrent en dehors de la période principale doivent être considérés comme une partie d'une population ayant une stratégie importante pour la composition des peuplements ; il ne faut en aucun cas exercer de « pression de sélection anthropique » au sens de la variabilité génétique. C'est notamment le cas pour le saumon et la grande alose qui sont strictement amphihalins.

Période de montaison

Les figures 5 – 7 font état des périodes auxquelles les saumons et truites de mer de retour passent au niveau des stations de contrôle et de suivi Rhin/Iffezheim, Rhin/Gambsheim, Moselle/Coblence et Sieg/Buisdorf.

Les figures 8 & 9 présentent les saumons et truites de mer détectés sous forme cumulée (totaux et pourcentages) et comparés entre stations de contrôle, sachant que pour Iffezheim et Gambsheim on a également utilisé les poissons détectés jusqu'au 6.10.2008 bien que la série de données soit encore incomplète.

Pour les périodes de montaison au droit des quatre stations de contrôle Iffezheim, Gambsheim, Moselle et Sieg, on peut observer les tendances suivantes :

- Les deux espèces remontent pendant deux périodes caractéristiques, à savoir au milieu de l'année et au cours de l'automne. Explications : Pour le saumon, on note une forte corrélation entre la période de montaison et la durée du séjour en mer ; les saumons ayant passé 'plusieurs hivers en mer' (= PHM) dominent le groupe des saumons précoces dans leur migration, le deuxième groupe se compose pour l'essentiel de saumons ayant passé un hiver en mer (1 hiver en mer, madeleineaux). Les souches utilisées dans le Rhin affichant différents pourcentages de madeleineaux et de PHM, les données doivent être interprétées en tenant compte de l'historique des opérations de repeuplement effectuées dans les différents bassins ; étant donné que les alevinages réalisés au cours des années pertinentes étaient « mixtes » dans tous les bassins, il est difficile de définir les impacts spécifiques des populations sur le comportement migratoire ; voir ci-dessous. Les saumons PHM dominent dans le Rhin supérieur depuis 2004 (passage des alevinages à la souche Allier ; voir fig. 13) ; dans la Sieg et la Moselle, le pourcentage de PHM est d'environ 50% depuis 2007 (passage des alevinages à la souche Ätran). Les souches irlandaises utilisées jusqu'en 2003 présentent, quant à elles, des pourcentages élevés de madeleineaux.
- La phase principale de remontée du saumon précède d'environ 4 à 8 semaines celle de la montaison de la truite de mer.
- La période de montaison est directement liée à la « fonction » de la rivière ou du tronçon fluvial (corridor de migration ou rivière de frai) ; les géniteurs sont tout d'abord détectés dans le delta du Rhin (JURJENS, 2006), puis dans le Rhin (voir Iffezheim et Gambsheim), ensuite dans les grands affluents (voir Moselle) et enfin dans les tronçons fluviaux proches de la zone de frai (voir Sieg). Les rivières de frai dans la région à ombres et à truites (par ex. le Saynbach, la Wisper, la Nister, la Bruche) sont fréquentées juste avant la période de frai en automne (de fin octobre à début décembre en fonction de la souche) (entre autres SCHNEIDER, 2007 ; SAUMON RHIN, 2005) ; la remontée y est souvent observée en relation avec une hausse des débits.
- Il n'y a donc pas vraiment de lien apparent avec la distance par rapport à l'embouchure du Rhin – et, par conséquent, avec la longueur du trajet de migration parcouru en eau douce. Il semble en revanche que la proximité de la période de frai et le déclenchement de la pulsion de reproduction soient les facteurs décisifs pour le modèle spatio-temporel de migration des poissons.

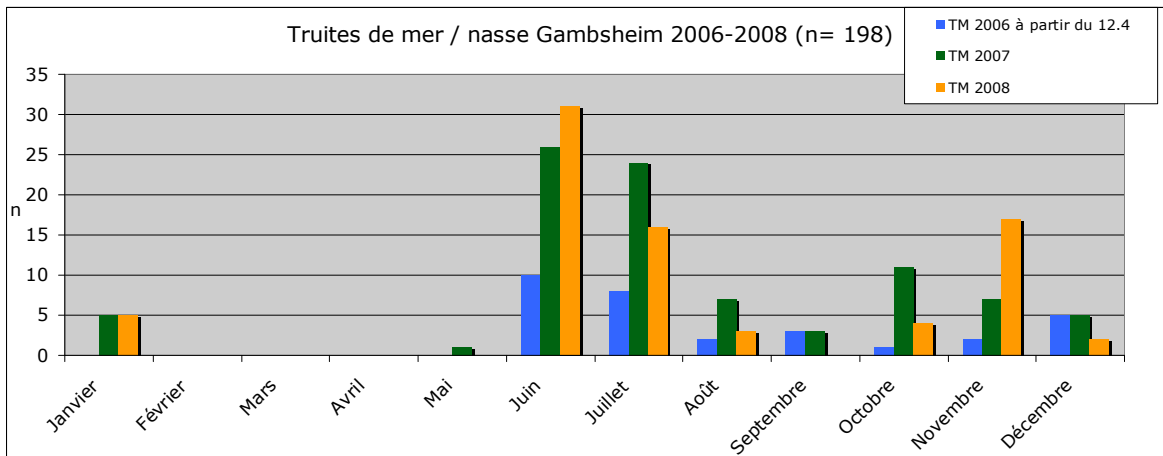
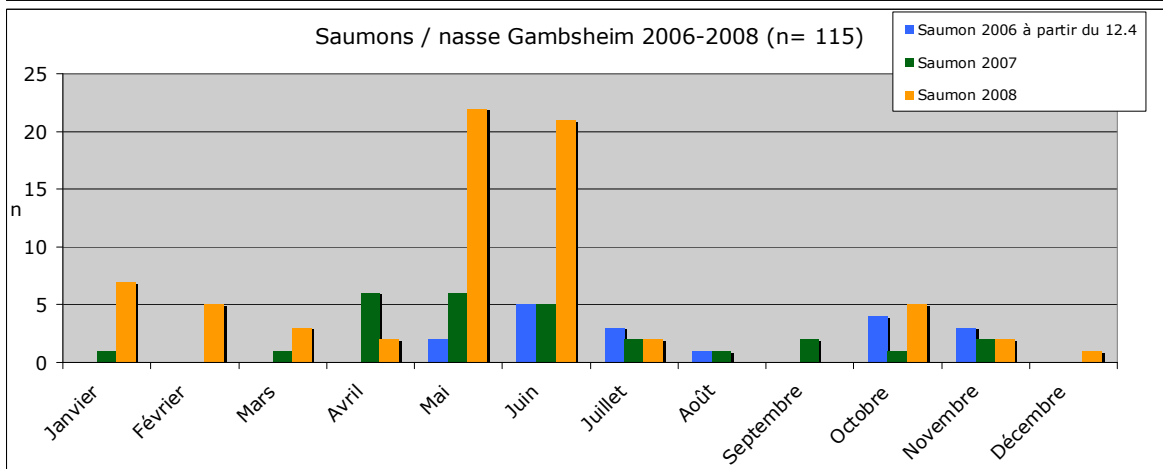
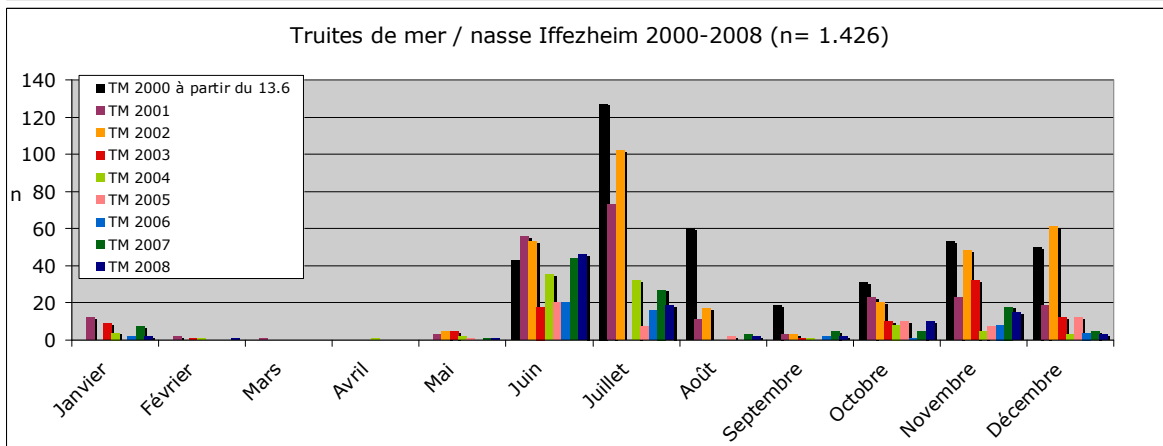
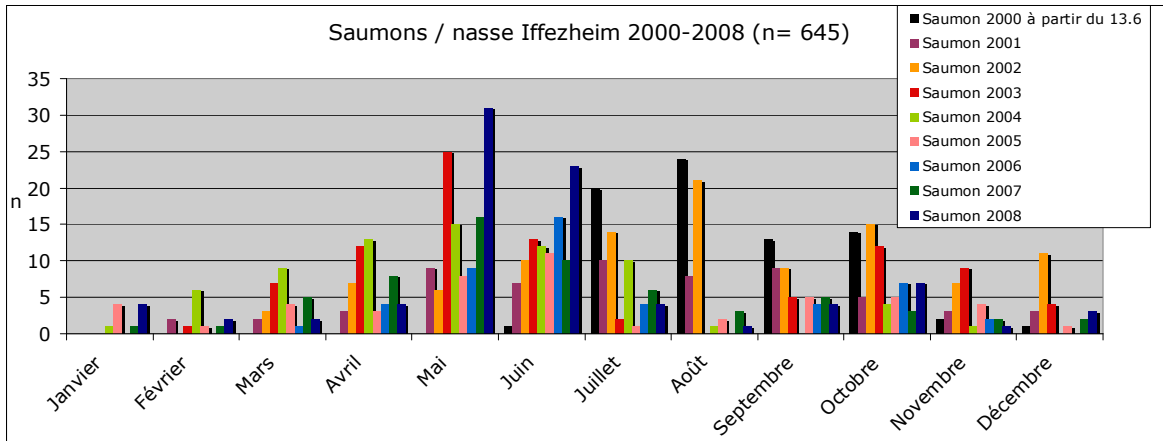


Fig. 5 : Périodes de migration des grands salmonidés dans le Rhin supérieur : Iffezheim (en haut) et Gamsheim (en bas).

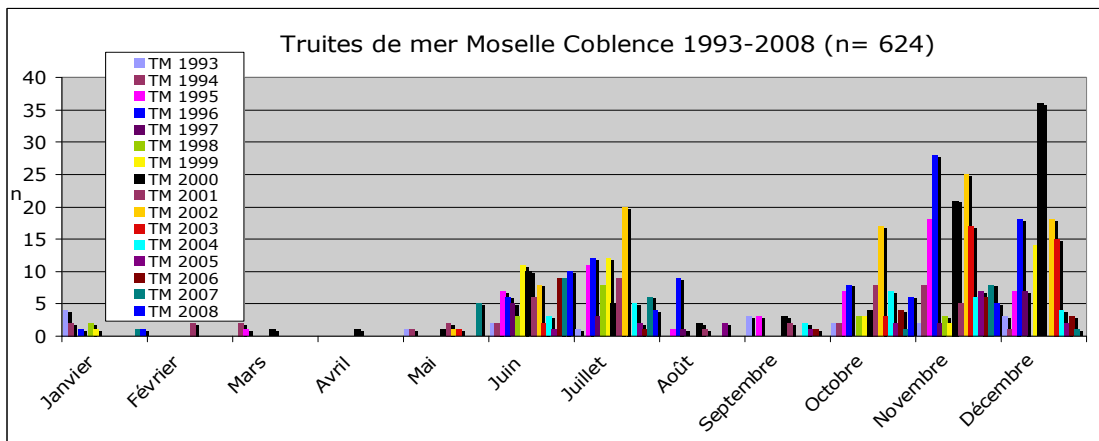
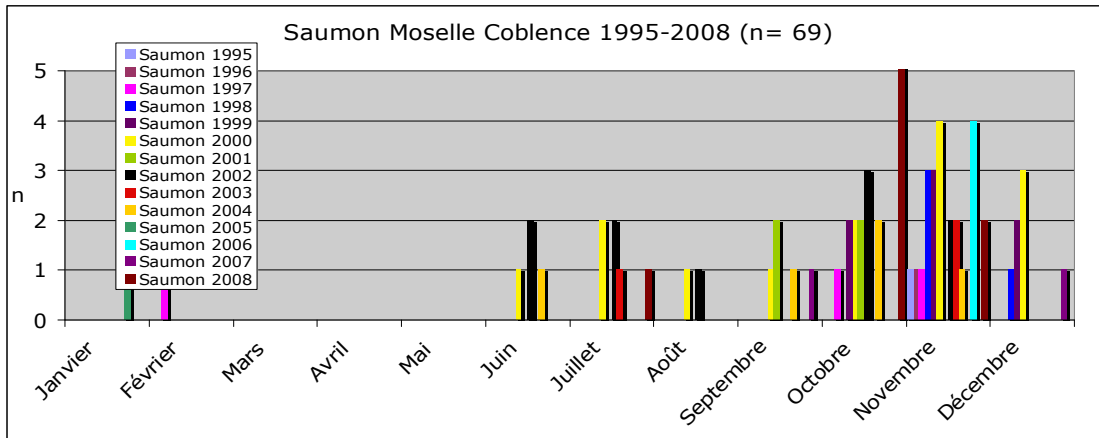


Fig. 6 : Périodes de migration des grands salmonidés dans la partie aval de la Moselle

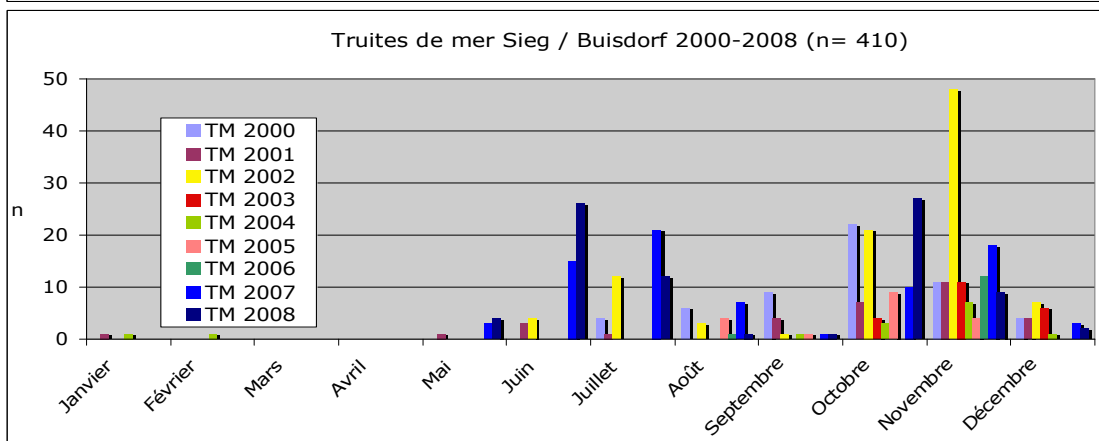
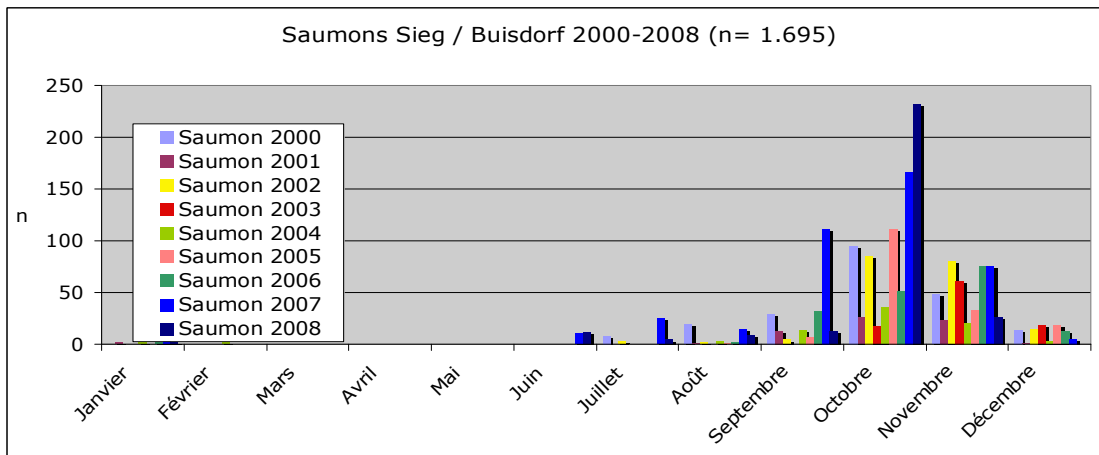


Fig. 7 : Périodes de migration des grands salmonidés dans la partie aval de la Sieg

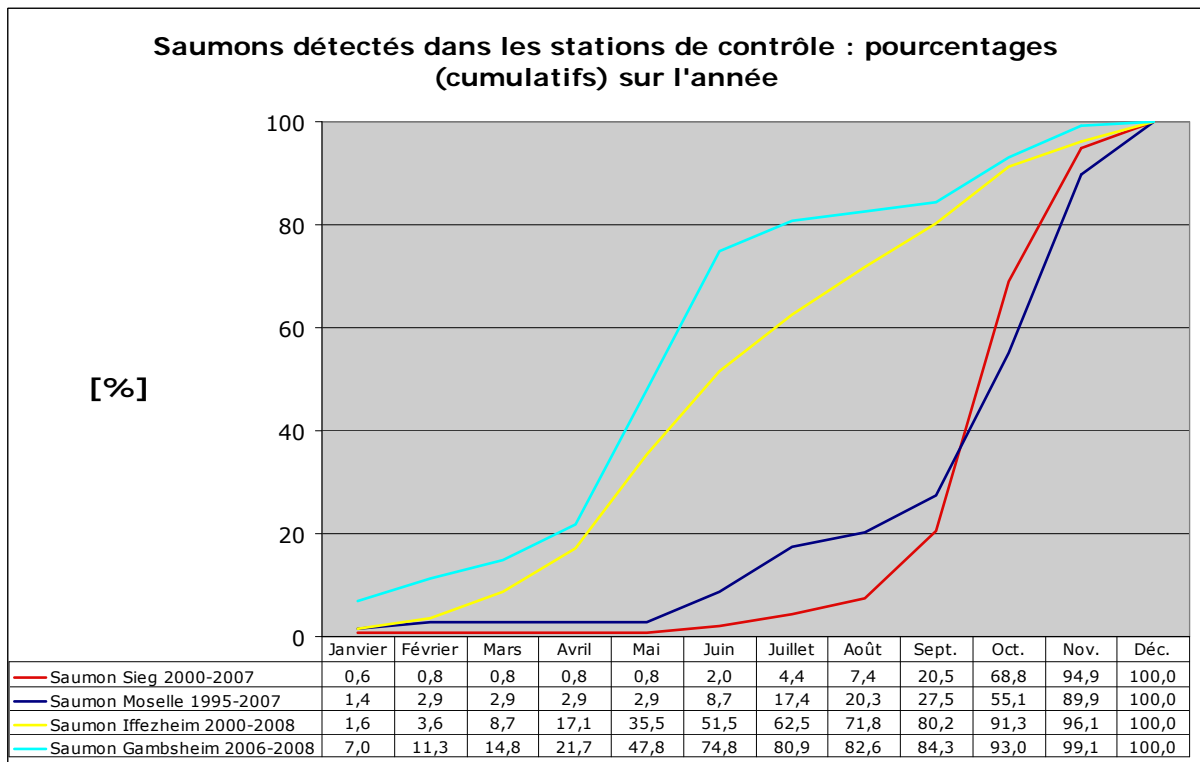
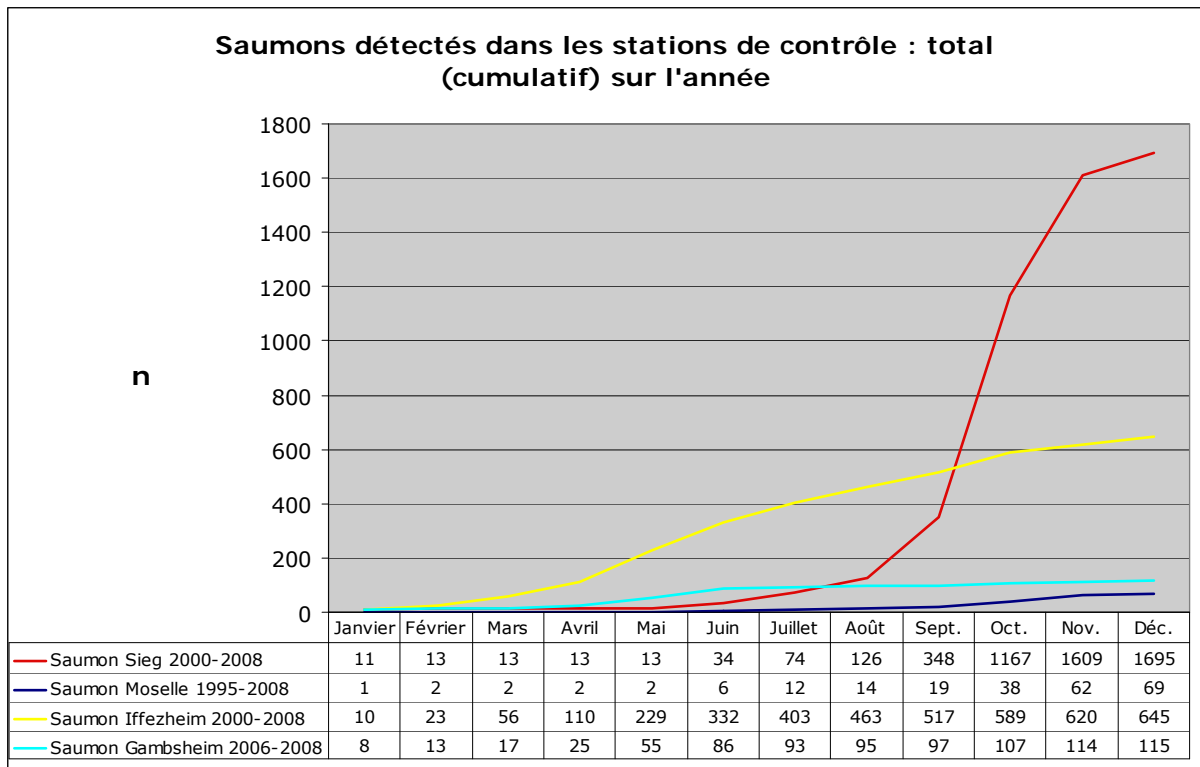


Fig. 8 : Présentation cumulée des saumons détectés dans les quatre stations de contrôle (en haut : totaux ; en bas : pourcentages)

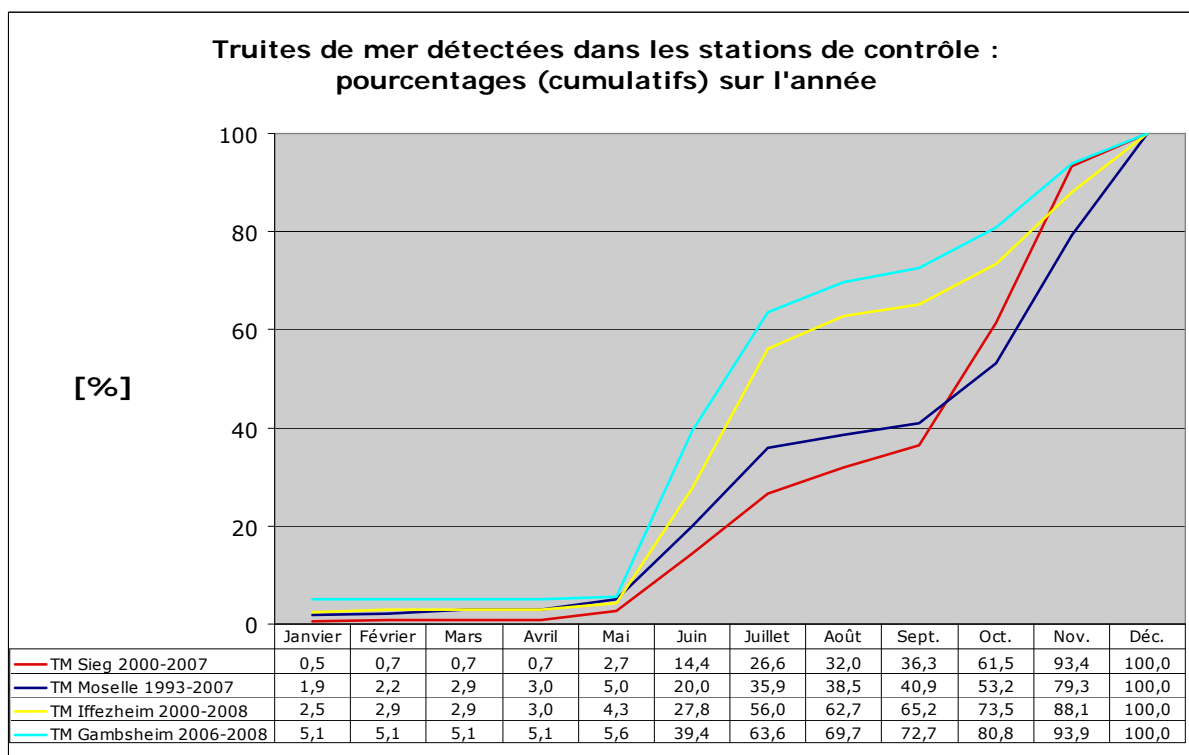
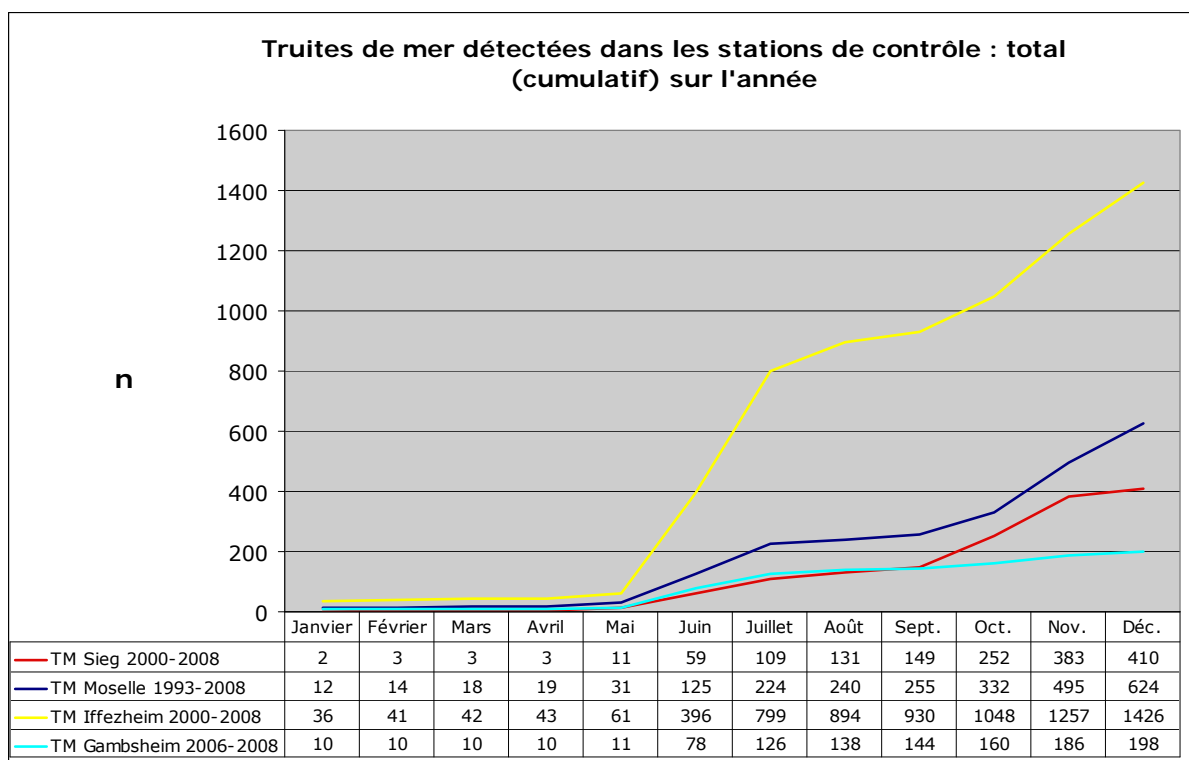


Fig. 9 : Présentation cumulée des truites de mer détectées dans les quatre stations de contrôle (en haut : totaux ; en bas : pourcentages)

Principales phases de montaison du saumon :

- dans le delta entre mai et juillet ainsi que (dans une moindre mesure) entre août et décembre
- dans le Rhin supérieur entre mai et juillet et entre septembre et octobre
- dans la Moselle en juin, juillet et entre octobre et novembre
- dans la Sieg de juillet à août et entre octobre et novembre

Toutes les rivières et les tronçons fluviaux sont des corridors de migration ; on observe toutefois une reproduction naturelle de saumons dans le Rhin supérieur en aval d'Iffezheim et dans le cours aval de la Sieg (HARTMANN, NEMITZ, communication orale) (voir tableau 2).

Dans une phase d'évaluation ultérieure, on a fait ressortir pour les stations de contrôle Iffezheim, Moselle/Coblence et Sieg/Buisdorf les disparités entre les différentes années (pour le saumon et la truite de mer) (fig. 10-12) :

Dans la présentation cumulée des totaux, on note tout d'abord une forte disparité des chiffres de montaison imputable aux *variations de peuplements* résultant d'*alevinages d'ampleur variable* (pour l'essentiel des saumons), de pertes dues à la pêche, de la mortalité (eau douce, mer), de *l'efficacité* variable des nasses (notamment sur la Sieg) et des différences au niveau de la *réparabilité* des dispositifs de franchissement (notamment sur la Moselle et la Sieg).

Dans la présentation cumulée des *pourcentages* mensuels dans l'ensemble des captures (ou des détections annuelles), on relève également des disparités importantes au niveau de la montaison, probablement dues à la variation des débits et des températures de l'eau ; pour le saumon, l'interprétation est plus complexe car les périodes de migration dépendent du séjour en mer (les poissons issus de souches ayant un pourcentage élevé de madeleineaux migrent majoritairement en automne, par contre on note plus de retours précoces lorsque les pourcentages de 'PHM' sont plus élevés). Ces facteurs se superposant en partie, il est rarement possible d'établir une corrélation précise.

Citons à titre d'exemple les interprétations suivantes :

L'été 2003, caractérisé par des records de chaleur et des étiages de juin à août, se distingue par un phase neutre caractéristique pendant cette période (= aucune activité migratoire), étant donné que les salmonidés interrompent provisoirement leur migration lorsque la température de l'eau dépasse 25°C ; voir les barres rouges et/ou la ligne rouge dans les graphiques pour Iffezheim et la Moselle, fig. 5, 6, 10 & 11 ; Sieg : aucun recensement sur la période considérée). La remontée se décale ainsi de plusieurs semaines. La comparaison avec les années suivantes montre cependant que la régression des peuplements observée en parallèle n'est pas un phénomène isolé spécifique à l'année 2003 et n'est donc pas due à une plus forte mortalité à la suite des températures élevées (voir chap. 2, fig. 1-3).

La lamproie marine et la grande alose qui remontent principalement en mai, n'ont pas été touchées par la situation extrême de 2003 (voir également les comptages de poissons à Iffezheim et Gamsheim en ANNEXE).

En 2007, année caractérisée par des débits élevés (voir valeurs journalières en ANNEXE) et de basses températures d'eau $\leq 25^\circ\text{C}$ en été, on a observé une remontée particulièrement précoce des salmonidés (fig. 10-12).

En 2001 et 2002, les saumons sont remontés à Iffezheim plus tard que les années suivantes. Ce phénomène pourrait s'expliquer par un passage progressif des souches d'origine irlandaise et du sud-ouest de la France, qui fraient tardivement, à des souches de saumons Allier qui fraient plus tôt (voir fig. 13).

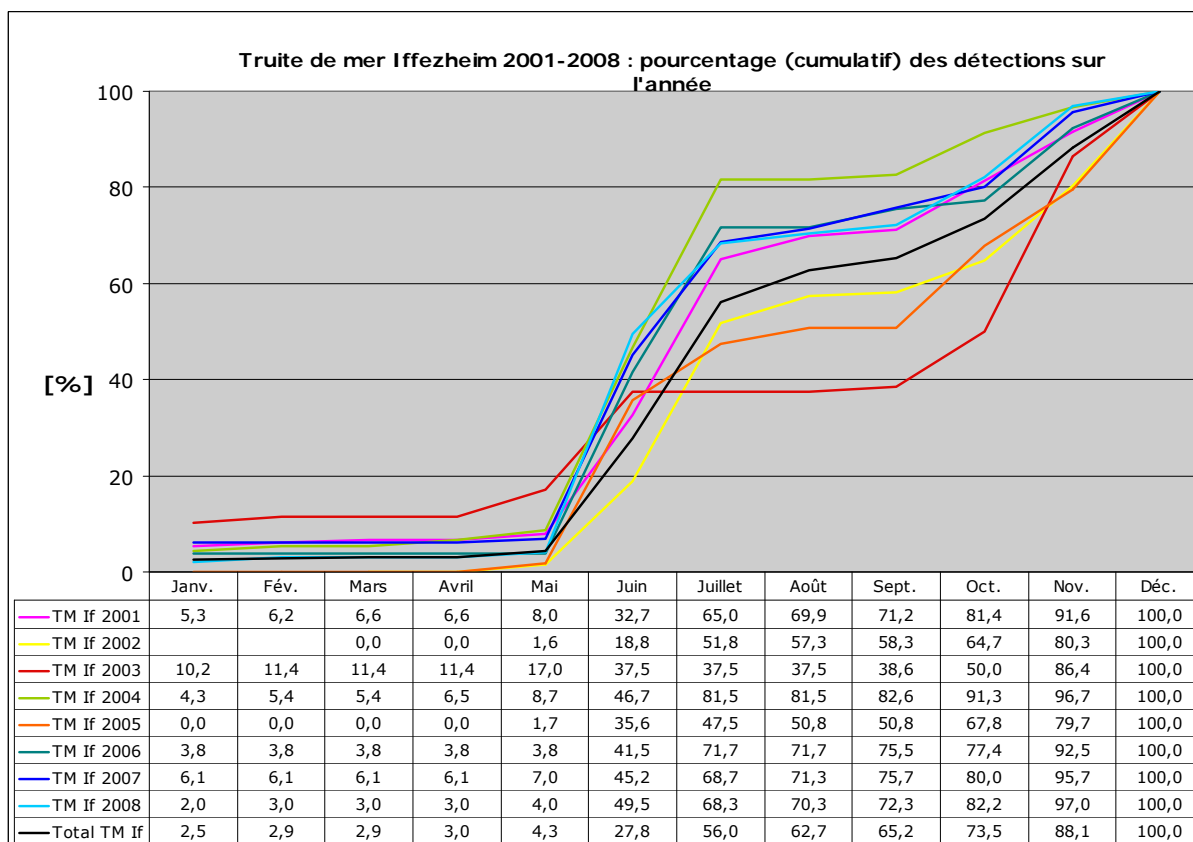
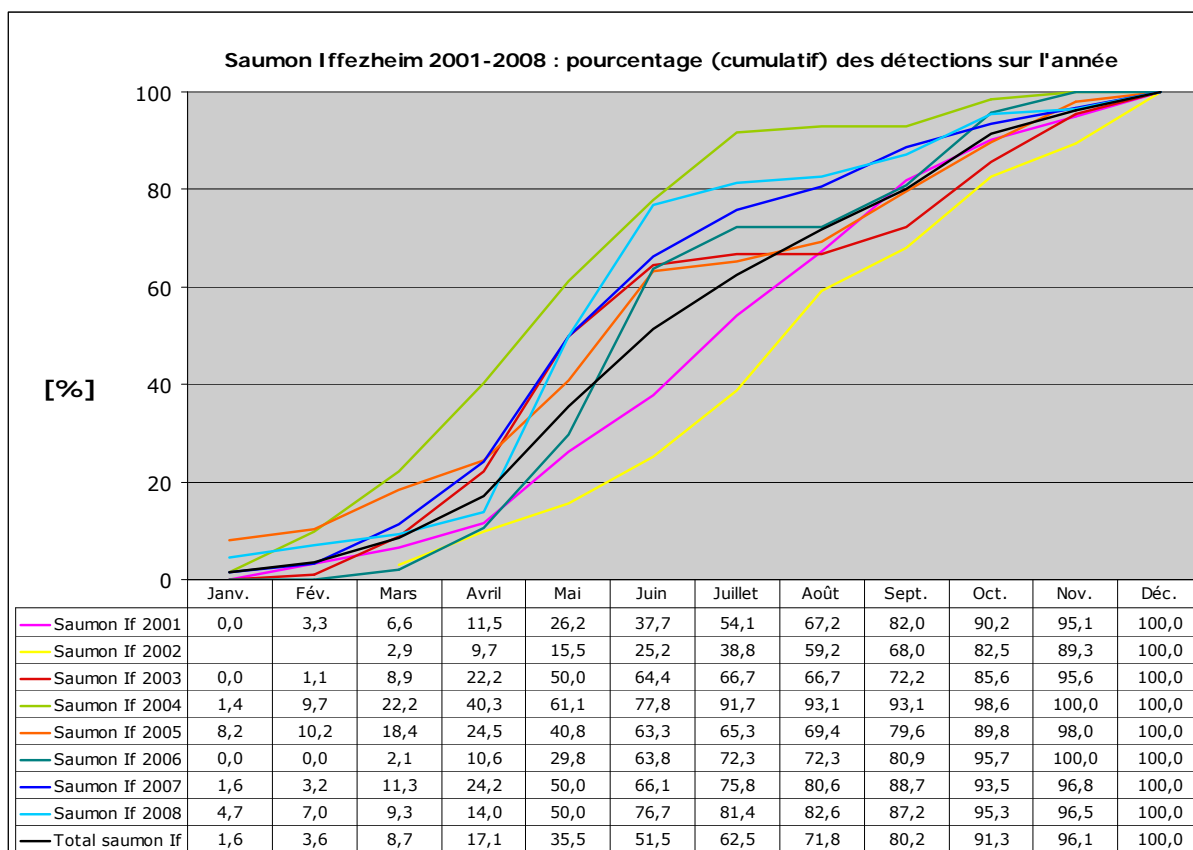


Fig. 10 : Présentation cumulée des saumons (en haut) et des truites de mer (en bas) détections dans la station de contrôle d'Iffezheim.

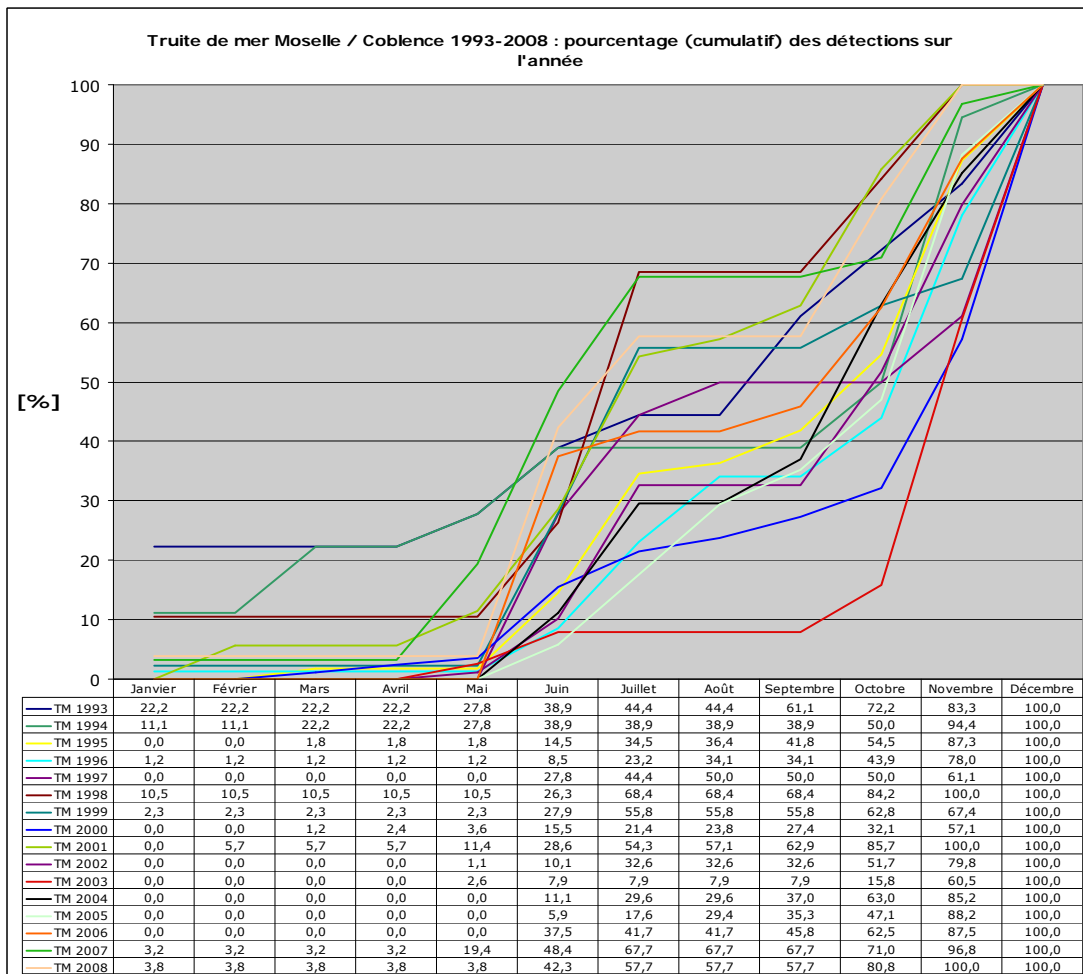
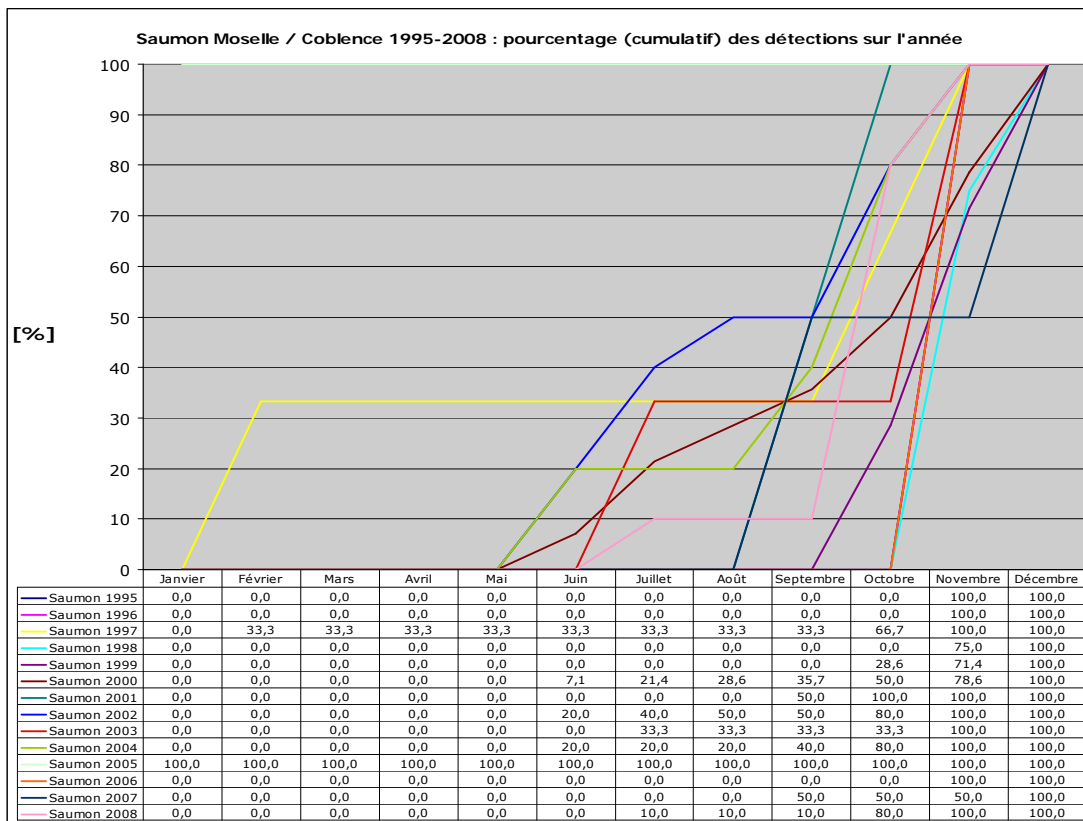
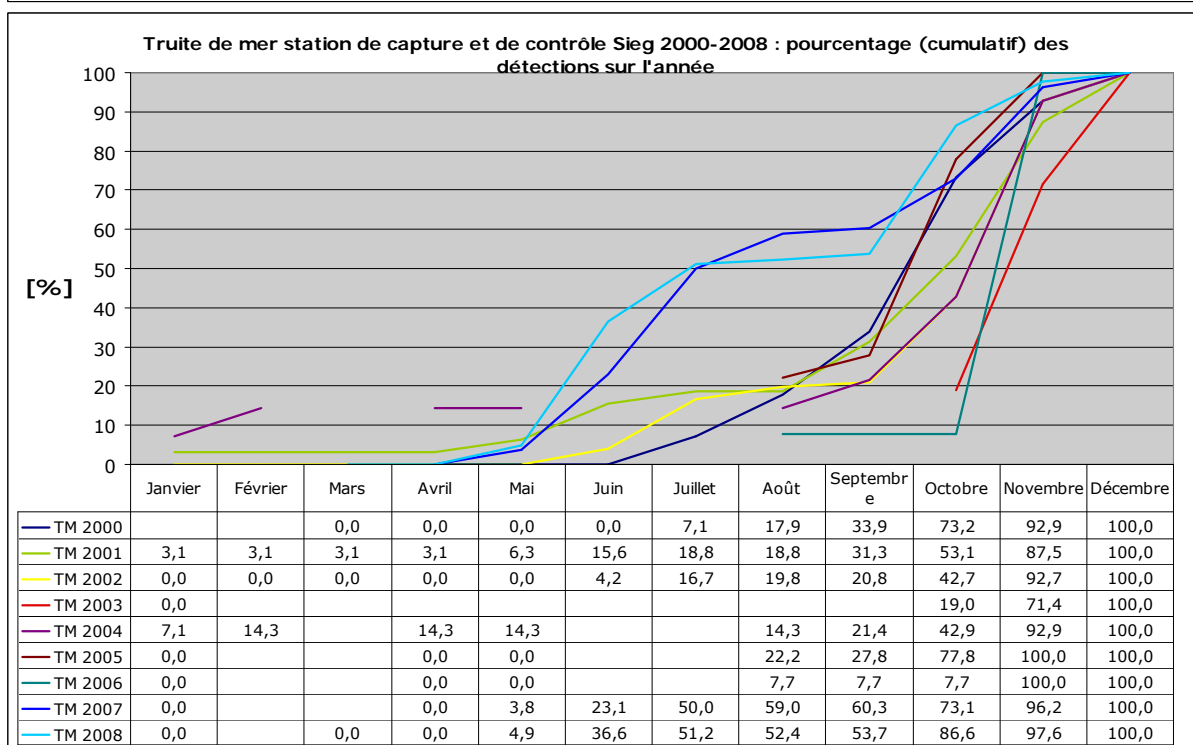
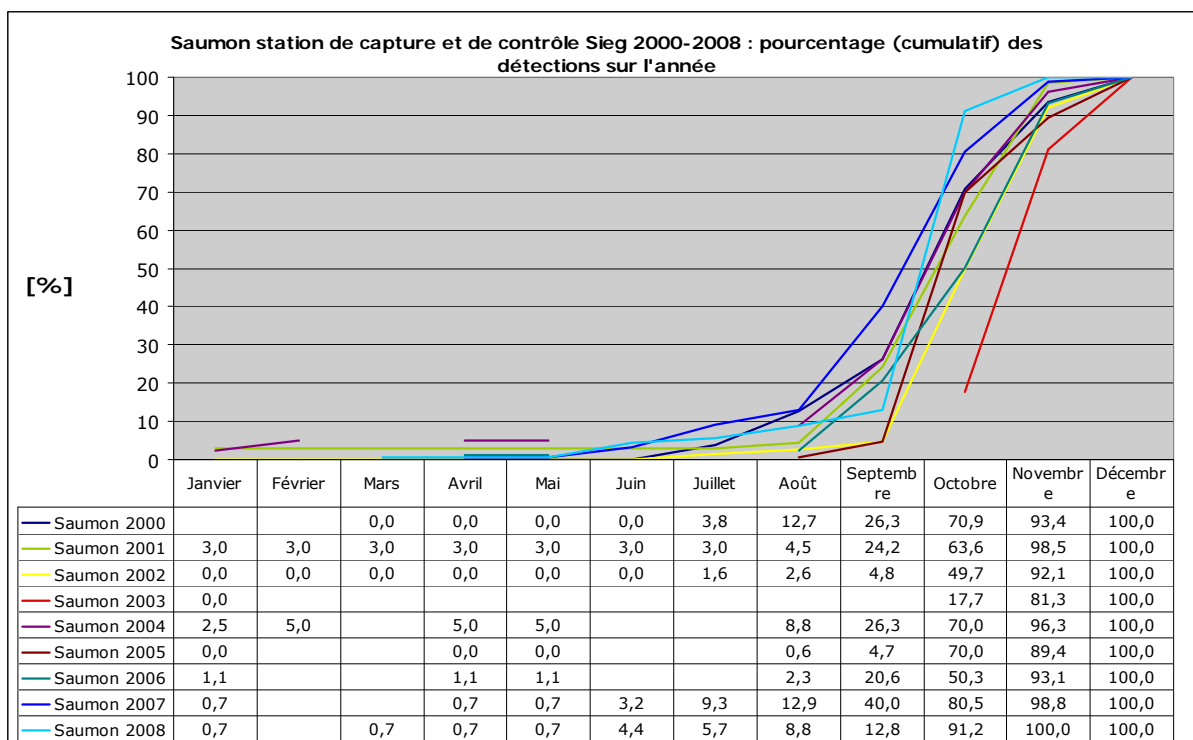


Fig. 11 : Présentation cumulée des saumons (en haut) et des truites de mer (en bas) détectés dans la station de contrôle Moselle/Coblenze.



**Fig. 12 : Présentation cumulée des saumons (en haut) et des truites de mer (en bas) détectés dans la station de contrôle Sieg/Buisdorf.
Données : communication orale A. NEMITZ, Rheinischer Fischereiverband, pour le compte du LANUV NRW)**

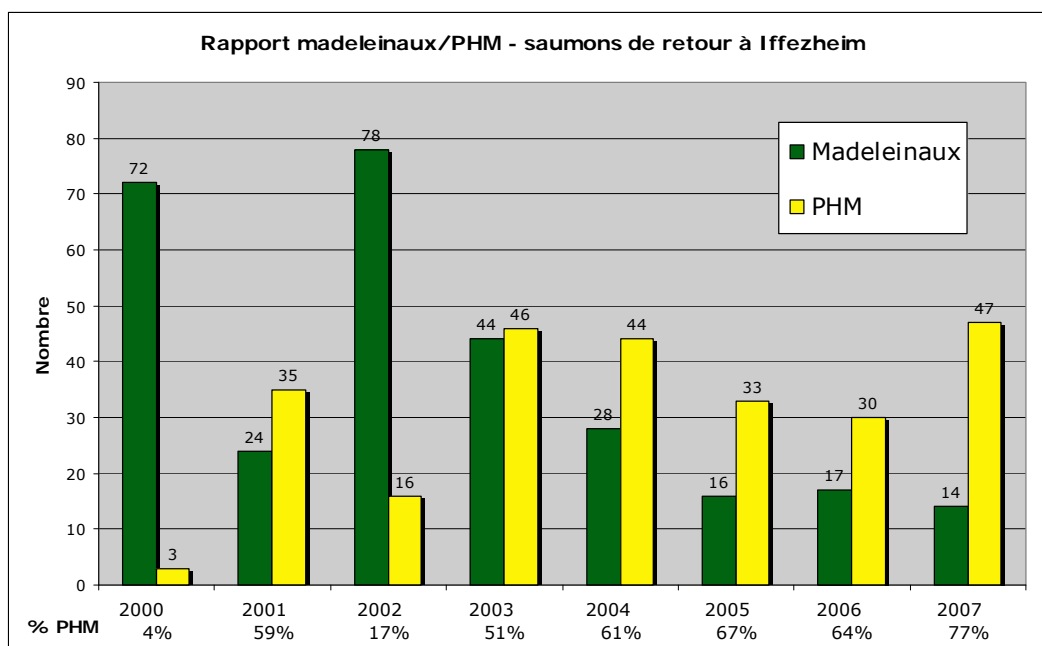


Fig. 13 : Proportion de madeleinaux et de saumons ayant passé plusieurs hivers en mer dans la station de contrôle d'Iffezheim (tiré de : SAUMON RHIN, 2008a)

Fenêtre de temps des phases de dévalaison

Les juvéniles dévalants profitent tout particulièrement des débits élevés dans le corridor de migration. Lorsque les débits sont élevés, la vitesse de migration augmente, l'énergie nécessaire et la mortalité au droit des usines hydroélectriques baissent (pour autant qu'il y ait surverse des barrages) et la prédation exercée par les poissons et les oiseaux est restreinte car le corridor de migration est plus large et plus profond et la visibilité est réduite du fait de la turbidité.

Les hydrogrammes de la période 1998 – 2007 (voir graphiques en ANNEXE) montrent que 1999, 2001 et 2006 ont été des années particulièrement favorables à la dévalaison au printemps alors que les années 1998, 2003 et 2004 ont été caractérisées par de faibles débits. Les smolts de salmonidés quittent l'hydrosystème pour l'essentiel entre avril et juin (voir tab. 5).

La fig. 14 (en haut) fait état des débits printaniers dans le Rhin entre 1998 et 2007 ; la valeur a été formée à partir de la moyenne des valeurs journalières à l'échelle de Rees entre avril et juin.

Le débit pendant la période de migration est étroitement lié à la variation annuelle des saumoneaux identifiés dans le delta du Rhin (JURJENS, 2006 ; données jusqu'en 2005). En 1999 et 2001, années de débit élevé, les densités de smolts de saumons et de truites de mer étaient particulièrement élevées ; elles étaient plus faibles en 1998, 2003 et 2004 où les débits étaient moins élevés (fig. 14, en bas). Pour le saumon et la truite de mer, les résultats sont cohérents au niveau du modèle de comportement et du nombre d'individus, ce qui revient à dire que l'impact des débits reste marquant quelle que soit l'ampleur des alevinages de saumons.

Il existe une autre corrélation avec le nombre de géniteurs de retour à Iffezheim au cours des années suivantes (voir chap. 3.5, facteur débit).

A partir de la synthèse des débits, du nombre de saumoneaux dans le delta et des adultes de retour identifiés à Iffezheim, on propose l'interprétation suivante : Si le débit (Rees) $Q <$

2.000 m³/s, les conditions hydrologiques peuvent être considérées comme mauvaises ; elles sont modérément favorables lorsque le débit Q varie entre 2.000 et 2.500 m³/s et favorables lorsqu'il se situe entre 2.500 et 3.000 m³/s. Lorsque le débit Q est > 3.000 m³/s, les conditions de dévalaison sont excellentes.

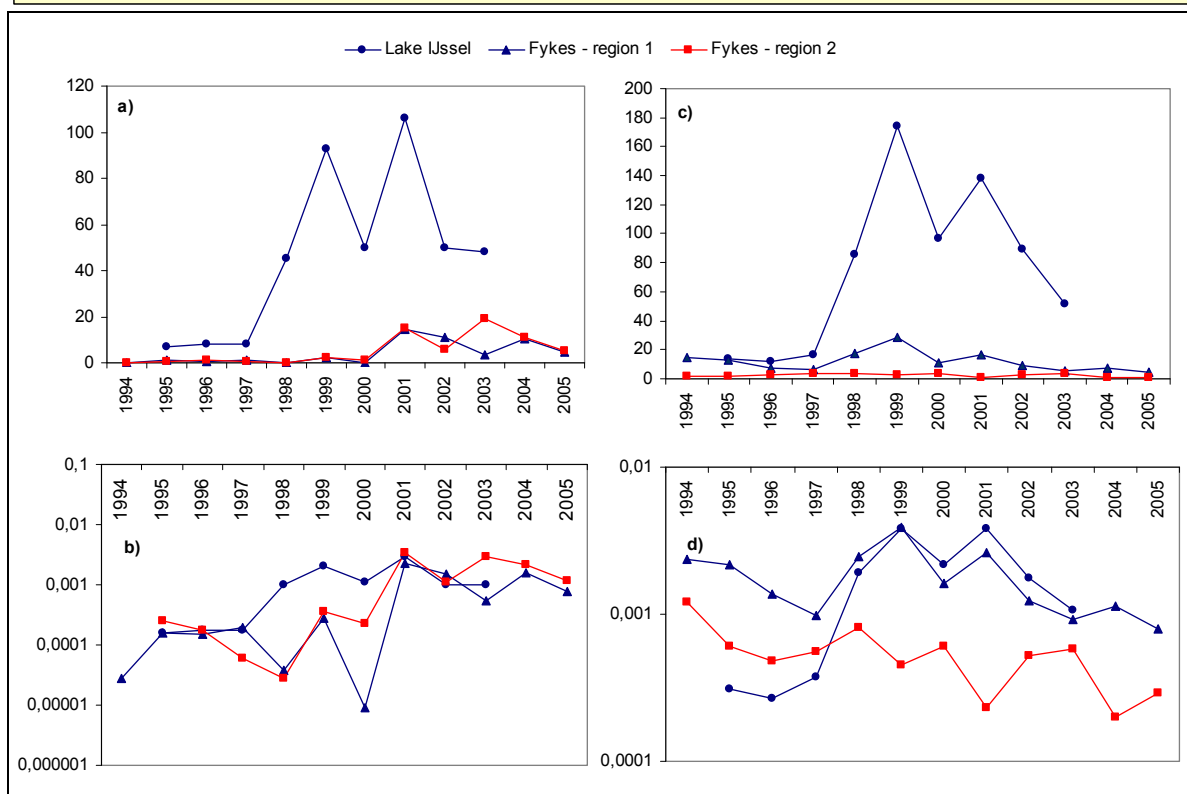
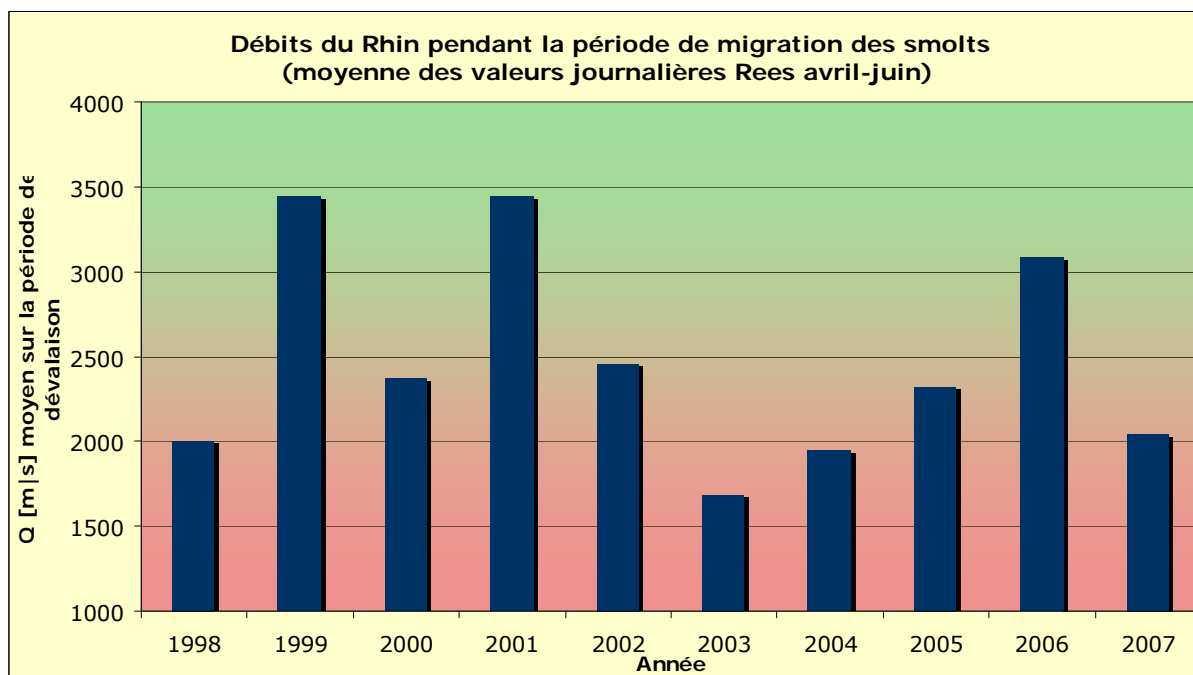


Fig. 14 : Débit printanier moyen dans le Rhin de 1998 à 2007 (en haut) et saumoneaux identifiés dans le delta du Rhin (tiré de JURJENS, 2006) (en bas) ; delta du Rhin : lignes bleues = IJsselmeer ; TM = truite de mer ; CPUE = Capture Par Unité d'Effort (taux de capture par rapport aux efforts de capture).

3.3 Quelle est l'influence de la continuité linéaire sur les peuplements de poissons migrateurs et quel est le nombre probable d'adultes de retour en cas d'accessibilité de frayères et zones de grossissement appropriées dans les différents sous-bassins (sélection : Rhin inférieur, Rhin moyen, Moselle, Main, Rhin supérieur méridional, haut Rhin) et dans quels sous-bassins ou segments du Rhin les potentialités sont-elles les plus élevées ?

Cette question est traitée sur la base d'une approche théorique s'appuyant sur les surfaces de frai et de grossissement.

Les impacts d'ouvrages transversaux sur une population dépendent du nombre, de l'emplacement dans l'hydrosystème fluvial et de l'intensité de l'effet d'obstacle. Les restrictions de la continuité longitudinale dans la partie aval des grandes rivières (= corridor de migration pour les quatre espèces cibles) ont des impacts sur l'accessibilité de sous-bassins de grande étendue et sont donc jugées plus pénalisantes que des ouvrages transversaux dans les cours supérieurs (ceci n'est pertinent que pour le saumon et la truite de mer, et dans une certaine mesure, pour la lamproie fluviatile et marine ; voir tab. 1). Les mesures d'aménagement qui permettent de reconquérir de grandes surfaces (extension des zones de reproduction et de grossissement accessibles) pour les espèces cibles devraient être mises en œuvre avec priorité du point de vue écologique. D'autres espèces (le plus souvent potamotoques) profitent également de ces mesures.

Les possibilités de réintroduire des populations d'espèces amphihalines baissent théoriquement avec le nombre d'ouvrages transversaux (si l'effet d'obstacle n'a pas été totalement levé) et notamment avec le nombre d'usines hydroélectriques sur la voie de migration. Ceci s'explique par les effets cumulés (effet d'obstacle, mortalité) de plusieurs usines hydroélectriques ou barrages (y compris les ouvrages de fermeture le long du littoral) à la migration successifs sur les populations. Etant donné que les données dans l'hydrosystème du Rhin sont incomplètes et que l'on ne peut tirer d'enseignements généraux sur le fonctionnement des dispositifs de franchissement sur des sites spécifiques et sur la mortalité dans les turbines, on estime *a priori* l'effet cumulé potentiel de plusieurs ouvrages successifs sur le pourcentage de migrateurs dans une population à l'aide de valeurs théoriques (pertes par installation en pourcentage). Il faut cependant souligner que les risques de mortalité varient fortement selon le site et le débit et que les extrapolations des effets cumulés, fondées sur des hypothèses théoriques, ne peuvent être considérées que comme une première approche d'évaluation.

Le lien direct entre la reproduction naturelle et l'amélioration de la continuité des rivières a déjà été présenté pour le saumon dans le tab. 2. Le tab. 3 fait état des frayères des quatre espèces ciblées rapportées aux régions fluviales. Le tab. 15 (chapitre 4.2.5) met en évidence la relation entre l'exploitation hydroélectrique (nombre d'usines hydroélectriques sur l'ensemble du bassin et dans les rivières prioritaires, estimation de la mortalité) et les actuels stades intermédiaires de réalisation des projets (accès aux habitats, reproductions identifiées et estimation du taux de reproduction en 2008 ; voir aussi le tableau 2).

Habitats potentiels

Saumon et truite de mer

Certaines frayères ne s'étendent que sur 2 à 10 m². En général, la disponibilité des frayères est un facteur moins limitant que la disponibilité de zones de grossissement appropriées pour la production de smolts dans les milieux propices à la reproduction (facteurs de régulation : densité, éléments morphologiques et disponibilité de nourriture). Les calculs suivants se réfèrent donc aux zones de grossissement.

On a eu recours aux données disponibles de la CIPR pour estimer les habitats potentiels du saumon. Certaines de ces données ont été complétées ou ajustées aux dernières connaissances. Mentionnons tout d'abord les éléments suivants :

L'estimation se fonde sur une approche purement théorique. On estime les surfaces susceptibles d'accueillir des saumons et des truites de mer en fonction de la composition du substrat et des vitesses d'écoulement. Sur la base des données disponibles, la productivité ne peut pas être différenciée, ou l'être tout au plus pour quelques cours d'eau où se trouvent des juvéniles issus d'une reproduction naturelle. La productivité (ou la qualité) de différents cours d'eau ou tronçons fluviaux dépend fondamentalement de différents autres facteurs tels que le régime de température, la concurrence entre différentes espèces ou au sein d'une même espèce, la prédation (poissons, avifaune), la disponibilité d'éléments morphologiques « *In-Stream* », les débits et l'alimentation. Tout comme les facteurs susmentionnés, la productivité peut varier fortement non seulement selon les tronçons fluviaux, mais également selon les années. On peut supposer que les habitats de reproduction « classiques » dans la région à ombres et la partie aval de la région à truites affichent en général une bonne qualité morphologique et hydrologique. On ne dispose cependant que d'informations lacunaires sur la qualité *actuelle* des habitats dans le cours principal du Rhin, ces informations provenant de descriptions historiques et de quelques preuves de reproduction.

Il n'a pas été tenu compte jusqu'à présent des potentialités que présente le cours principal en tant que zone de reproduction du saumon. A l'opposé de ce qui ressort de la bibliographie détaillée sur le choix des frayères (analyses anglo-saxonnes et scandinaves dans des rivières de petite et de moyenne taille), l'espèce semble être nettement plus flexible qu'on ne l'imaginait jusqu'à présent. Selon de nombreux auteurs, il existe une profondeur *maximale* pour les frayères (fourchette : au moins 17, au plus 76 cm ou < 100 cm) (voir Armstrong *et al.*, 2003 pour un aperçu global). Il a été tenu compte de ces données, considérées comme des valeurs limites, dans les estimations d'habitats et de surfaces, par exemple dans l'étude d'impact sur l'environnement réalisée dans le cadre du renouvellement de la concession de l'usine de Kembs (SCHNEIDER & JORDE, 2003) et dans les estimations de surface faites par la CIPR (2007). D'après les connaissances actuelles, le frai dans les grands fleuves ne se limite en aucun cas aux tronçons peu profonds. Lorsque le substrat est approprié, les frayères peuvent atteindre des profondeurs de 200 cm (voir SCHNEIDER, 2005). L'autobiographie du naturaliste Robert Lauterborn (1869-1952) (LAUTERBORN, 2009) montre que de tels habitats constituaient également dans le Rhin (ici : haut Rhin) des frayères importantes ; il est écrit à la page 70 à propos du frai des saumons dans le haut Rhin : « *Quelle différence sur ce tronçon lors de mes visites en 1908 – 1911 dans les derniers jours de novembre ! A cette époque, on pouvait observer partout des saumons en train de frayer, à une température de l'eau de 9,2°C. Les nombreux nids de ponte, de 3 m de long et 1 m de large, étaient creusés dans le lit du Rhin entre Rheinau et Ellikon, uniquement sur des bancs de gravier pas trop grossiers sur les berges, à une profondeur d'environ 1,5 à 2 m, mais jamais sur un « sol noir », comme le disaient les pêcheurs, c'est-à-dire les bancs de cailloux agglomérés en profondeur, de la taille d'une tête, recouverts de mousses vert foncé et d'algues calcaires.* » Des habitats comparables existent visiblement encore dans le Rhin supérieur. HARTMANN (2008, communication orale) évoque des saumons juvéniles issus « très probablement » d'une reproduction naturelle en aval du barrage d'Iffezheim (détections de la classe d'âge 0+) ; on suppose que les zones de frai se situent sur les bords extérieurs des champs d'épis. Etant donné qu'il s'agissait ici d'une présence isolée de plusieurs individus et que l'on peut exclure une propagation de la cohorte 0+ sur plusieurs kilomètres dans le Rhin, il est improbable que ces juvéniles viennent des affluents (voir entre autres SCHNEIDER, 1998, sur la distribution des saumoneaux dans les affluents du Rhin). On dispose par ailleurs d'indications de plusieurs pêcheurs professionnels datant de la première moitié du 20^{ème} siècle et montrant que les saumons frayaient sur les bancs de gravier et les têtes d'épis dans le Rhin supérieur méridional (voir recueil de documents historiques dans BARTL *et al.*, 1993). En conséquence, on peut partir de l'hypothèse d'une reproduction naturelle très probable en aval d'Iffezheim.

LAUTERBORN évoque également l'utilisation fréquente des giessen par le saumon (ainsi que par la lamproie amphihaline) comme zone de frai et d'habitat ; on dispose aujourd'hui encore d'habitats intacts et remarquables de grande étendue.

Contrairement aux estimations faites jusqu'à présent, il semble que les frayères et les zones de grossissement dans le Rhin supérieur méridional et le haut Rhin ne se limitent pas au Vieux Rhin et aux affluents du Rhin (bien que ces derniers, à l'exception des giessen, abritent sans doute les habitats les plus productifs), ce qui se traduirait par une sous-estimation des habitats. Selon une estimation approximative (> 30 km de tronçon approprié, zones riveraines de 10 à 20 m), on pourrait disposer dans les festons du Rhin et les zones alluviales connectées ainsi qu'en dehors de la zone de remous des barrages d'habitats supplémentaires d'au moins 60 à 120 ha entre le barrage de Strasbourg et le débouché de l'Ergolz, dont il n'a pas été tenu compte jusqu'à présent ; viendraient s'y ajouter au moins 50 ha en aval d'Iffezheim. Compte tenu de cet aspect, il faudrait également intégrer le haut Rhin, pour l'essentiel franchissable, dans un nouveau calcul auquel il est toutefois renoncé en regard de la zone considérée dans la présente étude. (Il est probable que les surfaces propices supplémentaires dans le bassin haut Rhin soient de l'ordre de 100 ha).

Pour le Vieux Rhin, particulièrement approprié sous l'angle morphologique, on a repris les débits échelonnés selon les saisons, tels que proposés dans la simulation des habitats de SCHNEIDER & JORDE (2003) (60 m³/s pendant la période de frai, 90 m³/s en été). Conformément aux pourcentages de surface indiqués, extrapolés à partir du pourcentage de types morphologiques, il existe dans le Vieux Rhin (après le renouvellement de la concession de l'usine hydroélectrique de Kembs) env. 23 ha de frayères et 88 ha de zones de grossissement (estimation antérieure : 64 ha). Les mesures de restauration des habitats (apport de gravier, accroissement de la dynamique) n'étant pas encore intégrées, ces valeurs peuvent être considérées comme des valeurs minimales ; les potentialités en terme d'habitat devraient nettement dépasser les 100 ha dans le Vieux Rhin.

Dans le cadre de l'estimation des surfaces d'habitat dans les affluents de la Moselle, il n'a pas été tenu compte pour l'essentiel des rivières salmonicoles historiques Elz, Uessbach, Alf, Enz et Kleine Dhron ainsi que de plusieurs petits tributaires (entre autres le Baybach) cités dans SEILER (1999) ; les grands affluents Salm, Ruwer et Dhron n'ont été considérés que de manière très limitée (cours aval) (voir SEILER, 1999 et « carte des rivières salmonicoles historiques » de la CIPR, 2007). A elle seule, l'Elz qui est relativement petite et fait l'objet d'alevinages salmonicoles (SCHNEIDER, 2008) dispose d'une surface adéquate de quelque 8 ha. La surface totale adéquate de tous les affluents colonisés par le passé s'élève à environ 100 ha (estimation faite par la CIPR en 2007 : 18 ha, CIPR 2004 : 86 ha).

Dans l'Ahr, la surface a été estimée jusqu'à présent à 6 ha seulement. Selon LUWG (2008), les surfaces propices au saumon représentent *au moins* 67 ha, rien qu'en Rhénanie-Palatinat. Selon des estimations prudentes, on peut supposer que les habitats représentent quelque 80 ha si l'on y ajoute le cours supérieur de l'Ahr en Rhénanie-du-Nord-Westphalie.

Dans l'hydrosystème de la Sieg, il n'a pas été tenu compte des rivières prioritaires que sont la Nister, le Wisserbach, l'Elbbach et l'Asdorf. La Nister, qui est le plus grand affluent, dispose à elle seule d'une surface exploitable de 27 ha (LUWG, 2008). La surface initialement estimée à 168 ha (CIPR, 2007) a été élargie à 190 ha sur la base d'un calcul d'INGENDAHL (communication orale).

Pour les affluents de plus petite taille qui n'ont pas été non plus considérés jusqu'à présent, à savoir la Nette, la Wisper et l'Oos, on a estimé la surface des habitats à 2 – 10 ha en fonction de la taille du bassin.

Le tab. 6 donne un aperçu des habitats disponibles (pour le saumon et la truite de mer). Cet aperçu se base sur les données publiées par la CIPR (CIPR, 2007). Les données non

plausibilisées (par ex. Ahr), incomplètes (affluents de la Moselle, hydrosystème de la Sieg) ou manquantes (par ex. Nette, Wisper, Oos, cours principal du Rhin) seront indiquées séparément dans un calcul du BFS. On a repris dans SCHNEIDER & JORDE (2003) les estimations de surface de 88 ha (plutôt conservatrices) pour le Vieux Rhin.

Tab. 6 : Habitats salmonicoles (zones de grossissement potentielles en hectares) dans l'hydrosystème du Rhin selon la CIPR (2007) et BFS (2009) ; le calcul ne se fonde pas sur une évaluation de la *qualité* des habitats.

* Hydrosystème de l'III : comprend 23,2 ha dans la Thur et la Lauch pour lesquelles il n'est pas prévu de rétablir la continuité.

Tronçon du Rhin	Relevé CIPR	Relevé BFS	Calcul CIPR 2007	Total tronçon	Calcul BFS 2009	Total tronçon
Rhin inférieur	Wupper-Dhünn Hydrosystème de la Sieg	Wupper-Dhünn Hydrosystème de la Sieg	25	193	25	215
			168		190	
Rhin moyen	Ahr Saynbach Lahn : Mühlbach Affluents de la Moselle (D) Sûre (Lux, D) Hydrosystème du Main	Ahr Nette Saynbach, Brexb. Lahn : Mühlbach, Weil, Dill, Elbb. Wisper Affluents de la Moselle (D) Sûre (Lux, D) Hydrosystème du Main	6	118	80	303
			8		10	
			4		10	
			18		19	
			70		2	
12	100	70	12			
Rhin supérieur en aval de Strasbourg	Alb Murg Rench III* Kinzig	Alb Murg Oos Rench III* Kinzig Cours principal du Rhin	10	189	10	275
			36		36	
			11		5	
			64		11	
			68		95	
68	68	50	68			
Rhin en amont de Strasbourg	Elz-Dreisam Vieux Rhin Wiese Birs Ergolz	Elz-Dreisam Vieux Rhin Wiese Birs Ergolz Cours principal du Rhin et cours d'eau alluviaux	59	167	59	251
			64		88	
			24		24	
			17		17	
			3		3	
					60	
			667		1044	

Les fig. 15 & 16 rassemblent les surfaces déterminées par BFS en hectares et les pourcentages qu'elles représentent dans les bassins. Selon ces données, les surfaces potentielles et la production potentielle de smolts en amont du barrage de Strasbourg représentent env. 24% du total sur le Rhin. Ces zones ne sont toutefois pas encore accessibles. Le Rhin supérieur et les affluents en aval de Strasbourg abritent des surfaces comparables et sont déjà accessibles en partie. Les hydrosystèmes de la Sieg et de la Wupper-Dhünn (Rhin inférieur) disposent de 21% des habitats propices dans l'hydrosystème du Rhin. Moins d'un tiers de ces habitats est exploité (il n'est pas tenu compte de l'hydrosystème de la Ruhr, la plus grande rivière salmonicole par le passé, car il ne fait pas partie du programme sur les poissons migrateurs de Rhénanie-du-Nord-Westphalie du fait de la multitude de lacs de retenue). L'hydrosystème de la Moselle (sous-bassin de la Sûre inclus), qui n'est pas encore accessible, offre à lui seul des surfaces représentant 16%, le reste du Rhin moyen 12%, dont la majeure partie est déjà accessible. La partie aval du bassin du Main (seul a été évalué ici le tronçon hessois) ne dispose que de très petites surfaces (1%).

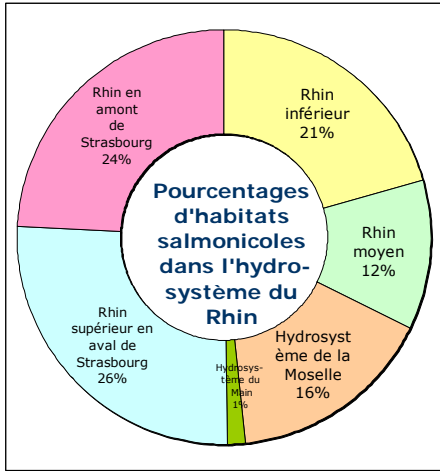


Fig 15 : Pourcentages d'habitats (frayères et zones de grossissement potentielles) du saumon et de la truite de mer dans l'hydrosystème rhénan en aval du haut Rhin par bassin (voir fig. 16 pour une représentation différenciée des affluents respectifs et du cours principal du Rhin). Le calcul ne se base pas sur l'évaluation de la *qualité* des habitats. Le Rhin supérieur en amont de Strasbourg et l'hydrosystème mosellan (pourcentage total d'habitats : 41%) disposent du plus grand nombre d'obstacles à la migration.

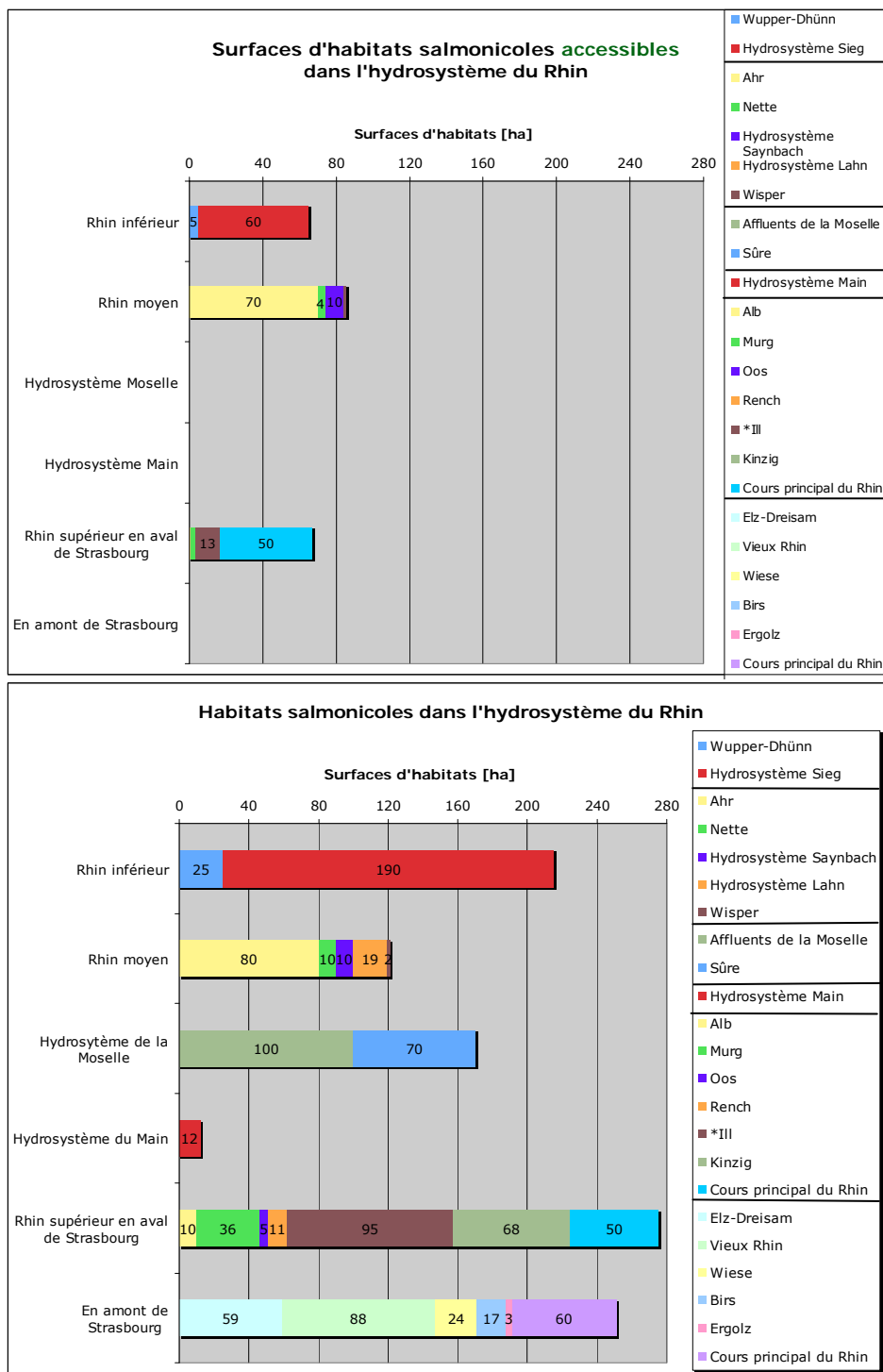


Fig. 16 : Surfaces d'habitats (frayères et zones de grossissement potentielles) du saumon et de la truite de mer accessibles (en haut) et existants (en bas) dans l'hydrosystème rhénan par bassin et affluent (hectares). *III : y compris les affluents Thur et Lauch pour lesquels il n'est pas prévu de rétablir la continuité. Le calcul ne se base pas sur l'évaluation de la *qualité* des habitats.

La figure 17 présente la production potentielle de smolts en cas d'accessibilité de tous les habitats. On estime la production de smolts à 1.000 individus par hectare de zone de grossissement (voir SCHULTZ, 2006 ; INGENDAHL, 2007). Le tab. 7 indique la production potentielle naturelle de smolts dans la situation actuelle et en cas de rétablissement de la continuité et d'adaptation réussie des souches de même que le nombre de géniteurs de retour (taux de retour de 3%) par bassin.

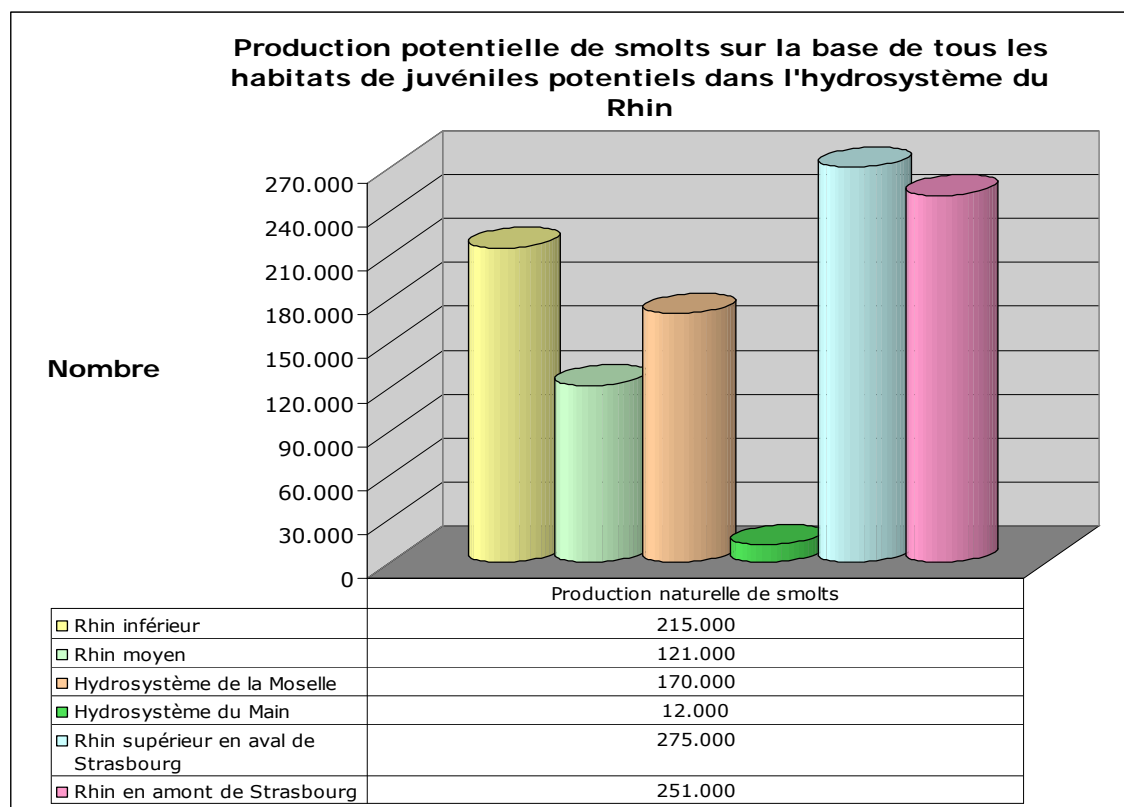


Fig. 17 : Production naturelle théorique de smolts en cas de colonisation de tous les habitats (pour 1.000 smolts par hectare). Le calcul ne se base pas sur l'évaluation de la *qualité* des habitats.

Tab. 7 : Production théorique actuelle et future (après rétablissement de la continuité) de smolts et nombre d'adultes de retour par sous-bassin. Le calcul ne se base pas sur l'évaluation de la *qualité* des habitats.

Production naturelle de smolts	Rhin inférieur	Rhin moyen	Hydrosystème de la Moselle	Hydrosystème du Main	Rhin supérieur en aval de Strasbourg	Rhin en amont de Strasbourg	Σ
Production théorique de smolts (ind.)	215.000	121.000	170.000	12.000	275.000	251.000	1.044.000
Superficie actuellement accessible [%]	30	> 70	0	0	30	0	
Production actuellement possible de smolts (ind.)	64.500	84.700	0	0	82.500	0	231.700
Production supplémentaire potentielle de smolts (ind.)	150.500	36.300	170.000	12.000	192.500	251.000	812.300
Production supplémentaire potentielle de smolts [%]	70	30	100	100	70	100	78
Nombre théorique de retours pour un taux de retour de 3%	6.450	3.630	5.100	360	8.250	7.530	31.320

Le **taux de survie** attendu depuis le stade d'œuf jusqu'à celui de saumoneau dépend entre autres de la productivité des cours d'eau. Dans les rivières productives, les saumoneaux qui dévalent ont presque tous un ou 2 ans ; chez les populations nordiques, les saumoneaux restent le plus souvent 2 à 5 ans en eau douce jusqu'au stade de smoltification et sont donc soumis à des taux de mortalité plus élevés du fait de leur plus long séjour en eau douce. Les taux de survie varient en conséquence entre 0,2 et 3,2% et sont en moyenne de quelque 1,5 % (HUTCHINGS & JONES, 1998). Dans les rivières relativement productives de l'hydrosystème rhénan, où les générations se succèdent rapidement (dévalaison au bout d'1 ou de 2 ans), on peut prendre comme hypothèse un taux de survie d'environ 2% (voir www.atlanticsalmontrust.org/salmonfacts/salmonbiology.html).

Les **taux de retour à partir du stade de smolt** jusqu'à l'arrivée sur les frayères (géniteurs) sont également très variables. Les valeurs tirées des sources bibliographiques sont les suivantes :

- ⇒ Taux de survie d'env. 5% smolt-madeleineau (moyenne) (DEMPSON *et al.*, 2001)
- ⇒ Taux de survie de 7,4% (1,3-17,5%) smolt-madeleineau, analyse de 275 populations sur toute l'aire de distribution (HUTCHINGS & JONES, 1998)
- ⇒ 7,7% (3,1-12,0%) pour les saumoneaux sauvages Burrishoole, 2,4% (0,5-6,7%) pour les saumoneaux d'élevage Burrishoole, pourcentage élevé de madeleineaux (rapports annuels de Salmon Research Agency of Ireland 1970-1998, tiré de CROSS *et al.*, 2007)
- ⇒ Taux de retour de 0,17% (1 hiver en mer plus 2 hivers en mer) pour les saumoneaux de repeuplement dans le Penobscot River (U.S.A.) en 2005, dont 0,12% pour les saumons de 2 hivers en mer. La population n'est pas en équilibre naturel. Les taux de survie des saumoneaux du Penobscot affichent une forte corrélation avec les taux observés dans d'autres programmes de réintroduction dans le Connecticut et le Merrimack. Dans la Narraguagus River, dernière des huit rivières salmonicoles aux USA abritant une population naturelle, les taux de retour de saumoneaux sauvages et des saumoneaux issus de repeuplements sont 5 à 10 fois supérieurs ; la population est cependant considérée comme fortement menacée et soutenue par des opérations de repeuplement (www.nefsc.noaa.gov/sos/spsyn/af/salmon/).
- ⇒ ROCHE (1991) indique pour le Rhin une valeur cible relativement faible de 1,2%, sachant toutefois que les pourcentages de PHM sont élevés.

Conformément aux taux de survie moyens indiqués par Atlantic Salmon Trust jusqu'aux classes d'âge 1 (2,8% à partir du stade d'œuf) et 2 (55% à partir de la classe d'âge 1), le taux de survie œuf-saumoneau est d'environ 2,2% (www.atlanticsalmontrust.org/salmonfacts/salmonbiology.html). 5.000 œufs débouchent arithmétiquement sur une production de 109 saumoneaux. Les taux de retour sont les suivants :

- ⇒ Taux de retour de 1% : 1,09 individu
- ⇒ Taux de retour de 2% : 2,17 individus
- ⇒ Taux de retour de 3% : 3,26 individus

Dans l'hypothèse d'un sex-ratio de 1:1 et d'un taux de reproduction de 75% pour les poissons œuvés, le rétablissement d'une population en équilibre naturel ne sera possible qu'à partir d'un taux de retour d'environ 3% (poissons œuvés se reproduisant avec succès : 1,22 individu). Etant donné que les populations stagnantes (n'augmentant pas) sont sujettes à différents risques, l'objectif de gestion à long terme (réalisable grâce aux processus d'adaptation des souches allochtones, à la réduction de la pression de la pêche, à l'amélioration de la continuité et des conditions de dévalaison, à l'ouverture de l'Haringvliet, à la gestion des prédateurs, etc.) consiste à atteindre un **taux de retour d'environ 3%** (objectif de gestion). Des facteurs d'incertitude tels que les taux de survie réels et les quantités réelles d'œufs peuvent avoir un impact, à la hausse ou à la baisse, sur le taux de retour requis. Pour une quantité moyenne de 3.000 œufs/poissons œuvés, le taux de retour doit être supérieur à 4% pour un maintien de la population ; si la quantité moyenne d'œufs

par poisson œuvé est de 6.000, la population peut se maintenir avec un taux de retour de 2,1%. (Remarque : Dans l'hydrosystème de la Sieg, les poissons œués qui ont servi à la reproduction intermédiaire ont donné en 2007 et 2008 environ 4.300 à 4.600 œufs oeillés vitaux/individu).

Les taux de retour actuels sont encore bien en deçà de l'objectif de gestion de 3% :

- ⇒ **Iffezheim** 2000-2005 : 0,15 % (SCHULTZ, 2006) (hypothèse : tous les géniteurs sont comptés dans la passe à poissons d'Iffezheim)
- ⇒ **Sieg** 2007-2008 : 0,8% pour les repeuplements avec des saumons d'été, 0,2% pour les saumoneaux de repeuplement (données obtenues à partir de smolts marqués et recapturés) (NEMITZ, communication orale ; données du LANUV et du Rheinischer Fischereiverband ; hypothèse : 50% des géniteurs sont comptés dans la passe à poissons au droit de la station de contrôle et de piégeage de Sieg/Buisdorf)

En se basant sur la production naturelle potentielle de smolts présentée dans le tab. 7, on peut obtenir par an environ 30.000 saumons de retour dans l'hydrosystème rhénan à condition d'optimiser le taux de retour de 3% à partir du stade de smolt (= objectif de gestion dans le long terme, réalisable par le biais de processus d'adaptation des souches allochtones, de réduction de la pression exercée par la pêche, d'amélioration de la continuité et de la dévalaison, d'ouverture des écluses d'Haringvliet, de gestion des prédateurs, etc.) (les taux de retour varient entre $\geq 0,15\%$ à Iffezheim et 0,8% dans la Sieg pour les alevinages de stades de vie précoces, et sont de l'ordre de 0,2% dans la Sieg pour les alevinages de smolts). Ce calcul porte sur le nombre de géniteurs susceptibles d'accéder aux *frayères* (en cas de continuité rétablie et sans tenir compte des pertes dues à la distance de migration), c'est-à-dire que le nombre potentiel de géniteurs dans le delta serait encore plus élevé.

Environ 24% des habitats propices se trouvent dans l'hydrosystème du Rhin *en amont* du barrage de Strasbourg.

Lamproie marine

On ne dispose que de peu de connaissances sur les habitats potentiels de la lamproie marine dans l'hydrosystème Rhin. Des études détaillées et fiables n'existent que pour le Rhin supérieur méridional (Regierungsbezirk Freiburg ; Alsace) (CLAIR *et al.*, 2005 sur les zones de frai ; BLASEL, 2008 sur les habitats d'ammocètes). Les deux études suivent des approches différentes : les résultats ne sont donc pas directement comparables. Dans les lits d'ammocètes, les densités sont variables mais en général très élevées avec 10 à 113 individus/m². Les lamproies marines produisent un très grand nombre d'œufs, en moyenne plus de 210.000 par femelle sur une surface d'env. 1 à 1,5 m². Elles peuvent donc pondre plusieurs millions d'œufs sur quelques frayères appropriées. La disponibilité d'habitats susceptibles d'accueillir les ammocètes (bancs de sédiments fins) en aval des surfaces de reproduction est généralement le facteur limitant.

Tab. Les tab. 8 et 9 rassemblent les résultats des analyses. La carte sur les habitats potentiels (ammocètes) (fig. 18) montre la distribution possible des populations de lamproies marines en cas de rétablissement de la continuité entre les barrages de Strasbourg et le Vieux Rhin. Les affluents suisses, le Rhin supérieur méridional de même que le haut Rhin où l'espèce était jadis implantée offrent également des potentialités qui n'ont toutefois pas encore été quantifiées.

Il convient de souligner que la réimplantation de la lamproie marine dans le Rhin supérieur méridional et la Moselle ne dépend pas de la disponibilité d'habitats, mais (entre autres à cause de la grande méta-population marine et du comportement des individus erratiques, voir chap. 2) uniquement du rétablissement de la continuité longitudinale et que les chiffres de montaison enregistrés au droit des stations de contrôle d'Iffezheim et de Gamsbheim laissent penser que la recolonisation de l'hydrosystème rhénan est importante. Il n'est pas nécessaire de prendre des mesures allant au-delà de celles prévues dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau pour promouvoir cette espèce.

Tab. 8: Habitats de reproduction de la lamproie marine dans la Bruche.

Tronçon de la Bruche	Surface aujourd'hui accessible dans le cours d'eau	Surface encore inaccessible dans le cours d'eau
Du débouché à Avolsheim	5,06 ha	
D'Avolsheim à Schirmeck		14,84
Σ	19,9 ha	

Tab. 9: Zones de grossissement des ammocètes dans le Rhin supérieur méridional (Regierungsbezirk Freiburg).

Cours d'eau	Surface aujourd'hui accessible dans le cours d'eau	Surface probablement accessible à partir de 2012 dans le cours d'eau
Hydrosystème de la Rench	3,1 ha	5,9 ha
Hydrosystème de la Kinzig	3,5 ha	8,6 ha
Hydrosystème Elz-Dreisam	12,0 ha	12,0 ha
Vieux Rhin	12,6 ha	12,6 ha
Σ	31,12 ha	39,1 ha

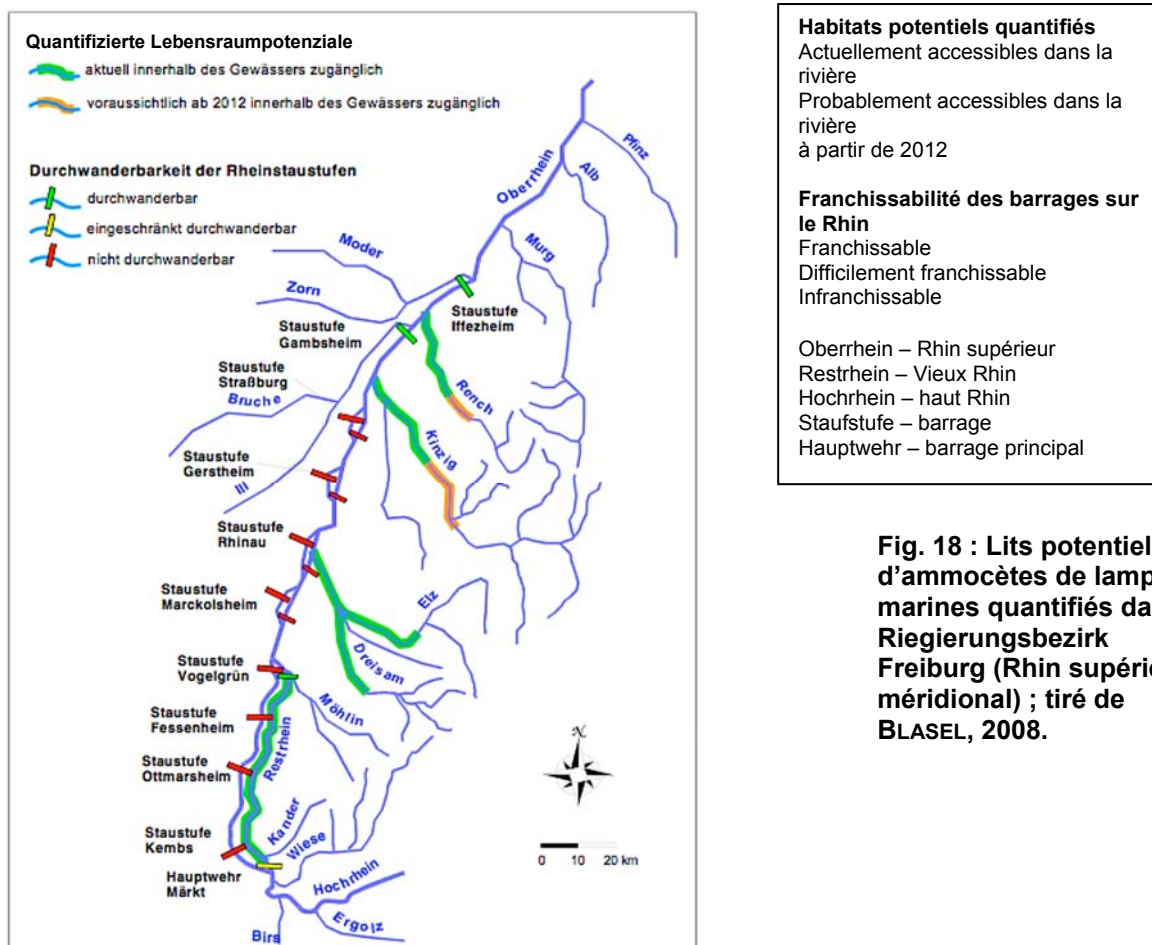


Fig. 18 : Lits potentiels d'ammocètes de lamproies marines quantifiés dans le Riegiungsbezirk Freiburg (Rhin supérieur méridional) ; tiré de BLASEL, 2008.

Grande alose

La réintroduction de la grande alose fait l'objet d'un projet communautaire Life. Coopèrent dans ce projet les ministères de l'Environnement en Rhénanie-du-Nord et en Hesse, la fondation environnementale HIT, la Rheinfischereigenossenschaft NRW (coopération de pêche rhénane en Rhénanie-du-Nord-Westphalie), Sportvisserij Nederland (pêche sportive aux Pays-Bas) ainsi qu'un partenaire français dans le domaine de la recherche (CEMAGREF, Mi.Ga.Do.). Il est prévu de déverser cinq millions de larves de grande alose dans le Rhin au cours des prochaines années. Les poissons sont élevés en France (pisciculture de Mi.Ga.Do.) et marqués avant d'être déversés dans le Rhin afin d'assurer le suivi des opérations. Il n'existe pas jusqu'à présent de cartographie détaillée des surfaces potentielles de reproduction de la grande alose. Les experts, accompagnés de spécialistes de la grande alose venus de France et des USA, se sont rendus dans le bassin rhénan et ont conclu provisoirement que différents tronçons fluviaux du Rhin inférieur, du Rhin moyen et du Rhin supérieur septentrional étaient propices à la reproduction. (BEEK, communication orale.).

Viennent s'y ajouter le cours aval de l'Ahr (renaturée), de la Moselle, de la Sieg et de la Wupper, et éventuellement le débouché de la Nahe et la partie aval de l'hydrosystème de l'Ill. Par ailleurs, la Rench et la Kinzig sont accessibles et abritent probablement des habitats potentiels.

D'autres habitats potentiels, qui restent toutefois inaccessibles aujourd'hui, se trouvent dans la Sûre (hydrosystème de la Moselle), dans la partie centrale de l'hydrosystème de l'Ill (?), dans le Vieux Rhin (surfaces de grande étendue), dans l'Elz, dans la Wiese, dans le Rhin supérieur méridional et le haut Rhin.

3.4 Quel est le rapport entre les efforts de repeuplement salmonicole et le nombre d'adultes de retour enregistré au droit des stations de contrôle (*taux de retour*) et quels facteurs peuvent éventuellement être identifiés comme facteurs d'influence ?

Méthode

Le rapport entre efforts de repeuplement et nombre d'adultes de retour a été déterminé par des *équivalents saumoneaux*. Cette méthode doit permettre de représenter de manière standardisée les mesures d'alevinage à différents stades de vie (depuis l'œuf jusqu'au smolt dévalant), les taux de survie étant variables dans le milieu en fonction du développement et de la taille des poissons. Un équivalent saumoneau correspond à un saumon qui a grandi dans le milieu naturel dès sa première phase de croissance (au plus tard à partir du premier automne) et est prêt à dévaler. On peut supposer que ces poissons issus de processus de sélection *naturels* ont un sens développé du homing et disposent d'une expérience suffisante en rivière (par ex. vis-à-vis des prédateurs) et d'une bonne condition physique.

Les juvéniles de repeuplement produits en aquaculture ont un sens du homing moins développé et n'ont pas d'expérience en rivière (« naïfs ») et leur taux de retour est donc inférieur (25% par rapport aux saumons de la classe d'âge 0+ relâchés jusqu'au premier automne ; résultats de tests de marquage pluriannuels sur la Sieg et la Wupper-Dhünn en Rhénanie-du-Nord-Westphalie ; sources bibliographiques). Il leur est donc attribué un équivalent saumoneau inférieur (4 smolts alevinés = 1 équivalent saumoneau).

Etant donné qu'il existe différentes propositions d'approche méthodologique pour déterminer les équivalents saumoneaux (pondération des différents stades d'alevinage), les experts allemands et français ont convenu, dans le cadre d'un entretien organisé par la CIPR le 21.1.2009, d'appliquer la méthode présentée dans le tab. 10. La pondération des stades de vie présentée dans ce tableau se base souvent sur des données recueillies lors des pêches de contrôle sur les tronçons alevinés et sur les calculs des taux de survie effectués à partir

de ces données. Il faut cependant tenir garder à l'esprit qu'une telle pondération standardisée des stades de vie tient insuffisamment compte de facteurs tels que les disparités caractérisant la qualité des habitats, la qualité des poissons alevinés, la densité d'alevinage, etc. *Les équivalents saumoneaux mentionnés dans ce tableau constituent donc une première approche commune et n'ont qu'un caractère provisoire.* Dans un seul cas (lâcher d'alevins non nourris), on a fait une différence entre le Vieux Rhin et les affluents et ajusté la pondération des mesures d'alevinage aux connaissances provisoires existantes. Dans une seconde étape d'évaluation, les équivalents saumoneaux calculés débouchent sur un « pronostic de taux de retour » (= nombre d'adultes de retour attendu sur la base des efforts de repeuplement dans les années passées pertinentes). On suppose que le nombre de smolts dévalants est en rapport direct avec le nombre d'adultes de retour. Les équivalents saumoneaux ont été calculés séparément pour chaque station de contrôle dans les bassins pertinents en fonction des efforts de repeuplement.

Pour déterminer le pronostic de taux de retour, on a tenu compte des opérations d'alevinage réalisées à partir de 2002 (début du recensement systématique par la CIPR) dans les bassins pertinents. Conformément aux efforts de repeuplement dans les bassins, les prévisions de retour dans le bassin de Gambenheim sont inférieures à celles faites pour le bassin d'Iffezheim ; en effet, dans ce dernier cas, les calculs tiennent compte non seulement du bassin en amont de Gambenheim, mais également des adultes remontant dans l'hydrosystème de l'III et dans la Rench.

Les prévisions se fondent toutes sur un taux de retour de 1%.

Remarque : Le taux de retour de 1% constitue uniquement une base de travail dans le sens d'un *objectif intermédiaire à atteindre dans le moyen terme*, étant entendu qu'il est tenu compte du fait que l'on déverse dans l'hydrosystème des « souches donatrices » allochtones dont l'adaptation au « milieu récepteur » représente un processus de sélection sur un nombre inconnu de générations, devant déboucher sur des taux de retour progressivement croissants. L'objectif de développement à long terme consiste à atteindre un taux de retour de 3% à partir du stade de smolt (voir ci-dessus).

Pour prévoir le nombre de retours pour certaines cohortes, il faut par ailleurs estimer la durée du séjour en eau douce (pourcentage de saumoneaux d'une ou de plusieurs années) et du séjour en mer (hivers passés en mer). Le séjour en eau douce a été fixé selon une approche pragmatique à 1,5 an en moyenne (50% de saumoneaux d'un an, 50% de saumoneaux de deux ans), soit la valeur moyenne tirée de différentes études qui donnent comme âge moyen des smolts 1,2 à 1,8 an selon la qualité de l'habitat, la densité des repeuplements, le stade et la date de l'alevinage ainsi que la productivité des cours d'eau. Le nombre d'hivers en mer est lié au nombre d'années en eau douce ainsi qu'à différents facteurs (le plus souvent inconnus) pendant la phase en mer. Par ailleurs, la durée du séjour en mer varie en grande partie selon les populations : les madeleineaux (1 hiver en mer) dominant dans la souche Burrishoole, le rapport est décalé en faveur des saumons ayant passé 2 hivers en mer dans la souche Ätran et dans la souche Allier, les 'PHM' dominant avec environ 50% de saumons de 2 hivers en mer et 30% de saumons ayant passé 3 hivers en mer. En fonction de la souche, le facteur temps a été introduit dans les prévisions de retour de la manière suivante :

- **Allier** : madeleineaux 20%, 2 hivers en mer 50%, 3 hivers en mer 30% (informations de Saumon Rhin)
- **Ätran** : madeleineaux 40%, 2 hiver en mer 55%, 3 hivers en mer 5% (correspond à la souche Ätran et aux résultats obtenus en 2007 et 2008 dans la Sieg, le Saynbach, la Wisper et la Moselle)

Le tab. 10 indique sous une forme synoptique les équivalents saumoneaux appliqués.

Tab. 10 : Relevé synoptique des méthodes de détermination des équivalents saumoneaux et des prévisions de retour et définition des stades de vie (voir texte)

Stade	Stade	Stage	Définition				Mois de repeuplement	Equivalents smolts	Migration des smolts [%]		
			Stadium	Stadium	Biomasse	Stadium			Année de repeuplement	1ère année suivante	2ème année suivante
Og	Ovules	Ova green	Grüne Eier	Groen ei		3	75,0	0	50	50	
Oe	Oeufs embryonnés	Ova eyed	Eier (Augenpunkt)	Oogpunt ei		3	60,0	0	50	50	
A	Alevin vésiculé	Alevin	Dottersacklarve	Alevin		3	100,0	0	50	50	
uF	Alevin vésicule résorbée	unfed fry	Brütling (unangefüttert)	Niet bijgevoerd broed	0,15-0,25 g	3 / 4	12,8* / 40	0	50	50	
fF	Alevin nourri (en peu de temps)	fed fry 2-6 weeks	Brütling (kurz angefütert)	Kort bijgevoerd broed	<0,5 g	4 / 5	20,0	0	50	50	
Ps	Alevin nourri	Parr summer	Brütling (Sommerparr)	Fingerling	0,5-1,2 g	6 / 7	6,0	0	50	50	
Pa	Tacon d'automne	Parr autumn	Parr (Herbst)	Parr (herfst)	8-15 g	9 / 10	5,0	0	50	50	
P1+ / S1+	Mélange de tacons 1+ et de smolts 1+	Parr 1+ / Smolt 1+ Mix	Parr 1+ / Smolt 1+ Mix	Mix van parr 1+ / smolt 1+	<25 g	3 / 4	5,0	50	50	0	
P1+	Tacon 1 +	Parr 1+	Parr 1+	Parr 1+	<20 g	3 / 4 / 5	5,0	0	100	0	
S1+	Pré-smolt 1+	Smolt 1+	Smolt 1+	Smolt 1+	≥25 g	3 / 4	4,0	100	0	0	
S>1+	Pré-smolt > 1+	Smolt >1+	Smolt >1+	Smolt > 1+	>25 g	3 / 4	4,0	100	0	0	

* seulement Vieux Rhin

Source	Durée de séjour en mer	Taux de retour
Allier	1 HM 20%, 2 HM 50%, 3 HM 30%	1%
Ätran	1 HM 40%, 2 HM 55%, 3 HM 5%	1%

Nombre d'adultes de retour et prévisions au droit des stations de contrôle

Les pourcentages d'adultes de retour identifiés à partir des équivalents saumoneaux par rapport au nombre de retours pronostiqués (période 2006-2008) sont présentés dans la fig. 19.

Les pourcentages calculés présentent les points communs suivants :

- i. Les prévisions n'ont été atteintes dans aucune station de contrôle, bien que l'on ait pris uniquement un taux de retour faible de 1% comme hypothèse.
- ii. Les pourcentages d'adultes de retour les plus proches des prévisions sur presque toutes les années sont ceux de la Sieg (exception : la Moselle en 2008).
- iii. La différence entre la Sieg et les autres stations de contrôle est particulièrement importante en 2007.
- iv. Les pourcentages d'Iffezheim sont en 2006 et 2007 de l'ordre de ceux de Gamsheim
- v. En 2008, les pourcentages de Gamsheim sont supérieurs à ceux d'Iffezheim.

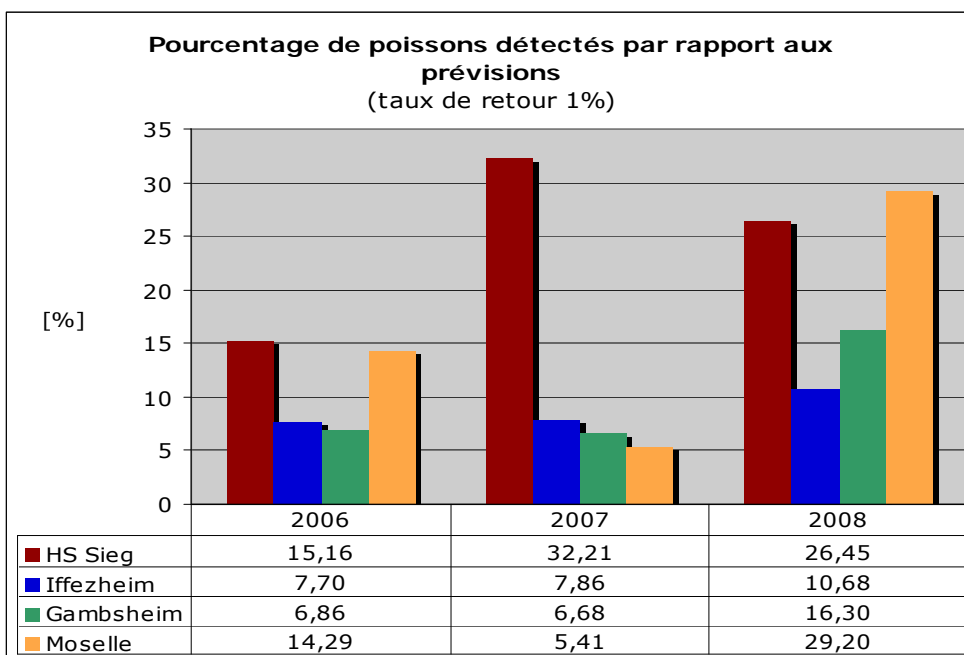


Fig. 19 : Efforts de repeuplement du saumon et résultats des calculs sur les pourcentages de retours identifiés par rapport aux prévisions ; voir tab. 10 (mise à jour : 31.12.08). Les prévisions se fondent toutes sur un taux de retour de 1%.

Interprétations possibles

Comparaison entre les stations de contrôle d'Iffezheim et de Gamsheim

Les deux stations de contrôle sont de construction pratiquement identique et disposent chacune de trois entrées qui, de par leur emplacement, répondent aux différentes capacités des espèces piscicoles. Une des principales différences est la hauteur de chute entre les bassins (Iffezheim : 30 cm ; Gamsheim : 25 cm) et la charge hydraulique en découlant. Le nombre de remontées pour l'ensemble de la faune piscicole est nettement plus élevé à Gamsheim qu'à Iffezheim (fig. 20 ; voir tab. comptage des poissons en ANNEXE).

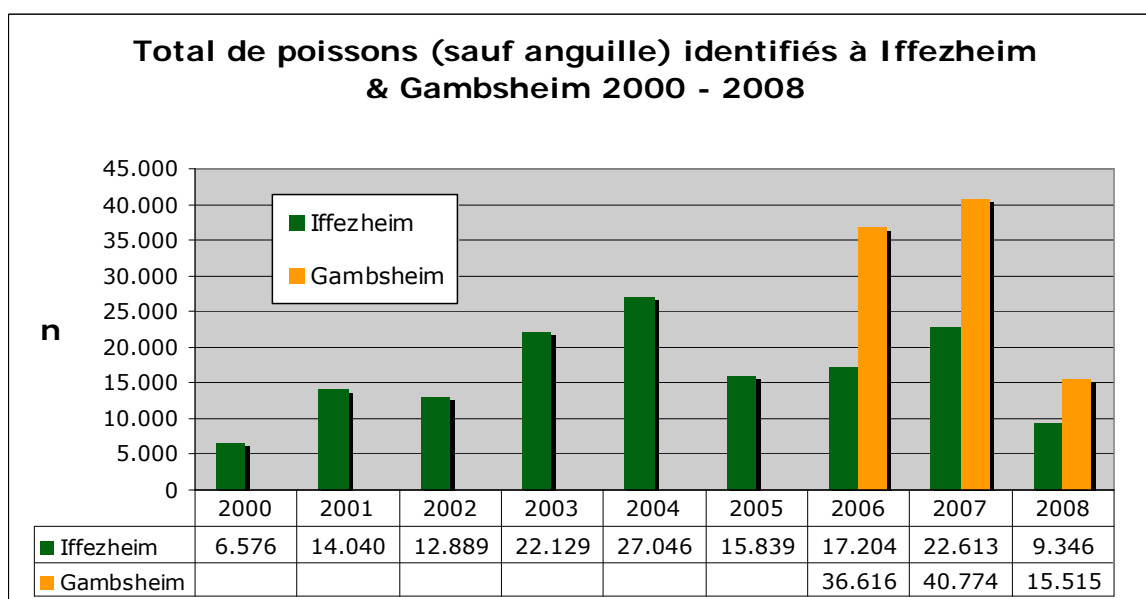


Fig. 20 : Poissons détectés au total à Iffezheim et Gamsheim (mise à jour : 31.12.08 ; il n'est pas tenu compte de l'anguille)

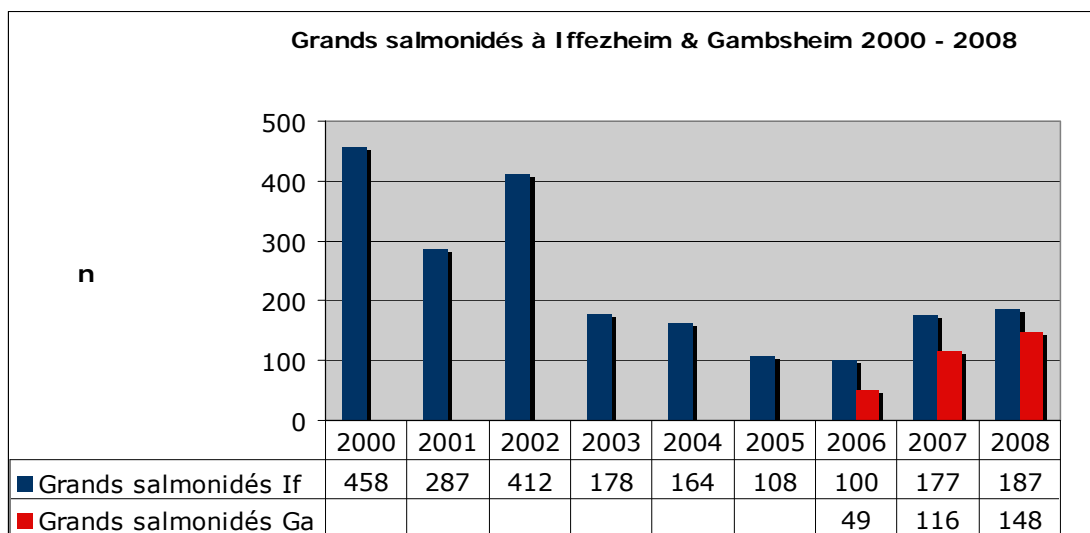


Fig. 21 : Grands salmonidés identifiés à Iffezheim et Gamsheim (mise à jour : 31.12.08)

On notera que les espèces potamotoques typiques moins performantes, par ex. la brème et le gardon, sont nettement sous-représentées à Iffezheim par rapport à Gamsheim. Les nageurs performants comme le barbeau et le hotu sont eux aussi recensés plus rarement à Iffezheim (pourcentages relevés à Iffezheim par rapport à Gamsheim : 75% pour le barbeau, 51% pour le hotu). Il est peu probable que ces espèces aient plus de difficultés à franchir la passe à poissons d'Iffezheim. Entrent éventuellement ici en ligne de compte des voies de montaison alternatives (par ex. écluses, voir ci-dessous), un manque de motivation (puisque'il existe des frayères propices en aval de Gamsheim) et une réparabilité restreinte de la passe à poissons d'Iffezheim. Les apports de matériau solide en aval d'Iffezheim ayant entraîné dans ce segment la formation de nids de ponte très propices et étendus, on peut supposer que les populations en aval d'Iffezheim ne sont pas aussi disposées à poursuivre leur montaison que celles de Gamsheim. Ce phénomène ne concerne visiblement pas l'aspe, très performant, car les chiffres sont pratiquement identiques pour les deux passes à poissons. On peut en déduire que les poissons ont plus de mal à trouver la passe à poissons d'Iffezheim que celle de Gamsheim.

Les détections de lamproies marines notamment sont plus nombreuses à Iffezheim qu'à Gamsheim (fig. 23), ce qui s'explique par la présence de frayères entre les stations de contrôle (Rhin, affluents). On ne peut donc pas parler d'une plus grande sélectivité du dispositif de franchissement de Gamsheim au détriment de la lamproie marine.

Pour les grands salmonidés, les différences sont peu prononcées (fig. 21 & tab. 11) et s'expliquent également par des bassins de différente taille et, pour le saumon, par des efforts de repeuplement variables selon les sous-bassins. Selon les prévisions 2006-2008, on devrait retrouver à Gamsheim 50% des adultes de retour qui remontent à Iffezheim. Dans les faits, 59% d'adultes de retour ont été identifiés à Gamsheim par rapport aux poissons détectés à Iffezheim à la fin de la présente étude. Pour Gamsheim du moins, les données actuelles ne permettent pas de penser à un effet d'obstacle ; on peut donc en déduire qu'il n'y a pas d'effet d'obstacle sur la passe à poissons de construction presque identique d'Iffezheim pour les grands salmonidés.

Tab. 11: Différence entre les saumons de retour à Gamsheim et Iffezheim ; prévisions et détections 2006-2008

Différence de prévision Gamsheim/Iffezheim [%]	Différence au niveau des identifications Gamsheim/Iffezheim [%]
49,7	59,0

Dans le cadre de l'évaluation, il est également intéressant d'examiner les possibilités de montaison par le biais des écluses. On ne dispose que de données très fragmentaires et de quelques observations isolées sur l'utilisation des écluses par les poissons migrateurs. Les études relatives à la migration par les écluses de la truite de mer dans le haut Rhin laissent penser qu'un certain pourcentage d'individus – éventuellement non négligeable pour quelques espèces – emprunte les écluses ; ces études sont étayées par diverses autres détections et captures :

- Au cours des hivers 2003/2004 et 2004/2005, 24 truites de mer (d'une longueur entre 54 et 80 cm) prélevées dans la passe à poissons d'Iffezheim ont été équipées d'émetteurs et relâchées dans le Rhin à hauteur de Huningue et dans le Vieux Rhin. Résultat de l'étude de radiopistage : Des barrages ont été franchis à 21 reprises vers l'amont, souvent par le biais des écluses de navigation (mais avec une perte de temps par manque de passes ou fonctionnalité restreinte des passes à poissons) ; des barrages ont été franchis 12 fois vers l'aval, probablement par le biais des écluses (OFPEP, 2004 ; SAUMON RHIN, 2005)
- 6 captures de grandes aloses dans le Rhin supérieur méridional en amont d'Iffezheim entre 1980 et 1994 (BARTL & TROSCHER, 1997)
- détection de 6 grandes aloses dans la passe à poissons de Gamsheim pour deux détections à Iffezheim en 2006 et 2007 (fig. 23)
- observation d'un saumon dans la Rench en 1999 (avant la mise en service de la passe à poissons d'Iffezheim)
- détection d'un saumon en 2002 dans le Grand Canal d'Alsace et d'un autre en 2003 à hauteur de Fessenheim
- Détection d'un saumon dans le bief amont du barrage de Strasbourg et d'un autre à proximité du débouché de la Birs au droit de Bâle en 2008 ; le saumon capturé à Bâle a franchi quatre barrages non équipés, pour autant qu'il soit passé par la passe à poissons peu fonctionnelle du barrage agricole de Breisach et par le Vieux Rhin, voire même huit barrages s'il a emprunté le Grand Canal d'Alsace (voir fig. 22)
- le nombre de poissons identifiés, variable dans le temps, de saumons à Iffezheim et Gamsheim en 2008 (nombre d'individus temporairement plus élevé à Gamsheim qu'à Iffezheim) (voir fig. 23)
- plusieurs déclarations non confirmées de pêches à la ligne (saumon et/ou truite de mer) en amont du barrage de Strasbourg
- la présence de truites de mer dans la Moselle (SCHNEIDER, 2007a) et dans le cours aval du Main (RP Darmstadt, 2008, communication orale KÖHLER) en amont de deux barrages infranchissables dans le premier cas et d'un barrage également infranchissable dans le deuxième (il existe d'anciens dispositifs de remontée, mais ces derniers ne sont pas jugés fonctionnels).

Évaluation :

La migration par le biais des écluses dans le bief amont *ne* permet certes *pas* aux saumons de constituer des populations stables (pour cette raison, les écluses ne constituent pas de solution alternative aux dispositifs de franchissement fonctionnels). Les pourcentages de poissons empruntant les écluses peuvent cependant être si élevés qu'il en résulte une forte sous-estimation du nombre d'adultes de retour et qu'ils peuvent expliquer en partie les différences entre les prévisions et le nombre réel d'adultes de retour – par exemple lorsque l'on compare Iffezheim et Gamsheim – (voir tab. 11). Il est possible que la rive droite (= côté écluse) soit plus attractive à Iffezheim, le Sandbach qui se jette dans le Rhin à cet endroit constituant un débit d'attrait supplémentaire.



Fig. 22 : Saumon oeuvé dans la retenue du barrage de Strasbourg en mai 2008 (en haut) et capture à la ligne d'un saumon oeuvé à Bâle en octobre 2008 (en bas)
 (Photos : U. MOSCHBERGER ; O. SCHMIDT, Musée d'histoire naturelle de Bâle)

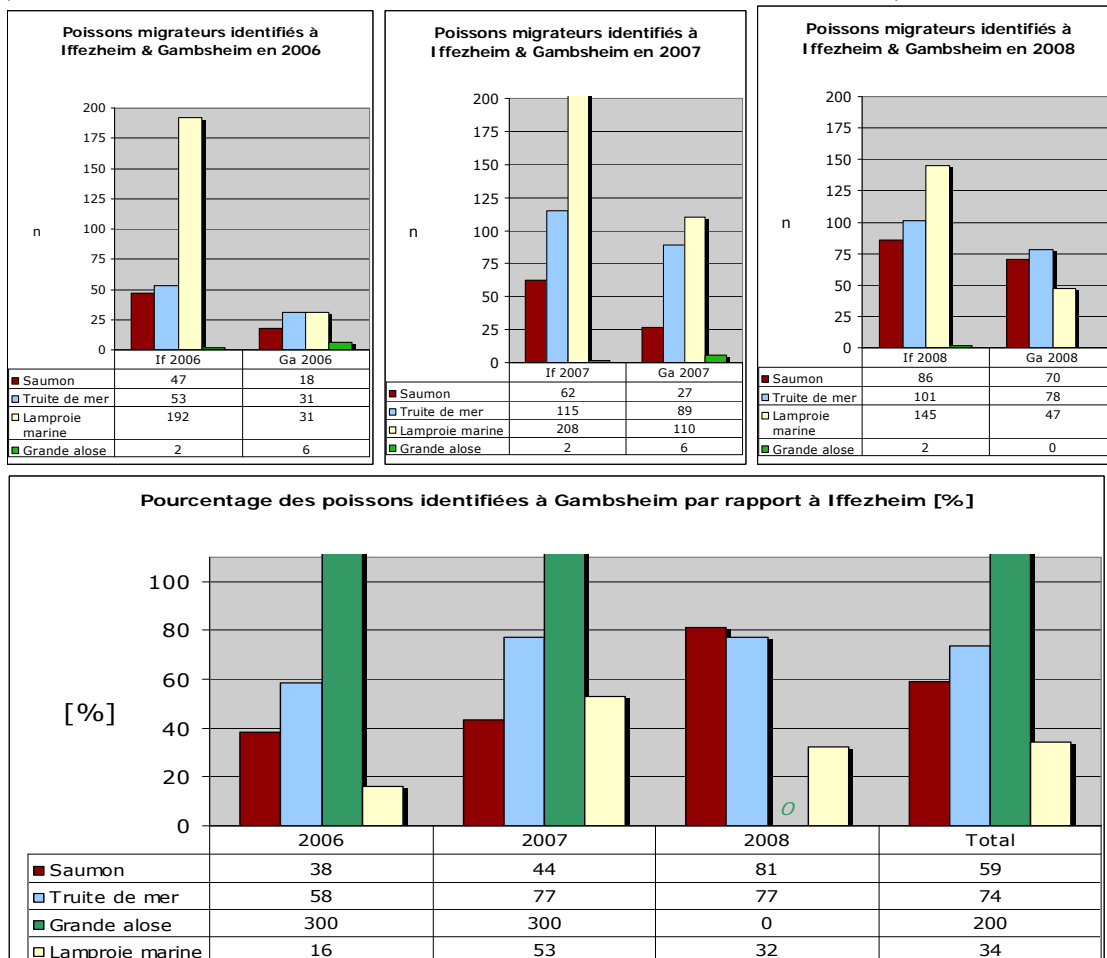


Fig. 23 : Poissons migrateurs identifiés dans les passes à poissons à hauteur d'Iffezheim et de Gamsheim 2006-2008

Si la réparabilité des passes à poissons faisait obstacle, on devrait s'attendre, en plus des fortes disparités par rapport aux prévisions de retour en fonction des sites, à des décalages importants dans le temps dans l'arrivée de saumons et de truites de mer entre Iffezheim et Gamsheim. Ces décalages importants pourraient alors être un indice d'une recherche prolongée de la passe.

Au stade actuel, on ne dispose toutefois d'aucune donnée provenant d'essais de marquage ou d'études de radiopistage expliquant le décalage dans le temps de certains individus entre Iffezheim et Gamsheim. La représentation cumulée des poissons identifiés par mois et/ou des pourcentages permet cependant de se faire une idée globale. Les fig. 24 et 25 présentent les données y afférentes pour la période 2006 – 2008. La similitude de la courbe (nombre) de même que la gradation et le décalage dans le temps des courbes (pourcentage) sont importants pour l'interprétation des graphiques.

On relève en 2006 un décalage d'environ 4 semaines pour le saumon entre Iffezheim et Gamsheim. En 2007 par contre, les deux courbes concordent parfaitement au niveau des pourcentages. En 2008, le nombre d'individus est plus élevé à Gamsheim qu'à Iffezheim à certaines périodes, et notamment de janvier en mars (ce qui est très probablement dû au passage par les écluses). On obtient une image comparable pour la truite de mer (fig. 25) ; dans ce cas, les courbes sont encore plus rapprochées.

En 2006, les débits ont été relativement élevés jusqu'à la mi-avril et à nouveau début juin (voir graphiques des débits du Rhin en ANNEXE). Il est possible que la montaison du saumon ait été retardée du fait d'un « débit d'attrait trompeur » dû à la surverse des barrages ; les barrages côté berges ne sont pas équipés de passes à poissons et le barrage est séparé de l'usine (et de la passe à poissons) par un môle de séparation de plusieurs centaines de mètres de long ; les écluses Borland au droit du barrage sont jugées peu fonctionnelles (rapport CIPR n° 158).

Ces résultats prouvent clairement que les grands migrateurs n'ont pas effectué, pour trouver les entrées, de déplacements importants pénalisant leur migration entre Iffezheim et Gamsheim en termes de temps en 2007 et 2008, du moins à Gamsheim. Le retard pris en 2006 pourrait cependant laisser penser à un effet d'impasse ; il faut cependant tenir compte du fait que la passe à poissons de Gamsheim n'a été mise en service que le 12.4.2006. La série temporelle est globalement encore trop courte pour une interprétation fiable des données.

L'hypothèse d'un effet d'impasse potentiel (tout comme l'éventuelle utilisation des écluses) devrait fondamentalement être vérifiée par le biais d'études fiables réalisées sur plusieurs années (par ex. radiopistage, essais de marquage/recapture) dans différentes conditions de débit.

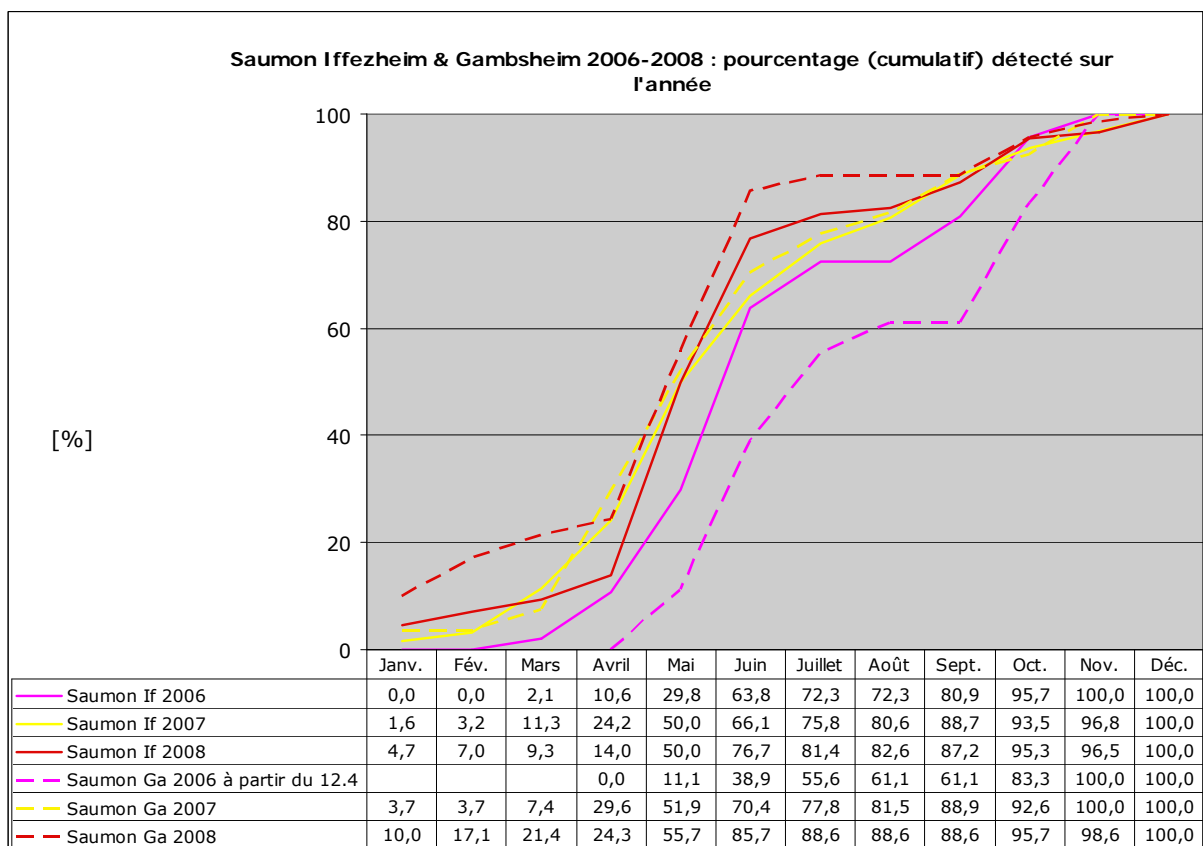
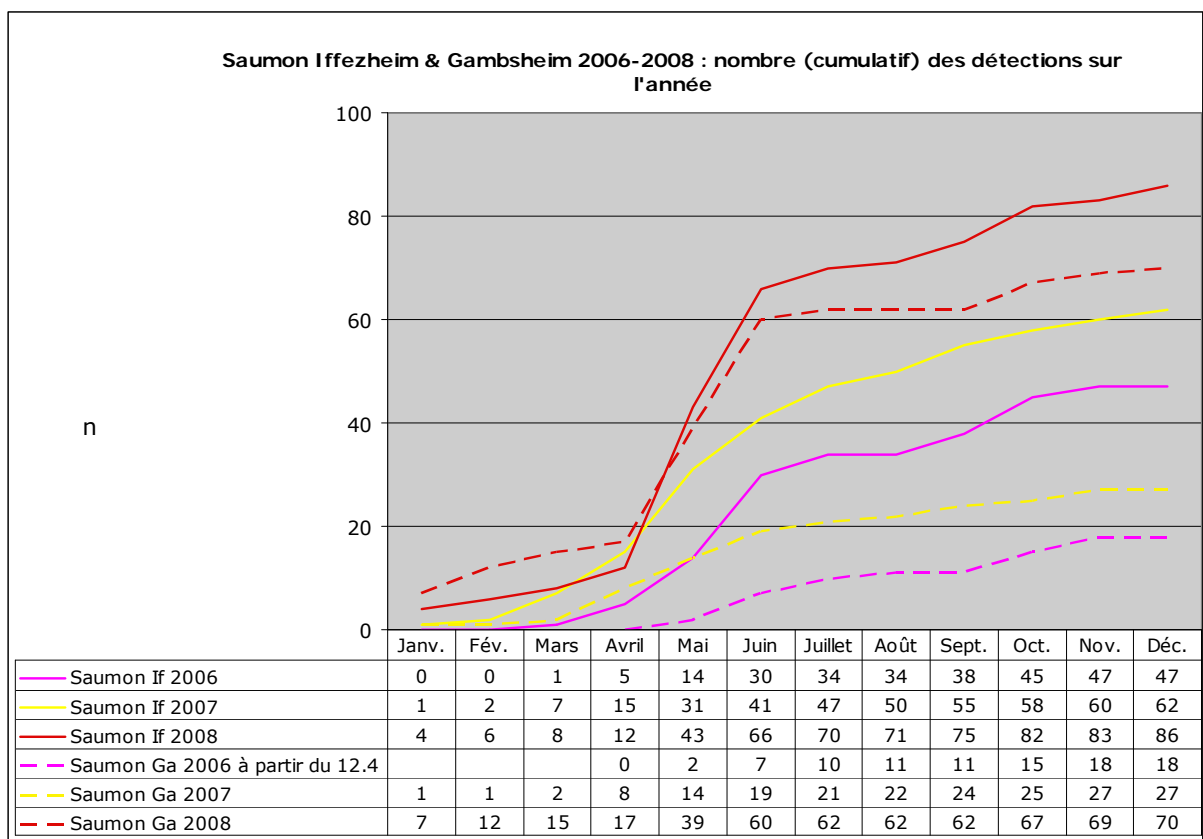


Fig. 24 : Représentation cumulée du nombre et des pourcentages de saumons détectés à Iffezheim et Gamsbheim

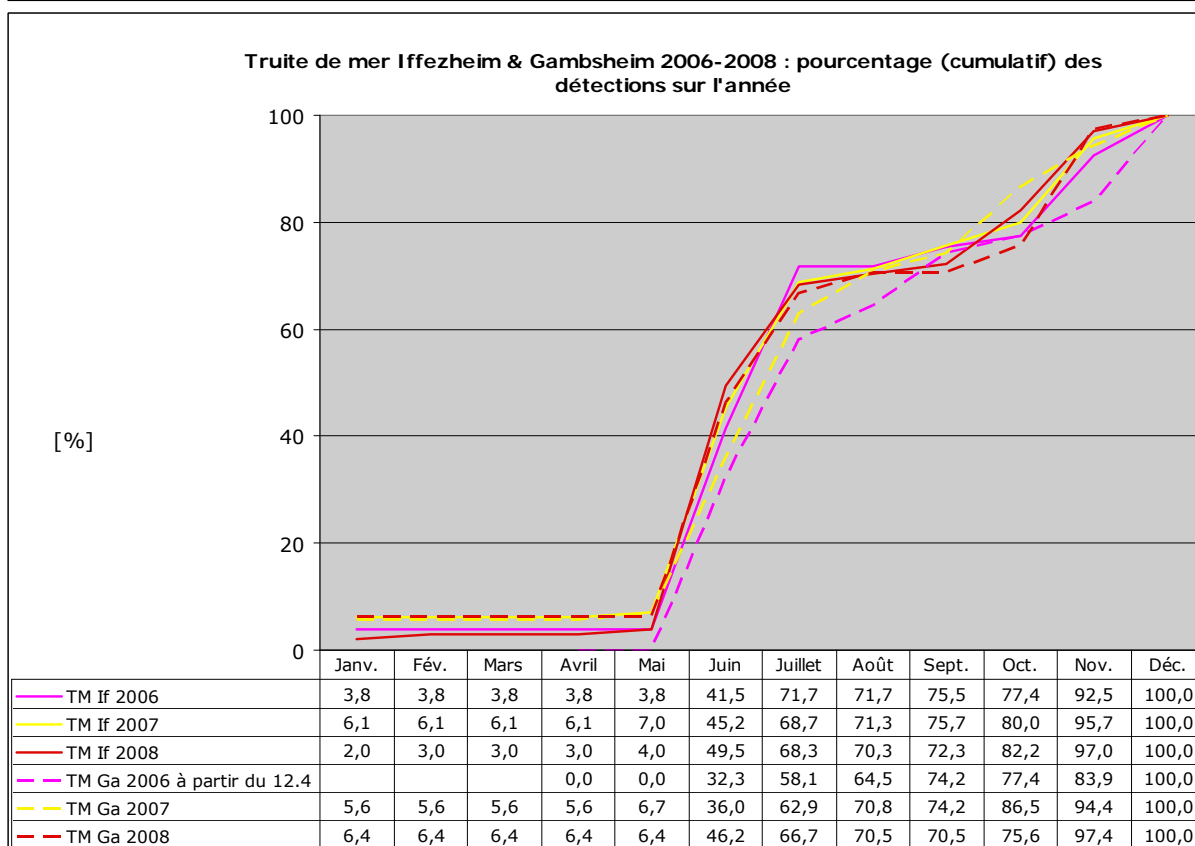
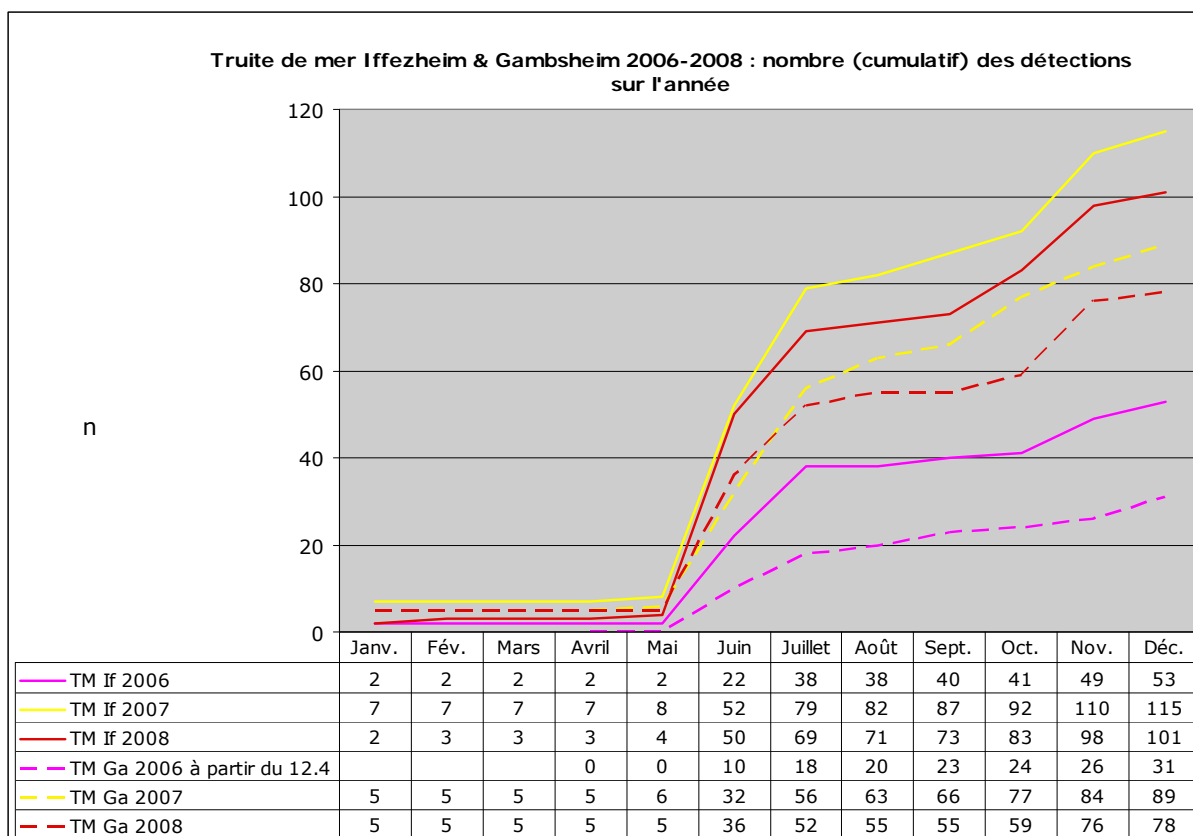


Fig. 25 : Représentation cumulée du nombre et des pourcentages de truites de mer détections à Iffezheim et Gamsbshiem

On constate en résumé qu'il n'est pas possible, sur la base des pourcentages comparables de saumons de retour (par rapport aux prévisions basées sur l'ampleur des alevinages réalisés dans les bassins), de mettre en avant les facteurs susceptibles d'expliquer les différences apparues entre les stations de contrôle dans le Rhin supérieur. On peut donc supposer (sous réserve des données encore insuffisantes collectées à Gamsheim) supposer que les effets cumulés de la mortalité des smolts dans les turbines et de la prédation dans les zones de retenue des bassins s'inscrivent dans un ordre de grandeur comparable qui ne peut toutefois être quantifié (voir cependant la comparaison des stations de contrôle Iffezheim et Sieg).

Le nombre de remontées ne permet pas de douter du bon fonctionnement des passes à poissons pour les grands salmonidés. Selon les données actuelles, le décalage entre le passage à Iffezheim et le passage à Gamsheim est minime et n'est que légèrement supérieur au temps que mettent les saumons qui nagent à « vitesse constante » (= 1 à 3 fois la longueur de leur corps par seconde) pour ce segment. On ne dispose ainsi d'aucune preuve de « dépassement disproportionné du temps dont disposent les poissons » ni d'indice clair laissant penser que la passe à poissons de Gamsheim est difficilement repérable.

Remarque : Dans ce contexte, il est intéressant de noter que la capture du saumon à Bâle en octobre 2008 a eu lieu un mois environ avant le début de la période de frai ; ce saumon oeuvé est donc arrivé « à temps » sur les zones de frai, bien qu'il ait emprunté les écluses.

Il faut cependant souligner expressément que l'absence d'effet d'obstacle sur la passe à poissons de Gamsheim ne permet pas automatiquement de dire que la repérabilité des passes à poissons est globalement proche de 100%. Bien que les dispositifs de franchissement soient pratiquement identiques au niveau de la construction, les résultats de Gamsheim ne peuvent être transposés à Iffezheim que sous certaines réserves. De petites différences dans l'emplacement des entrées des passes ainsi que dans les conditions hydrauliques (courants d'appel) et morphologiques (profondeurs, profil du cours d'eau) dans le corridor de migration peuvent être déterminantes. On ne peut exclure par exemple qu'il existe à Iffezheim un effet d'impasse et d'appel côté barrage, non équipé de passe à poissons du fait d'une profondeur et d'un courant différents au « point de décision d'orientation des poissons » (ici : extrémité aval du môle de séparation) et que cet effet soit éventuellement plus important qu'à Gamsheim. Seuls des essais de marquage et de recapture ou des études de radiopistage permettront d'éclairer cette question (et d'en déduire l'éventuelle nécessité d'une optimisation).

Comparaison entre les stations de contrôle d'Iffezheim, de Gamsheim et de Buisdorf/Sieg

En 2006 et 2008, on note une différence très importante au niveau du pourcentage de poissons identifiés et des prévisions entre la station de contrôle sur la Sieg et celles d'Iffezheim/Gamsheim (fig. 26). Cet écart est le plus net en 2007. En 2008, la différence est en revanche moins prononcée entre Gamsheim et la station de contrôle sur la Sieg par rapport aux années antérieures. Etant donné qu'env. 30 à 50% des adultes de retour se soustraient à un recensement au droit de la station de contrôle de la Sieg en franchissant le barrage (et qu'il est peu probable qu'un pourcentage aussi élevé d'individus empruntent les écluses à Iffezheim et Gamsheim ?), l'écart réel est probablement encore plus important.

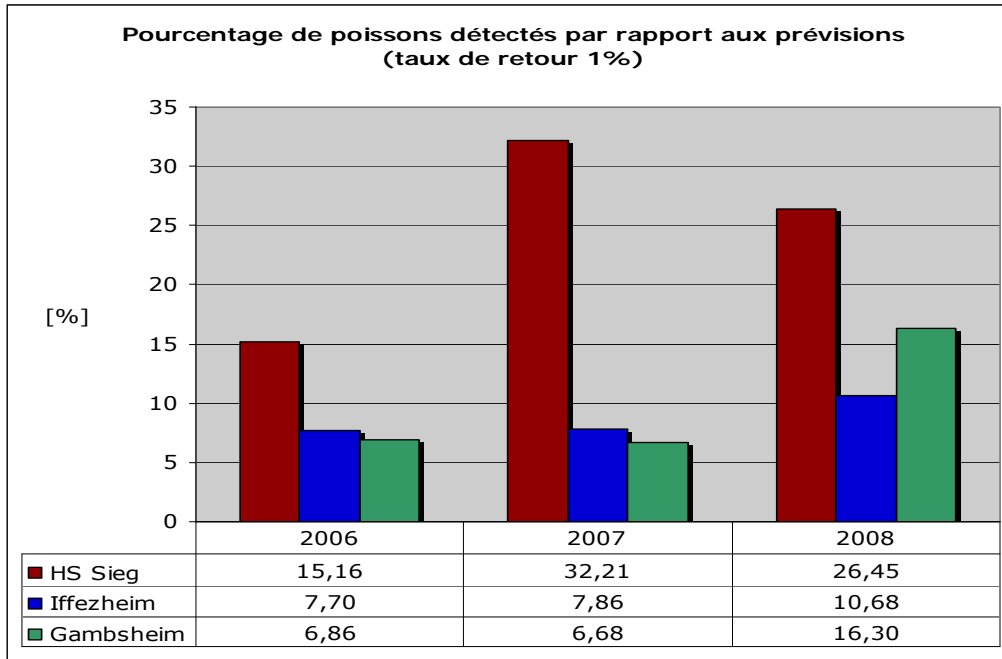


Fig. 26 : Pourcentages d'adultes de retour identifiés dans les stations de contrôle d'Iffezheim, de Gamsheim et de Buisdorf/Sieg de 2006 à 2008 par rapport aux prévisions (cf. tableau 10)

Les causes de ces écarts parfois très importants sont globalement difficiles à cerner. Sur la base des données disponibles, on peut exclure, du moins dans l'ordre de grandeur indiqué, une mauvaise repérabilité de la passe à poissons d'Iffezheim (voir ci-dessus). Il n'est pas non plus identifié en aval d'Iffezheim un nombre de poissons particulièrement élevé dans les affluents alors que, même si la densité de contrôle est faible, les déclarations de pêches à la ligne (y compris « rumeurs »), de poissons morts et de poissons observés devraient s'accumuler. Si la mortalité due aux usines était nettement plus élevée entre Gamsheim et le haut Rhin que dans l'hydrosystème de l'Ill et de la Rench, ceci devrait se traduire par des pourcentages de retour nettement plus faibles dans la passe à poissons de Gamsheim. Pourtant, les pourcentages d'adultes de retour y sont comparables en 2005 et 2006 et nettement plus élevés en 2008 qu'à Iffezheim. On peut également exclure une influence négative de la température sur les adultes de retour pendant l'été frais de 2007 ; malgré tout, la différence entre la Sieg et Iffezheim/Gamsheim est encore plus forte en 2007 qu'en 2006.

Ces disparités peuvent s'expliquer par les causes ou les éléments partiels suivants (hypothèses a) – k):

- a) Il n'existe pas de corrélation claire entre les efforts de repeuplement et les retours identifiés car trop de facteurs (par ex. taux de survie à la dévalaison, survie en mer) influencent le résultat (voir JURJENS, 2006)
- b) Une erreur méthodologique affecte le calcul des équivalents saumoneaux.
- c) Une erreur méthodologique affecte le calcul des taux de survie
- d) La mortalité due à l'exploitation hydroélectrique dans le bassin du Rhin supérieur dans son ensemble (dévalaison) est actuellement nettement plus importante que dans la Sieg. Au moins dans les affluents badois du Rhin supérieur, un tel lien est très probable du fait de l'exploitation hydroélectrique très intense et du manque d'installations de protection piscicole et de dévalaison ; il convient également de tenir compte du fait que les tronçons alevinés se trouvent encore en amont de plusieurs microcentrales sans dispositifs de dévalaison (BARTL, communication orale).
- e) La mortalité imputable à la prédation (aspe, sandre, silure, cormoran) pendant la dévalaison et par le silure à la montaison dans le Rhin est très élevée entre Iffezheim et le débouché de la Sieg ; cet effet est renforcé lorsque les débits sont faibles au printemps (voir également chap. 3.5 : débit).

- f) La mortalité due à la pêche (prélèvement ciblé et mortalité imputable aux prises accessoires) des adultes de retour entre le débouché de la Sieg et Iffezheim joue un rôle essentiel
- g) Le nombre de poissons empruntant les écluses à Iffezheim et Gambenheim est plus élevé qu'on ne le pensait
- h) La surverse des barrages d'Iffezheim et de Gambenheim consécutive aux débits relativement élevés de l'été 2007 a entraîné un effet d'impasse sur le côté du barrage non équipé d'une passe à poissons ; la réparabilité de la passe a donc été fortement restreinte (voir graphiques des débits du Rhin en ANNEXE)
- i) Les smolts *issus de la reproduction naturelle*, dont il n'est pas tenu compte dans les équivalents saumoneaux déterminés à partir du repeuplement, contribuent pour une part substantielle au retour de saumons dans l'hydrosystème de la Sieg, mais pas dans le Rhin supérieur.
- j) Le taux de retour des saumons de la souche Allier est inférieur à celui des saumons issus des souches Burrishole et Ätran ; ceci est dû par ex.
 - à une plus forte mortalité en mer (prédation, pêche, parasites, maladies) du fait du risque accru lorsque les pourcentages de 'PHM' sont importants (séjour en mer plus long d'une plus grande partie de la population)
 - à une plus forte mortalité dans le Rhin du fait du risque accru de capture accessoires des poissons de montaison précoce et à une forte mortalité supplémentaire imputable à la manipulation en cas de températures élevées
 - à des différences dans l'adéquation des souches qui ne peuvent pas encore être spécifiées plus en détail.
- k) La production de smolts varie sensiblement selon les sous-bassins (ce qui est entre autres imputable à l'hydromorphologie, à la disponibilité de nourriture, à la prédation).

La différence présentée a probablement plusieurs causes. On ne peut cependant pas encore se prononcer sur l'ordre de grandeur des différents facteurs.

Divers inventaires et captures de pêcheurs à la ligne font cependant ressortir une augmentation sensible des prédateurs aspe et silure. Les populations de cormorans ont également beaucoup augmenté depuis le milieu des années 90. On sait, au travers d'analyses de transpondeurs (Rhénanie-du-Nord-Westphalie/NL), que la mortalité de smolts (smolts de repeuplement) entre la Sieg et le delta est de 50% (étant entendu que la mortalité due à la pêche joue ici un rôle secondaire – voir étude IMARES, chap. 3.5). Les smolts du Rhin supérieur devant parcourir 400 km de plus que ceux du débouché de la Sieg, on peut accorder un rôle très important au facteur 'prédation' (voir e.)). Les débits présents à la période de dévalaison des smolts en 2005, et plus encore en 2006, ont été cependant plutôt favorables et auraient dû avoir des impacts positifs en 2007 et 2008 sur le Rhin supérieur (voir fig. 14 et 32 et graphiques sur les débits du Rhin en ANNEXE). On constate en effet une légère différence, du moins en 2008 (et en particulier à Gambenheim). Les figures 27, 28 et 30 (chap. 3.5.) illustrent les pertes subies pendant la montaison.

Le taux de montaison à Iffezheim ne correspondant pas en 2007, année à fort débit, à la hausse sensible observée sur la Sieg (ainsi qu'en Rhénanie-Palatinat), il est possible que l'effet d'impasse soit également un des éléments déterminants à Iffezheim (voir h)). Il est cependant avéré, preuves à l'appui, que le saumon emprunte les écluses (voir plus haut).

Selon des estimations prudentes, la contribution des géniteurs issus d'une reproduction naturelle dans l'hydrosystème de la Sieg représente environ 10% du nombre total des retours sur la période 2006-2008 considérée (voir rapports sur les projets partiels CIPR et tab. 2). La reproduction naturelle étant encore négligeable dans le Rhin supérieur du fait du manque de continuité, ce paramètre revêt une importance particulière.

Enfin, il faut accorder également une très grande importance à la mortalité au droit des usines hydroélectriques – notamment dans les affluents. On attend une hausse des taux de retour avec la poursuite de l'installation de dispositifs à la dévalaison (système de protection

des poissons) dans les affluents dont on sait que la mortalité de smolts est très élevée (par ex. la Kinzig). Il n'est donc pas tolérable que les conditions de dévalaison se dégradent plus encore dans les affluents du Rhin. Il apparaît au contraire judicieux d'accélérer l'installation de dispositifs d'aide à la dévalaison, de soumettre à un examen critique la construction de nouvelles microcentrales et de n'accepter leur installation qu'à titre exceptionnel.

3.5 Quels sont les facteurs *limitants* (pour les usines hydroélectriques : quels sont les critères pertinents) ?

Les facteurs évalués ci-dessous sont indiqués dans un ordre correspondant à l'estimation de leur caractère limitant.

Facteur 'pêche'

Estimation : facteur limitant

Les activités de pêche comprennent la pêche professionnelle (pêche commerciale), la pêche commerciale d'appoint (« recreational fisheries ») et la pêche à la ligne ou pêche sportive.

La pêche professionnelle utilise entre autres des nasses (Fykenet), des filets maillants (Gill net), des seines, des filets à armature (anchored stow net) et des filets traïnants (y compris filets traïnants de fond) (trawl fisheries) (JANSEN *et al.*, 2008). La figure 27 (en haut) montre où sont exercées ces différentes formes de pêche. La pêche commerciale d'appoint utilise pour l'essentiel des nasses et des filets maillants (le long de la côte et dans les eaux intérieures).

Les impacts de la pêche dépendent de trois facteurs :

- I. Efforts de pêche (varient en fonction des saisons et des lieux)
- II. Probabilité de capture (en fonction de l'engin utilisé et de la fréquence d'utilisation)
- III. Mortalité (type d'engins et de méthodes, température, type et durée de la *manipulation*)

Montaison :

Toutes les activités de pêche sont fondamentalement liées à une certaine mortalité de grands salmonidés à la montaison (JANSEN *et al.* 2008). On doit s'attendre, pour la grande alose également, à une mortalité due à la pêche, bien qu'on ne dispose ici d'aucune donnée et connaissance concrète (également du fait des faibles peuplements de cette espèce). On suppose que les taux de mortalité de la lamproie marine sont très faibles car les méthodes de pêche appliquées ne sont pas ou très peu adaptées à la capture de lamproies marines, autant au niveau de l'équipement que de la période considérée.

Dévalaison :

Les taux de mortalité dus aux activités de pêche sont relativement faibles pour les poissons dévalants (saumoneaux et truitelles dans les nasses : < 1%) ou nuls (grande alose, lamproie marine) (JANSEN *et al.*, 2008) ; les pertes sont principalement à mettre sur le compte de la prédation naturelle et de la mortalité au passage des usines hydroélectriques. Le bilan des pertes de saumoneaux est d'environ 40 à 60% entre le Rhin et la côte néerlandaise. En conséquence, la pêche *ne* compte expressément *pas* ici parmi les facteurs potentiellement limitants.

La mortalité des géniteurs due aux activités de pêche se décline selon les facteurs suivants :

- pêche ciblée (illicite) de grands salmonidés, en général prélèvement complet des prises. Avec la réimplantation de la grande alose dans l'hydrosystème du Rhin, il est fondamentalement possible que cette espèce soit également pêchée de manière ciblée à moyen terme.

- pêches accessoires (saumon et truite de mer ; grande alose ?), prélèvement partiel des prises (parfois par manque de connaissance du statut de protection/interdiction de pêche)
- mortalité (par *manipulation*) de prises accessoires *remises à l'eau* (infections bactériennes de la peau, sous-oxygénation due au stress et/ou prélèvement provisoire hors de l'eau pour détacher les hameçons et/ou photographier la prise) et blessures (hameçons, filets). Les facteurs qui contribuent à une mortalité élevée sont entre autres les hameçons profonds (notamment les barbillons), les températures élevées de l'eau (stress, manque d'oxygène, risque élevé d'infection), l'exposition prolongée du poisson à l'air libre, la faible teneur en oxygène de l'eau et les erreurs de manipulation (tenue du poisson par la nageoire caudale, lésion des branchies par tenue de la tête, poisson empoigné trop fermement en cas de tentative de fuite) (voir BOOTH et al., 1995 ; BROBBEL et al., 1996). Les longues périodes de stress et le séjour prolongé dans des filets et des nasses sont considérés comme des facteurs particulièrement stressants qui peuvent perturber le comportement ou provoquer des lésions ou des maladies (voir SCHRECKENBACH, 2008) ; ces facteurs ont en outre un impact négatif sur les réserves d'énergie du poisson et peuvent ainsi perturber voire même compromettre l'atteinte des rivières de frai (dans des délais appropriés).
- mort ou lésions durables dans des dispositifs de capture rarement contrôlés (filets maillants, nasses).

L'étude d'IMARES (JANSEN *et al.*, 2008) ainsi que diverses études précédentes (dont des études de radio-pistage ; voir synthèse dans JURJENS, 2006) montrent que les pertes les plus graves en termes quantitatifs de saumons et de truites de mer adultes entre la côte et les frayères se produisent dans le tronçon néerlandais entre la transition eau salée/eau douce et le Rhin néerlandais. Sur la base des données actuelles, l'étude d'IMARES sur les pêches accessoires, sur le territoire néerlandais notamment, arrive à la conclusion que plus de la moitié des adultes de retour n'atteint pas le Rhin néerlandais ; sur les saumons restants, env. 69% disparaissent dans le Rhin néerlandais.

En conséquence, sur les 8.000 à 16.000 saumons se présentant sur la côte néerlandaise seuls 1.200 à 2.400 individus rejoignent le Rhin inférieur, le Rhin moyen et le Rhin supérieur (fig. 27).

Remarque : Les conclusions des résultats de radiopistage indiquées dans l'étude IMARES se fondent sur une partie de la population totale séjournant en avant des écluses d'Haringvliet et de la digue terminale. On ne connaît pas le comportement des spécimens se trouvant en avant du Nieuwe Waterweg. Pour la truite de mer, il faut par ailleurs souligner que l'on ne sait pas exactement quel est le pourcentage souhaitant réellement migrer vers l'amont ; à l'opposé du saumon, cette espèce séjourne fréquemment dans les eaux côtières pour s'y nourrir et affiche des taux d'erratisme relativement élevés. Pour le saumon, il est indiqué dans l'étude IMARES que certains poissons identifiés le long de la côte pourraient également provenir de populations de la Meuse et/ou d'autres populations ou s'être échappés de piscicultures. Les saumons de pisciculture affichent certes des taux d'erratisme élevés, mais ils migrent presque exclusivement vers le nord ; par ailleurs, les piscicultures de saumons n'existent qu'au nord de l'embouchure du Rhin (HANSEN, L. P., communication personnelle) ; l'influence des saumons de pisciculture peut donc être négligée. Les saumons issus de rivières ont un sens du homing très développé et errent pour l'essentiel dans des rivières voisines. Les populations voisines de la Meuse et de l'Elbe ainsi que celles des petits affluents de plaine en Allemagne sont plutôt modestes, comparées à celle du Rhin.

Selon IMARES, les pêches accessoires aux Pays-Bas sont comprises entre 1.709 et 10.216 individus (fig. 27 en haut). La fig. 28 met ces valeurs minimales et maximales ainsi que la moyenne arithmétique en relation avec les saumons arrivant sur la côte (également valeurs minimale, moyenne et maximale) et fait ressortir le nombre de saumons « intacts », c'est-à-dire de poissons qui ne sont pas touchés par les activités de pêche sous forme de prises accessoires. En fonction du scénario, ce nombre varie entre -2216 (faible nombre de

retours, prises accessoires élevées) et 14.291 (grand nombre de retours et prises accessoires de faible ampleur) individus. Même si l'on prend comme base un nombre moyen de retours et des prises accessoires de moyenne ampleur, seuls 6.038 individus restent intacts.

Etant donné que les impacts de la pêche commerciale d'appoint et de la pêche professionnelle ne peuvent pas être ou sont insuffisamment interprétés du fait du faible taux de retour des questionnaires et du fait de l'impossibilité d'évaluer les données de la pêche côtière, la part d'inconnu est probablement très élevée. Viennent s'y ajouter la pêche illicite ciblée qui n'est pas encore quantifiée et le prélèvement illicite de prises accessoires (voir ci-dessous) (voir aussi fig. 29 & 30).

On ne connaît pas le taux de survie des poissons remis à l'eau, mais il faut s'attendre à des taux de mortalité supérieurs à la moyenne, notamment en été, à cause des blessures (également des muqueuses) et du stress déclenché par la manipulation. Les poissons remontant à cette période de l'année étant principalement des 'PHM', le taux de mortalité de souches dont la migration est précoce et composées de pourcentages élevés de 'PHM', par ex. Allier (voir fig. 13), pourrait être nettement supérieur à celui de souches affichant des pourcentages plus élevés (Ätran) ou très élevés (Burrishole) de madeleineaux. Cet aspect est particulièrement important dans le cadre de l'interprétation du nombre et du taux de retour dans le Rhin supérieur (Iffezheim) comparé à celui de la Sieg (voir chap. 3.4).

L'ampleur des pertes imputables au braconnage (Poaching) n'a évidemment pu être évaluée par l'analyse réalisée par IMARES au travers de questionnaires. Selon les indications données par Sportvisserij Nederland, la pêche illicite et le prélèvement illicite de prises accessoires constituent probablement un problème de taille (MOQUETTE, communication personnelle ; voir aussi article « DE TRAGE TERUGKEER VAN DE ZALM », source : De Volkskrant, Amsterdam, 20 juillet 2005). Pour les tronçons allemands du Rhin, on ne dispose que de quelques déclarations et de données fragmentaires laissant toutefois penser que les pertes pourraient atteindre jusqu'à 50% (?) des stocks de saumons restants. IMARES estime à 58% la perte de géniteurs entre le Rhin et les zones de frai.

Dans une étude sur le taux de capture potentiel de saumons par la pêche à la ligne ciblée dans la zone de débouché d'une rivière de frai (Saynbach ; Rhin moyen), on a pu montrer que, sur une période donnée, on pouvait capturer plus de saumons que ce que l'on pouvait détecter par d'autres méthodes (observations, pêche électrique sur trois jours de recensement) (SCHNEIDER, 2007b) (voir fig. 29). Un « taux de capture » comparable semble également être possible dans d'autres embouchures de rivières et en aval d'ouvrages transversaux dans les grandes rivières. BLASEL (communication orale 2008) a connaissance d'un cas où un seul pêcheur à la ligne aurait capturé en 2007 quelque 40 grands salmonidés en aval de Gambshheim (tous prélevés) ; HARTMANN (communication orale 2008) connaît des activités comparables dans le débouché de l'Alb (bientôt zone protégée). SCHNEIDER dispose d'informations similaires pour le Rhin moyen (voir procès-verbal d'entretien en ANNEXE), la Moselle en aval du deuxième barrage de Lehmen (dans le sens opposé au courant) et le débouché de la Sieg. Des prises accessoires (pêche à la ligne et plus rarement : pêche professionnelle) ont été déclarées sur l'ensemble du Rhin inférieur et du Rhin moyen, du Rhin supérieur septentrional, de la Moselle, de la Ruhr, de la Sieg (y compris son affluent Nister), de la Lahn et de la Nette.

Ces cas isolés, plus ou moins fiables, ne sont probablement que la « pointe de l'iceberg ». Il est certain en tous les cas que le nombre de déclarations augmente et que le problème de la pêche illicite ne se limite pas au territoire des Pays-Bas. Les saumons n'étant pas répartis de manière homogène dans le cours principal, mais empruntant des voies de migration spécifiques (y compris refuges) (raison pour laquelle des « points de capture » fixes de saumons ont été mises en place dès la fin du Moyen Age) et formant notamment des groupes juste avant la période de frai aux embouchures des « rivières natales », la connaissance accrue de tels lieux « productifs » peut permettre à certains pêcheurs d'accroître très fortement leurs résultats de capture (voir fig. 29).

Results salmon

No fishery enquiry
 survey
 literature
 licence
 unknown

		Rivers	IJsselmeer	Delta	Wadden Sea	Dutch Coast
Fyke net	Smolts	25-49	110-225	35-70	20-200	?
	Adults	232 - 463	20 - 40	7 - 13	0 - 120	?
Gill net	Smolts		0-10	0	0	?
	Adults		0 - 10	0	0	?
Seine	Smolts	0-10	0-10	0-10	0-10	
	Adults	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	
Anchord stow net	Smolts	32				
	Adults	0				
Trawling	Smolts			10-100	20-100	80-400
	Adults			0-10	0-10	0-10
Sport fisheries	Smolts	0?			0?	
	Adults		50-2500		1400 - 7000	

paaigebied	Laichgebiet
verdwijning	Verschwinden
beroepsvisserij	Berufsfischerei
sportvisserij	Sportfischerei
onbekend (o.a. predatie, wkc, experimenteel)	unbekannt (u.A. Prädation, WKA, Versuche)
predatie	Raub
wkc	Wasserkraftwerk
fuikenvisserij	Reusenfang
staand wand	Kiemenfangnetz
zegen	Schleppnetz
recreativ	Freizeit
ziekte	Krankheit
fractie	Anteil
barriere	Hindernis
temp	Temperatur
zalmpopulatie	Lachspopulation

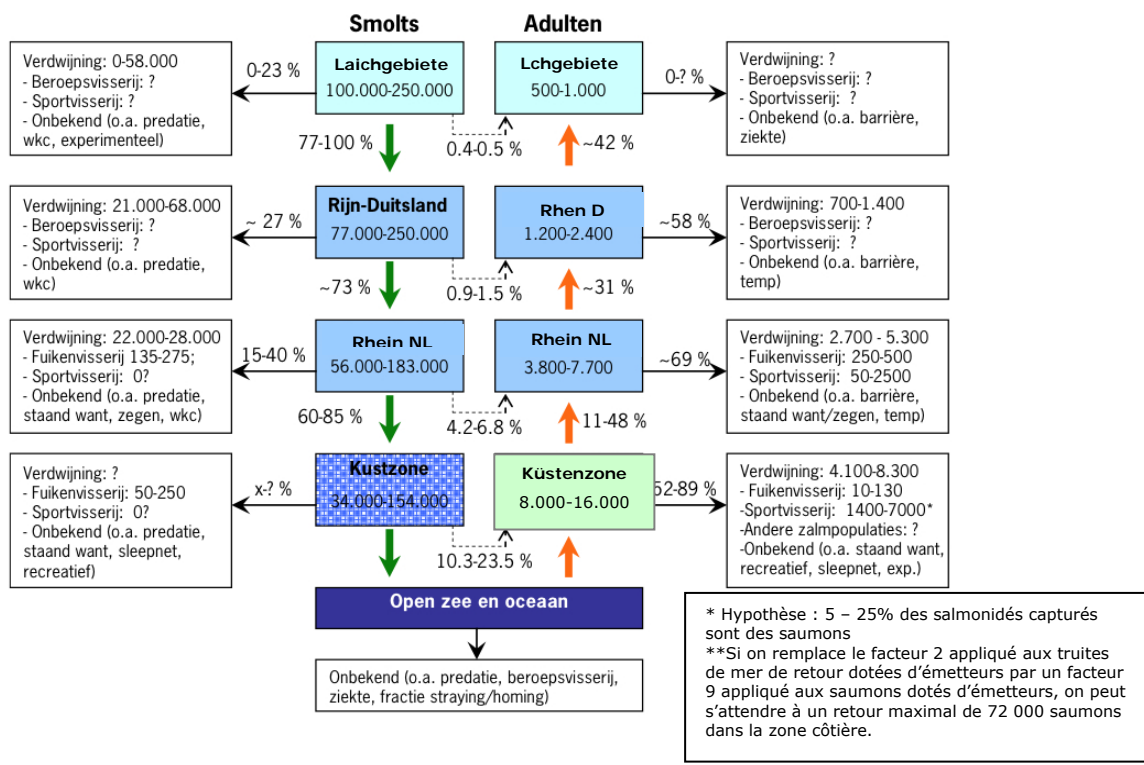


Fig. 27 : Schéma synoptique présentant le nombre estimé de smolts migrants et de saumons adultes et la perte par sous-bassin sur la base de données de radiopistage et de saumons adultes relâchés et observés dans les zones de frai. Pour chacun des segments, la perte est mise en relation avec le nombre de poissons capturés par les pêcheurs professionnels et les pêcheurs amateurs. La capture d'un saumon n'est pas automatiquement synonyme de disparition. Cela dépend de la disposition du pêcheur à remettre le poisson à l'eau et également de la survie ultérieure du poisson. Sont évoqués par ailleurs d'autres facteurs susceptibles de jouer un rôle important. Pour chaque sous-bassin, on calcule également le rapport entre le nombre de saumoneaux dévalants et celui de saumons adultes qui remontent vers les frayères. Pour les zones de frai, ce pourcentage varie entre 0,4 et 0,5%. Les chiffres indiqués dans ce graphique permettent d'estimer l'ordre de grandeur. (tiré de : JANSEN *et al.*, 2008 (Traduction des données détaillées dans les cases à gauche et à droite : voir case jaune en haut à droite)

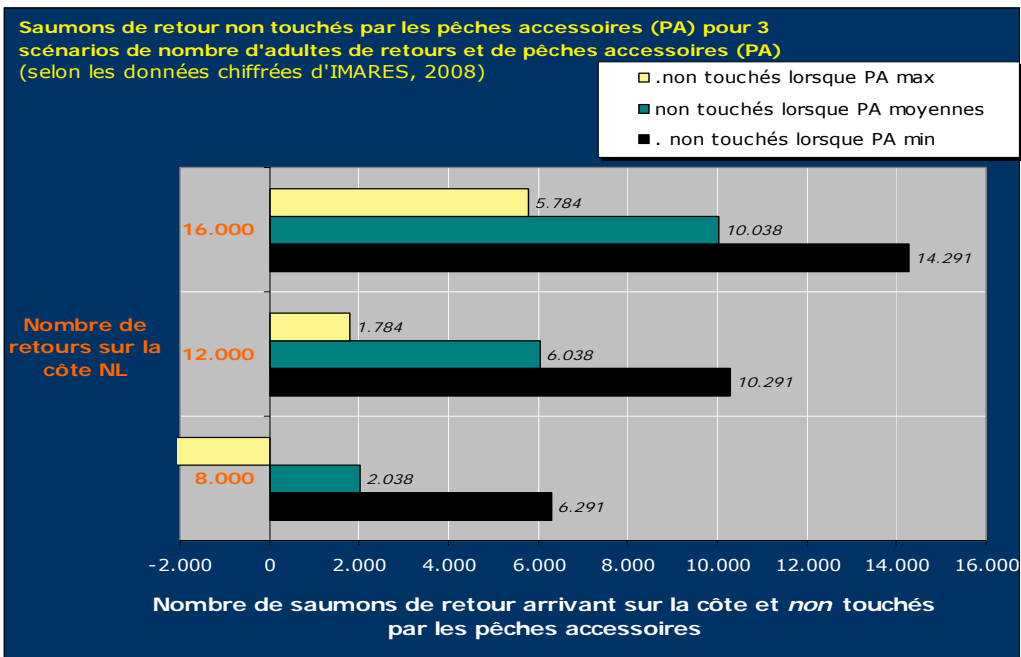


Fig. 28 : Nombre de saumons qui *ne* sont *pas* touchés par les pêches accessoires ; calculs effectués selon les indications d'IMARES (JANSEN *et al.*, 2008), fourchette du nombre de retours (valeurs minimale, maximale, moyenne) et les prises accessoires (valeurs minimale, maximale, moyenne).

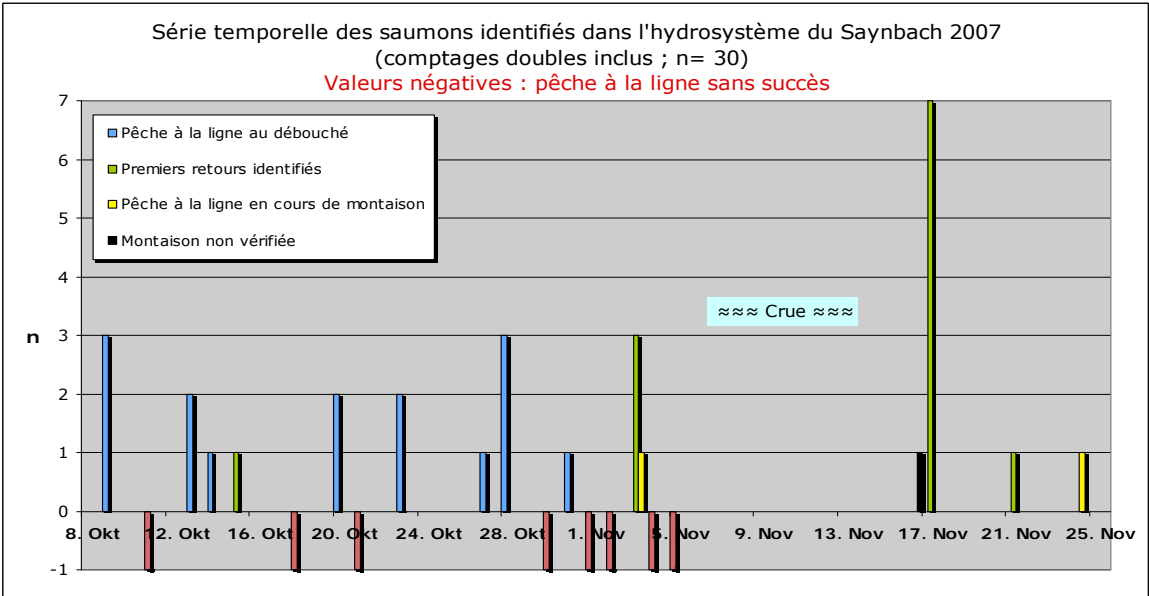
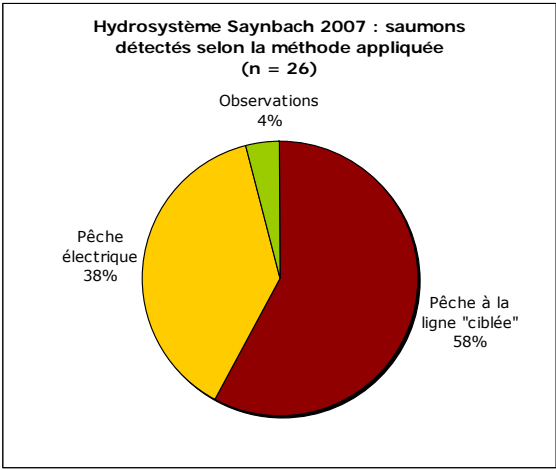


Fig. 29 : Exemple de probabilité de capture de saumons par la pêche à la ligne ciblée comparée à d'autres méthodes (étude réalisée sur le Saynbach, automne 2007) (tiré de SCHNEIDER, 2007).

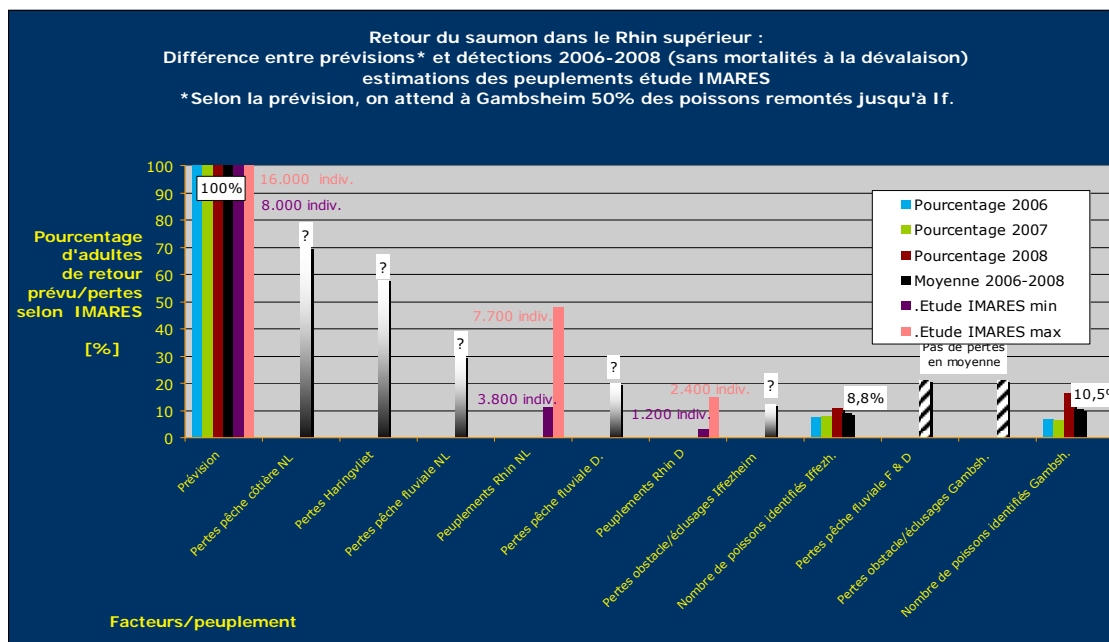


Fig. 30 : Présentation exemplaire des taux de pertes de saumons adultes, valeurs basées sur l'étude d'IMARES (JANSEN *et al.*, 2008), et pourcentages d'adultes de retour prévus en fonction des efforts de repeuplement, sous forme d'équivalents saumoneaux, à l'exemple de la méthode 2b (voir fig. 19) par sous-bassin et compte tenu d'un taux de retour de 1% dans les stations de contrôle d'Iffezheim et de Gamsbheim. On notera que l'on ne relève pas de pertes supplémentaires entre les dispositifs d'Iffezheim et de Gamsbheim (moyenne 2006-2008).

Selon les données actuellement disponibles et malgré ou à cause des lacunes de connaissance, on doit considérer la pêche comme un facteur globalement limitant pour la reconstitution durable de peuplements de grands salmonidés, eu égard aux premières approches de différenciation des facteurs étant entendu que les différents facteurs (méthodes, lieux) dont on dispose.

Du fait de leur intensité, certaines méthodes de pêche compromettent potentiellement la reconstitution visée des peuplements de grandes aloses ; elles n'ont toutefois pas d'impact négatif sur la stabilisation des stocks de lamproies marines.

On ne dispose pas de données fiables sur l'ampleur de la pêche illicite ciblée ; le problème doit cependant être vu comme crucial (également) par les associations et autorités piscicoles) et croissant. Selon les connaissances actuelles, la pêche illicite est probablement répandue dans l'ensemble du bassin du Rhin, affluents compris.

Les saumons prélevés aux Pays-Bas et dans le Rhin inférieur allemand ou subissant des lésions létales viennent de l'ensemble du bassin rhénan ; ce facteur, à l'opposé de problèmes *locaux* de continuité, de qualité des habitats et de mortalité au droit des usines hydroélectriques, a des impacts similaires sur tous les projets partiels (il est possible que le Rhin supérieur soit plus touché du fait de la mortalité plus élevée due à la manipulation des poissons de souche Allier en été).

La CIPR recherche actuellement une solution permettant de maîtriser le problème posé par la mortalité due à la pêche.

Facteur continuité

Estimation : facteur limitant

Etat actuel

Dans les affluents du Rhin cités ici à titre d'exemple, on note la situation suivante (tiré du rapport CIPR n° 140) :

Sieg : 6 usines hydroélectriques susceptibles de causer des lésions aux saumoneaux lors de la dévalaison.

Moselle : 22 usines hydroélectriques au total, dont 10 en Allemagne, 2 au Luxembourg et 10 en France. Jusqu'aux débouchés des principaux affluents tels que la Kyll (D) et la Sûre (L/D), il y a 9 et 10 usines hydroélectriques.

Lahn : Nombreuses retenues, plus de 10 usines hydroélectriques jusqu'aux principaux affluents salmonicoles, la Dill (D) et la Weil (D).

Main : 34 usines hydroélectriques au total, dont 6 en Hesse et 28 en Bavière. Il existe 6 usines hydroélectriques jusqu'à la Kinzig (D), premier affluent important.

Neckar : Plus de 20 usines hydroélectriques au total. Les affluents propices au saumon ne se jettent dans le Neckar (D) qu'en amont de (plus de) 10 usines hydroélectriques.

Murg : 17 usines hydroélectriques jusqu'à Forbach (tronçon prioritaire pour la recolonisation) susceptibles de causer des lésions aux saumoneaux lors de la dévalaison.

Alb : 6 usines hydroélectriques susceptibles de causer des lésions aux saumoneaux lors de la dévalaison.

Rench : On relève 16 usines hydroélectriques dans la zone prévue à moyen terme pour la réintroduction du saumon en aval du débouché du Lierbach ; sur le tronçon amont consécutif, dont la morphologie en fait un habitat propice aux poissons migrateurs, on trouve 6 autres installations jusqu'à Bad Peterstal.

Ill et tributaires en Alsace : 5 usines hydroélectriques sont actuellement exploitées sur le cours aval de l'Ill. Dans les principaux tributaires salmonicoles, il existe une usine hydroélectrique sur la Bruche et moins de 10 sur la Fecht. Pour ces rivières, on s'est engagé à rétablir la continuité pour les poissons migrateurs.

Kinzig : 16 microcentrales sont exploitées actuellement dans la zone de réintroduction des saumons en aval du débouché de la Kleine Kinzig ; d'autres installations se trouvent sur les tributaires de la Kinzig, à savoir le Schiltach, le Gutach et le Wolfach.

La répartition dans l'espace géographique des reproductions de saumons, présentée dans le tab. 2 (chap. 2), ainsi que les zones de reproduction utilisées par la lamproie marine montrent que presque toutes les rivières prioritaires ou tronçons auxquels les espèces peuvent accéder depuis que la continuité longitudinale a été rétablie, sont colonisés et utilisés comme frayères en l'espace de quelques années. Dans les rivières et tronçons accessibles, les taux de reproduction du saumon sont parfois très élevés. Les rivières et tronçons partiellement accessibles ne sont pas ou rarement colonisés et les taux de reproduction sont faibles. Le facteur continuité est donc déterminant pour la reconstitution d'une population de saumons en équilibre naturel et la continuité restreinte dans certains sous-bassins est (encore) un facteur limitant.

L'examen des souches utilisées comme unités de reproduction (populations dans un sens large ; voir chap. 2) dans le cadre de la réintroduction du saumon montre que l'on peut exclure tout impact limitant pour la souche Ätran, car les frayères et zones de grossissement accessibles sont déjà de l'ordre de 120 à 140 hectares (ce qui correspond à une production potentielle de smolts de 120.000 à 140.000 individus).

Pour la souche Allier, la superficie accessible de frayères et de zones de grossissement bien et moyennement appropriées est de l'ordre de seulement 5 à 7 ha dans les affluents

(production maximale d'environ 5.000 saumoneaux sauvages). On ne dispose pas encore de données fiables sur les possibilités de reproduction dans le Rhin. Le facteur continuité a donc très probablement un effet limitant pour cette souche et, partant du *statu quo*, il est peu probable que des populations durables puissent se reconstituer.

Si l'on examine le facteur par bassin versant (= au niveau de futures populations ou sous-populations), l'effet limitant s'applique actuellement à tous les affluents de la Moselle (souche utilisée : Ätran), à l'hydrosystème de l'Ill, à l'Alb, la Murg, la Rench, la Kinzig, ainsi qu'à tous les hydrosystèmes et tronçons situés en amont du barrage de Strasbourg, à savoir Elz-Dreisam, Vieux Rhin, Wiese, Birs, Ergolz, cours principal du Rhin supérieur méridional et haut Rhin (souche utilisée : Allier).

Remarque : Pour l'essentiel, il est prévu de rétablir la continuité des affluents de la Forêt Noire d'ici 2012 dans le cadre du processus de mise en œuvre de la Directive cadre 'Eau'.

Pour la truite de mer et la grande alose, espèces plus sujettes à l'erratisme, on peut s'attendre à une propagation successive des populations dans le Rhin supérieur méridional et dans la Moselle, lorsque la continuité sera rétablie. On peut même s'attendre à une recolonisation immédiate de ces cours d'eau (tronçons) par la lamproie marine (et la lamproie fluviatile) qui sont des espèces exclusivement erratiques.

Pour la dévalaison, il n'est pas possible de dire, sur la base des données disponibles, à partir de quel nombre les usines hydroélectriques constituent dans leur total un facteur limitant, du fait de la mortalité cumulée ; en effet, les taux réels de mortalité de saumoneaux ne sont connus pour aucune des grandes usines (dans le cadre d'une étude réalisée dans l'usine de Dettelbach sur le Rhin, on a déterminé pour 244 truites fario, de petite taille pour la plupart, un taux de mortalité de 15% (type de turbine : Kaplan, voir HOLZNER, 1999). Pour les usines du Rhin supérieur méridional, l'étude STUCKY (STUCKY, 2006) part d'une mortalité de 5% par usine. Il n'est pas tenu compte dans ce cadre de l'impact du retard pris dans la dévalaison et du risque de prédation croissant auquel sont exposés les saumoneaux dans les zones de retenue ; les pertes en décolant peuvent, dans le cas le plus pessimiste (en fonction des débits, de la turbidité et de la présence de prédateurs), dépasser la mortalité imputable au passage dans les turbines.

Jusqu'à présent, le nombre de saumoneaux retrouvés dans les prises d'eau de refroidissement est resté relativement bas (à l'opposé de celui des ammocètes de lamproies marines) (KORTE, WEIBEL ; communication orale).

Les données sur les saumons de retour ne présentant pas de différence significative à Iffezheim et Gamsheim par rapport au nombre de retours pronostiqués, on ne peut en déduire d'enseignement sur la mortalité au droit de l'usine de Gamsheim. Selon les données disponibles, les taux de mortalité des groupes « hydrosystème de l'Ill et de la Murg » et « Rhin supérieur méridional » semblent être comparables.

La problématique de la dévalaison étant *en soi* un facteur limitant potentiel, qui varie cependant selon les taux de survie au droit des différentes usines et le nombre d'usines, il n'existe aucune alternative à l'installation de systèmes de protection des poissons ou à une gestion ajustée des turbines, au moins dans les affluents. Pour les grandes usines, il convient tout d'abord d'analyser les taux de mortalité. Les alevinages compensatoires et éventuels transports ne constituent en aucun cas de solution durable.

Faute de données suffisantes, on a effectué un calcul *exemplaire* pour le tronçon allant d'Iffezheim jusqu'au Vieux Rhin (7 usines hydroélectriques) ; ce calcul met en relief les taux de survie pour différents taux de mortalité et tient compte du nombre potentiel de smolts issus d'une reproduction naturelle depuis le Vieux Rhin jusqu'en Suisse d'env. 190.000 individus (tab. 12 ; voir fig. 16 & 17). Le facteur déterminant reste cependant le *taux de retour* global qui, comme il a été présenté, ne peut ni être déterminé avec une précision suffisante pour les populations actuelles ni être prévu pour une population future « adaptée ». On peut supposer qu'une population peut se maintenir malgré un taux de mortalité de 3 % par installation (valeur cible ; y compris risque accru de prédation dû à l'effet d'obstacle de

l'installation) ; lorsque la mortalité est égale ou supérieure à 7 %, les chances baissent sensiblement (voir exemple de calcul dans le chap. 4.6, tab. 18a-g). Si l'on prend comme hypothèse une mortalité actuelle de 5% par installation (voir STUCKY, 2006 ; valeur maximale sans passage par les barrages) comme valeur *théorique*, les systèmes de protection piscicole devraient afficher globalement une efficacité d'environ 40%.

Nous reviendrons ci-dessous au lien existant entre la mortalité au droit des usines hydroélectriques et les débits pendant la période de dévalaison des smolts (« facteurs température et débit »). Tab. Le tableau 15 (chapitre 4.2.5 met en évidence la relation entre l'exploitation hydroélectrique (nombre d'usines hydroélectriques sur l'ensemble du bassin et dans les rivières prioritaires, estimation de la mortalité) et les actuels stades intermédiaires de réalisation des projets (accès aux habitats, reproductions identifiées et estimation des résultats de ces reproductions en 2008 ; voir aussi le tableau 2).

Tab. 12: Exemple de calcul de la mortalité cumulée et de la production potentielle de smolts d'Iffezheim au Vieux Rhin (7 usines hydroélectriques) ; les taux de mortalité indiqués correspondent à une hypothèse pessimiste supposant que tous les individus passent dans les turbines (pas de dévalaison par le biais des barrages et des écluses)

Mortalité par installation [%]	Mortalité cumulée sur 7 installations [%]	Sur 190.000 smolts survivent
3	19,2	153.517
4	24,9	142.775
5	30,2	132.684
7	39,8	114.323
10	52,2	90.876
15	67,9	60.910
20	79,0	39.846

Fonctionnement des dispositifs de franchissement

Le *fonctionnement* de dispositifs de franchissement se compose de deux facteurs : la *repérabilité* et la *franchissabilité*.

Critères relatifs à la repérabilité du dispositif de franchissement

La repérabilité dépend tout autant de l'emplacement de l'entrée que du débit d'attrait. A titre d'orientation, les passes à poissons/dispositifs de franchissement devraient être dotés d'env. 1% du débit d'équipement de l'usine (Remarque : à Iffezheim et Gamsheim, le débit d'attrait est de 13 m³/s et 15 m³/s, soit 1,2% et 1,4% du débit d'équipement de l'usine). L'emplacement des entrées et les conditions hydrodynamiques au droit de l'entrée sont également des facteurs importants.

La programmation de la passe à poissons d'Iffezheim en 1997 s'est basée sur l'installation simultanée d'une 5^{ème} turbine à proximité immédiate de la passe à poissons ; les essais hydrauliques préliminaires se référaient donc aux conditions en présence avec la 5^{ème} turbine. L'emplacement nécessaire pour la 5^{ème} turbine a été aménagé lors de la construction de la passe à poissons en 1999/2000, mais la mise en place de la turbine a été reportée à une date ultérieure. Ce travail est à présent prévu pour 2009.

Lorsque les débits dépassent sensiblement le débit d'équipement des usines d'Iffezheim et Gamsheim, il existe un problème *potentiel* (non confirmé par des études) côté barrage (pas

de passe à poissons, secteur isolé par des môles de séparation). Les effets d'impasse (débits d'attrait dans des zones sans dispositif de franchissement) peuvent si besoin être minimisés de manière efficace par la construction de passes à poissons supplémentaires. Il n'existe pas d'autres critères généraux *applicables à tous les sites*.

Critères relatifs à la franchissabilité du dispositif de remontée

Eu égard à la *franchissabilité pour les grands salmonidés*, les dispositifs de remontée existants sur la Sieg (Buisdorf), la Moselle (Coblence) et dans le Rhin supérieur (Iffezheim, Gamsheim) ainsi que dans le Rhin inférieur ne constituent pas d'obstacle pour le saumon, la truite de mer et la lamproie marine. Ceci est également le cas pour toutes les variantes présentées dans l'étude STUCKY (2005, 2006) pour d'autres passes à poissons au droit de Strasbourg, Gerstheim, Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrün (chap. 5). Les dimensionnements suivants sont des valeurs d'orientation minimales pour les grands salmonidés : longueur des bassins 3,3 m, largeur 2,2 m, profondeur 65 cm, profondeur des fentes 45 cm, largeur des fentes 33 cm, Δh entre les bassins 30 cm ; les valeurs d'orientation hydrauliques supérieures sont de l'ordre de 2,2 m/s dans les *Jets* (orifices) et de 200 à 300 watts/m³ d'apport énergétique maximal.

Pour la grande alose, qui est sensible aux turbulences, la hauteur de chute entre les bassins ne devrait pas dépasser 20 à 25 cm afin que le courant soit bien orienté. Des chutes > 30 cm ne sont pas recommandées. Selon LARINIER & TRAVADE (2002a), les bassins d'un dispositif de franchissement doivent par ailleurs présenter certaines dimensions (entre autres une profondeur d'au moins 120 cm). Les grandes aloses migrent en bancs et le dispositif de franchissement doit être conçu de manière à ce que ces bancs ne soient pas divisés. Les fentes doivent présenter une largeur d'au moins 40 à 50 cm. L'apport de bulles d'air doit être limité et la dissipation de l'énergie dans les bassins ne devrait pas dépasser 150 watts/m³. Si ces critères sont respectés, les dotations requises sont généralement supérieures à 1 m³/s et le volume du bassin supérieur à 12 m³.

Remarque : Pour les variantes « scénario 1 » présentées dans l'étude STUCKY, on indique un Δh de 30 cm pour les usines de Strasbourg, Gerstheim, Rhinau et Marckolsheim ; voir chap. 4 : Propositions de mesures.

Critères relatifs à la repérabilité et franchissabilité des dispositifs de dévalaison

Les systèmes de protection ou de guidage des poissons devant servir de barrières comportementales (bulles d'air, sons) ne s'étant pas avérés assez efficaces en pratique, les barrières mécaniques qui répondent à l'état de la technique (grilles), combinées à un exutoire de dévalaison permettant au poisson de contourner la turbine, semblent être une solution efficace.

Pour les smolts de salmonidés, il est recommandé de mettre en place des exutoires de dévalaison combinés à des grilles de protection. L'écart des barreaux (sur les grilles si possible inclinées) doit être aussi faible que possible et ne doit pas dépasser, selon les sources bibliographiques consultées, un chiffre compris entre 10 mm et 15-20 mm (voir ATV-DVWK, 2004 ; BUREAU D'ETUDES FLOECKSMÜHLE, 2005a; TRAVADE, 2006). La vitesse de débit entrant devrait être de l'ordre de 0,5 à 0,6 m/s au plus.

Dans la plupart des cas, l'état de la technique offre aujourd'hui les moyens d'assurer la dévalaison des poissons sans risque au droit des micro-centrales. Sur la Kinzig à hauteur de Steinach (Bade-Wurtemberg), on teste depuis deux ans une installation pilote « Circulating rake » (grille rotative composée de lamelles en tôle perforée ; www.hydroenergie.de). D'autres types de grilles fines à positionnement vertical (10mm) ou horizontal accompagnés de dispositifs de dévalaison ont été installés et testés sur divers affluents du Rhin. Ils peuvent équiper des usines de petite ou de moyenne taille. Pour les salmonidés dévalant à proximité de la surface, des grilles d'entrée à *effet répulsif* sur les saumoneaux ont fait leurs preuves dans des installations *de grande dimension* dont le débit d'équipement peut atteindre 100 m³/s. Afin que ces dispositifs remplissent leur fonction, les grilles doivent présenter un maillage assez fin (20-40 mm) et la vitesse du courant ne doit pas dépasser 0,5

m/s. Selon TRAVADE (communication écrite), cette technique ne peut pas être transposée au Rhin à cause de l'écart des barreaux et de la vitesse du courant.

La *repérabilité* des exutoires de dévalaison pour les smolts peut éventuellement être accrue par le biais de courants d'attrait et dispositifs de guidage (lumière, éventuellement infrasons) (voir propositions de mesures au chap. 4).

En France, on a également testé avec succès des sources lumineuses supplémentaires (lampes à vapeur de mercure de 50 à 80 watts) pour les smolts dévalant de nuit (effet d'attrait). Selon les expériences les plus récentes, les infrasons déclenchent chez les poissons une réaction de fuite et d'esquive face aux prédateurs, sans manifestation d'effet d'habitude (effet répulsif). Cette technique n'est toutefois pas arrivée à un stade de maturité suffisant. L'utilisation éventuelle de sources lumineuses et d'infrasons se limite jusqu'à présent aux usines hydroélectriques de petite et moyenne taille.

Une deuxième possibilité consiste à adapter la gestion des turbines, c'est-à-dire à les arrêter complètement ou en partie lorsque passe la principale vague de poissons dévalants. En cas d'arrêt partiel, le débit se concentre sur un nombre plus faible de turbines. En regard des problèmes techniques que pose la mise en place de systèmes de protection piscicole au droit des grandes usines hydroélectriques, la gestion des turbines représente actuellement la seule option envisageable pour les grandes usines. Les arrêts sont toutefois liés à une perte de production sensible. La concentration du débit entrant sur certaines turbines (débit maximal sur les turbines) entraîne des pertes de production nettement plus faibles et cette méthode a été appliquée déjà à plusieurs reprises sur la Moselle (usine de RWE à Coblenche) (SCHNEIDER, 2007a).

Les contacts mécaniques (collision) avec la roue ou les pales et les parties rigides et mobiles du distributeur entraînent des lésions mécaniques. La position des pales fixes et celle des pales mobiles dépendent du taux d'utilisation de la turbine et, par là même, de la quantité d'eau turbinée. La fréquence des lésions mécaniques dépend donc de l'alimentation des turbines (= quantité d'eau turbinée). Les pressions et courants dans la turbine sont également fonction du taux d'utilisation de l'installation. Il est impossible d'estimer globalement les impacts de différentes alimentations de turbines qui, pour autant qu'on le sache au stade actuel, sont fonction de différentes conditions générales (entre autres espèces piscicoles, longueur du poisson, conditions hydrauliques). L'alimentation maximale des turbines réduit (en relation avec la longueur du poisson) le risque de lésions mécaniques dû à la collision avec des parties de l'installation (notamment avec les pales mobiles), mais fait augmenter simultanément les turbulences, les forces de cisaillement et les différences de pression (ce qui toucherait particulièrement les saumoneaux entre autres).

Une étude de HOLZNER (1999) fait apparaître une plus faible mortalité de l'anguille lorsque la puissance des turbines augmente (2 turbines de type Kaplan, 2,2 MW chacune). BUIJSE (2009, communication personnelle) a comparé l'exploitation actuelle d'une usine hydroélectrique (4 turbines Kaplan horizontales, 14 MW au total, capacité maximale à 102,5 m³/s) à hauteur de Linne sur la Meuse (débit moyen de 230 m³/s) avec une option dans laquelle on alimente le moins de turbines possible afin d'obtenir un débit aussi élevé que possible par turbine. Dans ce cas également, la mortalité des anguilles due à des lésions mécaniques peut être réduite d'environ 35%.

La longueur du poisson étant un facteur important dans le cadre de la mortalité par collision, l'impact des arrêts partiels devrait être plus faible pour les saumoneaux que pour les anguilles. SKALSKI *et al.* (2002) n'ont pas observé d'impacts sur les smolts (relativement petits) de saumons pacifiques. Il est possible qu'il y ait un impact positif sur les smolts de plus grande taille du saumon atlantique. CALDERWOOD (1945 ; cité dans DAVIES, 1988) mentionne des taux de survie optimaux pour les saumoneaux lorsque les turbines de type Francis sont fortement alimentées (« lorsque les distributeurs s'ouvrent automatiquement »). En revanche, HOLZNER (1999) relève même une mortalité légèrement supérieure pour les truites fario (relativement grandes) lorsque la puissance des turbines augmente. TREFETHEN (1968, cité dans HOLZNER, 1999) indique qu'un taux d'utilisation très élevé de la turbine (proche du débit de dimensionnement de l'installation) entraîne une augmentation sensible des pertes sur les saumoneaux analysés. TAYLOR & KYNARD (1985) ont constaté sur une

turbine Kaplan de 17 MW (hauteur de chute de 15,5 m ; 5 pales mobiles ; diamètre des pales mobiles : 4,318 m ; 225 tr/min) que la mortalité des grandes aloses analysées, de 62% en moyenne, était nettement plus basse à 16,5 MW qu'à 12 MW (82%). Les auteurs estiment que le rendement est optimal sur la turbine de 16,5 MW. Se basant sur une étude bibliographique, DAVIES (1988) mentionne une alimentation de 90% comme valeur optimale, sachant toutefois qu'il n'a pas été fait de distinction selon l'espèce piscicole. Il existe probablement pour chaque site ou pour chaque installation un taux d'utilisation « respectueux du poisson » spécifique à l'installation et à l'espèce piscicole, étant entendu que les espèces sensibles subissent des lésions du fait des différences de pression lorsque l'utilisation est trop élevée et les grands individus des lésions du fait de collisions lorsque l'utilisation est trop faible.

Sans analyse de la situation au droit des usines hydroélectriques du Rhin, il n'est pas possible de quantifier l'impact d'une alimentation ajustée des turbines. De faibles effets positifs sur plusieurs usines hydroélectriques consécutives peuvent cependant être importants du fait de leur impact cumulé.

Pour la bonne gestion des turbines, des connaissances sur la biologie des espèces sont indispensables :

- Quels sont les corridors de migration les plus souvent fréquentés dans la colonne d'eau ?
- Quelles sont les périodes de migration et quels sont les paramètres physico-chimiques qui déclenchent la dévalaison ?

On sait que le saumon dévale à proximité de la surface et évite les zones riveraines. La principale vague de dévalaison à partir des zones de grossissement a lieu entre début avril et mi-mai, dès que la température de l'eau atteint environ 8°C et que les débits augmentent (souvent mais pas exclusivement). La vague principale dans le Rhin supérieur et la Moselle se situe entre fin avril et fin juin (voir tab. 5) et s'étend rarement sur une période de plus de 6 à 8 semaines. A l'opposé de l'hypothèse faite dans l'étude STUCKY, les smolts dotés de transpondeurs n'ont pas dévalé principalement de nuit, mais de jour et à l'aube/au crépuscule, donc sur une période de 14 – 16 heures *dans la phase d'activité principale* (fig. 31). Des études pluriannuelles (IBBOTSON et al., 2006) ont fait ressortir des préférences variables en relation avec la température de l'eau et la période de migration : à une température inférieure à 12°C et en début de période, la migration se fait principalement de nuit ; lorsque la température dépasse 12°C et en fin de période de migration, il n'y a pas de préférence. La migration à l'aube/au crépuscule était faible pendant toute la période de migration.

La gestion appropriée des turbines au printemps aurait probablement un effet nettement positif sur les smolts de salmonidés. Pour le reste de la faune piscicole, il faut mettre au point d'autres solutions durables.

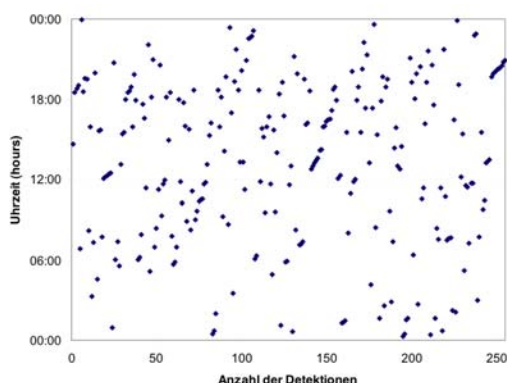


Fig. 31 : Répartition sur la journée de la migration de saumoneaux dans le cadre des études de transpondeurs (tiré de INGENDAHL, 2007)

Les taux de mortalité au passage dans les turbines varient fortement selon les espèces piscicoles et sont fonction du débit d'équipement et de l'emplacement (région piscicole ; espèces concernées) d'une usine hydroélectrique, du type de turbine utilisé et des hauteurs de chute. Les quelques données disponibles permettent de dire que les turbines de type Kaplan et de type bulbe sont plus « ichtyocompatibles » que les turbines de type Francis et que la mortalité dans les petites usines hydroélectriques (env. 10 à plus de 50% pour les saumoneaux) est supérieure à celle observée dans les grandes usines (env. 5 à 20%) dotées de turbines plus lentes. En raison des marges susmentionnées, il semble impossible de prévoir avec la fiabilité requise la mortalité causée par une installation, voire même l'effet cumulé de nombreuses installations (voir ci-dessus). Selon LARINIER & TRAVADE (2002b), il existe de premiers modèles mathématiques qui ont cependant tendance à surestimer la mortalité dans les grandes turbines Kaplan ; les auteurs indiquent que la mortalité des saumoneaux est « généralement inférieure à 5% » sur les grandes turbines Kaplan et une faible hauteur de chute. HOLZNER (1999) mentionne par contre pour la méthode de calcul initialement présentée par LARINIER & DARTIGUELONGUE (1989) que la valeur *calculée* correspondant à la lésion subie par les truites fario (< 10%) « sous-estime sensiblement » les taux de lésion *réels* (15%). Il ressort également d'une évaluation bibliographique détaillée de HÖFER & RIEDMÜLLER (1996) que les turbines Kaplan > 19 MW entraînent fréquemment des taux de mortalité plus élevés (3,1 à 22%) sur les salmonidés juvéniles :

- Kaplan 19,5 MW : saumon Chinook de 10 cm : 4,5 – 22%
- Kaplan 54,5 MW : saumon Chinook de 8-12 cm : 11 – 15%
- Kaplan 52,7 MW : saumon Coho de 11,3-11,9 cm : 7% ; Steelhead de 16,5 cm : 3,1%
- Kaplan 55,2 MW : smolts de Steelhead : 16%

La puissance globale des 4 turbines (Kaplan) à Iffezheim et à Gambenheim est d'environ 100 MW (environ 25 MW par turbine) sur chacun des sites (voir brochure informative EnBW / EDF) ; pour les usines du Rhin situées plus en amont, STUCKY (2006) donne les valeurs suivantes : pour Strasbourg 6 turbines (Kaplan) d'une puissance respective de 24,5 MW, pour Gerstheim 6 turbines (Kaplan) d'une puissance respective de 23,7 MW, pour Rhinau 4 turbines Kaplan de 37,8 MW chacune, pour Marckolsheim 4 turbines Kaplan de 37,8 MW chacune et pour Vogelgrün 4 turbines Kaplan d'une puissance respective de 35,1 MW. Dans l'étude STUCKY, le taux de mortalité des saumoneaux est fixé *de manière forfaitaire* à 5%.

On ne dispose pas actuellement d'informations sur l'utilisation des écluses de navigation pour la dévalaison piscicole. Etant donné que les smolts se déplacent en amont d'obstacles et essaient d'esquiver la pression pédatrice accrue dans les retenues, il n'est pas improbable qu'une petite partie des smolts emprunte les écluses pour dévaler. On ne sait absolument pas si ceci entraîne une plus forte mortalité due au passage dans les conduites de vidange et/ou aux hélices des bateaux, voire même un taux de mortalité supérieur à celui enregistré au passage dans les turbines.

Hydroélectricité et continuité – la position de la CIPR (tiré du rapport CIPR n° 140)

- Préserver absolument les tronçons à écoulement libre encore existants. Exclure la construction d'usines hydroélectriques supplémentaires, en particulier dans les cours d'eau prometteurs pour la réimplantation du saumon et dans les cours d'eau où la situation est jugée critique, tant qu'une solution acceptable n'a pas été trouvée pour éviter dans la plus grande marge possible que les poissons soient endommagés.
- Construire des dispositifs de protection et de dévalaison des poissons et vérifier leur fonctionnalité biologique et technique en conditions d'exploitation
- Engager les exploitants hydroélectriques à éviter que les poissons soient tués ou blessés ; prévoir des astreintes correspondantes pour les nouvelles usines et les usines existantes ; étudier la suppression des usines hydroélectriques aux endroits particulièrement défavorables
- Viser en priorité à améliorer et à mettre au point des méthodes permettant d'éviter ou de réduire le taux de mortalité dans les turbines (développer des types de turbines

plus « respectueuses des poissons », observer le comportement migratoire des poissons, mettre en place des dispositifs déflecteurs, des équipements de dévalaison ou interrompre le fonctionnement des usines en période de dévalaison)

- Vérifier l'impact écologique d'usines hydroélectriques prévues ou existantes en considérant l'hydrosystème dans son ensemble. Les autorisations de mise en place de microcentrales sur des petits cours d'eau sont trop fréquemment accordées au cas par cas sans prise en compte de la situation globale dans l'hydrosystème. Mais c'est précisément dans les petits affluents que se situent les zones de reproduction du saumon et de la truite de mer par exemple.
- Evaluer la construction ou l'agrandissement de sites de production hydroélectrique en tenant compte des investissements et mesures hydroécologiques, y compris les programmes nationaux en cours sur les poissons migrateurs afin d'exclure les investissements publics aux effets contradictoires (subventionnement de l'énergie dite « verte » dans des sites problématiques)
- Eu égard à la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau, engager éventuellement des analyses coûts/efficacité sur les usines hydroélectriques

Des dispositions réglementaires et techniques existent déjà pour prévenir ou réduire les dommages liés aux installations hydroélectriques. Il convient d'abord de les mettre en œuvre mais aussi, par le biais de projets de recherche, de les développer. [...]

Le passage des poissons dans les turbines des usines hydroélectriques au cours de la dévalaison se traduit par des dommages dont l'étendue varie en fonction de l'espèce piscicole considérée, de la taille des poissons et des paramètres techniques propres à chaque usine. A ceci s'ajoute l'effet cumulatif des dommages de plusieurs usines se succédant sur un axe migratoire.

Le nombre actuel d'équipements hydroélectriques dans les affluents du Rhin représente un danger réel et immédiat pour les populations de migrateurs.

Il est impératif de limiter la mortalité totale dans ces cours d'eau à un niveau acceptable et contrôlable pour les différentes populations piscicoles.

Pour atteindre ce niveau acceptable, il est recommandé

- 1) de ne tolérer qu'à titre exceptionnel l'installation de (micro)centrales hydroélectriques supplémentaires
- 2) d'accélérer l'aménagement, sur les centrales existantes, des dispositifs techniques de protection et d'aide à la dévalaison
- 3) de démanteler si possible les usines hydroélectriques les plus dommageables.

Le passage des poissons dans les turbines des usines hydroélectriques au cours de la dévalaison se traduit par des dommages dont l'étendue varie en fonction de l'espèce piscicole considérée, de la taille des poissons et des paramètres techniques propres à chaque usine. A ceci s'ajoute l'effet négatif de plusieurs usines se succédant sur un axe migratoire (effet cumulatif). Le nombre actuel d'équipements hydroélectriques dans les affluents du Rhin représente un danger pour les populations de migrateurs. Il est donc impératif de limiter la mortalité totale dans ces cours d'eau à un niveau admissible et contrôlable pour les différentes populations piscicoles. La mortalité représente surtout un danger pour les populations de saumons, ceux-ci étant peu sujets à l'erratisme et les pertes ne pouvant donc être pratiquement compensées que par les populations se reproduisant en amont.

Le facteur continuité a donc clairement le caractère d'un facteur limitant dans le Rhin supérieur (en amont de Strasbourg) et dans la Moselle ainsi que dans différents affluents (entre autres la Kinzig, la Murg, la Rench, l'hydrosystème de l'Il). Les impacts varient sur les populations de saumons de souche Allier et Ätran qui sont gérées séparément. Pour les populations de souche Ätran, des déficits locaux subsistent car certains sous-bassins relativement étendus aux potentialités importantes ne sont pas encore reconquis (Moselle) ou ne le sont qu'en partie (Sieg, Wupper-Dhünn). Au stade de 2008, la continuité est suffisante pour assurer le maintien d'une population stable de souche Ätran. Pour la souche Allier, les déficits dans le Rhin et les affluents sont encore si importants qu'il est probablement impossible de reconstituer actuellement des populations durables. Pour qu'une population puisse se stabiliser (> 300 adultes de retour par sous-bassin, échange génétique avec des populations voisines), il est nécessaire de rétablir l'accès à l'hydrosystème Elz-Dreisam et au Vieux Rhin ainsi qu'aux hydrosystèmes de la Kinzig et de l'Il. Avec un taux de retour actuel inférieur à 1%, chaque sous-population doit disposer d'une surface d'habitats de plus de 30 à 50 ha (= capacité de production de 30.000 – 50.000 saumoneaux). Le rétablissement de la continuité jusqu'en Suisse doit permettre d'accélérer le processus d'implantation de populations à moyen terme et de garantir le maintien d'une population.

Pour la truite de mer et la grande alose, espèces plus sujettes à l'erratisme, on peut s'attendre à une propagation autonome et successive des populations dans le Rhin supérieur méridional et dans la Moselle lorsque la continuité sera rétablie. En regard de la forte pression de recolonisation (cf. chap. 2), on peut même s'attendre à une recolonisation immédiate de ces cours d'eau (tronçons) par la lamproie marine, qui est une espèce erratique ; ce constat s'applique également à la lamproie fluviatile.

En outre, le rétablissement de la continuité passe par la construction de dispositifs de franchissement et d'aide à la dévalaison. Pour la grande alose, la franchissabilité du dispositif de remontée présente des déficits *potentiels*, du moins à Iffezheim, du fait de l'énergie dispensée par les poissons pour surmonter les turbulences dans la passe et la hauteur de chute entre les bassins (Δh 30 cm). Il n'a pas été possible d'identifier de problème de réparabilité à hauteur de Gamsheim ; lorsque les débits dépassent sensiblement le débit d'équipement des usines d'Iffezheim et Gamsheim, il existe toutefois un problème potentiel côté barrage (pas de passe à poissons, secteur isolé par des môles de séparation). Les effets d'impasse (débits d'attrait dans les zones sans dispositif de franchissement) peuvent être minimisés de manière efficace par la construction de passes à poissons supplémentaires si des études (essais de marquage/recapture, radiopistage) montrent que ceci est nécessaire. Pour les usines placées dans des tronçons court-circuités,

il apparaît judicieux de mettre en place des systèmes de protection (grilles de fermeture, répartiteur de courant) là où l'eau turbinée rejoint le cours principal.

Pour les smolts de salmonidés, il est généralement recommandé de construire des exutoires de dévalaison combinés à des grilles de protection légèrement inclinées (écart des barreaux entre 10 et 20 mm ; vitesse du débit entrant : au plus 0,5 – 0,6 m/s) ; les sources lumineuses (combinées éventuellement à des systèmes de guidage à infrasons – la méthode est encore au stade de la recherche) améliorent la repérabilité de la passe ; ces systèmes ne sont cependant prometteurs que sur les rivières de petite et de moyenne taille et ne sont pas encore suffisamment testés sur les grandes usines hydroélectriques.

Pour les usines hydroélectriques de petite ou moyenne taille, l'installation de grilles fines horizontales ou verticales ou encore de grilles rotatives (circulating rake) (toujours en combinaison avec des installations de dévalaison) est une solution appropriée. Sur les usines de plus grande dimension, où aucune solution technique n'est encore suffisamment au point, une gestion des turbines (débit maximal sur quelques turbines et arrêt simultané des autres turbines) limitée dans le temps (passage des smolts de salmonidés : 6-8 semaines) peut abaisser le taux de mortalité.

Pour le Rhin supérieur, l'objectif consiste probablement à atteindre un taux de mortalité maximal de 3% (y compris le risque accru de prédation imputable au retard pris dans la dévalaison). Il serait probablement nécessaire pour ce faire de réduire le taux de mortalité actuel. Cette hypothèse n'est toutefois qu'une orientation, du fait des lacunes de connaissances sur le taux actuel de mortalité, et devrait être plausibilisée par des études correspondantes.

Il est particulièrement nécessaire de réduire la mortalité sur les microcentrales, le taux de mortalité par installation et le nombre d'usines étant relativement élevés ; la réalisation technique ne pose plus de problème aujourd'hui. En Allemagne, la « loi sur les énergies renouvelables » offre un cadre juridique et en termes de planification (rémunération plus élevée lorsque l'exploitant a pris des mesures de restauration écologique).

La mortalité au droit des ouvrages de prise des usines thermiques du Rhin est *probablement* plus faible pour les smolts que pour les autres poissons juvéniles car ils dévalent plutôt au milieu du fleuve. Pour la grande alose (potentiellement) et la lamproie, elle est cependant importante. Les taux de mortalité et les approches de solution respectives varient fortement selon les sites.

Facteur prédation

Estimation : facteur limitant potentiel

On ne dispose guère d'études sur la prédation subie par les poissons amphihalins dans l'hydrosystème du Rhin.

Dans les zones de frai et de grossissement de la zone rhithrale, diverses espèces piscicoles telles que la truite de mer, le chevesne, le barbeau et le chabot exercent une prédation sur les saumons et truites de mer juvéniles, qui varie en fonction de la taille de la population et de la qualité de l'habitat. Les mesures de gestion, si elles sont « inappropriées », par ex. le déversement de truites capturables et/ou de truites arc-en-ciel, peuvent accroître sensiblement la prédation exercée sur les alevins et les jeunes tacons. SCHNEIDER (données non publiées) suppose que la prédation exercée par le chabot sur les saumons issus d'une reproduction naturelle est très élevée dans la Nister (région à ombres). Le chabot, dont les populations ont fortement augmenté, colonise les mêmes microhabitats que le saumon de la cohorte 0+ et atteint des densités élevées dans les habitats de saumons juvéniles *de grande qualité*. NEMITZ & MOLLS (1999) ont fait un constat semblable dans les rivières alevinées en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. L'augmentation des peuplements de chabots dans la Nister semble être liée à la régression sensible de ses prédateurs, l'anguille, le chevesne et le barbeau. L'effondrement de ces populations est lui-même lié à la présence du cormoran dans la Nister.

BLASEL (2004) donne quelques indices relatifs à une prédation importante par les cormorans dans le Vieux Rhin (2004). En 2004, jusqu'à 1 200 cormorans hivernaient sur le Vieux Rhin, ce qui a contribué au recul sensible des peuplements piscicoles sur ce tronçon du Rhin. En outre, de nouvelles colonies de couples nicheurs ont vu le jour au cours des dernières années sur le Rhin supérieur. Dans les eaux rapides de la région à ombres, les salmonidés, les ombres et les cyprinidés rhéophiles représentent la principale proie du cormoran.

La prédation exercée par les cormorans ne s'étend pas seulement aux smolts dans les rivières de migration, mais aussi aux rivières de frai. Lors d'analyses des estomacs de cormorans hivernant dans l'hydrosystème de la Sieg, on a trouvé des tacons de saumons (dans 3 des 10 estomacs analysés) ; les pertes ne sont toutefois pas quantifiables (SCHNEIDER, 2005). La prédation la plus importante se produit probablement dans le Rhin dans le delta néerlandais ; la zone de couvaison des cormorans ne se limite pas à l'IJsselmeer, mais s'étend également aux zones limitrophes. Les populations actuelles, de plusieurs dizaines de milliers de couples, semblent relativement stables (KIECKBUSCH & KNIFF, 2007). Selon VAN EERDEN (communication écrite), on dispose aux Pays-Bas d'informations récentes et fiables sur l'alimentation des cormorans dans l'IJsselmeer ; ces informations proviennent de 6 colonies au cours de l'été 2008 et des 2 hivers précédents. La grémille représente 70% de l'alimentation en termes de poids. On ne trouve aucune trace de salmonidés, parfois cependant des traces de poissons de mer. Comparé aux années passées, l'éperlan continue à diminuer, tout comme les jeunes sandres. La longueur de ces poissons est comparable à celle de saumoneaux. En général, toutes les espèces se déplaçant en bancs et en densités élevées (par ex. les smolts) sont concernées.

Parmi les poissons piscivores, il est très probable que l'aspe qui chasse dans les eaux libres soit l'un des principaux prédateurs (avant le silure, le sandre et le brochet) dans les voies de migration. L'espèce atteint le plus souvent une longueur de 60 à 80 cm (rarement plus de 100 cm). Dans la passe à poissons d'Iffezheim, l'aspe est l'une des espèces piscicoles dominantes avec environ 14% des poissons identifiés. La hausse sensible des peuplements d'aspes observée depuis une dizaine d'années et sa distribution (depuis le haut Rhin jusqu'au delta) sont considérées comme un facteur à prendre au sérieux.

En aval des barrages, le silure joue probablement un rôle important comme prédateur sur les *adultes de retour* (toutes les espèces). Les individus de plus de 150 cm ne sont pas rares dans le Rhin ; ils s'emparent de poissons jusqu'à 80 cm.

On trouve des informations sur les pertes de saumoneaux dans l'étude d'IMARES (voir fig. 26b). Selon cette étude, environ 27% des smolts disparaissent dans le Rhin moyen et le Rhin inférieur à la dévalaison, entre 15 et 40% dans le delta du Rhin (à chaque fois sur la

population restante), soit entre 44.000 et 67.000 individus (sur un total initial de 100.000 à 250.000 individus). Les pertes ne peuvent pas intégralement être imputées à la prédation, étant donné que les usines hydroélectriques contribuent sans doute également pour une part importante à la perte de smolts.

Les résultats sont confirmés pour l'essentiel par des études de transpondeurs réalisées en 2006 et 2007 (INGENDAHL, 2007). L'observation des smolts dotés d'émetteurs a permis d'obtenir les résultats provisoires suivants :

- La principale voie de migration vers la mer du Nord passe par le Rhin → Waal → Haringvliet (N=23)
- la durée moyenne de la migration depuis la Wupper jusqu'à la mer est d'env. 17 jours
- 23% des poissons marqués disparaissent dans le tronçon du Rhin en Rhénanie-du-Nord-Westphalie (2006 : 41%), 17% dans le delta du Rhin néerlandais (2006 : 13%)

Sur 60 smolts qui atteignent le Rhin, 36 individus rejoignent la mer du Nord (60% et 46%)

Il n'est cependant pas possible de transposer directement les résultats des transpondeurs au taux de réussite de la dévalaison naturelle, car les poissons choisis pour l'essai étaient des smolts de deux ans particulièrement grands sans expérience de vie sauvage. Les smolts « naïfs » issus de l'aquaculture ayant moins tendance à fuir les prédateurs, le taux de mortalité est probablement plus de deux fois supérieur à celui de saumoneaux sauvages.

Selon IMARES, 34.000 à 154.000 smolts rejoignent la mer du Nord, ce qui correspond, avec un taux de retour dans les rivières de frai et/ou stations de contrôle de 0,5% au plus actuellement, à un maximum de 170 à 770 saumons adultes. Le nombre de *poissons identifiés avec la fiabilité requise* entre les années 2000 et 2007 (sans Gambenheim à cause des éventuels doublons) variant entre 314 (2004) et 722 (2000) et le nombre d'adultes de retour en 2007 étant supérieur à 1200 individus, on peut éventuellement supposer que le nombre de smolts est beaucoup plus élevé.

Nous reviendrons plus tard au lien existant entre la prédation et les débits pendant la période de dévalaison des smolts (« facteurs température et débit »).

Il est très probable que les retenues et la mortalité secondaire (prédation sur les poissons désorientés) entraînent une prédation accrue dans le bief aval d'usines et que l'effet cumulé est important dès lors que plusieurs installations se succèdent. En regard des données disponibles, il ne semble pas encore possible de dire si le facteur prédation joue un rôle *limitant*. Selon la bibliographie, l'impact sur les saumoneaux de repeuplement est nettement plus élevé que sur les saumoneaux sauvages ; il devrait donc diminuer sensiblement avec l'augmentation de la production naturelle de smolts.

Les principaux prédateurs menaçant les poissons dévalants sont le cormoran, l'aspe, le brochet, le silure et le sandre ; pour les géniteurs adultes, le silure pourrait jouer un rôle, notamment en aval d'ouvrages transversaux.

Dans les rivières de grossissement, les populations de chabots, pour autant qu'elles affichent des densités élevées, pourraient exercer une forte prédation sur les alevins et les tacons de la cohorte 0+.

Pour l'impact des débits pendant la dévalaison des smolts, voir (« facteurs température et débit »).

Les facteurs de température et de débit

Débit

Estimation : facteur limitant potentiel

Les fluctuations de débit agissent certes sur les voies de migration empruntées par les saumons et les truites de mer dans le delta du Rhin ainsi que sur les phases de temps de ces migrations (JURJENS, 2006) mais ne constituent pas cependant en général un facteur à caractère limitant. Il convient cependant d'émettre une réserve dans le cas de la relation entre débit et ouverture du Haringvliet ainsi que dans celui de la gestion des barrages du Nederrijn et du Lek (Hagestein, Amerongen et Driel). Par le passé, le Haringvliet était fermé à partir de débits $< 1.200 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit mesuré à Lobith) et faisait ainsi obstacle à la migration. Entre 1.200 et $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$, les écluses étaient ouvertes sur une surface de 20 m^2 , ce qui permettait le passage potentiel d'espèces performantes. Au-dessus de $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$, les écluses étaient progressivement ouvertes ($0,45 \text{ m}^2$ par m^3/s).

En 2003, année caractérisée par des débits particulièrement faibles, le Haringvliet est resté fermé presque la moitié du temps lors de la principale vague de migration entre mai et novembre ; en revanche, il n'est resté fermé que sur 5% des jours en 2004. Pourtant, on n'observe aucune modification significative du nombre de remontées ni pour le saumon ni pour la truite de mer entre ces deux années au droit des stations de contrôle d'Iffezheim, de Buisdorf/Sieg et de Coblenze/Moselle. Avec l'adaptation successive du mode de fermeture, qui devrait déboucher sur une ouverture permanente d'ici 2012-2015, on pense cependant que le saumon, moins sujet à l'erratisme que la truite de mer, profite durablement de cette amélioration des conditions de migration vers l'amont. Selon les études de radiopistage, la truite de mer, plus sujette à l'erratisme, trouve plus souvent la voie de migration alternative et toujours ouverte du Nieuwe Waterweg (données du RIZA). Les saumons, quant à eux, passent fréquemment par le Haringvliet. Ensuite, le Waal, et dans une moindre mesure le Lek, sont les principales voies de migration. Lorsque le débit passe au-dessous de $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$, la migration par le Lek s'arrête et les salmonidés empruntent la rivière Noord pour rejoindre le Waal (voir fig. 32). La gestion des barrages Hagestein, Amerongen et Driel (Lek et Nederrijn) et les différentes migrations qu'elle permet sont représentées dans le tab. 13 (voir JURJENS, 2006).

Tab. 13: Gestion des barrages en fonction du débit et conséquences pour les possibilités de migration (remontée) (tiré de Jurjens, 2006, modifié)

Nombre de barrages fermés	Débit à Lobith m^3/s	Période (%)	Estimation des possibilités de migration
0	> 3.500	10	bonne
1	$2.400-3.500$	20	restreintes
2	$1.400-2.300$	50	mauvais
3	< 1.400	20	Très mauvaises

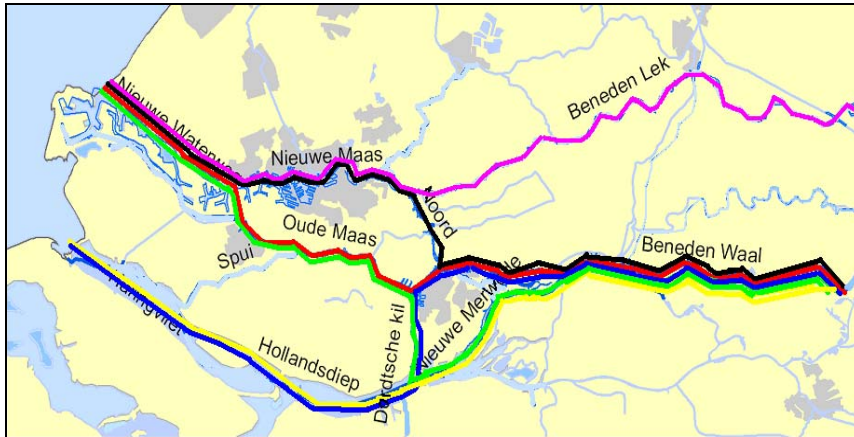
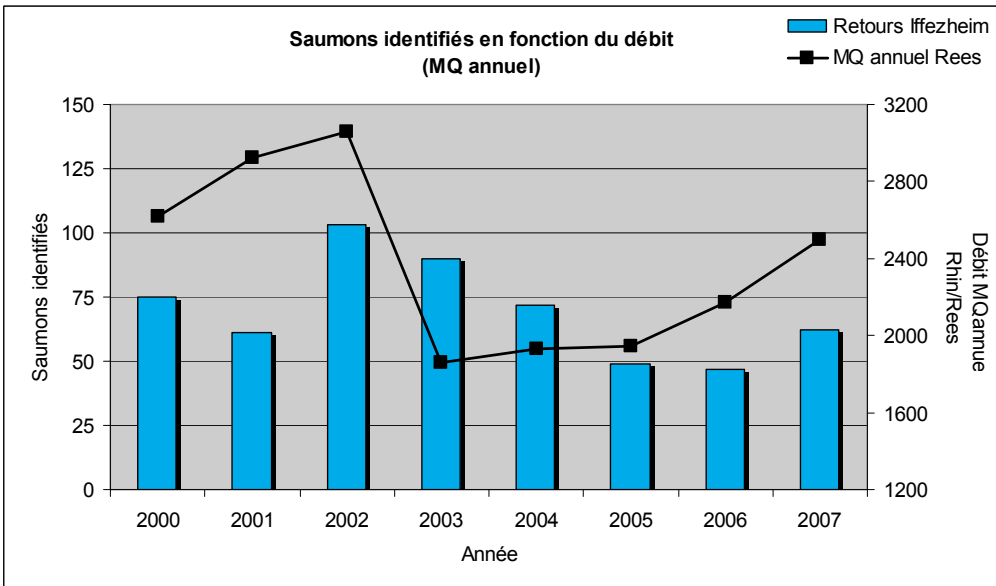
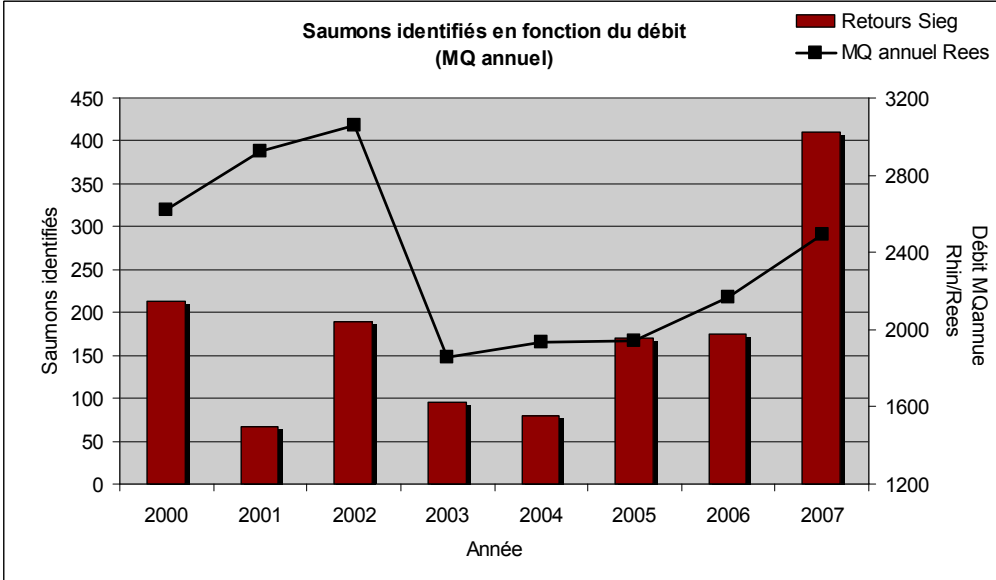
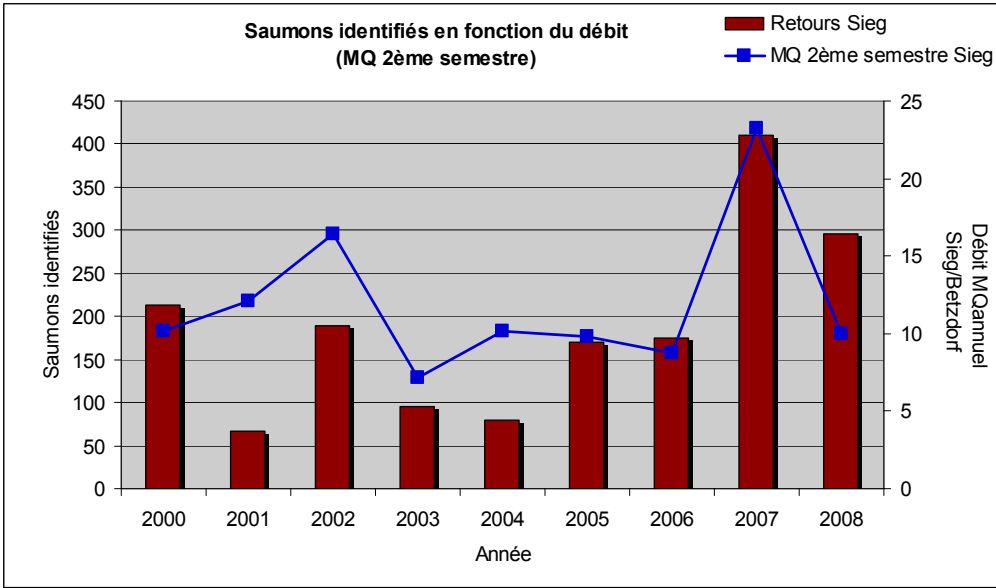


Fig. 32 : Présentation des principales voies de migration dans le delta du Rhin (tiré de JURJENS, 2006).

Dans les affluents, les débits ont des impacts sensibles sur la montaison des saumons. Ces impacts portent non seulement sur les décalages dans le temps (montaison plus faible en période d'étiage, déclenchement d'une « ruée » dès que les débits augmentent) mais aussi sur le nombre total de saumons de retour. La comparaison des débits moyens au cours de la seconde moitié de l'année sur la période 2000-2008 (échelle de Betzdorf ; donnée du LUWG Rhénanie-Palatinat) et du nombre de poissons identifiés dans la station de contrôle de Sieg/Buisdorf fait ressortir une corrélation relativement étroite (coefficient de corrélation : 0,68) avec le nombre d'adultes de retour au cours des différentes années : plus le débit moyen d'un semestre est élevé, plus le nombre de saumons remontant dans le fleuve est élevé et réciproquement. Pour le Rhin (comparaison entre le débit annuel moyen à l'échelle de Rees 2000-2007 et les poissons identifiés à Iffezheim et dans la Sieg), on ne relève pas de tel lien (coefficient de corrélation de 0,32 et 0,20 ; voir fig. 33a). Il faut cependant tenir compte du fait que le nombre d'adultes de retour est également fonction de l'intensité variable des opérations de repeuplement effectuées par le passé.



Haut de la fig. 33a: débits (valeurs moyennes) et adultes de retour identifiés ; en haut : Sieg & échelle de Sieg-Betzdorf (MQ 2^{ème} semestre, 2000-2008), milieu : Sieg & échelle du Rhin-Rees (MQ annuel, 2000-2007), bas : Iffezheim & échelle du Rhin-Rees (MQ annuel, 2000-2007).

Le débit est un facteur particulièrement important au cours des phases de dévalaison, notamment pour les smolts de salmonidés. Si l'on se fonde sur la qualité des débits dans le corridor de migration Rhin présentée au chapitre 3.2 (voir figure 14), des débits favorables au printemps devraient se traduire par des taux de retour élevés au cours des deux années suivantes alors que des débits faibles devraient déboucher sur des chiffres plus faibles. La figure 33b (en haut de page) met en relation « la qualité des débits pour les saumoneaux » en relation avec les taux d'adultes de retour attendus au cours des deux années suivantes (hypothèse simplifiée pour toutes les années : 50% des saumoneaux retournent dans le fleuve après un an sous forme de madeleineaux et 50% après deux ans comme saumons ayant séjourné deux hivers en mer). Si cette hypothèse se confirmait, les taux d'adultes de retour devraient être relativement élevés dans le Rhin entre 2000 et 2003, inférieurs à la moyenne de 2004 à 2006 et à nouveau à la hausse en 2007 et 2008. Il est intéressant de constater qu'un tel lien ressort très nettement des chiffres de la station de contrôle d'Iffezheim (coefficient de corrélation 0,64 ; voir fig. 33b, milieu) alors que la corrélation est peu prononcée pour la Sieg (coefficient de corrélation 0,08 ; fig. 33b, bas). Ici aussi, il faut tenir compte du fait que le nombre d'adultes de retour est également fonction de l'intensité variable des opérations de repeuplement effectuées par le passé.

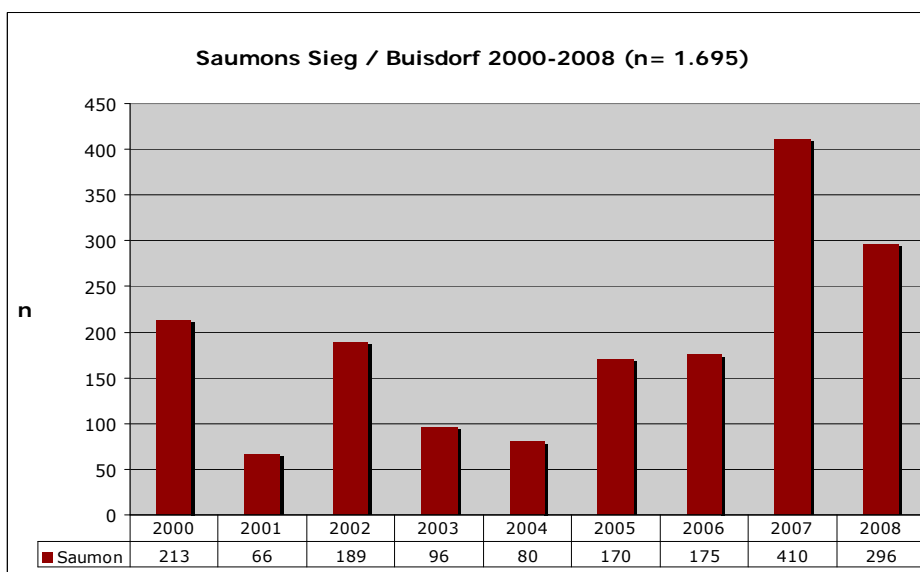
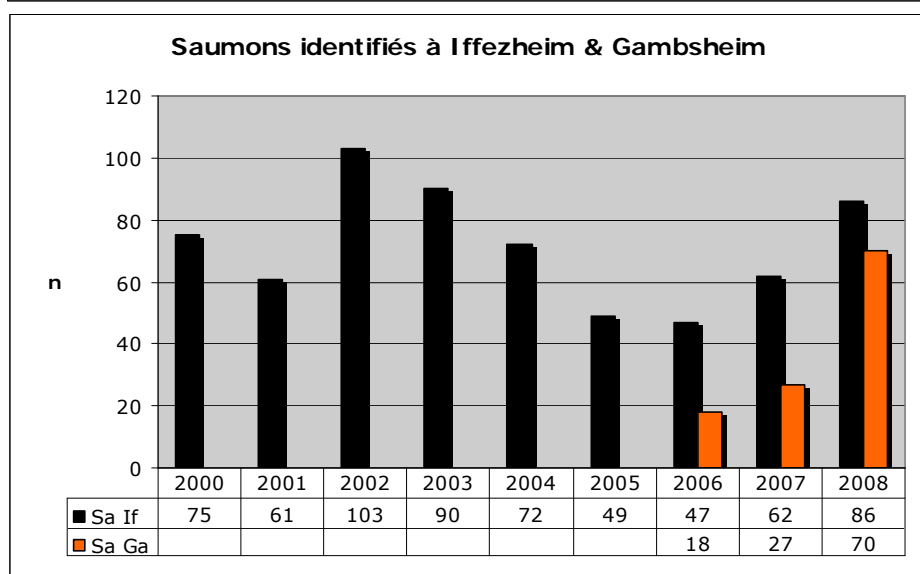
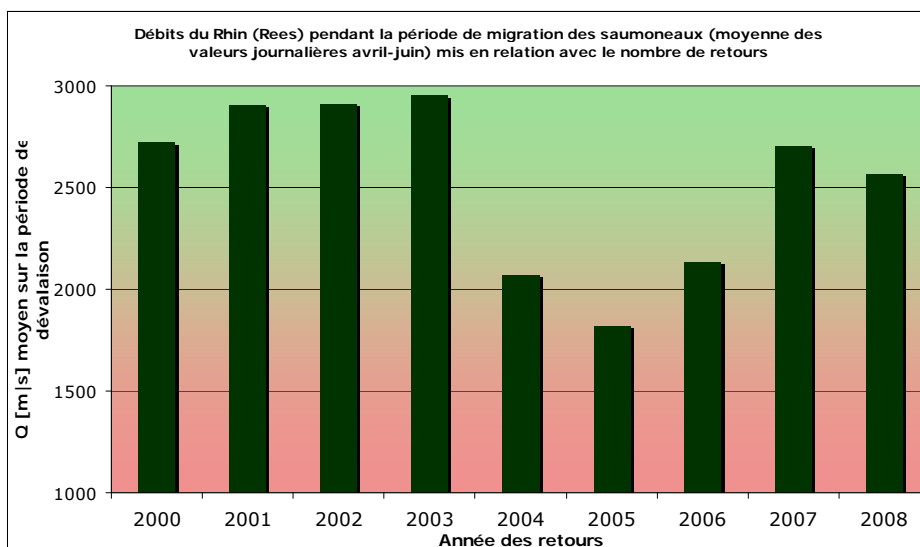
Dans la station de contrôle d'Iffezheim, cette corrélation ne se limite pas en outre uniquement aux chiffres des adultes de retour mais s'étend aussi, du moins pour la période comprise entre 2000 et 2004, au rapport entre madeleineaux et 'PHM' (figure 34). Dans les années à venir, il est probable que la corrélation soit masquée par l'utilisation renforcée de la souche Allier (pourcentage élevé de 'PHM') dans le bassin du Rhin supérieur.

La raison pour laquelle les chiffres d'adultes de retour concordent, notamment à Iffezheim, avec les conditions qualitatives caractérisant les années de dévalaison correspondantes, alors que la concordance est manifestement plus faible sur la Sieg, peut tenir à plusieurs facteurs (par ex. des alevinages plus ou moins intensifs) aux effets vraisemblablement conjugués.

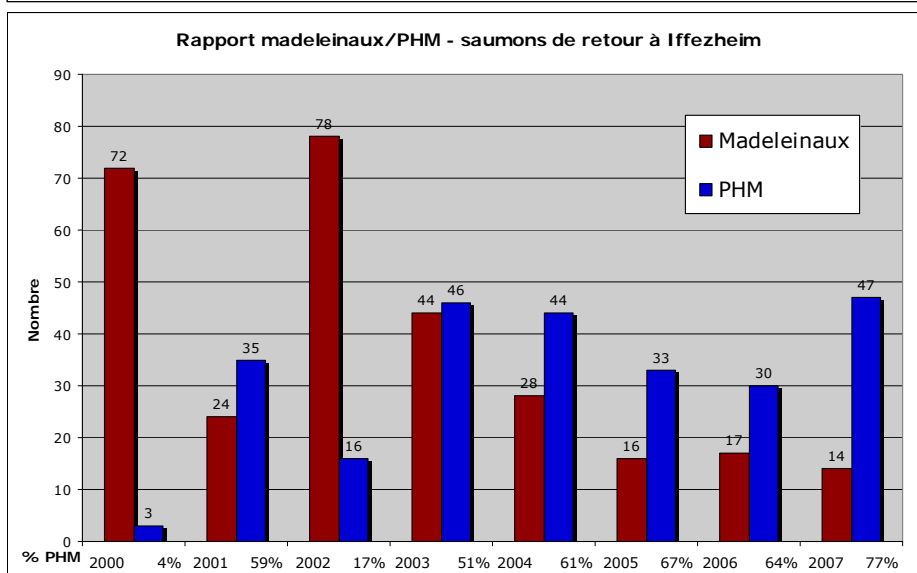
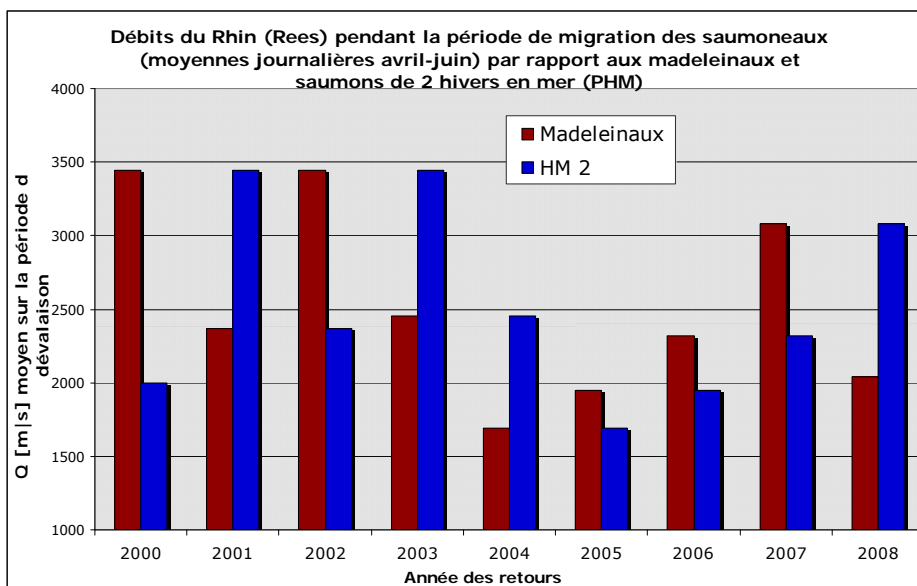
L'impact de débits variables dans la fenêtre de temps des phases de migration est particulièrement marquant pour les peuplements qui ont un long trajet de migration à accomplir et qui doivent franchir de nombreuses usines hydroélectriques, car :

- a) l'effet du facteur de prédation est plus fort au cours des années à faible débit (= pertes plus élevées dues aux poissons et oiseaux prédateurs) du fait de la plus longue distance de migration des saumoneaux ;
- b) le facteur de mortalité s'accroît dans les ouvrages hydroélectriques dans les années à faible débit (= tous les saumoneaux doivent passer par les turbines) ;
- c) la vitesse de migration est plus faible et/ou ralentie au niveau des zones de retenue pendant les années à faible débit, ce qui renforce plus encore la pression de prédation et est pénalisant en terme de temps (problème d'adaptation de l'osmorégulation si est dépassé le moment optimal de passage au milieu marin).

La corrélation plus faible entre les débits en période de migration des smolts et les retours identifiés au cours des années suivantes sur la Sieg est sans doute également due au fonctionnement restreint de la nasse à Buisdorf/Sieg lorsque les débits sont élevés, les poissons pouvant alors, dans 30 à 50% des cas, passer directement par-dessus le barrage sans être recensés.



Haut de la fig. 33b: Impact sur les adultes de retour de la qualité des débits pour les saumoneaux dans les deux années suivantes ; milieu : chiffres des poissons réellement identifiés à Iffezheim et Gamsheim ; bas : chiffres des poissons réellement identifiés dans la Sieg (cf. figure 13 sur la qualité des débits pour les saumoneaux).



Haut de la fig. 34 : Impact de la qualité des débits pour les saumoneaux sur le rapport madeleineaux/PHM des adultes de retour au cours des deux années suivantes ; en bas : rapport madeleineaux/PHM des adultes de retour à Iffezheim déterminé par SAUMON-RHIN (2008a) (cf. figure 13 pour la qualité des débits pour les saumoneaux)

Les fluctuations de débit agissent certes sur les voies de migration empruntées par les saumons et les truites de mer dans le delta du Rhin ainsi que sur les phases de temps de ces migrations (JURJENS, 2006) mais ne constituent pas cependant en général un facteur à caractère limitant. Il convient cependant d'émettre une réserve dans le cas de la relation entre débit et ouverture du Haringvliet ainsi que dans celui de la gestion des barrages du Nederrijn et du Lek (Hagestein, Amerongen et Driel). Dans les affluents, les débits élevés pendant la phase de remontée au cours de la seconde moitié de l'année ont un impact positif sur la remontée des saumons ; les débits du Rhin pendant la phase de remontée ont visiblement un effet moins significatif sur le total des poissons identifiés à Iffezheim et dans la Sieg.

Le facteur ‚débit‘ est surtout important pour la dévalaison des smolts depuis le Rhin supérieur (nombre élevé de retours à Iffezheim lorsque les débits printaniers étaient élevés au cours des années antérieures pertinentes) et a un caractère potentiellement limitant en combinaison avec la problématique non résolue de la dévalaison (mortalité au passage des usines, perte de temps) et probablement en combinaison avec un nombre élevé de prédateurs.

Température

Estimation : facteur limitant potentiel

D'après les données à notre disposition, le facteur ‚température‘ ne semble pas avoir actuellement un effet limitant. On note certes une baisse d'activité de migration sensible des salmonidés à partir de 23°C et un arrêt temporaire au-dessus de 24-25°C (fig. 35-38 ; voir également les résultats de radiopistage dans le delta du Rhin dans JURJENS, 2006). Entre l'année caniculaire 2003 (température maximale d'environ 30 °C) et les années 2004 à 2006 consécutives, les chiffres de montaison (de saumons et de truites de mer) et les rapports madeleineaux/'PHM' ne font cependant pas apparaître de régression significative des peuplements (figures 35-37) et de décalages dans la proportion de poissons séjournant en mer au détriment des madeleineaux dévalant en été (cf. fig. 13 pour Iffezheim). Le recul des madeleineaux constaté à Iffezheim se poursuit au cours des années suivantes et s'explique par l'utilisation croissante de la souche Allier (pourcentage important de PHM). En Rhénanie-Palatinat, le pourcentage de 'PHM' a été légèrement supérieur à la moyenne en 2003 ; cette proportion a cependant été dépassée en 2007 et 2008 (SCHNEIDER, en préparation). On a toutefois relevé une montaison tardive du groupe de migrateurs automnaux à Iffezheim et une montaison également décalée à Buisdorf (4 semaines de retard dans les deux cas). On ne peut écarter totalement l'éventualité de répercussions critiques sur le facteur temps en 2003, bien que les remontées d'octobre et de novembre aient abouti pour la plus grande part. Les températures létales sont d'env. 30 à 32 °C pour les saumons adultes et de l'ordre de 27,7 à 32,8 °C pour les tacons (selon leur degré d'acclimatation). Elles sont donc plus élevées que pour les autres salmonidés (truite de mer comprise). Le recul dramatique des truites de mer identifiées en 2003 peut certes s'expliquer par les températures d'eau élevées. On constate cependant que les chiffres de poissons détectés restent à ce même niveau bas au cours des années « normales » suivantes 2004-2006 et ne remontent vraiment nettement qu'à partir de 2007.

Les données sur la pression thermique se réfèrent au *statu quo*. On soulignera toutefois que les pressions supplémentaires futures, par ex. la construction de nouvelles usines thermiques sur le Rhin, combinées à l'actuel changement climatique, peuvent présenter un danger potentiel supplémentaire et non calculable. La température du Rhin a augmenté de 3°C depuis 1990, 2°C étant mis sur le compte des rejets d'eaux de refroidissement et 1°C sur le compte du changement climatique ; des étés caniculaires tels que celui survenu en 2003 sont attendus tous les 10 ans et devraient être nettement plus fréquents d'ici 2050 (Peñailillo *et al.*, 2008).

Dans la phase centrale de dévalaison des smolts (mai), les températures ne dépassent pas la valeur standard de 21,5 °C dans les eaux salmonicoles (JURJENS 2006). Les températures de l'eau en période de frai sont elles aussi généralement inférieures aux maxima connus de 10 à 12 °C.

Fig. 5 : Migrations des salmonidés amphihalins et conditions environnementales à Iffezheim en 2004

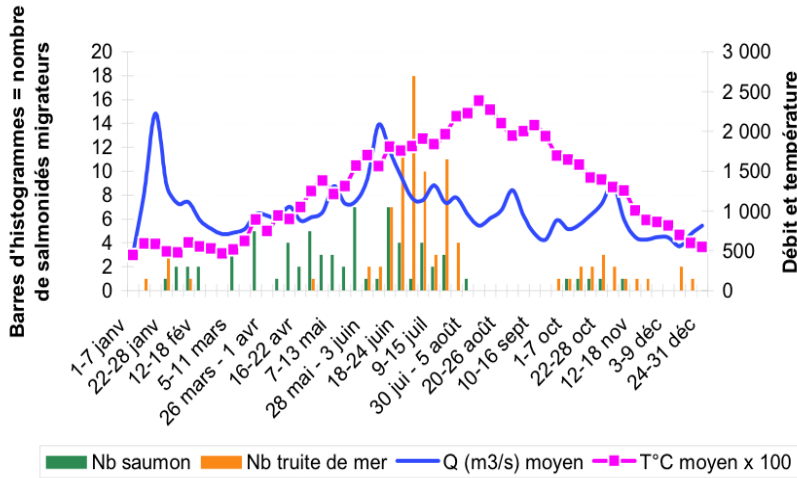


Fig. 35 : Nombre de saumons et truites de mer identifiés à Iffezheim en 2004 et conditions de débit et de température correspondantes (tiré de SAUMON RHIN, 2006)

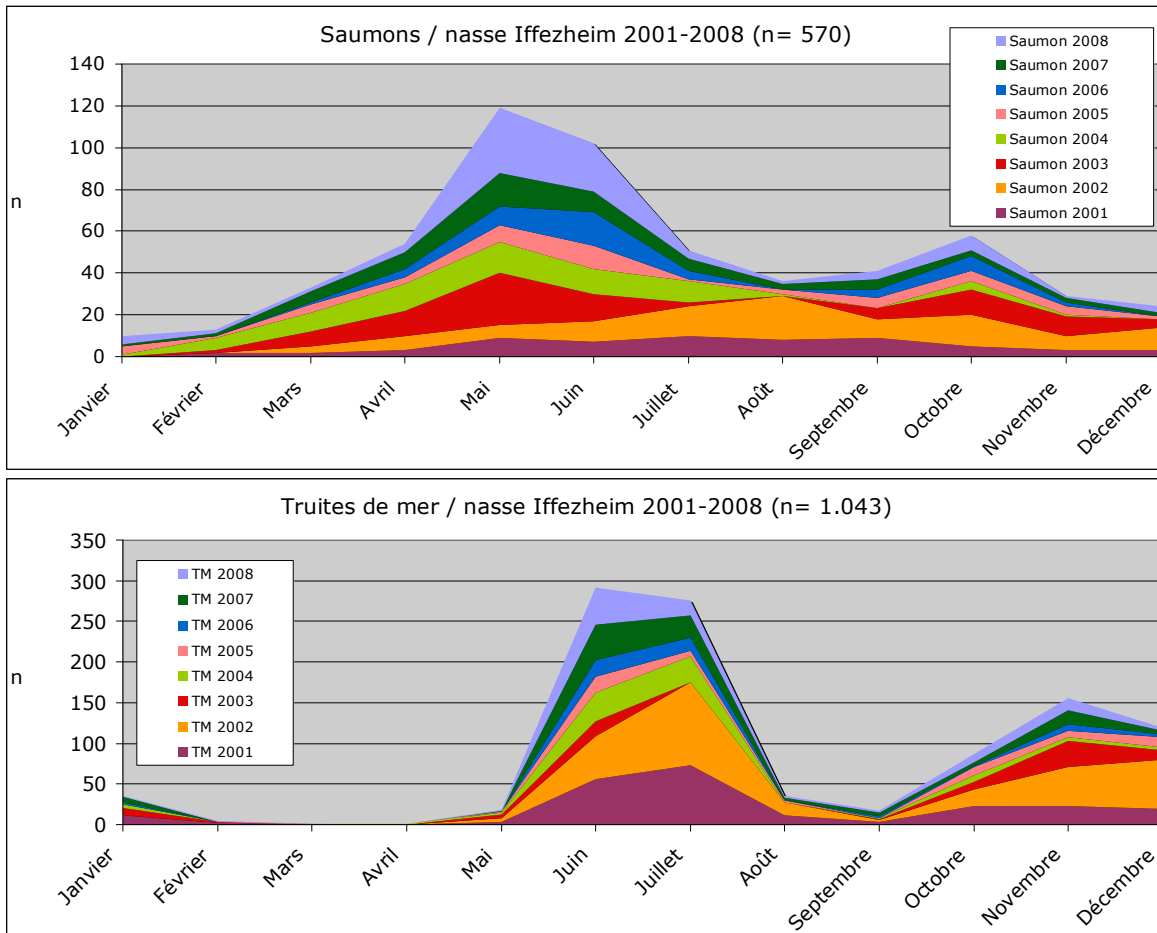


Fig. 36 : nombre de saumons et de truites de mer identifiés et modèle de migration sur l'échelle de temps à Iffezheim ; la montaison au cours de la canicule 2003 est mise en relief en rouge.

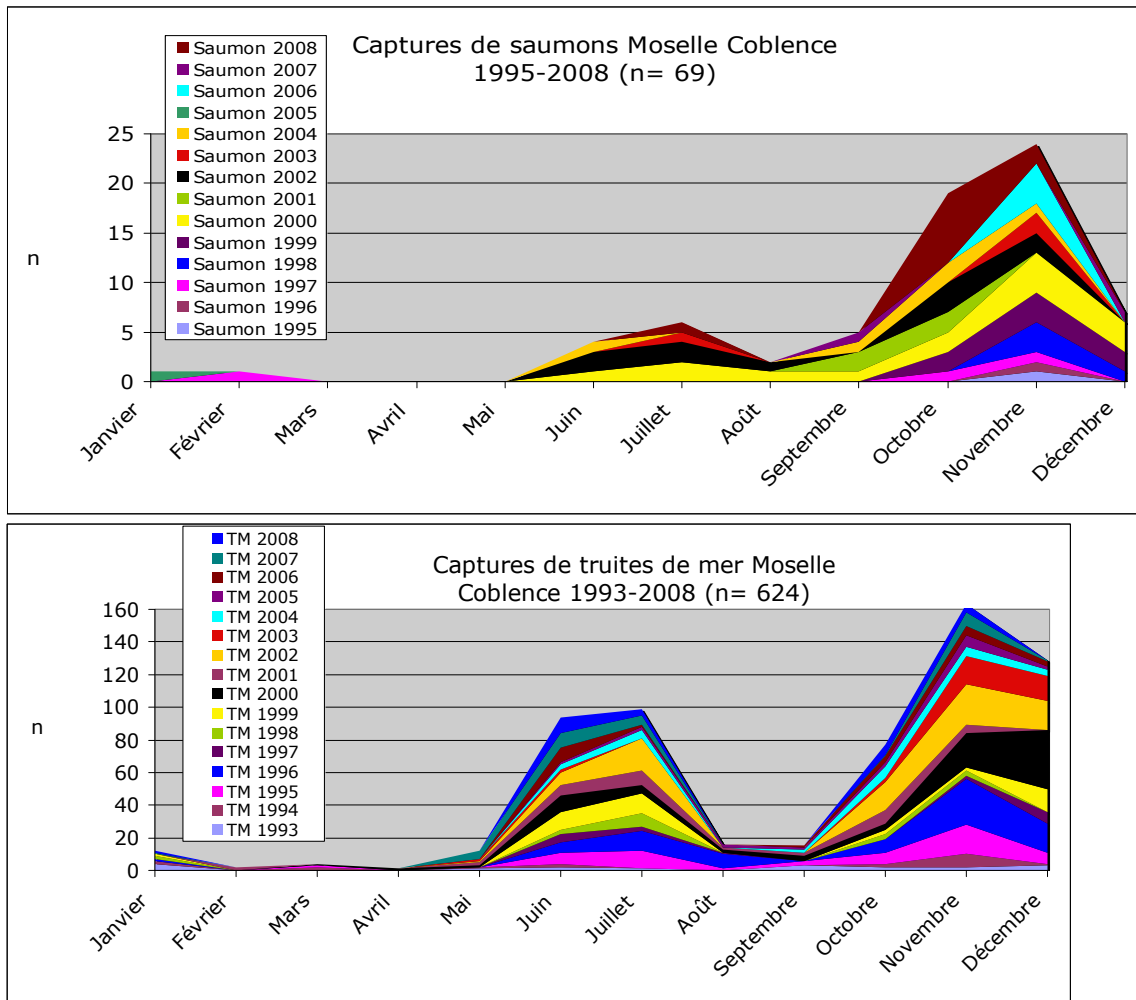


Fig. 37 : nombre de saumons et de truites de mer identifiés et modèle de migration sur l'échelle de temps à Coblenz/Moselle ; la montaison au cours de la canicule 2003 est mise en relief en rouge.

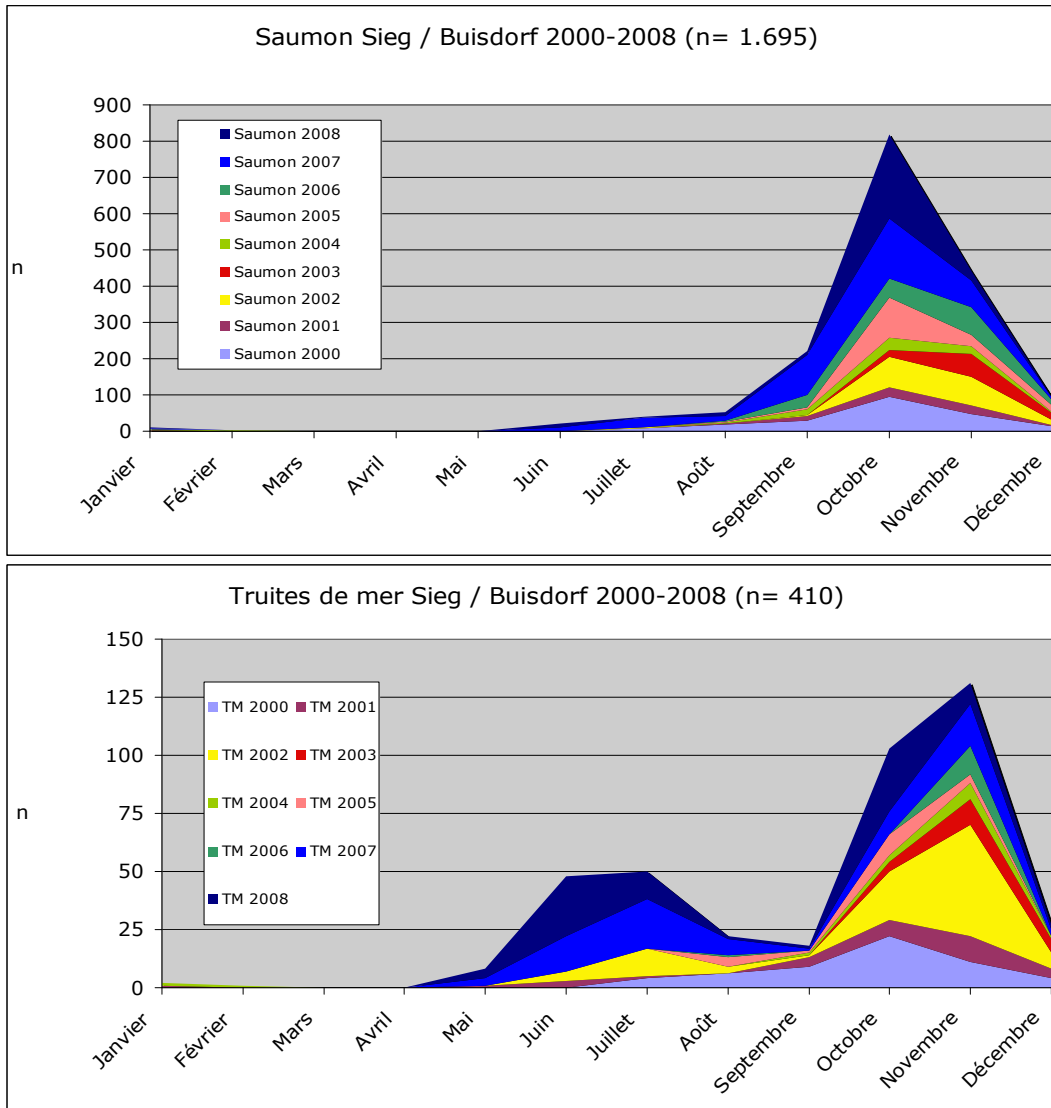


Fig. 38 : nombre de saumons et de truites de mer identifiés et modèle de migration sur l'échelle de temps à Sieg/Buisdorf ; la montaison au cours de la canicule 2003 est mise en relief en rouge. (La station de contrôle ne fonctionnait pas au cours de l'été 2003).

Données : communication orale A. NEMITZ, Rheinischer Fischereiverband, pour le compte du LANUV NRW)

Le facteur 'température' est prédominant quand il concerne les températures maximales estivales. En l'état actuel des connaissances, des températures élevées $\geq 25^{\circ}\text{C}$ dans l'hydrosystème du Rhin mènent à une interruption temporaire de la migration des (salmonidés) géniteurs. Il n'a pas été prouvé de mortalité surélevée. Des températures élevées constituent cependant pour les salmonidés en cours de migration un facteur de stress et un plus grand risque d'infection ; elles ont par ailleurs un impact négatif sur le temps de migration dont disposent les poissons. Il ne semble pas y avoir d'effet limitant à l'heure actuelle (l'été chaud et extrêmement sec 2003 caractérisé par une période d'étiage prolongée a été pris comme année de référence). Il convient toutefois de prévenir autant que possible les pressions thermiques supplémentaires que de nouvelles usines thermiques feraient subir au Rhin, ce qui constituerait un risque supplémentaire non calculable en regard notamment du changement climatique.

Pendant la migration des smolts et en période de frai, les conditions de température en présence dans le Rhin et dans les zones de reproduction sont jugées non problématiques jusqu'à présent.

Facteur qualité des habitats

Estimation : facteur limitant potentiel

La qualité morphologique des habitats du saumon (et de la truite de mer) peut se décliner fondamentalement en deux catégories : frayères et zones de grossissement.

Les frayères de grande qualité se caractérisent par la présence de substrats graveleux, non colmatés (souvent à la jonction entre mouilles/fosses et zones de radier). Les poissons y creusent des nids de ponte d'une profondeur d'environ 30 cm. Un autre facteur essentiel est la disponibilité de zones de refuge (cuvettes) à proximité immédiate (le plus souvent < 50 m) des frayères. On trouve de tels éléments morphologiques le plus souvent dans des cours d'eau (tronçons fluviaux) dynamiques et peu modifiés où le régime de charriage est intacte et où peuvent donc se former de nouveaux dépôts de gravier.

Après émergence hors des eaux interstitielles, les alevins de saumons colonisent les tronçons à courant rapide, bien alimentés en eau et souvent plats, composés d'un fond dur (zones de radier) et d'un pourcentage élevé de gravier, de cailloux ou de pierres. Au niveau des macrohabitats, les poissons utilisent les habitats de type 'Riffle-Pool' et les cuvettes dans la région à truites et à ombres ainsi que les tronçons en pente de la région à barbeaux ; au niveau des microhabitats, ils colonisent les tronçons pierreux à graveleux, plats, soumis à un courant fort et à une turbulence variable, situés le plus souvent à proximité de zones de refuge en dehors de la zone riveraine directe (*In-stream cover*). On trouve également de tels éléments morphologiques assez prononcés dans des cours d'eau fortement modifiés ; de tels cours d'eau sont également alevinés avec succès (entre autres les cours aval des affluents de la Forêt-Noire, hydrosystème de la Sieg). Les paramètres morphologiques, tels que l'aménagement rigide de berges et le lit majeur, sont donc peu significatifs pour l'évaluation qualitative des zones de frai et de grossissement.

Selon le degré d'aménagement des cours d'eau, les restrictions de qualité des habitats ne constituent pas un obstacle systématique et on peut partir du principe que la problématique se limite à quelques bassins. En l'état actuel des connaissances, ces problèmes ne représentent pas un facteur limitant à l'échelle de l'hydrosystème rhénan. Par ailleurs, on peut penser que ce problème ira en s'amenuisant à moyen et long terme avec la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. La construction de nouvelles microcentrales hydroélectriques dans les affluents du Rhin et leurs tributaires représenterait cependant un sérieux risque, car une retenue des eaux sur le cours principal ou dans les tronçons court-circuités (dans le cas d'usines installées sur ces tronçons) entraînerait la perte d'habitats remarquables.

La qualité des eaux interstitielles revêt probablement une plus grande importance aujourd'hui. Elle compromet la reproduction des salmonidés, du moins dans quelques rivières prioritaires (entre autres la Bröl dans l'hydrosystème de la Sieg ; la Dhünn, la Nette, la Wisper) à cause des apports de sédiments fins et des pressions exercées par les nutriments, dès lors que des processus de dégradation font passer le taux d'oxygène au-dessous de 5 mg/l, valeur critique pour le frai de salmonidés (voir INGENDAHL, 1999 ; NIEPAGENKEMPER & MEYER, 2003, DIRKSMEYER, 2008). Selon SCHNEIDER (2001, 2002), ces phénomènes concernent particulièrement les souches de saumons frayant tardivement (= émergence tardive des alevins), en raison de l'élément génétique fort et de la période de frai spécifique aux différentes souches. Ces souches tardives ne sont cependant plus utilisées aujourd'hui pour les opérations de repeuplement.

Vu les succès croissants enregistrés dans la reproduction des saumons (voir tableau 2) – notamment au cours de la saison 2007/2008 – on estime que les problèmes actuels au niveau des eaux interstitielles se limitent à quelques bassins. En l'état actuel des connaissances, ces problèmes ne représentent pas un facteur limitant à l'échelle de l'hydrosystème rhénan.

Remarque : Une étude pilote est en cours sur la qualité des habitats en Rhénanie-du-Nord-Westphalie ; elle devrait déboucher sur un « Guide général sur la dépollution d'affluents frayères salmonicoles ».

Les restrictions au niveau de la qualité des habitats sont limitées à quelques bassins. En l'état actuel des connaissances, ces problèmes ne représentent pas un facteur limitant à l'échelle de l'hydrosystème rhénan. La construction de nouvelles microcentrales dans les rivières prioritaires entraînerait cependant une perte d'habitats remarquables. Une importance particulière doit être actuellement accordée à la qualité des eaux interstitielles, car la reproduction des salmonidés est compromise, du moins dans quelques rivières, par des apports de sédiments fins et de pressions par les nutriments. En regard des succès croissants enregistrés dans la reproduction des saumons, notamment au cours de la saison 2007/2008, on estime que les problèmes actuels au niveau des eaux interstitielles se limitent à quelques bassins et doit être résolu au niveau de ces bassins.

Facteur 'Qualité des eaux'

Estimation : facteur non limitant

D'après les données disponibles, la qualité biologique des eaux ne semble poser problème qu'à un niveau local (quelques affluents frayères ; voir INGENDAHL, 1999, NIEPAGENKEMPER & MEYER, 2003, DIRKSMEYER, 2008) et peut donc être écartée des facteurs significatifs à caractère limitant.

On ne dispose pas de données sur la problématique des micropolluants dans les rivières de frai et de grossissement. En l'état des connaissances, les médicaments à usage humain tels que les hypolémiantes, les produits analgésiques, les bêtabloqueurs et les antiépileptiques sont des contaminants très répandus dans les eaux de surface. Une évaluation globale du risque d'impact de résidus médicamenteux dans le milieu n'est actuellement possible que dans certaines limites, car les données validées sur les effets écotoxiques des médicaments et de leurs métabolites sont très rares dans la bibliographie. La plupart des données publiées se rapportent à la toxicité aiguë sur les organismes aquatiques. Les effets chroniques de médicaments sur les compartiments environnementaux 'eau/sol' et les effets neurotoxiques et endocrinotoxiques, par ex. sur la fertilité et le ratio sexuel des poissons, sont pratiquement inconnus. Les matières actives des médicaments utilisés en médecine humaine et leurs métabolites rejoignent le milieu par différentes voies d'apport. On citera en premier lieu la fabrication, l'application réglementaire des préparations ou leur élimination en tant que déchets. Dans les étapes *successives ingestion par l'homme -> déjection avec les matières fécales -> eaux usées -> sortie de station d'épuration -> eaux courantes -> eaux souterraines ou eaux usées -> boues d'épuration -> sol -> eaux souterraines*, diverses biocénoses aquatiques (et terrestres) peuvent être dégradées et l'eau potable contaminée. Les eaux usées urbaines représentent la principale voie d'apport. On retrouve donc ces substances en quantités élevées tout particulièrement dans les eaux composées d'un pourcentage élevé d'eaux usées urbaines (cf. www.trinkwasserspezi.de/Medikam.htm).

Les objectifs de référence de la CIPR ne sont plus dépassés dans le Rhin que pour un nombre limité de substances (document CIPR n° 159 ; voir tab. 14). Les saumons n'empruntant pour la plupart le Rhin que pendant une courte phase de temps, on peut partir du principe que l'accumulation des polluants dans leur organisme reste faible. En l'état des connaissances, cette pression ne constitue pas un facteur limitant.

Les autres paramètres physiques et chimiques ne mettent en évidence, à quelques exceptions près (pH > 9,5 en 1999 à proximité de Lobith; teneur en oxygène < 7 mg/l dans l'IJsselmeer en 1994 et en 2003-2005), aucune zone jugée limitante pour les salmonidés (fig. 39) (cf. JURJENS, 2006). L'IJsselmeer n'est cependant pas un corridor migratoire de premier plan pour le saumon.

Tab. 14: classification des substances polluantes en groupes de résultats dans le rapport 2004 de la CIPR

1. Groupe de résultats	2. Groupe de résultats	3. Groupe de résultats
Objectifs de référence (OR) non atteints ou sensiblement dépassés	Valeurs mesurées proches des objectifs de référence (OR)	Objectifs de référence (OR) atteints ou concentrations nettement inférieures à ceux-ci
> 2 OR	$\frac{1}{2} \text{ OR} < x < 2 \text{ OR}$	< $\frac{1}{2} \text{ OR}$
Substances : 5 Groupe de substances : PCB	Substances : 21 Groupe de substances : HPA Paramètres globaux : AOX	Substances : 37 Groupe de substances : DDT
cadmium	arsenic	Aldrine
cuivre	chrome	Azinphos-éthyl
Zinc	plomb	bentazone
	nickel	Dieldrine
Diuron	mercure	Endrine
benzo(a)pyrène		Isodrine
		alpha-HCH
	gamma-HCH (lindane)	beta-HCH
	Isoproturon	delta-HCH
		Malathion
	phosphore total P	pentachlorophénol
	azote ammoniacal	
		Atrazine
	hexachlorobenzène	2,4-acide dichlorophénoxyacétique
	Simazine	cation de dibutylétain
		cation de tributylétain
		cation de triphénylétain
		tétrabutylétain
		3-chloroaniline
		2-chloroaniline
		3,4-dichloroaniline
		1-chloro-2-nitrobenzène
		1-chloro-3-nitrobenzène
		1-chloro-4-nitrobenzène
	Azinphos-méthyl	1,2,3-trichlorobenzène
	dichlorvos	1,2,4-trichlorobenzène
	Endosulfan	1,3,5-trichlorobenzène
	Fenthion	2-chlorotoluène
	parathion-éthyl	4-chlorotoluène
	parathion-méthyl	hexachlorobutadiène
	Trifluraline	1,1,1-trichloroéthane
	Fénitrothion	trichloroéthène
	4-chloroaniline	tétrachloroéthène
	1,4-dichlorobenzène	Tétrachlorométhane
		trichlorométhane
		1,2-dichloroéthane
		Benzène
		mécoprop-P

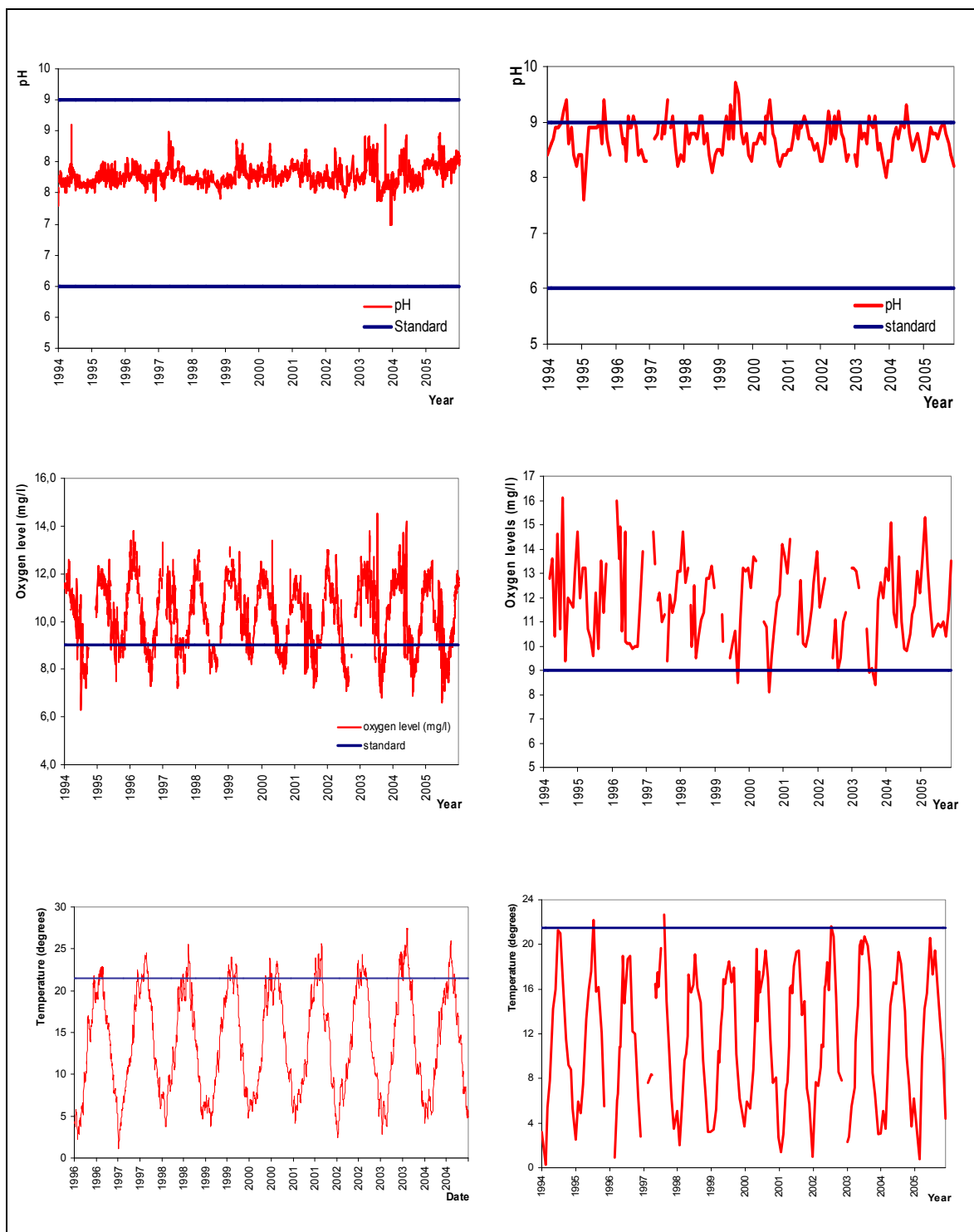


Fig. 39 : oxygène, température et pH entre 1994 et 2005 (à gauche : près de l'IJsselmeer, à droite : près de Lobith, dans ce cas les données sont prélevées toutes les deux semaines (tiré de JURJENS, 2006)

Le facteur ,qualité des eaux' n'a actuellement pas d'effet limitant sur le programme de réimplantation des poissons migrateurs dans l'hydrosystème rhénan. Des problèmes de taille restent posés pour quelques rivières prioritaires par les pollutions organiques, qui sont pénalisantes pour la reproduction des salmonidés (et très vraisemblablement pour la survie des ammocètes de lamproies marines) dans quelques bassins, en particulier lorsque ces pollutions sont en relation avec des pressions de sédiments fins.

4. Propositions de mesures

Les propositions de mesures suivantes sont subdivisées en catégories de **priorité maximale**, **priorité élevée** et **priorité moyenne**.

4.1 Pêche

Estimation : **Priorité maximale**

La mortalité due aux activités de pêche est considérée comme un facteur limitant pour la réimplantation du saumon et de la grande alose. Ce facteur *ne se limite pas* au territoire néerlandais, mais la pêche dans le delta et le long de la côte est beaucoup plus intensive que dans toutes les autres zones. **Ce facteur concerne donc actuellement toutes les voies de migration accessibles (notamment le cours principal du Rhin) et touche indirectement tous les projets partiels et tous les bassins. Il est accordé une priorité particulière au delta du Rhin et à la zone côtière qui font l'objet d'activités de pêche intensive.**

Recommandations : (voir également projet de la CIPR, annexe I)

- La protection des poissons migrateurs doit être sensiblement améliorée par un travail de sensibilisation de tous les groupes, organisations et fédérations actifs dans le secteur de la pêche. Ce travail englobe l'information sur le statut de protection et des instructions de manipulation précautionneuse des prises accessoires.
- En parallèle, des zones de pêche interdite sont à mettre en place aux endroits névralgiques (en aval des dispositifs de remontée et des obstacles à la migration, à hauteur des débouchés des rivières, dans les zones de transition eau douce/eau salée), des contrôles *réguliers et intensifs* sont à instaurer et les dispositions juridiques existantes sont à appliquer strictement (voir plus bas). Entrent également dans ce cadre un contrôle institutionnalisé des captures ramenées à terre par les pêcheurs professionnels et un contrôle régulier des criées. La police des eaux devrait éventuellement être associée au contrôle des zones de pêche interdite mises en place dans les grands fleuves.
- Evaluation : Les démarches ainsi engagées devraient être documentées et leur efficacité vérifiée à l'échelle du bassin. La mise en œuvre des mesures doit figurer dans le rapportage régulier à la CIPR.

Depuis 2008, une nouvelle directive communautaire prévoit des conséquences pénales pour les activités de pêche visant le saumon et la truite de mer dans les Etats membres de la CIPR (à l'exception de la Suisse) (par le passé les transgressions ont souvent été considérées comme des infractions mineures, du moins en Allemagne, et les procédures juridiques engagées ont le plus souvent été suspendues ou uniquement sanctionnées par des amendes administratives).

La directive communautaire relative à « la protection de l'environnement en droit pénal » (2008/99/CE) est entrée en vigueur le 19 novembre 2008. Pour la première fois, les Etats membres de l'UE sont tenus de considérer comme des infractions pénales et de sanctionner pénalement certains actes commis de manière délibérée ou par négligence grave qui portent atteinte à l'environnement. Les sanctions pénales prévues doivent être « effectives, proportionnées et dissuasives ». La directive a pour objectif de protéger plus efficacement l'environnement. Afin de garantir que les dispositions de protection de l'environnement puissent atteindre un effet maximal, la directive liste de nombreux actes à considérer comme

infractions pénales s'ils « sont commis de manière délibérée ou par négligence grave ». Entrent dans cette catégorie par ex. la mise à mort, la destruction, la possession et la capture de spécimens d'espèces de faune et de flore sauvages protégées (www.europarl.europa.eu).

4.2 Continuité

Estimation générale : **Priorité maximale**

Le suivi des résultats de reproduction du saumon n'est pas effectué avec la même intensité dans tous les sous-bassins. Les données disponibles font cependant apparaître une croissance de la reproduction naturelle des saumons dans pratiquement tous les hydrosystèmes accessibles. Dans le cadre de quelques projets partiels d'une durée prolongée, les saumons juvéniles nés de reproduction naturelle atteignent déjà depuis quelques années, les suivis le confirment, des densités comparables à celles de peuplements sauvages. Il faut donc accorder une priorité particulièrement élevée à l'accessibilité des affluents. **Voir tableau 15 sur les priorités en fonction des bassins.**

Les estimations remises à jour sur les surfaces de frai et de grossissement des salmonidés amphihalins ont mis en évidence que les (tronçons de) rivières encore non accessibles en amont de Strasbourg, dans l'hydrosystème de l'Ill et dans la Moselle présentent de loin les potentialités les plus prometteuses (cf. figures 16 et 17 ; tableaux 7 et 15). Pour promouvoir le développement des peuplements de poissons migrateurs dans le Rhin, une priorité majeure doit être accordée à ces rivières. L'hydrosystème de la Kinzig, situé en aval de Strasbourg dispose également d'opportunités de premier ordre. Dans le bassin du Rhin moyen et du Rhin inférieur, la Sieg et l'hydrosystème Dhünn-Wupper présentent les meilleures potentialités (la continuité de l'Ahr sera probablement rétablie intégralement à partir de 2010, le Saynbach est depuis octobre 2008 la première rivière salmonicole entièrement franchissable dans l'hydrosystème rhénan).

Pour la lamproie marine (qui se recrute à partir d'une métapopulation et se propage de manière autonome), la continuité est le seul facteur limitant pour une reconstitution de stocks stables.

Recommandations générales :

Etant donné que les hydrosystèmes couvrant différents territoires sont soumis à des usages et intérêts variables et que leurs potentialités globales sont diverses (conquête d'habitats pour les poissons migrateurs, soutien d'autres espèces de poissons menacées), la fixation de mesures prioritaires et la pondération des éléments de coûts-efficacité ne peuvent avoir judicieusement lieu et ne mener à l'objectif qu'au sein des hydrosystèmes et non entre les hydrosystèmes.

4.2.1 Ecluses d'Haringvliet

La décision a été prise en l'an 2000 d'ouvrir les écluses du Haringvliet pendant pratiquement toute l'année. Les coûts estimés s'élèvent à un total d'environ 40 millions d'euros.

Le Haringvliet étant un corridor de migration important, son ouverture quasi permanente annoncée pour 2015 au plus tard revêt une signification exceptionnelle (exceptions : raz-de-marée, périodes d'étiage). On s'attend à ce que le taux des adultes de retour connaisse une augmentation notable qui se répercutera sur tous les projets de réimplantation en cours et sur toutes les espèces amphihalines. Un effet très positif est attendu pour les saumons, car ceux-ci sont moins sujets à l'erraticisme, empruntent fréquemment l'Haringvliet comme corridor de migration et trouvent moins facilement la voie de migration toujours ouverte par le

biais du Nieuwe Waterweg lorsqu'ils essaient de remonter par les écluses du Haringvliet (JURJENS, 2006) (voir les voies de migration dans la fig. 32). Des problèmes de réparabilité pourraient se poser en particulier pour les exemplaires dévalant via le Haringvliet au stade de saumoneaux au cours des années de débits printaniers élevés et tentant de remonter par la même voie de migration à des périodes de débits moindres (quand le Haringvliet est refermé).

Selon une estimation prudente, le taux d'adultes de retour pourrait augmenter en moyenne de 10 à 30 %. Il n'est pas exclu que la situation actuelle ait le caractère d'un « facteur limitant » pour les peuplements de saumons.

En outre, l'ouverture permet un échange graduel entre eau douce et eau salée, ce qui facilitera l'adaptation des saumoneaux (de même que celle des lamproies marines et des grandes aloses) aux conditions de salinité changeantes et pourra par ailleurs donner aux alosons accès à de nouveaux habitats d'alimentation.

Recommandation :

Il n'existe aucune alternative à l'ouverture du Haringvliet pendant une longue période de l'année. L'ouverture quasi-permanente du Haringvliet est particulièrement urgente et devrait être concrétisée le plus tôt possible.

4.2.2 Rhin supérieur méridional

4.2.2.1 Recommandations sur les propositions de l'étude STUCKY – Phase II (2006)

Montaison :

Les solutions techniques proposées pour les dispositifs de remontée au droit des cinq usines de Strasbourg, Gerstheim, Rhinau, Marckolsheim et Vogelgrün/Breisach, des barrages mobiles et des seuils fixes des festons rhénans de Gerstheim, Rhinau et Marckolsheim, représentent la seule voie praticable d'un rétablissement *durable* de la continuité longitudinale et doivent être mises en œuvre à moyen terme au sens de la DCE et du programme de la CIPR sur les poissons migrateurs. Etant donné le caractère critique des conditions hydrauliques des options proposées par le scénario 1 pour les espèces moins performantes et sensibles aux turbulences élevées (entre autres la grande alose), on déconseillera fondamentalement ce scénario 1, comme il est d'ailleurs recommandé de le faire dans l'étude STUCKY (STUCKY, 2006). Le choix du scénario 2 ou 3 doit se faire en fonction du site et non de manière systématique.

En général, on tiendra compte du fait qu'il suffit qu'un seul des ouvrages ne soit pas aménagé de façon optimale pour que l'effet cumulatif de la succession d'usines remette en question l'efficacité de l'ensemble du complexe des dispositifs de remontée. La réimplantation d'une population de saumons en nombre suffisant n'est concevable que si tous les dispositifs atteignent un degré d'efficacité élevé dans leur globalité. Ce degré d'efficacité visé peut être atteint éventuellement en deux phases :

Phase 1 : construction de dispositifs de remontée piscicole (options 2 ou 3 de STUCKY, à l'exception de Vogelgrün – voir ci-dessous) ; les mesures mises en œuvre sont évaluées par suivi (suivi des passes à poissons *et* études de radiopistage complétés éventuellement par des essais de marquage/recapture) afin d'optimiser les étapes ultérieures de mise en œuvre éventuellement nécessaires.

Phase 2 : les ouvrages affichant une efficacité insuffisante (écluses de navigation incluses) peuvent soit être optimisées pour obtenir une meilleure attractivité, pour autant que ceci soit techniquement réalisable, soit équipées de dispositifs de franchissement supplémentaires.

Pour ce qui est de la phase 2, on propose de réévaluer les scénarios de l'étude STUCKY pour Strasbourg et Gerstheim en analysant si une pompe de production de courant d'attrait

selon HASSINGER (Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Université de Kassel, voir ANNEXE) ou d'autres aménagements constructifs appropriés pourraient améliorer de manière significative l'attractivité et par conséquent la repérabilité des passes à poissons.

Dans leur expertise, LARINIER & TRAVADE (2008) émettent un jugement négatif sur la faisabilité des options proposées dans l'étude STUCKY pour le site de Vogelgrün. Les auteurs concluent que, dans les conditions géographiques complexes en présence, la construction d'un ouvrage de capture-transport en rive droite de l'usine et le transfert régulier vers un point de déversement dans le Vieux Rhin (trajet de 1 km environ) sont provisoirement l'option la plus efficace. Les coûts de construction sont évalués à quelque 10 millions d'euros. Le transfert vers le camion doit se faire gravitairement, c'est-à-dire sans *manipulation*, afin de ménager les poissons. Les experts recommandent que le transport se fasse au moins deux fois par jour (dans la matinée et dans la soirée), voire bien plus souvent si le nombre de géniteurs est élevé.

La solution proposée par LARINIER & TRAVADE (2008) est conforme à l'état actuel de la technique et probablement la seule solution intermédiaire réaliste pour transférer dans le Vieux Rhin, c'est-à-dire le bief amont de l'usine de Breisach, les poissons migrateurs se rassemblant au pied de l'usine de Vogelgrün. Il reste à mettre au point une solution durable adaptée aux conditions en présence et des systèmes de guidage des poissons (par ex. sur la base de sons) qui puissent être utilisés à la confluence du Grand Canal d'Alsace et du Vieux Rhin. De tels systèmes de guidage sont encore au stade expérimental et ne sont pas appropriés pour le moment à un fleuve de la taille du Rhin.

Dévalaison :

Les options présentées dans l'étude STUCKY sur les « obstacles comportementaux » et les « obstacles physiques », toujours traitées en combinaison avec une solution de type exutoire de dévalaison, correspondent pour l'essentiel à l'état de la technique. Une analyse concrète de *faisabilité technique* de la mise en place de grilles fines sur les usines du Rhin n'est toutefois toujours pas disponible. Il en résulte donc que les coûts globaux estimés à 200 millions d'euros ne peuvent être entendus que comme une estimation grossière.

Les *barrières comportementales* et les *systèmes de guidage* ont été démontrés comme plutôt inefficaces par le passé. Pour les installations de petite taille, il existe des approches de solutions qui pourraient éventuellement être appliquées aux sites du Rhin supérieur si des microcentrales venaient à y être installées conjointement avec les passes à poissons (on manque encore d'expérience pour les grandes usines) :

- a) En France, on a également testé avec succès des sources lumineuses supplémentaires (lampes à vapeur de mercure de 50 à 80 watts) pour les smolts dévalant de nuit. Lors d'un essai sur un exutoire de dévalaison éclairé tous les deux jours, 99% des poissons (n = 13.076 individus) sont passés les jours où le dispositif était éclairé et seul 1% (n = 62 individus) a emprunté l'exutoire sans éclairage. (TRAVADE & LARINIER, 2006). L'efficacité de sources lumineuses se limite logiquement à leur utilisation de nuit ; en outre, cette efficacité dépend très fortement de la turbidité de l'eau. Les sources lumineuses étant potentiellement répulsives pour l'anguille, leur emploi ne devrait pas avoir lieu pendant la phase de migration des anguilles. Comme les deux espèces ont des phases de migration différentes (smolts au printemps et anguilles en automne), une utilisation pendant 2 à 3 mois au printemps ne s'opposerait pas aux efforts de protection de l'anguille.
- b) Des systèmes déflecteurs acoustiques ont été testés en France dans une gamme de fréquence comprise entre 60 et 600 Hz sans que soient apparus des changements comportementaux significatifs. Une éventuelle solution pourrait venir de systèmes à émission d'ondes de très basse fréquence (LARINIER & TRAVADE, 2002). Les infrasons déclenchent chez les saumoneaux une forte réaction de fuite et d'esquive sans manifestation d'effet d'habitude (KNUDSEN et al, 1992). Les saumons juvéniles ont une réaction répulsive vis-à-vis de stimulations de 10 Hz (avec 10 à 15 décibels) alors que des stimulations à une fréquence de 150 Hz n'ont aucun effet. D'après les

connaissances rassemblées jusqu'à aujourd'hui, les barrières comportementales acoustiques ne sont cependant efficaces que dans des conditions de faible courant (jusqu'à env. 0,3 m/s). La méthode est encore au stade de recherche et n'a pas encore atteint un degré de maturité suffisant (TRAVADE, communication écrite).

Selon BRUIJS (2007), une combinaison de systèmes déflecteurs acoustiques d'une part et de systèmes de sources lumineuses répulsives d'autre part peut faire tomber la mortalité des smolts de 4,8% à 2,4-0,7% (efficacité : mortalité réduite de 67,5%, calcul *théorique* pour la Meuse sur des turbines horizontales Kaplan) et s'avérer ainsi d'une efficacité élevée en termes de rapport coûts/bénéfice.

(www.fiskeriverket.se/download/18.64db7e331133fb433ef8000262/SS_Bruijs2.pdf).

Une gestion appropriée des turbines au printemps peut éventuellement avoir un effet nettement positif sur les smolts de salmonidés, notamment la mise au chômage des turbines pendant les ondes de dévalaison. La mise en chômage des turbines a été jugée dans l'étude STUCKY comme entraînant des coûts prohibitifs. Il n'a pas été tenu compte de l'effet d'une alimentation maximale de quelques turbines avec arrêt des autres turbines et d'autres alimentations (par ex. 90%). Il est impossible d'estimer globalement les impacts de différentes alimentations de turbines qui, pour autant qu'on le sache au stade actuel, sont fonction de différentes conditions (entre autres espèces piscicoles, longueur du poisson, conditions hydrauliques). Les alimentations maximales réduisent (en relation avec la longueur du poisson) le risque de lésions mécaniques dues à des collisions avec certaines parties de l'installation. Toutefois, les turbulences, les forces de cisaillement et les différences de pression augmentent. Il est donc recommandé de définir des modes d'exploitation optimisés pour les différentes usines du Rhin en se basant sur des études relatives aux smolts (par ex. essais de marquage/recapture, études avec transpondeurs, poissons factices équipés de capteurs de pression ; voir chap. 4.7). La dévalaison des smolts dans le Rhin supérieur se situe entre fin avril et fin juin (voir tab. 5) et dépasse rarement 6 à 8 semaines dans la phase d'activité principale. Une gestion des turbines peut ici s'avérer plus efficace que des exutoires de dévalaison. A l'opposé de l'hypothèse formulée dans l'étude STUCKY, les smolts ne migrent éventuellement pas dans le Rhin uniquement de nuit mais également de jour et à l'aube/au crépuscule (cf. résultats de l'étude avec transpondeurs Rhénanie-du-Nord-Westphalie/Pays-Bas ; figure 31 : *phase dominante* sur env. 16 heures).

Recommandation :

Il faudrait dans une première étape analyser en détail la mortalité des smolts dévalant au droit des grands ouvrages hydroélectriques afin d'évaluer la nécessité d'installer des systèmes ou mesures de protection des poissons. S'il s'avère nécessaire de prendre des mesures d'aide à la dévalaison piscicole, on pourrait tester la méthode visant à alimenter quelques turbines par un apport maximal de débit et à arrêter les autres turbines.

Le niveau d'information sur la faisabilité technique d'une mise en place de barrières physiques sous forme de grilles fines et l'utilisation de sources lumineuses et d'infrasons sur les grandes usines est actuellement trop faible pour qu'on puisse en tirer des recommandations définitives. On conseillera de vérifier si c'est le cas sur les barrages mobiles qu'il est prévu d'équiper de microcentrales supplémentaires.

4.2.2.2 Kembs

Selon les indications de la CIPR, il devrait être procédé d'ici 2020 dans le cadre du renouvellement de la concession de l'usine de Kembs à un suivi des résultats visant à déterminer si d'autres mesures de restauration des habitats sont nécessaires, notamment au niveau de l'ajustement du débit réservé. La décision sur l'approbation de la nouvelle concession et la fixation du débit réservé n'a pas encore été prise (mars 2009).

Recommandation :

On recommande de procéder à une telle évaluation à une date beaucoup plus précoce, à savoir 5 ans déjà après l'augmentation du débit de transit dans le Vieux Rhin. Il convient de promouvoir la qualité des habitats par encouragement de l'érosion latérale le long de l'île du Rhin et par un apport de débit solide. Avec l'amélioration du régime de charriage et l'augmentation de la dynamique fluviale, une riche mosaïque d'habitats diversifiés pourra se reconstituer (variabilité de profondeur du lit et des courants) et l'apport de formes de substrat appropriées pour le frai augmentera. Sous l'angle ichtyobiologique, le débit de base ne devrait pas descendre au-dessous de 100 m³/s. Le dosage relatif du débit transitant dans le Vieux Rhin devrait s'orienter sur le régime hydrologique naturel du Rhin supérieur.

4.2.2.3 Augmentation de l'efficacité des installations de remontée des poissons à Iffezheim et Gamsheim

Pour les usines situées en amont de Gamsheim (festons), l'étude STUCKY (2006) prévoit toujours des dispositifs d'aide à la remontée sur le cours principal et sur le tronçon court-circuité respectif. Si l'on y ajoute les écluses de navigation, on prend ainsi en compte tous les corridors de migration et l'on exclut pratiquement tout effet d'impasse potentiel. Il n'existe sur les usines d'Iffezheim et de Gamsheim, situées en aval des aménagements en festons, qu'une seule passe par ouvrage (avec trois entrées) dans le bief aval de l'usine et les écluses de navigation comme possibilité supplémentaire de remontée. Des passes à poissons font défaut côté barrage, zone isolée par le môle de séparation qui longe le canal de fuite. Il est possible que cette situation donne lieu à un effet d'impasse, notamment en période de surverse du barrage. 4 turbines d'un débit équipé de 1250 m³/s sont actuellement en service à Iffezheim. Selon des estimations provisoires, ce débit est dépassé env. 145 jours par an. Quand le débit atteint 1800 m³/s, env. 600 m³/s sont déversés au-dessus du barrage, dont résulte arithmétiquement un courant d'attrait « trompeur » de 0,7 m/s à l'extrémité aval du môle de séparation (le « point décisif d'orientation » pour les poissons en cours de montaison) ; ce phénomène semble se produire > 35 jours/an. Même si le débit d'équipement devait être rehaussé à env. 1500 m³/s à partir de 2010/2011 avec la mise en place d'une cinquième turbine, il est probable que ce courant d'attrait « trompeur » de 0,7 m³/s ne sera produit que 20 jours par an. Un effet d'impasse est éventuellement déjà ressenti à partir de vitesses d'écoulement comprises entre 0,3 et 0,5 m/s. Cette nécessité potentielle de construire des passes à poissons supplémentaires, fondée sur des réflexions théoriques, n'a jusqu'à présent été ni confirmée ni analysée.

Recommandations :

On recommande de vérifier à court terme, à l'aide d'analyses de radiopistage et/ou d'essais de marquage/recapture, si les installations d'Iffezheim et de Gamsheim sont repérables. S'il y a un effet d'impasse, les ouvrages devraient être équipés ultérieurement d'une passe à poissons supplémentaire côté barrage. Ces passes à poissons supplémentaires pourraient être de dimensions nettement plus modestes et beaucoup moins onéreuses que les dispositifs de remontée installés au droit des usines. (Voir ANNEXE VI sur les moyens de renforcer l'attractivité - avec une consommation d'eau supplémentaire minimale - à l'aide d'une pompe de production d'un débit d'attrait récemment mise au point). Le fonctionnement des passes supplémentaires peut être limité aux périodes de surverse des barrages (et à quelques jours consécutifs), quand le volume d'eau requis est de toute façon disponible.

Il est en outre suggéré d'examiner si l'utilisation ultérieure d'éléments brosses (selon HASSINGER, Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Université de Kassel ; voir ANNEXE VI) permet d'optimiser la transformation de l'énergie au droit de la passe d'Iffezheim et d'accroître sensiblement le nombre total de remontées.

Enfin, il est recommandé de déterminer la mortalité des smolts sur les deux sites et, en cas de besoin, d'optimiser la dévalaison (éventuellement par le biais d'une gestion des turbines ; alimentation maximale de certaines turbines, voir ci-dessus).

4.2.3 Biefs sur la Moselle

L'hydrosystème de la Moselle renferme 100 ha de surface de frai et d'habitats de juvéniles ; on en compte 70 ha supplémentaires dans le sous-bassin de la Sûre.

Des négociations ont été menées à terme très récemment avec la Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd-West sur les mesures devant compenser la construction d'une 2^{ème} écluse sur les 10 barrages entre Coblenz (accord du 16.02.2009). Les montants compensatoires versés en contre-partie de la construction des écluses seront utilisés pour améliorer systématiquement la continuité de la Moselle (depuis le débouché dans le Rhin) et restaurer les habitats dans la Sûre dans le long terme en coopération avec le Luxembourg. L'aménagement des dispositifs à Coblenz et Lehmen permettrait de réouvrir l'accès à l'Elzbach dans le moyen terme. Les coûts d'aménagement sur la Moselle évoluent entre env. 23,8 et 27,6 millions d'euros (sans compter les barrages de Grevenmacher et de Palzem). Un projet d'aménagement du principal obstacle sur la Sûre, celui de Rosport, est également disponible (coûts d'env. 1,6 million d'euros ; LAUFF, communication orale).

4.2.4 Intégration des écluses de navigation et de passage des bateaux de plaisance dans les projets de remontée

Les écluses sont empruntées par les poissons migrateurs soit par hasard, quand le flux migratoire longe la berge, soit de manière déterminée, quand l'éclusage produit un courant d'attrait local efficace en aval de l'obstacle à la migration et, pour finir, dans le sas même de l'écluse. Ce phénomène semble se produire au moins à Iffezheim dans un ordre de grandeur notable, ce qui est peut-être dû au fait que le débouché du Sandbach produit éventuellement un effet d'attrait supplémentaire sur la rive droite du fleuve. D'après les données disponibles, la contribution des écluses à la remontée des poissons varie en fonction de l'emplacement des zones d'entrée dans le bief aval (selon la distance de l'obstacle à la migration), de la fréquence des éclusages et du mode de fonctionnement saisonnier des écluses (utilisation plus ou moins intensive des écluses de passage des bateaux de plaisance). Les écluses de navigation et de passage des bateaux de plaisance ne peuvent pas remplacer les dispositifs d'aide à la remontée, ce qui revient à dire que des peuplements ne peuvent pas s'implanter durablement dans le cours amont des rivières uniquement grâce au fonctionnement des écluses de navigation. Cependant, les écluses installées sur les voies navigables représentent fondamentalement une possibilité de remontée *supplémentaire*, notamment lorsqu'elles sont gérées selon un mode incitateur pour les poissons.

Recommandation :

Il est recommandé d'examiner s'il serait possible de réaliser sur les écluses de navigation et de passage des bateaux de plaisance un éclusage supplémentaire dont le régime opérationnel pourrait, selon TRAVADE & LARINIER (2002), être ajusté au comportement migratoire des poissons par ouverture (partielle) simultanée des vannes côté amont et aval. Le débit d'attrait ainsi produit donne lieu à des taux de remontée nettement supérieurs à ceux que l'on relève en mode opérationnel pour la navigation. Ces « éclusages piscicoles » pourraient se limiter à quelques opérations, par ex. deux fois par jour (dans la matinée et la soirée). Les écluses de passage des bateaux de plaisance, qui sont parfois judicieusement positionnées à proximité immédiate de l'ouvrage transversal (par exemple sur la Moselle et le Main), pourraient être gérées d'une manière comparable entre mars et décembre.

Impact positif : non quantifiable pour l'instant (augmentation de la franchissabilité de 5 à 20% selon les sites ?) ; un suivi devra éventuellement être appliqué à des sites représentatifs.

4.2.5 Affluents

La situation dans les affluents est très variable et caractérisée par différents usages qui interrompent la continuité. En regard du grand nombre de rivières prioritaires, la présente étude ne peut qu'appréhender grossièrement la situation actuelle.

La rivière probablement la plus dégradée est la Lahn, aménagée en voie navigable fédérale et caractérisée par une exploitation hydroélectrique intense. Des habitats propices à la reproduction et au grossissement se trouvent dans le cours amont (Rhénanie-du-Nord-Westphalie) et dans les sous-bassins. La continuité au droit des usines hydroélectriques est rétablie pour l'essentiel sur le cours moyen en Hesse. Le cours aval en Rhénanie-Palatinat est infranchissable pratiquement à partir du débouché. Dans les affluents de la Moselle, le degré de dégradation est globalement moyen ; la plupart des usines hydroélectriques (8) se trouvent dans la Kyll ; seul un obstacle se trouve sur l'Elzbach, cours d'eau relativement naturel, et sur le cours aval de la Sûre (Sûre : usine hydroélectrique de Rosport). L'hydrosystème Ill-Bruche est soumis à une exploitation hydroélectrique intense ; on a procédé à une analyse coûts-bénéfice importante pour prioriser les mesures (SCHULTZ, 2006). Dans l'hydrosystème de la Wupper-Dhünn, les lacs de retenue compliquent le rétablissement de la continuité. Il est prévu de rétablir la continuité des affluents de la Forêt-Noire (Bade-Wurtemberg) d'ici 2012. Dans l'hydrosystème de la Sieg, milieu particulièrement propice, un tiers des habitats (60 ha sur un total de 190 ha) sont accessibles jusqu'à présent et cet hydrosystème est par conséquent celui offrant le plus grand potentiel de développement du bassin du Rhin inférieur. Par contre, le problème de la continuité ne se pose plus dans les affluents Saynbach (intégralement franchissable) de même que la Wisper et l'Ahr (très largement franchissables). Un seul obstacle infranchissable subsiste sur la Wiese (CH) et la continuité est pratiquement rétablie sur la Birs (OFPEP, 2005).

La protection des smolts à la dévalaison reste un problème de taille sur la plupart des affluents soumis à une exploitation hydroélectrique intense. Des microcentrales sont installées dans de nombreux affluents du Rhin (Ill, Kinzig, Rench, Murg, Sieg, Kyll, Prüm et autres, voir tableau 15). De par leurs caractéristiques, les turbines de ces microcentrales entraînent en général une forte mortalité lors de la dévalaison.

Le tableau 15 met en évidence la relation entre l'exploitation hydroélectrique (nombre d'usines hydroélectriques sur l'ensemble du bassin et dans les rivières prioritaires, estimation de la mortalité) et les actuels stades intermédiaires de réalisation des projets (accès aux habitats, reproductions identifiées et estimation du taux de reproduction en 2008 ; voir tableau 2).

Recommandation :

Il ne semble pas judicieux d'émettre de recommandation à caractère général sur la priorisation des ouvrages à aménager, de multiples facteurs complexes tels que la durée ou l'expiration de concessions et d'autorisations, les possibilités de financement locales (par ex. compensations, programmes d'aide), les différentes législations, la compréhension et la disposition des exploitants à négocier et les différences au niveau des habitats (surface, qualité), conditionnant la marge de manœuvre. En règle générale, on veillera à regrouper dans une approche globale les coûts et bénéfices (ici : meilleure accessibilité des habitats de grande qualité) et à traiter les ouvrages situés sur le cours aval en priorité. Aucune recommandation n'est formulée sur des variantes spécifiques de dispositifs de franchissement, ceux-ci ne pouvant être planifiés que sur le site même.

Une importance majeure doit être accordée à un débit réservé écologiquement tolérable dans toutes les mesures prises sur des tronçons court-circuités.

Il convient de renoncer systématiquement à poursuivre le déploiement des microcentrales hydroélectriques dans les rivières prioritaires.

Il convient de renoncer à poursuivre le déploiement des microcentrales hydroélectriques dans les rivières prioritaires. Pour autant que ceci soit possible, les ouvrages qui ne sont plus utilisés devraient être systématiquement démantelés.

Synthèse :

Les mesures de rétablissement de la continuité doivent englober la montaison *et* la dévalaison des poissons. En règle générale, le rétablissement de la continuité sur les voies de migration devrait se faire successivement du débouché dans le Rhin vers l'amont à *l'échelle des bassins* (par ex. hydrosystème de l'II, de la Kinzig, de la Sieg, de la Moselle, du Rhin supérieur), les priorités étant à la fois fonction des possibilités de mise en œuvre et de la disponibilité des habitats à l'intérieur de ces hydrosystèmes. Des populations indépendantes (= génétiquement isolées) de saumons en équilibre naturel peuvent s'implanter durablement si elles disposent d'une superficie d'environ 3,3 ha d'habitats (3,3 ha = production possible de 3 300 saumoneaux/an = 100 adultes de retour/an pour un taux de retour de l'ordre de 3% ; voir chap. 2). Si les surfaces d'habitats sont < 3 ha (par ex. dans la Wisper, l'Ergolz et les petits tributaires de la Sieg et de la Moselle), il faudra probablement veiller à ce qu'un échange génétique soit possible à long terme avec des sous-populations voisines. On s'efforcera fondamentalement de mettre en réseau les voies de migration des populations (par ex. hydrosystème de l'III <=> hydrosystème Elz-Dreisam) pour les stabiliser dans leur ensemble et pallier à la fragilité de certains peuplements.

En se fondant sur l'intensité de l'exploitation (hydroélectrique) et l'accessibilité des rivières de frai, le tableau 15 met en relief les actions à engager et les priorités à fixer au niveau des bassins. Les cases en rouge indiquent une action urgente, en jaune une moindre urgence et en vert une nécessité peu élevée d'action.

Cependant, dans certains hydrosystèmes classés ou désignés rivières prioritaires du fait de leur qualité particulière (par ex. la Sieg en NRW et en Rhénanie-Palatinat, l'Ahr en Rhénanie-Palatinat, la Bruche en France, la Kinzig au Bade-Wurtemberg), il peut s'avérer opportun de fixer des priorités s'écartant de celles proposées dans le tableau.

Tab. 15: Exploitation hydroélectrique (nombre d'usines hydroélectriques sur l'ensemble du bassin et dans les rivières prioritaires, estimation de la mortalité) et actuels stades intermédiaires de réalisation des projets (accès aux habitats, reproductions identifiées et estimation des taux de reproduction en 2008 ; voir tab. 2). Fixation de priorités en découlant pour les mesures de rétablissement de la montaison et de dévalaison dans la phase I (cf. chap. 4.6 pour les phases de mise en œuvre)

Etat	Hydrosystème	Rivière prioritaire - Sélection des principaux affluents (* pas d'alevinage)	Date du 1er alevinage de saumons	Superficie d'habitat [ha]	Exploitation hydroélectrique		Accessibilité (à partir de 1994)		Continuité possible en phase I		Résultats de reproduction 1994-2008		
					Intensité d'exploit. hydroélectr. sur les voies de migration (sans NL) (chiffres : nb. max. d'usines)	Intensité d'exploit. hydroélectr. dans les rivières prioritaires (chiffres : nb. max. d'usines)	Statu quo accessibilité frayères (état 2008)	Nombre d'années d'accessibilité atteinte (limité/totale)	Accessibilité des frayères	Dévalaison assurée (dans l'affluent-frayère)	Nombre d'années de suivi	Nombre d'années avec reproduction identifiée	Pourcentage d'années de suivi avec reproduction identifiée [%]
D	Wupper-Dhünn	Wupper Dhünn Eifgenbach	Alevinages saumons hydro syst. Wupper/Dhünn depuis 1993	25	7	7	mauvaise	0			1	0	0,0
					1	1	moyenne	15			3	2	66,7
					1	0	mauvaise	0			1	0	0,0
D	Sieg	Sieg rhénane NRW Agger (derniers 30 km) Naafbach Pleisbach Hanfbach Bröl Homburger Bröl Waldbröl Derenbach Steinchesbach Krabach Gierzhagener Bach Irsenbach Sülz Schlingenbach	Alevinages saumons dans hydro syst. rhénan Sieg depuis 1988 (également depuis 1998 dans régions typiques à ombres et barreaux (cours amont) dans ruisseaux sélectionnés de petite ou moyenne taille)	190	2	2	bonne	15			4	3	75,0
					0	0	très bonne	15			9	7	77,8
					0	0	moyenne	15			7	6	85,7
					0	0	bonne	15			3	1	33,3
					1	0	bonne	15			3	1	33,3
					1	1	bonne	15			9	6	66,7
					1	0	moyenne	15			6	4	66,7
					1	0	moyenne	15			6	2	33,3
					0	0	bonne	15			1	0	0,0
					1	0	bonne	15			1	0	0,0
					0	0	bonne	15			1	1	100,0
					2	0	bonne	15			2	1	50,0
					2	0	bonne	15			1	0	0,0
					3	3	moyenne	15			3	1	33,3
					0	0	très bonne	15			3	2	66,7
D	Ahr	Ahr	1995	80	6	4	bonne	15			8	5	62,5
					6	4	bonne	7 / 8			10	9	90,0
D	Nette	Nette *	-	10	2	2	moyenne	15			8	6	75,0
D	Saynbach	Saynbach	1994	10	2	2	très bonne	4 / 9			9	9	100,0
					0	0	bonne	1 / 9			9	5	55,6
D	Moselle	Elzbach Kyll Hydroystème Prüm Sûre Our	2005 1996 1996 1992 1992	170	0 (+ 2 Moselle)	0	mauvaise	0			4	0	0,0
					8 (+ 9 Moselle)	8	mauvaise	0	Phase II	0	0		
					6 (+ 10 Moselle)	6	mauvaise	0	Phase II	0	0		
					1 (+ 10 Moselle)	1	mauvaise	0	Phase II	1	0	0,0	
					1 (+ 10 Moselle)	1	mauvaise	0	Phase II	0	0		
D	Lahn	Mühlbach Weil Dill	1994 1995 1995	19	7	1	mauvaise	0			1	0	0,0
					> 10	≤ 3	mauvaise	0			0	0	
					> 10	≤ 3	mauvaise	0			0	0	
D	Nahe	Nahe	1 x 2004	?	> 10	> 10	mauvaise	0			0	0	
D	Wisper	Wisper	1999	2	0	0	bonne	8 / 7			7	4	57,1
D	Main	Schwarzbach * Hydroystème Kinzig (He)	- 2001	12	2 (+ 2 Main)	2	mauvaise	0			2	0	0,0
					≥ 3 (+ 5 Main)	≥ 3	mauvaise	0	Phase II	1	0	0,0	
D	Alb	Alb	2002	10	6	6	moyenne	9			0	0	
D/F	(Wies)Laute	(Wies)Lauter	1991	?	5	5	bonne	2 / 5			0	0	
D	Murg	Murg	2002	36	17	17	mauvaise	0			3	3	100,0
F/D	Rhin	Rhin en aval d'Iffezheim *	-	50 (?)	0	0	bonne	15			?	1	
D	Rench	Rench	2002	11	16 (+ 1 Rhin)	16	mauvaise	0			0	0	
F	Ill	Bruche Hydroystème amont de l'Ill	1991	95	4 (+ 1 Rhin)	4	bonne (cours aval)	5 / 9			14	14	100,0
					5 (+ 1 Rhin)	5	mauvaise	0			0	0	
D	Kinzig	Kinzig (BW)	2002	68	13 (+ 2 Rhin)	13	mauvaise	0			1	1	100,0
D	Elz-Dreisam	Elz Dreisam	2005 2008	59	9 (+ 4 Rhin)	9 (à partir du PK 75)	mauvaise	0			0	0	
					2 (+ 4 Rhin)	2	mauvaise	0			0	0	
F/D	Rhin	Vieux Rhin	1991	88	0 (+ 6 Rhin)	0	mauvaise	0	Phase II		0	0	
D/CH	Wiese	Wiese	1984	24	4 (+ 7 Rhin)	4	mauvaise	0	Phase II		0	0	
CH	Birs	Birs	1995	17	2 (+ 7 Rhin)	2	mauvaise	0	Phase II		0	0	
CH	Ergolz	Ergolz	1995	3	0 (+ 9 Rhin)	0	mauvaise	0	Phase II		0	0	

LÉGENDE

** Superficie d'habitat dans l'hydrosystème de l'Ill sans Thur & Lauch

Estimation de la mortalité due à l'exploit. hydroélectr.	Accessibilité	Identification de reproduction
faible / pas ou peu d'usines	frayères (en majeure partie) accessibles	reproduction saumon élevée / régulière
modérée / plusieurs usines	accessibilité partielle / limitée aux frayères	reproduction saumon modérée / rare
élevée / nombreuses usines avec ou sans barrages (de vallée)	frayères non / très rarement accessibles	reproduction non identifiée
	évolution non évaluable / inconnue	pas de suivis spécifiques

4.3 Prédation

Estimation : **Priorité moyenne (priorité élevée dans certains bassins)**

La mortalité due à la prédation est considérée comme un facteur significatif pour la réimplantation du saumon et de la grande alose. **Ce facteur agit sur l'ensemble du Rhin et sur divers affluents rhénans.**

Les espèces de poissons chassant en eaux libres (!), comme l'aspe et le sandre, de même que le silure et le cormoran, exercent potentiellement une forte prédation sur les smolts. En aval des usines hydroélectriques, la prédation (celle du brochet ici également) est localement élevée sur les saumoneaux désorientés.

Pour les adultes de retour (toutes espèces confondues), seul le silure (d'une taille pouvant atteindre 200 cm) entre en ligne de compte comme véritable prédateur. On ne dispose pas cependant de données quantitatives sur le sujet.

La pression de prédation est particulièrement élevée dans les zones de retenue, dans le bief aval des usines (poissons dévalants) et en aval des ouvrages transversaux (poissons remontants).

Recommandations :

Cormoran : Des mesures de gestion des populations de cormorans devraient être prises pour protéger les peuplements de poissons migrateurs dans les rivières de frai et de grossissement des juvéniles (Vieux Rhin inclus) ainsi que dans les corridors de migration des affluents (région à truites jusqu'à région à barbeaux). Les colonies de couples nicheurs doivent également entrer en ligne de compte dans cette gestion (de nouvelles colonies d'oiseaux nicheurs ont vu ainsi le jour au cours des dernières années sur le Rhin supérieur). Il convient de prendre en compte de manière appropriée, notamment dans les affluents, le fait que les cormorans séjournent depuis quelques années plus longtemps (jusqu'à fin avril) en de nombreux endroits dans les zones d'hivernage et peuvent ainsi exercer une pression prédatrice particulièrement forte sur les smolts. Sur le Rhin et sur ses grands tributaires Moselle, Main et Neckar aménagés en voies navigables ainsi que dans le delta, une gestion des cormorans est également jugée opportune.

Poissons piscivores : il convient d'éviter à tout prix les alevinages de sandres dans les affluents des régions à barbeaux et à ombres ; la pêche à la ligne ciblée du silure et de l'aspe pourrait réduire localement la pression due à la prédation. Les alevinages de brochets dans les corridors de migration d'affluents de petite et moyenne taille sont à évaluer sous un angle critique.

On s'efforcera d'abaisser la prédation sur les smolts au droit des usines hydroélectriques en prévoyant des corridors de dévalaison sous forme de systèmes de protection et de dispositifs de dévalaison ou une gestion des turbines plus ichtyo-compatible. Indépendamment de la qualité des dispositifs de dévalaison, les ouvrages transversaux et les usines hydroélectriques font fondamentalement augmenter les risques pour les poissons migrateurs en raison de la forte prédation qui règne dans les zones de retenue.

Observations : (1) Aux Pays-Bas, le silure est considéré comme une espèce allochtone (Bern\T-PVS 2001\tpvs06e_2001)

(2) Etant donné le peu de données disponibles sur l'impact exercé par les espèces de poissons piscivores et par le cormoran sur les poissons migrateurs (et notamment les smolts de salmonidés) dans le Rhin, des études sont requises à grande échelle.

4.4 Température

Estimation : **Priorité moyenne (priorité élevée potentielle)**

Les salmonidés migrateurs doivent traverser les grandes rivières cyprinicoles (notamment le Rhin, la Moselle, le Main) avant de rejoindre leurs rivières de reproduction aux eaux plus fraîches (métarhtral à épipotamal). Lorsque les températures sont trop élevées dans les rivières cyprinicoles, les grands migrateurs remontant de la mer ont des difficultés à rejoindre leurs rivières de frai. Les interruptions de migration de salmonidés adultes dues aux températures d'eau élevées occasionnées par les étés chauds sont actuellement de courte durée et ne représentent pas jusqu'à présent un facteur limitant. Etant donné que la mortalité augmente avec la hausse de la température (en particulier pour les poissons remis à l'eau après capture involontaire), que les températures constituent un facteur de stress et que les impacts négatifs sur le budget 'temps' des adultes de retour sont à limiter, la pression thermique sur le Rhin a globalement une importance non négligeable, au moins pour les salmonidés. Les répercussions du changement climatique, encore impossibles à estimer, peuvent sensiblement aggraver le problème à l'avenir. **Bassins concernés : le Rhin en particulier et surtout son cours aval et moyen ; la Moselle et le Main.**

Recommandations :

Il convient de suivre avec attention la situation thermique dans le Rhin et d'examiner comment réduire plus encore les rejets thermiques anthropogènes dans le Rhin et ses affluents (voir communiqué de la Conférence ministérielle sur le Rhin 2007, CIPR 2007). Les valeurs limites applicables aux entreprises rejetant des eaux réchauffées devraient éventuellement être renforcées. La valeur limite à partir de laquelle la pression thermique anthropogénique doit être abaissée devrait être de l'ordre d'une température d'eau du Rhin de 25°C.

Les mesures de réduction des pressions thermiques dans le Rhin doivent démarrer dans les bassins versant des affluents. La mesure jugée la plus efficace est celle consistant à restaurer un ombragement continu des rivières au moyen de bosquets riverains en dehors des zones urbaines. Les programmes de mise en place de bandes riveraines constituent ici un outil approprié. Comme les entreprises qui rejettent des eaux thermiquement polluées (industrie, centrales) ont un intérêt évident à voir baisser le bruit de fond thermique des affluents, notamment si les valeurs limites sont renforcées, des opportunités de coopération peuvent voir le jour entre industrie et exploitants des centrales d'une part et communes d'autre part (au sens de mesures écologiques de compensation) pour permettre le financement de programmes de développement de bandes riveraines. Les conditions politiques générales requises devraient être instaurées à cet effet.

4.5 Qualité des habitats, qualité des eaux et sédiments

Estimation : **Priorité moyenne (priorité élevée dans certains bassins)**

Des problèmes de qualité des habitats, de qualité des eaux et de contamination des sédiments existent dans certains bassins (référence : rivières prioritaires) et représentent un facteur limitant à ce niveau. **Sont ici particulièrement concernés les bassins de la Sieg (affluent Bröl), de la Lahn, de la Nette, de l'Alb, de la Murg, de la Rench, Kinzig (tous en D), du Vieux Rhin (D/F) et de la Wiese (CH).**

Cette estimation se limite aux rivières prioritaires relativement intactes figurant dans les programmes sur les poissons migrateurs et qui, à l'opposé des rivières (hydrosystèmes) plus dégradées, ont été intégrées dans les programmes à cause des conditions favorables

qu'elles présentaient. De nombreux affluents de l'hydrosystème rhénan sont très pénalisés, en particulier au niveau de la qualité des habitats. Ces problèmes font qu'il n'est pas judicieux d'investir aujourd'hui plus d'efforts dans la réintroduction de poissons migrateurs.

Au niveau faitier, il est *fondamentalement* contreproductif de construire de nouvelles microcentrales dans les rivières de reproduction, car la retenue et le court-circuitage des eaux entraîne la perte de zones de frai, aggrave les pressions thermiques, limite les processus écologiques dynamiques et entrave la migration. De telles interventions ne peuvent être compensées qu'*en partie* par des « améliorations écologiques » (construction d'ouvrages de montaison et de dévalaison, fixation de débits réservés, etc.).

Recommandations :

Les problèmes sont variés et ne peuvent être résolus qu'à l'échelle de bassins versants. Les dispositions correspondantes de la directive cadre 'Eau' ont déjà permis la mise en place d'un certain cadre d'actions. Des recommandations d'actions de dépollution des rivières salmonicoles existent déjà (dernière publication en date : guide de dépollution des rivières salmonicoles retenues dans le programme NRW de restauration des poissons migrateurs, MUNLV, 2006) et devraient être rapidement mises en œuvre.

Au niveau de la qualité des habitats, l'essentiel est de redynamiser frayères et zones de grossissement et à limiter l'exploitation hydroélectrique dans un ordre de grandeur écologiquement tolérable. L'état des peuplements salmonicoles est un indicateur important, car le maintien d'un peuplement et/ou d'opportunités de réintroduction impliquent la présence d'habitats de qualité et les « surexploitations » ont systématiquement un impact négatif sur le développement des populations.

Tout comme dans le cas du facteur 'température', les programmes de mise en place de bandes riveraines sur les affluents constituent un outil adéquat pour redynamiser les rivières de frai.

4.6 Liste des priorités et coûts des mesures proposées pour les sous-bassins et l'hydrosystème dans son ensemble

Le tab. 16 rassemble les coûts et les habitats pouvant être reconquis dans le cadre des mesures de rétablissement de la continuité dans les principaux sous-bassins. Les mesures prioritaires proposées et leurs impacts (espèces, bassin fluvial) ainsi que les coûts probables (pour autant qu'ils soient connus) sont regroupés dans le tab. 17a. Pour l'ouverture de l'hydrosystème Elz-Dreisam, les frais d'investissement s'élèvent à un peu moins de 39 millions d'euros (voir également le tableau 19) ; un montant supplémentaire de 62 millions d'euros est jugé nécessaire pour la reconnexion du Vieux Rhin.

Remarque : Les coûts susmentionnés n'englobent aucune mesure de restauration de la libre migration piscicole au droit des barrages du Grand Canal d'Alsace. Le Vieux Rhin a été privilégié comme éventuelle voie de montaison des poissons migrateurs en Suisse (étude STUCKY). Les coûts moyens par passe à poissons pour les 4 barrages situés dans le Grand Canal d'Alsace seraient de l'ordre de 13 millions d'euros. En revanche, il convient de prévoir au droit du barrage Vogelgrün/Breisach un transfert des poissons dans le Vieux Rhin par le biais d'un ouvrage de capture-transport.

Tab. 16 : Coûts et habitats pouvant être reconquis dans les principaux sous-bassins

Hydrosystème	Coûts en millions d'euros		Surfaces supplémentaires [ha]
	Montaison	Dévalaison	
Alb	2,08	0,5	8,9
Murg	2,65	2,7	30,6
Oos	0,5	0,0	4,5
Rench	1,49	0,72	10,7
Kinzig	1,97	1,2	67,9
Elz-Dreisam	3,71	0,945	58,7
Wiese (D)	1,85	0,6	21,5
Ill	6,31	1,18	60,67**
Moselle	23,8-27,6	?	90
Sûre	1,60	<i>compris</i>	70
Sieg	5,44	1,0 - 3,9 (<i>selon l'option*</i>)	130

(* cf. BUREAU D'ETUDES FLOECKSMÜHLE, 2005b ; ** sans la Thur ni la Lauch)

Le tab. 17b fait état de la priorisation des mesures proposées. La matrice montre que tous les facteurs indiqués sont liés et sont importants. Il ne suffit pas dans le long terme de « rectifier le tir sur certains éléments » (par ex. la montaison) en négligeant simultanément d'autres facteurs à caractère limitant (par ex. la pression due à la pêche, la dévalaison, la qualité des habitats). La matrice fait cependant apparaître une différenciation dans la mise en œuvre des mesures dans les différents tronçons du Rhin et sous-bassins. La fig. 40 donne un relevé géographique des mesures requises. La fig. 41 illustre la situation complexe des usines, des festons et des affluents dans le Rhin supérieur méridional et dans le haut Rhin.

Le tab. 18 (a-g) présente pour sept sous-bassins sélectionnés (affluents suisses, Vieux Rhin, Elz-Dreisam, Kinzig, Ill, Sûre et Sieg) un exemple de calcul, en partie fondé sur des hypothèses *théoriques*, sur le degré d'efficacité nécessaire des dispositifs de franchissement et sur l'ordre de grandeur de la réduction nécessaire des taux de mortalité des smolts afin qu'une population de saumons en équilibre naturel puisse se reconstituer dans ces sous-

bassins. Trois scénarios sont exposés (1 : situation de départ ; 2 : objectif intermédiaire ; 3 : état technique réalisable).

Le calcul tient également compte d'une production naturelle accrue de smolts grâce à des processus d'adaptation et mesures de restauration d'habitats, à la réduction de la mortalité due aux activités de pêche à la montaison et à une gestion des prédateurs dans le cours principal et les affluents. La qualité des habitats devant encore s'améliorer, on a délibérément opté pour un chiffre prudent de 2.500 à 3.000 œufs atteignant le stade d'œufs oeillés pour une femelle œuvée. Le nombre d'œufs par poisson œuvé est différent selon que l'on considère la souche Allier ou la souche Ätran. La raison en est la proportion également différente des poissons PHM dans la souche Allier (Rhin supérieur) et Ätran (Moselle et Sieg) (cf. bas du tableau 10). Par manque de données, la mortalité à la dévalaison n'a pu être estimée que grossièrement sur la voie de migration en fonction du trajet de migration emprunté (essentiellement la prédation) et du nombre d'usines hydroélectriques (mortalité due à la prédation et aux lésions). Pour le rapport entre nombre de saumoneaux dévalants et adultes de retour rejoignant la côte, on s'est fondé sur la valeur moyenne des résultats de l'étude néerlandaise (10,3 – 23,5% des post-smolts ayant quitté le milieu fluvial; cf. étude IMARES au chap. 3.5; JANSEN *et al*, 2008). De la même manière, les taux d'adultes de retour à la montaison ont été déterminés en fonction du trajet de migration (essentiellement la prédation) et du nombre d'usines hydroélectriques (repérabilité et franchissabilité des dispositifs de remontée) avec l'hypothèse supplémentaire de 10% de poissons remontant par les écluses dans les voies navigables. Ici aussi, le manque de données empêche de différencier les facteurs impliqués. Les valeurs visées pour le « nombre d'adultes de retour » et pour la « production de smolts » se fondent toutes deux sur les habitats disponibles (en hectares) des sous-bassins (cf. tableau 6) et sur un taux de retour de 3% estimé nécessaire pour stabiliser un peuplement. Dans les cas où le taux d'adultes de retour était > 3% et où la production théorique de smolts/ha était dépassée, on a indiqué la production naturelle maximale de smolts rapportée à la superficie réelle.

Les calculs se basent sur 1000 smolts/hectare issus d'alevinages. En l'état actuel (scénario 1 : sans mesures), aucun saumon n'atteint arithmétiquement le Vieux Rhin ou le tronçon du Rhin situé en amont de Kembs ; le nombre d'œufs issus d'une reproduction naturelle et la production naturelle de smolts sont donc égaux à zéro. Il en va de même pour la Moselle. Dans le cas de l'hydrosystème Elz-Dreisam, la probabilité de retour se limite à quelques exemplaires. Dans les sous-bassins déjà accessibles de la Kinzig, de l'Ill et de la Sieg, on suppose certes, selon la situation en place, que 140 à < 2.000 adultes remontent dans le corridor de migration chaque année ; malgré tout, l'objectif de « maintien des peuplements » n'est atteint dans aucun des cas (taux de retour respectifs de 0,2%, 0,6% et 1,0%).

Le scénario 2 repose sur l'hypothèse d'une remontée de 500 à 1.000 adultes jusqu'en Suisse, dans l'hydrosystème Elz-Dreisam, dans le Vieux Rhin et dans la Sûre grâce à l'ouverture plus fréquente du Haringvliet, à la baisse de la pression de pêche et à une meilleure franchissabilité des voies de migration (taux de retour compris entre 0,9% et 1,7%, valeurs cibles pas encore atteintes). Les taux d'adultes de retour atteints dans l'Ill et la Kinzig sont cependant déjà nettement plus élevés, avec des pourcentages respectifs de 2,6% et de 2,3%. Dans ces hydrosystèmes, l'objectif à atteindre est donc déjà proche du scénario 2 et éventuellement réalisable dans le cadre de ce scénario au travers de mesures renforcées d'adaptation et de restauration des habitats. Dans la Sieg (court trajet de migration, peu d'usines hydroélectriques, plusieurs affluents déjà facilement accessibles), le taux d'adultes de retour atteint déjà plus de 3% (4,3%) dans le scénario 2. Il est donc possible, à condition que toutes les mesures proposées soient mises en œuvre systématiquement, qu'un tel objectif puisse également être atteint relativement tôt, entre autres dans l'hydrosystème Wupper-Dhünn, dans l'Ahr, le Saynbach et la Wisper, ainsi que dans l'Elzbach (tributaire du cours aval de la Moselle).

Le scénario 3 part d'une faible pression due à la pêche et d'une amélioration de la remontée réalisée, si nécessaire, sur la base des résultats d'études (effet d'obstacle par usine de 3% au plus). Sous un angle arithmétique, des chiffres d'adultes de retour et de production de smolts permettant l'implantation durable des peuplements sont concevables dans tous les sous-bassins. Seuls les affluents suisses du Rhin et la Sûre sont légèrement en deçà de la

valeur cible de 3% avec un taux calculé de 2,9% (ce qui peut être compensé par des mesures complémentaires de restauration d'habitats = meilleur taux de reproduction, des processus d'adaptation et/ou des alevinages supplémentaires de petite ampleur). En conséquence, une population de saumons ne pourra s'établir en amont de Kembs ainsi qu'en amont du barrage mosellan de Trêves que si la continuité du Rhin (Haringvliet compris) et de la Moselle est améliorée et si les facteurs limitants sont en grande partie levés (ce qui correspond au scénario 3).

Le calcul montre également que des « compromis » sur certains dispositifs de franchissement peuvent déjà constituer un facteur limitant à cause de leur effet cumulatif ; cet aspect devrait être pris en compte dans l'analyse coûts-bénéfices des mesures proposées dans les tab. 17a & 17b.

Tab. 17a : Liste des mesures prioritaires proposées

Priorité	Lieux	Mesures	Espèces aidées	Bassin versant	Habitats susceptibles d'être reconquis	Coûts (en millions d'euros)
très élevée	Côte, delta, Rhin	Réduction de la pression imputable à la pêche (sensibilisation, contrôles, zones protégées ; dispositifs de franchissement)	Saumon, truite de mer potentiellement la grande alose	Rhin	-	inconnus
très élevée	Haringvliet	Ouverture permanente des écluses	toutes en particulier le saumon	Rhin	amélioration dans tout l'hydrosystème	40
très élevée	Usines du Rhin supérieur : Strasbourg Gerstheim Rhinau Marckolsheim Vogelgrün ∑ 2 barrages mobiles 5 seuils 2 barrages mobiles 2 seuils ∑ tous les sites	STUCKY – scénario 2 ? STUCKY – scénario 2 ? STUCKY – scénario 2 STUCKY – scénario 2 Revoir les projets STUCKY – scénario 2 STUCKY – scénario 2 (deux passes à fentes) STUCKY – scénario 2 STUCKY – scénario 2 (deux passes à fentes) Continuité jusqu'au Vieux Rhin Examiner la gestion des turbines	toutes toutes en particulier le saumon toutes en particulier le saumon toutes	Rhin supérieur méridional, haut Rhin	jusqu'à Rhinau 59 ha jusqu'au Vieux Rhin + 192 ha jusqu'à Rhinau 59 ha jusqu'au Vieux Rhin + 192 ha 251 ha	12,1 13,7 13,1 13,7 (24,7 ?) 77,3 9,2 3,7 (7,6) 9,0 1,5 (3,0) 100,7 (105,9) (?)
très élevée	Iffezheim Gamsheim ∑ les deux sites	Vérifier la nécessité d'améliorer la montaison et la dévalaison Examiner la gestion des turbines	toutes toutes en particulier le saumon	Rhin supérieur méridional, haut Rhin	améliorer éventuellement l'accès à 251 ha au max.	< 0,5 (?)
très élevée	Usines de la Moselle Rosport/Sûre tous les sites	Rivières artificielles ou passes à poissons Passe à bassins Dispositifs de dévalaison ou gestion des turbines	toutes toutes en particulier le saumon	Hydrosystème mosellan Sûre	100 ha 70 ha	en fonction des options 1,6 en fonction des options

Suite du tableau 17a : Liste des mesures prioritaires proposées

Priorité	Lieux	Mesures	Espèces aidées	Bassin versant	Habitats susceptibles d'être reconquis	Coûts (en millions d'euros)
très élevée	Affluents entre autres : Wupper-Dhünn Hydrosystème de la Sieg Alb Murg Rench Hydrosystème de la Kinzig Elz-Dreisam Hydrosystème de l'III	Dispositifs de remontée et de dévalaison, démantèlement	toutes	Hydrosystème rhénan	> 500 ha env. 20 ha 130 ha 8,9 ha 30,6 ha 10,7 ha 67,9 ha 58,7 ha 80,8 ha	> 50 ? 6,44-9,34 2,58 5,35 2,21 3,17 4,66 8,22
Moyenne (localement élevée)	Hydrosystème rhénan dans son ensemble	Régulation des prédateurs : Aspe, silure et cormoran	toutes en particulier le saumon	Rhin	-	inconnus
Moyenne	divers	Réduction de la pression thermique	Saumon, truite de mer	Rhin	-	inconnus
Moyenne (localement élevée)	divers	Réduction de la contamination des sédiments Amélioration de la qualité de l'eau Restauration des habitats	toutes	Rhin	-	inconnus

suite à la page suivante

Tab. 17b : Priorités des mesures proposées et ordonnées selon les bassins significatifs (cf. tableau 17a et figure 40)

Légende :		Priorité maximale	Priorité moyenne	Faible priorité	Aucune priorité			
Cours d'eau/hydrosystème		Rétablissement de la continuité	Réduction de la pression imputable à la pêche	Restauration des habitats	Gestion des prédateurs	Amélioration de la qualité de l'eau	Réduction des apports de sédiments fins	Réduction de la pression thermique
Delta du Rhin	Rhin	<i>Haringvliet</i>	<i>y compris côte</i>					
	Rhin							
Rhin inférieur	Sieg							
	Wupper-Dhünn							
	Rhin							
Rhin moyen	Ahr							
	Nette							
	Saynbach							
	Lahn		<i>débouché</i>					
	Wisper							
Hydrosystème mosellan	Moselle		<i>cours aval</i>					
	Affluents de la Moselle							
Rhin supérieur en aval de Strasbourg	Rhin							
	Alb							
	Murg							
	Rench							
	Ill (avec Bruche)							
en amont de Strasbourg	Kinzig							
	Rhin							
	Elz-Dreisam							
	Vieux Rhin			<i>redynamisation</i>			<i>redynamisation</i>	
	Wiese							
	Birs							
Ergolz								

Tab. 18a : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant en amont de Kembs, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Wiese, Birs, Ergolz	SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		SCÉNARIO 3 (techniquement possible)		pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Superficie 44 ha							
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	44.000	1,0	44.000	1,0	44.000	44.000
Mortalité à la dévalaison	(très élevée, usines et prédation 90%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 60%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 50%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,1	4.400	0,4	17.600	0,5	22.000	
MONTAISON	(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, bonne franchissabilité haut Rhin, moyenne dans affluents, Rhin sup. +10% par écluse)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	748	0,17	2.992	0,17	3.740	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	224	0,60	1.795	0,70	2.618	
par Iffezheim	0,50	112	0,60	1.077	0,70	1.833	
par Gamsbheim	0,90	101	0,90	969	0,95	1.741	
par Strasbourg	0,10	10	0,90	872	0,95	1.654	
par Gerstheim	0,10	1,01	0,90	785	0,95	1.571	
par Rhinau	0,10	0,101	0,90	707	0,95	1.493	
par Markolsheim	0,10	0,010	0,90	636	0,95	1.418	
par Vogelgrün	0,10	0,001	0,90	572	0,95	1.347	
par usines hydroélectr. suisses	0,80	0,001	0,90	515	0,97	1.307	
jusqu'aux frayères Wiese, Birs, Ergolz	0,80	0,001	0,95	489	0,99	1.294	
Nombre d'adultes de retour		0,001		489		1.294	1.320
Taux d'adultes de retour en %	0,000001		1,1		2,9		3,0
OBJ. DE RETOUR de 1.320 atteint ?		non		non		pratiquement	
OEUFs OEILLÉS de reproduction naturelle	Qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés:	2400 oeufs par adulte de retour / 2	1	2800 oeufs par adulte de retour / 2	685.194	3000 oeufs par adulte de retour / 2	1.940.473	1.980.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. oeufs	60 oeufs = 1 smolt	0	50 oeufs = 1 smolt	13.704	45 oeufs = 1 smolt	43.122	44.000
b) production max. de smolts pour [ha]		44.000		44.000		44.000	44.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	0	Au choix : a) ou b)*	13.704	Au choix : a) ou b)*	43.122	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 44.000 atteint ?		non		non		pratiquement	
Hypothèses							
Chiffres de départ : superficie 44 ha		Pot. ad. de retour : 1.320		Production potentielle de smolts : 44.000			
Production d'oeufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Allier ø 4.000 oeufs; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%							
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 oeufs = 1 smolt							
* Au choix : a) ou b); production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.							
Mortalité des smolts à la dévalaison : 50-90%							

↑
Evaluation : obj. atteint dans scénario 3 uniquement si très bonne qualité d'habitats

Tab. 18b : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans le Vieux Rhin, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Vieux Rhin		SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		SCÉNARIO 3 (techniquement possible)		pour superficie [ha]
Surface 88 ha		Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
DEVALAISON SMOLTS/superficie		1,0	88.000	1,0	88.000	1,0	88.000	88.000
Mortalité à la dévalaison		(très élevée, usines et prédation 85%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 60%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 50%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie		0,15	13.200	0,4	35.200	0,5	44.000	
MONTAISON		(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité incomplète, Rhin sup. + 10% par écluse)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)		0,17	2.244	0,17	5.984	0,17	7.480	
par le Haringvliet vers le Rhin D		0,30	673	0,60	3.590	0,70	5.236	
par Iffezheim		0,50	337	0,60	2.154	0,70	3.665	
par Gamsbshiem		0,90	303	0,90	1.939	0,95	3.482	
par Strasbourg		0,10	30	0,90	1.745	0,95	3.308	
par Gerstheim		0,10	3,03	0,90	1.570	0,95	3.142	
par Rhinau		0,10	0,3	0,90	1.413	0,95	2.985	
par Markolsheim		0,10	0,03	0,90	1.272	0,95	2.836	
par Vogelgrün		0,10	0,003	0,90	1.145	0,95	2.694	
jusqu'aux frayères du Vieux Rhin		0,80	0,002	0,90	1.030	0,98	2.640	
Nombre d'adultes de retour			0,002		1.030		2.640	2.640
Taux d'adultes de retour en %		0,000003		1,2		3,0		3,0
OBJ. DE RETOUR de 2.640 atteint ?			non		non		oui	
OEUFS OEILLÉS de reproduction naturelle		qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés:		2400 oeufs par adulte de retour / 2	3	2800 oeufs par adulte de retour / 2	1.442.513	3000 oeufs par adulte de retour / 2	3.960.560	3.960.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS		Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. oeufs		60 oeufs = 1 Smolt	0	50 oeufs = 1 Smolt	28.850	45 oeufs = 1 Smolt	88.012	88.000
b) production max. de smolts pour [ha]			88.000		88.000		88.000	88.000
production nat. max. de smolts selon scénario		Au choix : a) ou b)*	0	Au choix : a) ou b)*	28.850	Au choix : a) ou b)*	88.000	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 88.000 atteint ?			non		non		oui	
Hypothèses								
Chiffres de départ : superficie 88 ha		Pot. ad. de retour : 2.640		Production potentielle de smolts : 88.000				
Production d'oeufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Allier ø 4.000 oeufs; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%								
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 oeufs = 1 smolt								
* Au choix : a) ou b): production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.								
Mortalité des smolts à la dévalaison : 50-85%								

Evaluation : obj. atteint dans scénario 3

Tab. 18c : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans l'hydrosystème Elz-Dreisam, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Elz-Dreisam	SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		SCÉNARIO 3 (techniquement possible)		Total visé pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Surface 59 ha							
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	59.000	1,0	59.000	1,0	59.000	59.000
Mortalité à la dévalaison	(très élevée, usines et prédation 80%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 50%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 40%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,2	11.800	0,5	29.500	0,6	35.400	
MONTAISON	(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité Elz-Dreisam gering, Rhin sup. + 10% par écluse)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	2.006	0,17	5.015	0,17	6.018	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	602	0,60	3.009	0,70	4.213	
par Iffezheim	0,50	301	0,60	1.805	0,70	2.949	
par Gamsbheim	0,90	271	0,90	1.625	0,95	2.801	
par Strasbourg	0,10	27	0,90	1.462	0,95	2.661	
par Gerstheim	0,10	2,71	0,90	1.316	0,95	2.528	
jusqu'aux frayères de l'Elz-Dreisam (3-8 usines)	0,50	1,4	0,75	987	0,75	1.896	
Nombre d'adultes de retour		1,4		987		1.896	1.770
Taux d'adultes de retour en %	0,002295		1,7		3,2		3,0
OBJ. DE RETOUR de 1.770 atteint ?		non		über 50%		oui	
OEUFS OEILLÉS de reproduction naturelle	Qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés:	2400 oeufs par adulte de retour / 2	1.625	2800 oeufs par adulte de retour / 2	1.381.943	3000 oeufs par adulte de retour / 2	2.844.275	2.655.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. oeufs	60 oeufs = 1 smolt	27	50 oeufs = 1 smolt	27.639	45 oeufs = 1smolt	63.206	59.000
b) production max. de smolts pour [ha]		59.000		59.000		59.000	59.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	27	Au choix : a) ou b)*	27.639	Au choix : a) ou b)*	59.000	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 59.000 atteint ?		non		nahe 50%		oui	
Hypothèses							
Chiffres de départ : superficie 59 ha		Pot. ad. de retour : 1.770		Production potentielle de smolts : 59.000			
Production d'oeufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Allier ø 4.000 oeufs; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%							
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 oeufs = 1 smolt							
* Au choix : a) ou b): production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.							
Mortalité des smolts à la dévalaison : 40-80%							

Evaluation : obj. atteint proche scénario 3
évent. plus tôt si bonne adaptation & restauration des habitats

Tab. 18d : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans l'hydrosystème de la Kinzig, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Kinzig (BW)	SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		SCÉNARIO 3 (techniquement possible)		Total visé pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Surface 68 ha							
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	68.000	1,0	68.000	1,0	68.000	68.000
Mortalité à la dévalaison	(élevée, usines et prédation 70%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 40%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 30%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,3	20.400	0,6	40.800	0,7	47.600	
MONTAISON	(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité Kinzig gering, Rhin sup. + 10% par écluse)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	3.468	0,17	6.936	0,17	8.092	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	1.040	0,60	4.162	0,70	5.664	
par Iffezheim	0,50	520	0,60	2.497	0,70	3.965	
par Gamsbheim dans la Kinzig	0,90	468	0,90	2.247	0,95	3.767	
jusqu'aux frayères de la Kinzig 1-13 usines	0,30	140	0,70	1.573	0,75	2.825	
Nombre d'adultes de retour		140		1.573		2.825	2.040
Taux d'adultes de retour en %	0,2		2,3		4,2		3,0
OBJ. DE RETOUR de 2.040 atteint ?		non		pratiquement		oui	
OEUFS OEILLÉS de reproduction naturelle	qualité moyenne des habitats	Nombre d'œufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'œufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'œufs	
atteignent stade d'œufs oeillés:	2400 œufs par adulte de retour / 2	168.545	2800 œufs par adulte de retour / 2	2.202.319	3000 œufs par adulte de retour / 2	4.237.679	3.060.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. œufs	60 œufs = 1 Smolt	2.809	50 œufs = 1 Smolt	44.046	45 œufs = 1 Smolt	94.171	68.000
b) production max. de smolts pour [ha]		68.000		68.000		68.000	68.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	2.809	Au choix : a) ou b)*	44.046	Au choix : a) ou b)*	68.000	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 68.000 atteint ?		non		pratiquement		oui	
Hypothèses							
Chiffres de départ : superficie 68 ha		Pot. ad. de retour : 2.040		Production potentielle de smolts : 68.000			
Production d'œufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Allier ø 4.000 œufs; atteinte du stade d'œuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%							
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 œufs = 1 smolt							
* Au choix : a) ou b): production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.							
Mortalité des smolts à la dévalaison : 30-70%							

Evaluation : obj. atteint entre scénario 2 et 3
 évent. plus tôt si bonne adaptation & restauration des habitats

Tab. 18e : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans l'hydrosystème de l'III, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

III	SCENARIO 1 (aucune mesure)		SCENARIO 2 (obj.intermédiaires atteints)		SCENARIO 3 (techniquement possible)		Total visé pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Surface 72 ha**							
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	72.000	1,0	72.000	1,0	72.000	72.000
Mortalité à la dévalaison	(élevée, usines et prédation 60%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 40%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 30%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,4	28.800	0,6	43.200	0,7	50.400	
MONTAISON	(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité III faible, Rhin sup. + 10% par écluse)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	4.896	0,17	7.344	0,17	8.568	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	1.469	0,60	4.406	0,70	5.998	
par Iffezheim	0,50	734	0,60	2.644	0,70	4.198	
jusqu'aux frayères de l'III 4-5 usines	0,60	441	0,70	1.851	0,75	3.149	
Nombre d'adultes de retour		441		1.851		3.149	2.160
Taux d'adultes de retour	0,6		2,6		4,4		3,0
OBJECTIF DE RETOUR de 2.160 atteint ?		non		annähernd		ja	
OEUFS OEILLES de reproduction naturel	qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés :	2400 oeufs par adulte de retour / 2	528.768	2800 oeufs par adulte de retour / 2	2.590.963	3000 oeufs par adulte de retour / 2	4.723.110	3.240.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. oeufs	60 oeufs = 1 smolt	8.813	50 oeufs = 1 smolt	51.819	45 oeufs = 1 smolt	104.958	72.000
b) Production max. de smolts pour [ha]		72.000		72.000		72.000	72.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	8.813	Au choix : a) ou b)*	51.819	Au choix : a) ou b)*	72.000	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 72.000 atteint ?		non		pratiquement		ja	

Hypothèses		
Chiffres de départ : superficie 72 ha**	Pot. ad. de retour : 2.160	Production potentielle de smolts : 72.000
Production d'œufs : sex-ratio 1 : 1 ; résultats de reproduction Allier ø 4.000 oeufs ; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%		
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 oeufs = 1 smolt		
* Au choix : a) ou b) : production nat. max. de smolts selon scénario : la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond		
Mortalité des smolts à la dévalaison : 30-60%		

Evaluation : obj. atteint entre scénario 2 et 3
évent. plus tôt si bonne adaptation & restauration des habitats

** Selon la DIREN Alsace, seuls 72 ha des 95 ha d'habitats propices peuvent être rendus accessibles

Tab. 18f : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans l'hydrosystème de la Sûre (Moselle), nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Sûre	SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		SCÉNARIO 3 (techniquement possible)		pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Surface 70 ha							
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	70.000	1,0	70.000	1,0	70.000	70.000
Mortalité à la dévalaison	(élevée, usines et prédation 90%)	Nombre de post-smolts	(moyenne, usines et prédation 60%)	Nombre de post-smolts	(faible, usines et prédation 50%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,1	7.000	0,4	28.000	0,5	35.000	
MONTAISON	fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité Moselle und Sûre sehr gering, Moselle +10% pro Schleuse	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne franchissabilité dans la plupart des cas)	Nombre d'adultes de retour	(Haringvliet ouvert la plupart du temps, faible pression pêche, très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	1.190	0,17	4.760	0,17	5.950	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	357	0,60	2.856	0,70	4.165	
par Coblenze / Moselle	0,30	107	0,65	1.856	0,80	3.332	
par Lehmen / Moselle	0,10	11	0,90	1.671	0,95	3.165	
par Müden / Moselle	0,10	1	0,90	1.504	0,95	3.007	
par Fankel / Moselle	0,10	0	0,90	1.353	0,95	2.857	
par Aldegund / Moselle	0,10	0	0,90	1.218	0,95	2.714	
par Enkirch / Moselle	0,10	0	0,90	1.096	0,95	2.578	
par Zeltingen / Moselle	0,10	0	0,90	987	0,95	2.449	
par Wintrich / Moselle	0,10	0	0,90	888	0,95	2.327	
par Detzem / Moselle	0,10	0	0,90	799	0,95	2.211	
par Trèves / Moselle	0,10	0	0,90	719	0,95	2.100	
par Rosport / Sûre	0,05	0	0,90	647	0,97	2.037	2.100
Nombre d'adultes de retour		0		647		2.037	2.100
Taux d'adultes de retour en %	0,0		0,9		2,9		3,0
OBJ. DE RETOUR de 2.100 atteint ?		non		non		pratiquement	
OEUFS OEILLÉS de reproduction naturelle	qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	Bonne qualité d'habitats	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés:	2400 oeufs par adulte de retour / 2	0	2600 oeufs par adulte de retour / 2	841.473	2.900 oeufs par adulte de retour / 2	2.953.637	3.150.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - Début du processus d'adaptation	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - Processus d'adaptation lancé	Nombre de smolts	Bonne qualité d'habitats - Processus d'adaptation achevé	Nombre de smolts	
a) Production naturelle de smolts pour nb. oeufs	60 oeufs = 1 smolt	0	50 oeufs = 1 smolt	16.829	45 oeufs = 1 smolt	65.636	70.000
b) production max. de smolts pour [ha]		70.000		70.000		70.000	70.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	0	Au choix : a) ou b)*	16.829	Au choix : a) ou b)*	65.636	
OBJ. DE PRODUCTION SMOLTS 70.000 atteint ?		non		non		pratiquement	
Hypothèses							
Chiffres de départ : superficie 70 ha	Pot. ad. de retour : 2.100		Production potentielle de smolts : 70.000				
Production d'oeufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Åtran ø 3.800 oeufs; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60-75%							
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 45-60 oeufs = 1 smolt							
* Au choix : a) ou b): production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.							
Mortalité des smolts à la dévalaison : 50-90%							

↑

Evaluation : obj. atteint dans scénario 3 uniquement si très bonne qualité d'habitat

Tab. 18g : Calcul théorique de la production naturelle d'œufs, de smolts et du nombre de géniteurs de retour en découlant dans l'hydrosystème de la Sieg, nécessaires au maintien d'une population, compte tenu de l'efficacité variable des dispositifs de remontée et des systèmes de dévalaison (effet cumulé), de la pression de la pêche, de la qualité des habitats et d'autres facteurs (cf. texte).

Sieg	SCÉNARIO 1 (aucune mesure)		SCÉNARIO 2 (obj. intermédiaires atteints ?)		pour superficie [ha]
	Taux	Nombre de smolts	Taux	Nombre de smolts	
Surface 190 ha					
DEVALAISON SMOLTS/superficie	1,0	190.000	1,0	190.000	190.000
Mortalité à la dévalaison	(modérée à élevée, usines et prédation 50%)	Nombre de post-smolts	(modérée, usines et prédation 30%)	Nombre de post-smolts	
Taux de survie	0,5	95.000	0,7	133.000	
MONTAISON	(Haringvliet partiellement fermé, pression pêche très élevée, franchissabilité Sieg mauvaise à très bonne)	Nombre d'adultes de retour	(gestion améliorée des écluses du Haringvliet, pression pêche modérée, bonne à très bonne franchissabilité)	Nombre d'adultes de retour	
Taux d'adultes de retour ø 17% jusqu'à la côte (cf. étude IMARES)	0,17	16.150	0,17	22.610	
par le Haringvliet vers le Rhin D	0,30	4.845	0,60	13.566	
jusqu'aux frayères de la Sieg 0 - 6 usines	0,40	1.938	0,60	8.140	
Nombre d'adultes de retour		1.938		8.140	5.700
Taux d'adultes de retour en %	1,0		4,3		3,0
NOMBRE DE RETOURS de 5.700 atteint ?		non		oui	
OEUFs OEILLÉS de reproduction naturelle	Qualité moyenne des habitats	Nombre d'oeufs	Qualité habitats bonne en maj. partie	Nombre d'oeufs	
atteignent stade d'oeufs oeillés:	2400 oeufs par adulte de retour / 2	2.325.600	2600 oeufs par adulte de retour / 2	10.581.480	8.550.000
PRODUCTION NATURELLE DE SMOLTS	Qualité moyenne des habitats - processus d'adaptation déjà lancé (!)	Nombre de smolts	Qualité des habitats améliorée - processus d'adaptation bien avancé (!)	Nombre de smolts	
a) production naturelle de smolts pour nb. oeufs	55 oeufs = 1 smolt	42.284	50 oeufs = 1 smolt	211.630	190.000
b) production max. de smolts pour [ha]		190.000		190.000	190.000
production nat. max. de smolts selon scénario	Au choix : a) ou b)*	42.284	Au choix : a) ou b)*	190.000	
PRODUCTION DE SMOLTS 190.000 atteinte ?		non		oui	

Hypothèses		
Chiffres de départ : superficie 190 ha	Pot. ad. de retour : 5.700	Production potentielle de smolts : 190.000
Production d'oeufs : sex-ratio 1 : 1; résultats de reproduction Åtran ø 3.800 oeufs; atteinte du stade d'oeuf oeillé selon qualité d'habitat : 60 à env. 70%		
Production de smolts : selon qualité des habitats et processus d'adaptation 55-60 oeufs = 1 smolt		
* Au choix : a) ou b): production nat. max. de smolts selon scénario: la superficie d'habitat (prod. potentielle) de la rivière est le plafond.		
Mortalité des smolts à la dévalaison : 30-50%		

Conclusions sur les mesures proposées :

Les mesures à prendre sur le Rhin supérieur peuvent être mises en œuvre en 2 phases, selon leur priorité (voir ci-dessous) : Ces mesures ont pour objectif la reconstitution de peuplements de poissons migrateurs dans l'hydrosystème rhénan. Les espèces cibles traitées, à savoir le saumon, la truite de mer, la grande alose et la lamproie marine, ont une fonction à la fois pilote et indicative. D'autres espèces profiteraient également de l'implantation *durable* des espèces susmentionnées dans le Rhin (sans qu'un soutien soit nécessaire sous forme de transport) :

- les espèces potamodromes qui requièrent des habitats de grande étendue (par ex. le hotu, le barbeau) sont menacées actuellement dans le Rhin supérieur, la Moselle et différents affluents à cause des multiples obstacles à la migration et la lamproie fluviatile anadrome (tout comme la lamproie marine) a des difficultés à se propager
- les espèces rhéophiles exigeantes (par ex. l'ombre commun) sont exposées dans les affluents à la construction de nouvelles usines hydroélectriques, à des pressions thermiques, à une qualité de l'eau et des habitats ne répondant pas exactement à leurs exigences et à une forte prédation par le cormoran.
- L'anguille, espèce thalassotoque dont les peuplements sont fortement menacés, est soumise aux impacts négatifs de la problématique de dévalaison, qui n'est toujours pas résolue, et probablement aux pressions thermiques, aux substances toxiques et à une forte prédation et à la pression de la pêche.

La présente étude met l'accent sur la réintroduction du saumon. Cette espèce se prête particulièrement bien à une priorisation des mesures et à un suivi des résultats car les populations, du fait de son taux d'erratisme très faible, se recrutent presque exclusivement à partir de la reproduction et/ou d'opérations de repeuplement dans L'hydrosystème rhénan (ou dans les rivières prioritaires) et l'influence d'une métapopulation dans l'océan atlantique est négligeable. Pour la lamproie marine par exemple, le seul facteur limitant pour une recolonisation du Rhin supérieur méridional et de la Moselle est la continuité vers l'amont. Même en cas de déficits au niveau de la reproduction et de forte mortalité à la dévalaison, cette réimplantation ne serait pas compromise, car des « adultes de retour » issus de la métapopulation atlantique remontent tous les ans dans le Rhin. Pour le saumon par contre, l'interruption du cycle vital entraîne obligatoirement un effondrement des peuplements (y compris perte de l'inventaire génétique spécifique issu des processus d'adaptation). Il est donc clair que les mesures proposées doivent agir de concert pour permettre la reconstitution durable de populations de saumons. Il ne suffit pas de « rectifier le tir sur certains éléments » (par ex. la montaison) en négligeant simultanément d'autres facteurs à caractère limitant (par ex. la dévalaison, la pression due à la pêche, la qualité des habitats).

Ce constat ne s'applique pas uniquement à la zone en amont de Kembs et au cours amont de la Moselle (voir plus bas) pris comme exemples de calcul (voir ci-dessous), mais au moins aussi à l'hydrosystème Elz-Dreisam, au Vieux Rhin, aux hydrosystèmes de la Kinzig et de l'Ill (alevinés pour la plupart avec la « souche Allier ») ainsi qu'à la Sieg, à l'hydrosystème Wupper-Dhünn, à la Lahn et à la Moselle (« souche Ätran ») – et par conséquent à tous les hydrosystèmes qui présentent des déficits locaux (parfois massifs) au niveau de la continuité longitudinale, en plus des facteurs limitants généraux que sont la pêche et la prédation. Le tab. 18 a-g montre à l'aide d'un calcul théorique l'effet que peut avoir la mise en œuvre des mesures sur l'évolution des peuplements dans différents bassins et l'échéance à laquelle on peut attendre une population de saumons en équilibre naturel. Les arguments ci-dessous viennent étayer les résultats de ce calcul :

Mesures proposées sous l'angle ichtyoécologique :

Phase I (réalisation proposée d'ici 2015) : Rhin supérieur : L'objectif prioritaire de la phase I est de rétablir la continuité du Rhin supérieur jusqu'à l'hydrosystème Elz-Dreisam. Il est indispensable pour ce faire d'aménager des dispositifs de remontée des poissons au droit des barrages de Strasbourg et Gerstheim (y compris les barrages mobiles et festons ; habitats susceptibles d'être reconquis : 59 ha). On peut attendre des mesures d'aménagement un retour immédiat de géniteurs de saumons, de truites de mer et de lamproies marines dans l'hydrosystème Elz-Dreisam ; la hausse du pourcentage d'habitats accessibles contribue ainsi directement à la stabilisation et à la propagation des peuplements salmonicoles de souche Allier. La réalisation de ces mesures est également une étape intermédiaire importante dans le rétablissement de l'accessibilité du Vieux Rhin et des affluents en Suisse (finalisation au cours de la phase II). Etant donné que la franchissabilité des obstacles à la migration englobe à la fois la montaison et la dévalaison des stades dévalants (notamment des smolts) et qu'il subsiste de grandes lacunes de connaissances dans ce domaine, il s'impose d'examiner en parallèle la mortalité des poissons dévalants (usines, prédation), les résultats de ces analyses pouvant contribuer à solutionner la problématique de la dévalaison. Pour pouvoir quantifier la réussite de ces mesures et de celles qui ont déjà été réalisées et tenir compte éventuellement de nouvelles connaissances dans la programmation de nouvelles passes à poissons (nombre, positionnement ; importance des écluses de navigation), il convient d'effectuer également en parallèle des études de radiopistage sur le comportement des adultes de retour à la montaison et sur la réparabilité des passes à poissons. On dispose actuellement de trop peu de connaissances sur la mortalité à la dévalaison et sur la réparabilité des passes à poissons construites au droit d'Iffezheim et de Gamsheim pour évaluer la réussite des mesures réalisées jusqu'à présent. Les études de radiopistage sur la réparabilité des deux passes à poissons existantes à hauteur d'Iffezheim et de Gamsheim ne devraient démarrer qu'une fois installée la 5^{ème} turbine (c'est-à-dire environ en 2011). La phase I devrait également consister à restaurer des habitats et à rétablir la continuité de la plupart des affluents du Rhin supérieur (Alb, Murg, Rench, Ill et Bruche, Kinzig ainsi qu'Elz et Dreisam) (voir chap. 5 pour les coûts).

Rhin moyen et Rhin inférieur : Dans ces tronçons du Rhin également, le rétablissement de la continuité (montaison, dévalaison) devrait être accéléré au moins dans les affluents du Rhin les plus prometteurs (entre autres la Moselle, la Sieg, l'hydrosystème Wupper-Dhünn). En parallèle, il est probablement nécessaire de réduire sensiblement la pression de la pêche. Ces mesures auront un impact positif sur les peuplements de souche Ätran. A condition que toutes les mesures proposées soient mises en œuvre, une population en équilibre naturelle pourra se reconstituer relativement vite dans l'hydrosystème de la Sieg (voir tab. 18g).

Delta du Rhin : Les mesures prioritaires dans le delta consistent à ouvrir progressivement le Haringvliet (coûts de l'ordre de 36 millions d'euros) et à réduire sensiblement la pression de la pêche. Ces mesures ont une fonction clé pour toutes les espèces migratrices (grande alose incluse), pour les deux populations initiales de saumons (Allier et Ätran) et pour tous les sous-bassins de l'hydrosystème Rhin.

Hydrosystème global : Il convient de suivre avec attention au cours de la phase I la situation thermique dans le Rhin et d'examiner comment réduire plus encore les rejets thermiques anthropogènes dans le Rhin et ses affluents (voir communiqué de la Conférence ministérielle sur le Rhin 2007, CIPR 2007). Par ailleurs, la mise en place de centres de stabulation de géniteurs distincts pour les souches Ätran et Allier peut garantir la disponibilité de poissons de repeuplement appropriés dans le long terme.

Phase II (réalisation proposée d'ici 2020/2027) :

Rhin supérieur : La phase II a pour objectif prioritaire de rétablir la continuité jusque dans le Vieux Rhin (y compris barrages mobiles, festons ; habitats susceptibles d'être reconquis : 192 ha) et les autres affluents jusqu'à Bâle (Birs, Wiese et Ergolz). La réalisation de cet objectif passe par l'aménagement de passes à poissons au droit des barrages de Rhinau et Marckolsheim et par le solutionnement des problèmes à Vogelgrün/Breisach. Le Vieux Rhin a été privilégié comme éventuelle voie de montaison des poissons migrateurs en Suisse (étude Stucky) ; pour ce faire, les poissons arrivant à l'usine de Vogelgrün doivent être transférés dans le Vieux Rhin. La phase II devrait également permettre de résoudre la problématique de la dévalaison et d'optimiser éventuellement la montaison, là où ceci est nécessaire (en fonction des enseignements tirés des études de radiopistage et d'éventuels essais supplémentaires de marquage/recapture).

Les coûts d'aménagement des usines et des barrages mobiles en amont entre Rhinau et Vogelgrün (inclus) sont estimés à 62 millions d'euros supplémentaires. Les coûts indiqués n'englobent aucune mesure de franchissabilité des barrages du Grand Canal d'Alsace. Les coûts moyens par passe à poissons pour les 4 barrages situés dans le Grand Canal d'Alsace seraient de l'ordre de 13 millions d'euros.

Rhin moyen et Rhin inférieur : Dans ces tronçons du Rhin, la réimplantation du saumon peut être pratiquement achevée dans les affluents Sieg, Wupper-Dhünn, Ahr, Saynbach, Elzbach/Moselle et Wisper à condition que les facteurs limitants, c'est-à-dire la pêche et la continuité du delta (Haringvliet), aient été sensiblement réduits ou éliminés lors de la phase I. La priorité absolue devrait être donnée au rétablissement de la continuité dans la Moselle jusqu'à l'hydrosystème de la Sûre.

Delta du Rhin : L'ouverture du Haringvliet dans le delta devrait être achevée et la transition progressive entre eau salée et eau douce rétablie sous la forme d'une zone d'eau saumâtre. La pression de la pêche ne doit plus être que faible. Comme présenté plus haut, les mesures prises dans le delta du Rhin ont une fonction clé pour tous les projets partiels réalisés dans l'hydrosystème rhénan.

Une fois achevée la phase II (mise en œuvre de toutes les mesures nécessaires) et après acclimatation des souches de saumons introduites (taux de retour de 3%), les chiffres d'adultes de retour indiqués ci-dessous peuvent être atteints eu égard aux surfaces d'habitat appropriées :

Saumon	Rhin inférieur	Rhin moyen	Hydro-système de la Moselle	Hydro-système du Main	Rhin supérieur en aval de Strasbourg	Rhin supérieur en amont de Strasbourg
Wupper-Dhünn	750					
Hydrosystème Sieg	5700					
Ahr		2400				
Nette		300				
Hydrosystème Saynbach		300				
Hydrosystème Lahn		570				
Wisper		60				
Affluents de la Moselle			3000			
Sûre			2100			
Hydrosystème Main				360		
Alb					300	
Murg					1080	
Oos					150	
Rench					330	
Ill					2850	
Kinzig					2040	
Cours principal du Rhin					1500	
Elz-Dreisam						1770
Vieux Rhin						2640
Wiese						720
Birs						510
Ergolz						90
Cours principal du Rhin						1800
	6450	3630	5100	360	8250	7530
Environ 30.000 saumons de retour dans le Rhin						

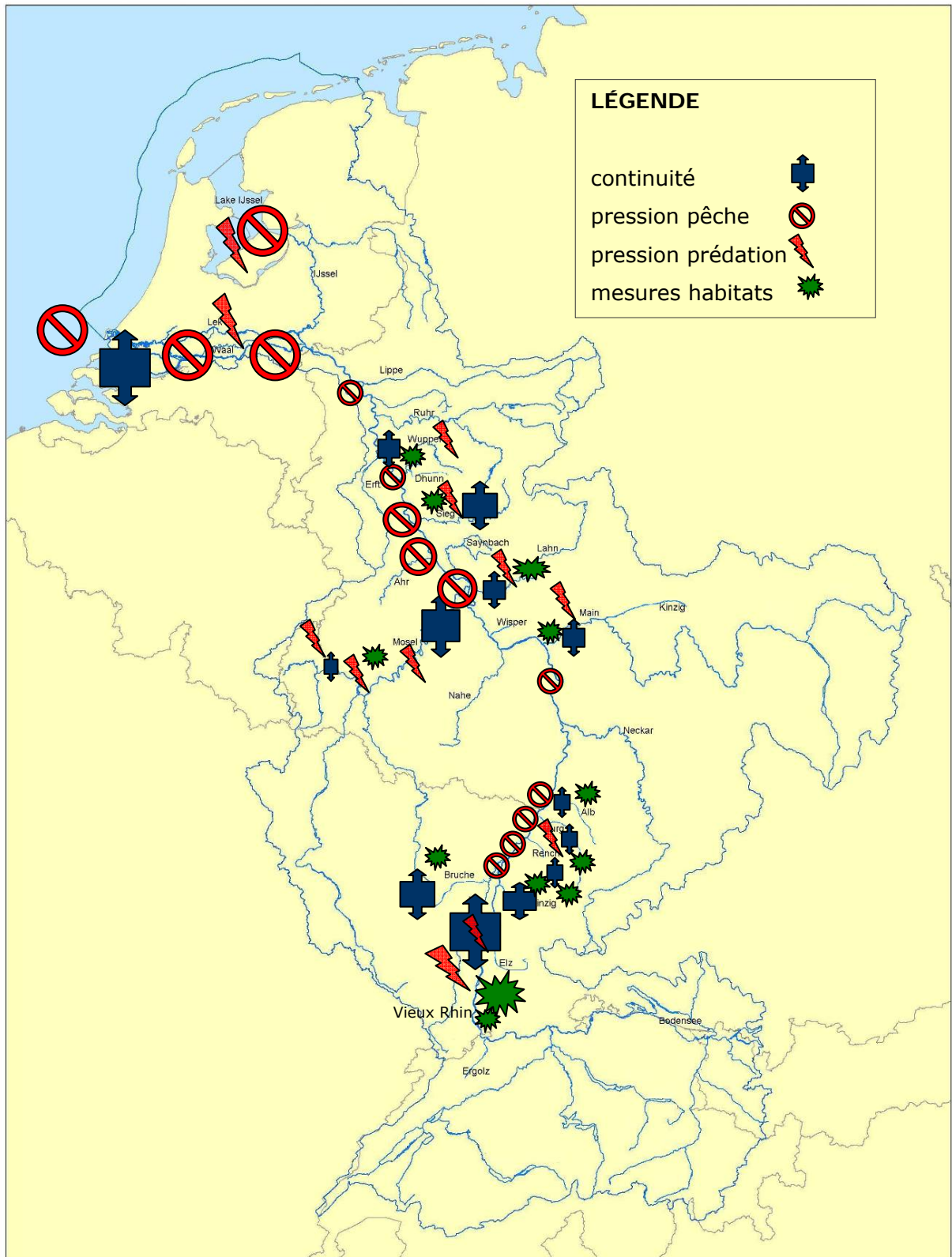


Fig. 40 : Relevé synoptique des mesures proposées dans le bassin du Rhin. La taille des symboles représente la priorité des différentes mesures visant à promouvoir les populations de poissons migrateurs dans l'hydrosystème rhénan (cf. également tableau 15 sur la continuité et l'exploitation hydroélectrique dans les bassins).

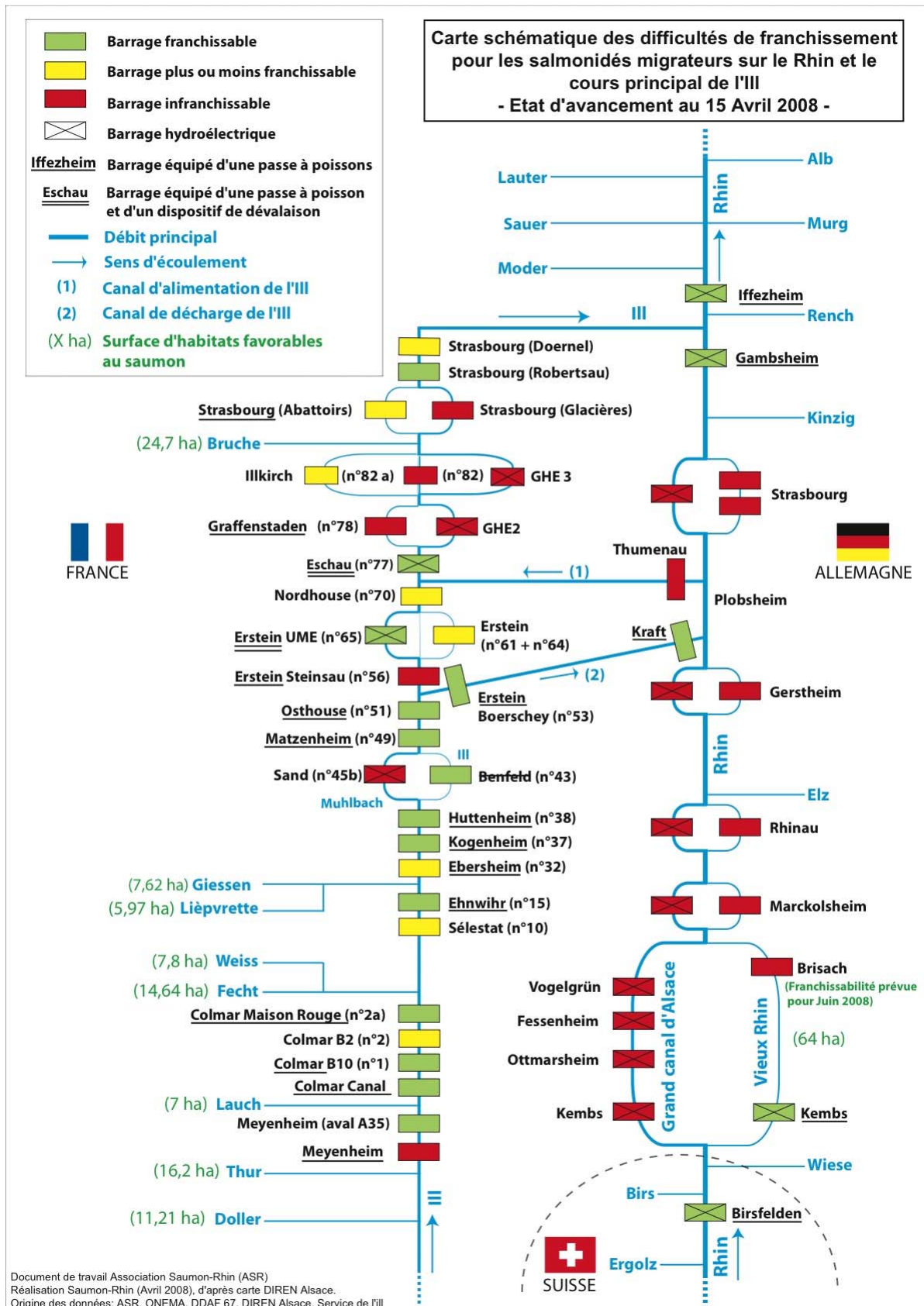


Fig. 41 : Carte schématique de la situation au droit des usines, des festons et des affluents (y compris surfaces des zones de grossissement) dans le Rhin supérieur méridional et dans le haut Rhin (tiré de SAUMON-RHIN, 2008b).

4.7 Propositions d'analyses complémentaires

Les lacunes de connaissances évoquées dans la présente étude devraient être comblées dans le court et le moyen terme au travers d'analyses annexes. Les études proposées ne doivent pas être considérées comme une condition préalable à la mise en œuvre des mesures proposées.

Une attention prioritaire devrait être accordée aux sujets suivants (ordre décroissant de priorité) :

- a) *Titre provisoire* : Evaluation de la mortalité des smolts au droit des grandes usines hydroélectriques. *Méthodes* : Essais de marquage/recapture, études avec transpondeurs, poissons factices équipés de capteurs de pression. *Lieux* : Iffezheim, Gamsheim, Strasbourg, Moselle/Coblence.
- b) *Titre provisoire* : Analyse des pêches accessoires et des prises dues à des activités de pêche illicite intentionnelle de grands salmonidés. *Méthodes* : enquêtes, évaluations de contrôles, représentation cartographique de lieux de capture historiques (« points de capture » fixes), radiopistage. *Lieux* : entre autres : débouchés de rivières, bief aval des barrages d'Iffezheim et de Gamsheim, Rhin.
- c) *Titre provisoire* : Recensement de la pression de prédation sur les poissons migrateurs dévalants. *Méthodes* : analyses des estomacs de cormorans, aspes, sandres et silures ; radiopistage. *Lieux* : entre autres : débouchés de rivières, biefs amont et aval des barrages d'Iffezheim et de Gamsheim, Rhin.
- d) *Titre provisoire* : Comparaison des taux de retour de smolts alevinés marqués et comparaison du taux de smolts dotés de transpondeurs à la dévalaison avec les conditions de débit (y compris les périodes de surverse des barrages au droit des grandes usines) pendant les mois printaniers. *Méthodes* : essais de marquage, contrôles d'adultes de retour, systèmes de recensement par transpondeurs, évaluation de données de débits spécifiques dans les affluents/rivières alevinées. *Lieux* : Rhin inférieur, Rhin moyen, Rhin supérieur septentrional.
- e) *Titre provisoire* : Analyse comparative de la reproduction du saumon dans des affluents sélectionnés du Rhin. *Méthodes* : comptage des nids de ponte, pêche électrique. *Lieux* : affluents accessibles, Rhin en aval d'Iffezheim.
- f) *Titre provisoire* : Analyse de l'utilisation des écluses de navigation et de bateaux de plaisance par les poissons migrateurs en cours de montaison. *Méthodes* : radiopistage, filets soulevés. *Lieux* : Iffezheim, Gamsheim, Moselle/Coblence.
- g) *Titre provisoire* : Evaluation de l'applicabilité des systèmes de guidage des smolts basés sur des dispositifs acoustiques et des sources lumineuses au droit des grandes usines hydroélectriques. *Méthodes* : observations du comportement des poissons, comptages. *Lieux* : Zones de retenue d'Iffezheim, de Gamsheim, Moselle/Coblence.

5. Aménagement/rétablissement de la continuité vers l'amont au droit des barrages de Strasbourg et de Gerstheim (barrages mobiles inclus) et aménagement des seuils dans les festons de Strasbourg, Gerstheim et Rhinau aux fins d'ouverture de l'hydrosystème Elz-Dreisam

La phase I présentée ci-après (cf. chapitre 4.6) porte sur le volet de l'étude de faisabilité réalisée sur l'ouverture de l'hydrosystème Elz-Dreisam (« étude STUCKY » ; cf. STUCKY, 2005, 2006). La principale voie de migration dans l'hydrosystème Elz-Dreisam passe par le canal Leopold qui débouche dans le feston de Rhinau en amont du feston n° 2 (selon l'étude STUCKY, les seuils sont numérotés du bief aval n° 1 au bief amont n° 3). Des informations détaillées sur les connexions entre l'hydrosystème Elz-Dreisam et le Rhin supérieur figurent en annexe VII. Le tab. 19 montre les différentes options proposées dans l'étude STUCKY ainsi que les coûts estimés.

Pour les **usines de Strasbourg et Gerstheim** (ainsi que Rhinau, non pertinente cependant pour l'hydrosystème Elz-Dreisam), trois approches de solutions ont été examinées dans le cadre de l'étude STUCKY :

- Scénario 1 : Passe à bassins Δh 30 cm, débit d'attrait 10-12 m³/s
- Scénario 2 : Passe à bassins Δh 20 cm, débit d'attrait 10-12 m³/s
- Scénario 3 : Rivière artificielle à pente moyenne 1,5%, débit d'attrait max. de 4,5 m³/s.

Observations : Le scénario 2 est recommandé dans le rapport de l'étude pour toutes les usines ; dans les plans en revanche, la faveur est accordée au scénario 3 (rivière artificielle) pour Strasbourg et Gerstheim. Pour les scénarios 1 & 2 appliqués aux usines de Strasbourg et de Gerstheim, on trouve dans le texte les passages identiques suivants : « Ainsi, on peut prévoir pour ces 2 scénarios une attractivité et une efficacité *moyenne* ». Pour le scénario 3, il est dit : « En ce qui concerne le scénario 3 en contournement du poste de couplage, l'entrée aval proche de la restitution des turbines dispose d'une *meilleure* attractivité. Toutefois, le débit entrant dans la passe de 4 m³/s est moins favorable. Malgré cela, on peut prévoir une attractivité et une efficacité *bonnes* ». TRAVADE (communication écrite) indique pour le scénario 3 que le débit de 4,5 m³/s, soit 0,4% du débit d'équipement, est loin d'atteindre le critère minimal de 1% et qu'il faut en rester à la recommandation de l'étude STUCKY sur le scénario 2. Il n'est pas expliqué pourquoi l'étude STUCKY prévoit dans l'évaluation du scénario 3 une *meilleure* attractivité que pour les scénarios 1 et 2.

On recommande d'installer respectivement sur les **barrages mobiles de Strasbourg et de Gerstheim** une passe à bassin Δh 20 cm, le courant d'attrait devant être produit par une mini-centrale (15 m³/s). Sur le barrage mobile de Rhinau, l'étude STUCKY propose une passe à bassins Δh 20 cm sans mini-centrale supplémentaire. Toutes les recommandations correspondent au scénario 2.

Remarque : On ne sait s'il est prévu de construire une installation de protection des poissons à la dévalaison au droit des microcentrales supplémentaires et quels seraient, du point de vue technique, les systèmes de protection à réaliser.

Deux seuils sont en place dans le feston de l'usine de Gerstheim et trois dans le feston de l'usine de Rhinau. On notera cependant que le seuil de Rhinau dans le bief amont (n° 3) n'a aucune pertinence pour l'accès à l'hydrosystème Elz-Dreisam et qu'il n'y a pas à en tenir compte ici.

Feston de Gerstheim : Selon le scénario 2, une passe à bassins doit être mise en place dans le bief aval du seuil n° 1 (hauteur de chute de 150 cm). La passe à poissons peut être conçue avec des cloisons déversantes triangulaires ou des fentes profondes avec des cloisons déversantes (coûts identiques dans les deux cas de figure).

Remarque : Une autre option (scénario 3) légèrement plus onéreuse (0,81 ou 0,98 millions d'euros au lieu de 0,63 millions d'euros) a été rejetée du fait de ces surcoûts. L'étude indique

cependant que le système est plus efficace quand les deux rives sont équipées d'une passe à poissons. En regard des coûts relativement modérés et de la nécessité de réduire autant que possible les effets cumulatifs, on devrait envisager d'opter pour le scénario 2 avec *deux passes à poissons* (rive gauche et rive droite) (les coûts s'élèveraient alors à 1,26 millions d'euros).

Pour le seuil n°2 situé dans le bief amont (hauteur de chute de 140 cm ; 6 bassins, Δh 20 cm), la même logique devrait s'appliquer (coûts totaux de 2 passes à fentes profondes : 1,06 millions d'euros). Les surcoûts dus à la passe à poissons supplémentaire s'élèveraient donc pour les deux ouvrages transversaux du feston de Gerstheim à 1,17 millions d'euros au total.

Feston de Rhinau : Le scénario 2 établi dans l'étude STUCKY devrait également être appliqué aux deux seuils de Rhinau (hauteurs de chute respectives de 200 et 230 cm).

Remarque : Tout comme dans le cas du feston de Gerstheim, on pourrait prévoir deux passes à fentes par ouvrage transversal. Les coûts totaux seraient alors de 3,68 millions d'euros (surcoûts de 2,64 millions d'euros).

Le tab. 19 fait état des scénarios examinés par STUCKY et des coûts estimés.

Tab. 19 : Solutions et coûts proposés par STUCKY (2006) pour le rétablissement de l'accès à l'hydrosystème Elz-Dreisam.

Site	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Remarque
Usine de Strasbourg	Passe à bassins Δh 30 cm 39 bassins Coûts : 10,9 millions €	Passe à bassins Δh 20 cm 58 bassins Coûts : 12,1 millions €	Rivière artificielle 80 seuils coûts 16,2 millions €	
Strasbourg barrage mobile	-	Passe à bassins Δh 20 cm 40 bassins + mini-centrale Coûts : 4,5 millions €	Rivière artificielle 50 seuils coûts 6,7 millions €	Dévalaison prise en compte ?
Usine de Gerstheim	Passe à bassins Δh 30 cm 35 bassins Coûts : 12,6 millions €	Passe à bassins Δh 20 cm 52 bassins Coûts : 13,7 millions €	Rivière artificielle 72 seuils coûts 16,5 millions €	
Gerstheim barrage mobile	-	Passe à bassins Δh 20 cm 45 bassins + mini-centrale Coûts : 4,7 millions €	Rivière artificielle 65 seuils coûts 8,7 millions €	Dévalaison prise en compte ?
Gerstheim 1 ^{er} seuil (bief aval)	-	1 passe à bassins Δh 20 cm 7 bassins Coûts : 0,63 millions €	1 passe à bassins Δh 15 cm 9 bassins Coûts : 0,98 millions € ou 0,81 million €	Avec 2 passes à fentes n = 1,26 million €
Gerstheim 2 ^{ème} seuil (bief amont)	-	1 passe à bassins 6 bassins Δh 20 cm Coûts : 0,54 millions € ou 0,53 million €	1 passe à bassins 8 bassins Δh 15 cm Coûts : 0,88 million € ou 0,73 million €	Avec 2 passes à fentes n = 1,06 million €
Rhinau 1 ^{er} seuil (bief aval)	-	1 passe à bassins Δh 20 cm 9 bassins Coûts : 0,82 millions € ou 0,81 million €	1 passe à bassins Δh 15 cm 12 bassins Coûts : 1,33 million € ou 1,11 million €	Avec 2 passes à fentes n = 1,64 million €
Rhinau 2 ^{ème} seuil (milieu)	-	1 passe à bassins Δh 20 cm 11 bassins Coûts : 1,02 millions €	1 passe à bassins Δh 15 cm 14 bassins Coûts : 1,56 million € ou 1,31 million €	Avec 2 passes à fentes n = 2,04 million €
Coûts totaux		37,99 – 38,01 millions €	52,06 – 52,85 millions €	

La construction de dispositifs de remontée au droit des biefs de Strasbourg et de Gerstheim (barrages mobiles inclus) ainsi que sur les seuils agricoles des festons rhénans de Gertsheim et de Rhinau d'ici 2015 permettrait de redonner accès à l'hydrosystème Elz-Dreisam et à ses 59 ha de frayères et de zones de juvéniles, une superficie correspondant à pratiquement 6 % de la superficie totale de ces habitats dans l'hydrosystème du Rhin. En dernier lieu, l'accès aux habitats situés en amont de l'Elz et de la Dreisam, qui permettrait de reconquérir une surface totale de 192 ha = 19% du total des habitats dans l'hydrosystème du Rhin, devrait passer par l'aménagement des biefs de Rhinau (y compris seuil le plus en amont n° 3 du feston de Rhinau), de Marckolsheim et par une solution de transfert des poissons pour Vogelgrün.

Les coûts totaux s'élèvent à un montant avoisinant les 38 millions d'euros (y compris 16,6 millions d'euros pour solutionner la problématique de Strasbourg) (scénarios 2, rapport de l'étude STUCKY).

Pour optimiser la réparabilité des passes, il conviendrait fondamentalement d'en prévoir 2 (une sur la rive droite, une sur la rive gauche), et ce sur les 4 seuils dans les deux festons de Gerstheim et de Rhinau (jusqu'au débouché du canal Léopold), ce qui n'entraînerait qu'une augmentation modérée des coûts de 3,01 millions d'euros au total (0,75 million d'euros en moyenne par ouvrage transversal).

Des mesures estimées à 4,7 millions d'euros sont prévues d'ici 2015 pour garantir la montaison et la dévalaison des poissons dans le sous-bassin de l'Elz-Dreisam.

Les aménagements devraient fondamentalement être effectués en parallèle sur les usines de Strasbourg et de Gerstheim *ainsi que* sur les barrages respectifs, car les espèces amphihalines sont susceptibles d'emprunter comme voie de migration (selon les conditions de débit) soit le passage au droit de l'usine, soit les festons. Etant donné que le feston de Strasbourg est franchissable et que les seuils du feston de Gerstheim le sont (partiellement) également pour les saumons, on peut considérer en outre, en situation de débit élevé, que les saumons passant par les festons remontent jusqu'aux barrages mobiles installés à l'extrémité amont des festons et qu'ils déploient des efforts intenses (pendant une période prolongée) pour détecter une possibilité de remontée. Du fait de la longueur des festons (6 à 7 km), les poissons seraient orientés dans une voie sans issue sur une très grande distance. On sait cependant que la réparabilité d'un dispositif de franchissement baisse à mesure que l'on s'éloigne de l'usine. Il est certain qu'une telle situation aurait un impact négatif sur un certain nombre de poissons en cours de montaison (fenêtre de temps de migration prolongée, mortalité accrue, interruption de la migration). Comme le montre le tableau 18 (a-c), le saumon ne pourra se réimplanter avec succès dans la partie méridionale du Rhin supérieur que si la franchissabilité est très bonne au droit de tous les dispositifs (perte maximale de 5% au maximum par site). En regard des conditions locales, il n'apparaît pas opportun d'échelonner dans le temps les travaux (par ex. en aménageant en priorité les usines et en réalisant ultérieurement les aménagements dans les festons, pour autant qu'en soit démontrée la nécessité).

Les coûts supplémentaires liés à des dispositifs de dévalaison au droit des microcentrales supplémentaires sur les barrages mobiles de Strasbourg et de Gerstheim sont à intégrer éventuellement dans les calculs.

Bibliographie :

- ARMSTRONG, J.D., KEMP, P.S.; KENNEDY, G.J.A.; LADLE, M. & MILNER, N.J. (2003): Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. - Fisheries Research 62, pp. 143-170.
- ATV-DVWK (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle -. ATV-DVWK Themen, Hennef, 256 p.
- BARTL, G., PAREY, K. & TROSCHER, H.J. (1993): Die historische Entwicklung der Fischerei am Hoch- und Oberrhein in Baden-Württemberg – Materialsammlung, Band I. – Im Auftrag des Landes Baden-Württemberg und des Landesfischereiverbandes Baden-Württemberg e.V.
- BARTL, G. & TROSCHER, H.-J. (1995): Maifische im Rheinsystem – Historische und aktuelle Situation von *Alosa alosa* und *A. fallax* im Rheingebiet. – Studie des Büros f. Gewässerbiologie & Umweltplanung *Limnofisch*, Umkirch und Wittenborn, 56 p. + Annex.
- BLASEL, K. (2004): Einfluss der Kormoran-Prädation auf den Fischbestand im Restrhein. – Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, Sölden, 41 p.
- BLASEL, K. (2008): Wiederbesiedlungspotenzial für das Meerneunauge (*Petromyzon marinus*) im Südlichen Oberrheingebiet (Regierungsbezirk Freiburg). – Studie im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, Sölden, 17 p.
- BOOTH, R.K., KIEFFER, J.D., DAVIDSON, K., BIELAK, A.T. & TUFTS, B.L. (1995): Effects of late-season catch and release angling on anaerobic metabolism, acid–base status, survival, and gamete viability in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52 (1995), pp. 283–290.
- BRAUCH, H.-J. (2007): Arzneimittelrückstände und andere Mikroverunreinigungen - Quellen, Eintragspfade und Vorkommen im Rhein: Prof. Dr. Heinz-Jürgen Brauch, DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe (D); Vortrag Workshop IKS 2007: www.iksr.org.
- BROBBEL, M.A., WILKIE, M.P., DAVIDSON, K., KIEFFER, J.D., BIELAK, A.T. & TUFTS, B.L. (1996): Physiological effects of catch and release angling in Atlantic salmon (*Salmo salar*) at different stages of freshwater migration. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53 (1996), pp. 2036-2043.
- BÜRGER, F. (1926): Die Fischereiverhältnisse im Rhein im Bereich der preußischen Rheinprovinz. - Zeitschrift für Fischerei 24: pp. 217-398.
- BRUIJS, M.C.M (2007): Cost-effectiveness of fish protection systems at the hydropower stations Alphen and Linne in the river Meuse. - www.fiskeriverket.se/download/18.64db7e331133fb433ef8000262/ SS_Bruijs2.pdf.
- CALDERWOOD, W. L. (1945): Passage of smolts through turbines: effect of high pressures. – Salmon Trout Mag. 115,2 1422 1.
- CIPR (2004) : Rhin & saumon 2020 – Programme sur les poissons migrations dans l’hydrosystème du Rhin – Commission Internationale pour la Protection du Rhin (éd.), Coblence, 31 p.
- CIPR (2007) : Saumon 2020 – Mise à jour du programme sur la protection et réintroduction de poissons migrateurs – Commission Internationale pour la Protection du Rhin (éd.), Carte mise à jour en 2007.
- CLAIR, B., SCHAEFFER, F. & EDEL, G. (2005): Suivi de la reproduction des migrateurs amphihalins en Alsace – Lamproie marine (*Petromyzon marinus*) & Saumon atlantique (*Salmo salar*), Campagne 2004. - Association Saumon-Rhin, 22 pp.
- CONSUEGRA, S. & NIELSEN, E.E. (2007): Population size reductions. – in: VERSPOOR, E., STRADMEYER, L. & NIELSEN, J.L. (2007): The Atlantic salmon – Genetics, conservation and management. Blackwell Publishing, 2007; p 239-269.
- CROSS, T.F., MCGINNITY, P., COUGHLAN, J., DILLANE, E., FERGUSON, A., KOLJONEN, M.-L., MILNER, N., O'REILLY, P. & VASEMÄGI, A. (2007): Stocking and ranching. - In: Verspoor, E., Stradmeyer, L. &

- Nielsen, J.L.: The Atlantic salmon – Genetics, conservation and management, p. 325–356. Blackwell Publishing, 2007.
- DAVIES, J.K. (1988): A review of information relating to fish passage through turbines: implications to tidal power schemes. - J. Fish Biol. (1988) 33 (Supplement A), 11 1-126.
- DEMPSON, J.B., SCHWARZ, C.J., REDDIN, D.G., O'CONNELL, M.F., MULLINS, C.C. & BOURGEOIS, C.E. (2001): Estimation of marine exploitation rates on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks in Newfoundland, Canada. - ICES Journal of Marine Science 58: 331-341.
- DIRKSMEYER, J. (2008): Untersuchungen zur Ökomorphologie der Laichhabitats von Lachsen und Meerforellen in Deutschland. – Bibliothek Natur & Wissenschaft Bd. 18, Solingen, 227 pp.
- GROOT, S.J. de (1989): Literature survey into the possibility of restocking the river Rhine and its tributaries with Atlantic salmon (*Salmo salar*). - RIVO report: MO 88-205/89.2, IJmuiden, The Netherlands, 56 pp.
- HASSINGER, R. (2007): Steigerung der Energieumwandlung in Schlitzpässen mit Borstenelementen. – Bericht über Laborversuche im Maßstab 1 : 1; im Auftrag der SW-Umwelttechnik, Klagenfurt; Universität Kassel, 11 pp. + Annex
- HÖFER, R. & RIEDMÜLLER, U. (1996): Fischschäden bei Salmoniden durch Turbinen von Wasserkraftanlagen. - Gutachten, Kirchzarten; 86 P.
- HOLZNER, M. (1999): Untersuchung zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich, dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main / Unterfranken. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern, Heft 1, 224 pp.
- HUTCHINGS, J.A. & JONES, M.E.B. (1998): Life history variation and growth rate thresholds for maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55(S1), p. 22–47
- IBBOTSON, A. T., BEAUMONT, W. R. C., PINDER, A., WELTON, S., LADLE, M. (2006): Diel migration patterns of Atlantic salmon smolts with particular reference to the absence of crepuscular migration. *Ecology of Freshwater Fish*, 15; p. 544-551
- INGENDAHL, D. (1999): Der Reproduktionserfolg von Meerforelle (*Salmo trutta* L.) und Lachs (*Salmo salar* L.) in Korrelation zu den Milieubedingungen des hyporheischen Interstitials. - Dissertation, Hundt Druck, Köln, 157 pp.
- INGENDAHL, D. (2007): Downstream migration of Atlantic salmon smolts in the Rhine delta: results of a transponder study 2006/2007. – Vortrag
- INGENIEURBÜRO FLOECKSMÜHLE (2005a): Handbuch Querbauwerke. - Ministerium f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW [Hrsg.]; Düsseldorf, 212 pp.
- INGENIEURBÜRO FLOECKSMÜHLE (2005b): Studie zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit der Sieg. – Abschlussbericht; im Auftrag der Landesanstalt f. Ökologie, Bodenordnung u. Forsten (LÖBF) NRW; Aachen 2005, 231 pp.
- JANSEN, H.M., WINTER, H.V., TULP, I.Y.M., BULT, T.P., HAL, R. VAN, BOSVELD, J. & VONK, R. (2008): Bijvangst van salmoniden en overige trekvis vanuit een populatieperspectief. - IJmuiden : IMARES, 2008 (Rapport / IMARES C039/08), 120 p.
- JEPSEN, N., AARESTRUP, K., ØKLAND, F., RASMUSSEN, G. (1998): Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372: pp. 347-353.
- JURJENS, H. (2006): The migration of salmonids through the Rhine delta. – Thesis Aquatic Ecology and Water Quality Management, AEW-80439, Report number 007/2006, Wageningen University; 63 p. + Annex
- KIECKBUSCH, J. & KNIEF, W. (2007): Brutbestandsentwicklung des Kormorans (*Phalacrocorax carbo sinensis*) in Deutschland und Europa. BfN Skripte (Kormoranfachtagung Stralsund) (104), pp. 28-47.

- KNUDSEN, F.R., ENGER, P.S. & SAND, O. (1993): Avoidance responses to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon smolt, *Salmo salar*. - J. Fish Biol. 45, pp. 227-233.
- LARINIER, M. & DARTIGUELONGUE, J. (1989): La Circulation des Poissons Migrateurs: Le Transit a Travers les Turbines des Installations Hydroelectriques. - Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture; 312 – 313; p. 1-90
- LARINIER, M. & TRAVADE, F. (2002a): Design of fishways for shad. – In: Fishways: biological basis, design criteria and monitoring" Bull. Fr. Pêche Piscic. (2002) 364 suppl., p. 135-146.
- LARINIER, M. & TRAVADE, F. (2002b): Downstream Migration: Problems and facilities. – In: Fishways: biological basis, design criteria and monitoring" Bull. Fr. Pêche Piscic. (2002) 364 suppl., p. 181-207.
- LARINIER, M. & TRAVADE, F. (2008): Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit in Höhe des Kraftwerks Vogelgrün im Rhein. – Gutachten, Bericht GHAPPE EX08.02 & EDF R&D CR-P76/08/020, 7 pp.
- LAUTERBORN, R. (2009): 50 Jahre Rheinforschung. – RegioWasser e.V. [Hrsg.], Lavori Verlag Freiburg, 815 pp.
- LUWG (2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz. – LUWG-Bericht 2/2008; Landesamt f. Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mainz; 132 p. + Annex.
- MUNLV (2006): Leitfaden zur wasserwirtschaftlichökologischen Sanierung von Salmonidenlaichgewässern in NRW; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW [Hrsg.], Düsseldorf, 168 pp.
- NEMITZ, A. & MOLLS, F. (1999): Anleitung zur Kartierung von Fießstrecken im Hinblick auf ihre Eignung als Besatzorte für 0+-Lachse (*Salmo salar* L.). – LÖBF, Beiträge aus den Fischereidezernaten, Heft 4, S. 50.
- NIEPAGENKEMPER, O. & MEYER, E. (2003): Messungen der Sauerstoffkonzentration in Flusssedimenten zur Beurteilung von potentiellen Laichplätzen von Lachs und Meerforelle. - Landesfischereiverband Westfalen und Lippe e.V. (Hrsg.); Münster, 87 pp.
- OFEV (2008): Fischeaufstieg am Hochrhein. Koordinierte Zählung 2005/06. - Umwelt-Wissen Nr. 8010. Office fédéral de l'Environnement (OFEV); Bearbeitung: GUTHRUF J., Bern. 161 p.
- OFPEP (2005): Rückkehr der Lachse in Wiese, Birs und Ergolz – Statusbericht 2004. - Mitteilungen zur Fischerei Nr. 79; Office fédéral de l'Environnement, du Paysage et des Forêts, 47 p.
- Peñailillo, R., Icke, J. & Jeucken, A. (2008): Effects of the meteorological conditions and cooling water discharges on the water temperature of Rhine River. – 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008); 8 pp.
- ROCHE, P. (1991) : Le saumon du Rhin : Habitats et stocks potentiels en partie française. – Metz, CSP, 36 pp.
- SAUMON-RHIN (2005): Suivi par radiopistage de truites de mer sur le Haut Rhin dans la région de Bâle (CH) - Campagne 2005/2005. – Rapport final, Avril 2005.
- SAUMON-RHIN (2008a) : Repeuplement et suivi annuel des juvéniles de saumon atlantique en Alsace – Resultats 2006. – Association Saumon-Rhin & Office National de l'Eau et des Mieux Aquatiques ; 22 pp. + Annexes
- SAUMON-RHIN (2008b) : Carte schématique des difficultés de franchissement pour les salmonidés migrateurs sur le Rhin et le cours principal de l'Il - Etat d'avancement au 15 Avril 2008. - Document de travail Association Saumon-Rhin (ASR)

- SCHNEIDER, J. (1998): Zeitliche und räumliche Einnischung juveniler Lachse (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) allochthoner Herkunft in ausgewählten Habitaten. - Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen; 218 pp.
- SCHNEIDER, J. (2001): Restocking the Rhine - which non-native salmon stocks could be the better source? Biological considerations and first experiences. - in: El Salmón, Joya de Nuestros Rios. - GARCIA DE LEANIZ, C; SERDIO, A. & CONSUEGRA, S. (eds.); Gobierno de Cantabria, Santander, p. 125-134.
- SCHNEIDER, J. (2002): Zur ursprünglichen Laichzeit des Sieglachses und Stammauswahl bei der Wiedereinbürgerung. - Fischer & Teichwirt 8/2002, p. 304-307.
- SCHNEIDER, J. (2005): Letale Vergrämung von Kormoranen im Einzugsgebiet der rheinland-pfälzischen Sieg und Nister. - Studie im Auftrag der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Koblenz; BFS, Frankfurt a. M., 52 pp.
- SCHNEIDER, J. (2007a): Erfolgskontrolle von Besatzmaßnahmen mit Atlantischen Lachsen (*Salmo salar* L.) in den Gewässersystemen Kyll, Prüm und Elzbach sowie Monitoring der spontanen Wiederbesiedlung der Nette - Lachs 2020 in Rheinland-Pfalz. - Studie im Auftrag der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Obere Fischereibehörde; BFS, Frankfurt a. M., 34 pp.
- SCHNEIDER, J. (2007b): Erfolgskontrolle der Wiedereinbürgerung von Lachs (*Salmo salar* L.) und Meerforelle (*Salmo trutta*L.) in Sieg, Saynbach, Ahr und Lahn (Rheinland-Pfalz). - Projektphase IV, 2. Zwischenbericht. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz; BFS, Frankfurt a. M., 66 pp.
- SCHNEIDER, J. (2008): Erfolgskontrolle von Besatzmaßnahmen mit Atlantischen Lachsen (*Salmo salar* L.) in den Gewässersystemen Kyll, Prüm und Elzbach sowie Monitoring der spontanen Wiederbesiedlung der Nette - Lachs 2020 in Rheinland-Pfalz – Endbericht 2007. - Studie im Auftrag der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Obere Fischereibehörde; BFS, Frankfurt a. M., 67 pp.
- SCHNEIDER, J. JÖRGENSEN, L. MOLLS, F. NEMITZ, A. KÖHLER, C. & BLASEL, K. (2004): Notwendigkeit und konzeptionelle Ausrichtung eines effektiven Monitorings bei der Lachswiederansiedlung im Rhein - das Monitoring-Einheiten-Konzept. - Fischer & Teichwirt, 2/2004.
- SCHNEIDER, M. & JORDE, K. (2004): Mindestwasseruntersuchungen im Restrhein auf der Basis von ökohydraulischen Simulationen. – Teilbericht einer Umweltverträglichkeitsstudie für die Neukonzessionierung des Kraftwerkes Kembs der Electricité de France; Studie im Auftrag der EdF; Stuttgart, 75 p.
- SCHULTZ, S. (2006): Le retour du saumon dans les cours d'eau alsaciens. Approche coût / efficacité des travaux nécessaires. – Mémoire de fin d'études, Enesad, 44 pp. + Annex Le retour du saumon dans les cours d'eau alsaciens.
- SEILER, H. (1999): Zur Geschichte der Lachsfischerei im Bezirk Trier insbesondere zu deren Niedergang und Ende. – Bezirksregierung Trier (Hrsg.), 30 pp.
- SKALSKI, J.R., MATHUR, D. & HEISEY, P.G. (2002): Effects of Turbine Operating Efficiency on Smolt Passage Survival. - North Am. J. Fisheries Manage. 22 (4) (2002), pp. 1193–1200.
- STUCKY (2005) : Etude de faisabilité du rétablissement de la continuité écologique du Rhin supérieur pour la faune piscicole – phase 2, propositions de solutions – cahier de plans ; réalisée pour la CIPR
- STUCKY (2006) : Etude de faisabilité du rétablissement de la continuité écologique du Rhin supérieur pour la faune piscicole – phase 2, propositions de solutions – rapport réalisé pour la CIPR, 109 p.
- TAYLOR, R.E. & KYNARD, B. (1985): Mortality of juvenile american shad and blueback herring passed through a low-head Kaplan hydroelectric turbine. - Transactions of the American Fisheries Society; 114; 3; p. 430 – 435
- TRAVADE, F. & LARINIER, M. (2002): Fish locks and fish lifts. – In: Fishways: biological basis, design criteria and monitoring" Bull. Fr. Pêche Piscic. (2002) 364 suppl., pp. 102-118.

TRAVADE, F. & LARINIER, M. (2006): French experience in downstream migration devices. – In: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna. – Int. DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft, pp. 91-99.

TREFETHEN, P.S. (1968): Fish - Passage Research, Review of Progress, 1961 – 1966. - Washington D.C.; United States Department of the Interior, no. 254.; 25 pp.

ANNEXE

Recommandations de la CIPR aux Etats riverains du Rhin sur la réduction des pêches accessoires et des captures illicites de saumons, de truites de mer et de truites lacustres (dénommés ci-après salmonidés)

Mise à jour : juillet 2009

1. Etudes complémentaires et améliorées

2.

Des études supplémentaires réalisées au moyen de méthodes et d'engins de pêche professionnelle différents peuvent aider à mieux appréhender les causes réelles des pertes de salmonidés et à abaisser le taux de mortalité.

2. Réglementation adaptée

- a. Les dispositions relatives à la capture et au commerce des salmonidés et les obligations de remise à l'eau sont bien ancrées dans la loi.
- b. Les peines encourues en cas d'infraction aux dispositions d'interdiction (par ex. sous forme d'amendes) doivent correspondre à l'avantage (économique) lié à la capture et au commerce de salmonidés et être suffisamment « dissuasives ». Pour les pêcheurs professionnels, les infractions peuvent être liées à la non prolongation, voire même au retrait du permis de pêche.
- c. Le respect des interdictions doit être contrôlable dans la pratique (cf. exemple au point 4 c).

3. Information

- a. Information active de certains groupes cibles
 - Pêcheurs amateurs (pêcheurs à la ligne et pêcheurs de loisir)
 - Pêcheurs professionnels
 - Police et gardes-pêche
 - Collaborateurs d'enchères piscicoles et poissonniers

L'information consiste à expliquer

- pourquoi il est si important de ne pas prélever de salmonidés
 - comment on peut minimiser les dommages causés involontairement aux salmonidés dans le cadre d'activités de pêche d'autres espèces
 - quelles sont les interdictions de prélèvement et de commerce des salmonidés. Il convient également de mentionner les amendes et autres pénalités éventuelles.
- b. Information du public (également par le biais de la presse) sur le retour du saumon et de la truite de mer dans le Rhin et la Meuse, sur les succès enregistrés et sur l'importance pour la reconstitution des peuplements que soient prélevés le moins possible de salmonidés. Des exceptions ne peuvent être autorisées que si les mesures soutiennent les programmes de réimplantation du saumon et de la truite lacustre (par ex. prélèvement de géniteurs pour l'élevage).

4. Franchissabilité des ouvrages et autres obstacles

- a. La franchissabilité des ouvrages réalisée selon l'état actuel de la technique permet à un nombre plus important de salmonidés (et d'autres poissons) de remonter les cours

d'eau et de se reproduire. Elle réduit par ailleurs la durée de séjour des salmonidés au pied des ouvrages et leur rassemblement là où ils ont des difficultés à poursuivre leur montaison – une situation dans laquelle les salmonidés sont particulièrement vulnérables (poissons carnassiers, pêcheurs).

- b. Il est recommandé de profiter au mieux des synergies entre l'amélioration de la franchissabilité et les mesures découlant du règlement sur l'anguille.
- c. En ce sens, il est recommandé d'instituer une interdiction totale de la pêche dans un rayon de 300 m autour des petits ouvrages et de 500 m autour des ouvrages de plus grande taille et des seuils naturels où les salmonidés peuvent se rassembler en grand nombre pendant leur migration. Il est beaucoup plus facile de gérer une interdiction totale de la pêche dans les zones situées à proximité d'ouvrages que d'émettre une interdiction spécifique sur la capture et la non remise à l'eau d'espèces particulières de salmonidés.

5. Contrôle

- a. D'après les indications des Etats riverains du Rhin, il n'a été relevé jusqu'à présent que quelques cas isolés de captures illégales de saumons, truites de mer ou truites lacustres. Diverses sources d'information disponibles, autant sous forme d'études que de communications personnelles de pêcheurs à la ligne et d'experts piscicoles, signalent cependant l'existence de captures illégales réitérées dans différents tronçons du Rhin. Les interdictions de prélèvement et de commerce de saumons, truites de mer et truites lacustres et l'obligation de remise à l'eau doivent donc être mises en œuvre systématiquement pour être efficaces en pratique. Si le risque d'être pris en flagrant délit reste très faible, les interdictions seront peu efficaces, surtout pour les personnes tirant un avantage (économique) de la capture des salmonidés.
- b. Les services responsables du maintien de l'ordre et les autorités de contrôle devraient charger des « gardes-pêche » (gardes-saumons) connaissant bien les lieux de collecter avec l'aide des pêcheurs à la ligne locaux des informations sur le lieu, l'heure et les conditions précises dans lesquelles sont effectuées les prises illicites dans certaines zones protégées ou sur des sites connus comme étant des « hotspots » de captures illicites. On s'efforcera ici de coopérer étroitement avec la police des eaux.
- c. On recommande également de rechercher la coopération avec les gestionnaires des ouvrages de retenue pour garantir la bonne application de l'interdiction de pêcher dans les zones correspondantes situées autour des ouvrages. De nombreux ouvrages sont équipés d'un système de contrôle de commande et de gestion par vidéo-surveillance autonome. Dans une certaine mesure, ce système peut également être utilisé pour contrôler l'interdiction de pêche, eu égard aux dispositions juridiques en vigueur sur la protection des données.
- d. Les autorités de contrôle des denrées alimentaires sont priées de contrôler l'origine des saumons proposés dans le commerce et les établissements gastronomiques.

6. Rapportage international

Il est prévu d'organiser une fois par an au niveau des experts de la CIPR un échange d'informations sur la mise en œuvre de ces recommandations dans les Etats du bassin du Rhin et sur leur efficacité en pratique. Un rapport correspondant est à soumettre à PLEN-CC 2012.

ANNEXE II

Procès-verbal de l'entretien du 14.11.2007 sur le thème « Captures accessoires et pêche illégale »

Dr. JÖRG SCHNEIDER, BFS:

Interlocuteur: GUIDO HAUBRICH de Bendorf/Rhein

Monsieur Haubrich déclare qu'il connaît parfaitement le tronçon du Rhin compris entre Linz et le débouché de la Lahn. Il pêche à la ligne dans le Rhin et divers affluents rhénans (entre autres le Saynbach et la Nette) depuis son enfance.

Monsieur Haubrich a pêché un saumon le 18.11.2008 (une femelle de 85 cm ayant frayé). Il affirme en outre, photo à l'appui, avoir pêché une truite de mer le 24.09.2008 (poisson œuvé d'env. 75 cm). Ces deux prises ont eu lieu dans le Rhin à hauteur de St. Sebastian. Au cours des 10 dernières années, Monsieur Haubrich a pêché env. 10 saumons et 20 truites de mer qu'il a ensuite remis à l'eau (capture involontaire lors de pêche aux carnassiers avec appât spécial pour carnassiers).

Monsieur Haubrich a connaissance de 8 autres captures de grands salmonidés pêchés entre Linz et le débouché de la Lahn en 2008 et il estime qu'un poisson sur deux n'a pas été remis à l'eau. Il estime également qu'un « pêcheur spécialisé dans la pêche aux carnassiers » capture accessoirement environ 2 à 3 grands salmonidés chaque année dans le Rhin. Il pense qu'un pourcentage élevé de ces poissons n'est pas remis à l'eau. Il a connaissance d'activités intensives de pêche nocturne à la ligne à partir de barques (rapides) sans éclairage évoluant sur des sites fréquentés par des grands salmonidés entre Coblenz et Andernach. La police des eaux, avertie par téléphone à de multiples occasions, n'aurait pas donné suite. Il semblerait qu'une pêche à la ligne ciblée sur les salmonidés et pratiquée à la nuit tombante, principalement autour de minuit, se soit développée dans les zones d'interdiction de pêche (entre autres les zones de débouché du Saynbach, de la Nette et de l'Ahr en Rhénanie-Palatinat) depuis l'entrée en vigueur des interdictions.

Dans certains tronçons du Rhin (par ex. dans le bras de Vallendar), on peut voir, quand les conditions sont favorables, les saumons faire « le gros dos » (explications : faire le gros dos et sauter sont deux comportements typiques du saumon, dont la partie supérieure du corps émerge nettement de la surface de l'eau quand il « fait le gros dos »).

Les abords du courant, les annexes hydrauliques, les têtes et les champs d'épis ainsi que les zones portuaires sont les endroits où les chances de capture de grands salmonidés sont les plus élevées.

De l'avis de Monsieur Haubrich, les sites de pêche « connus » souvent fréquentés par les grands salmonidés sont les suivants :

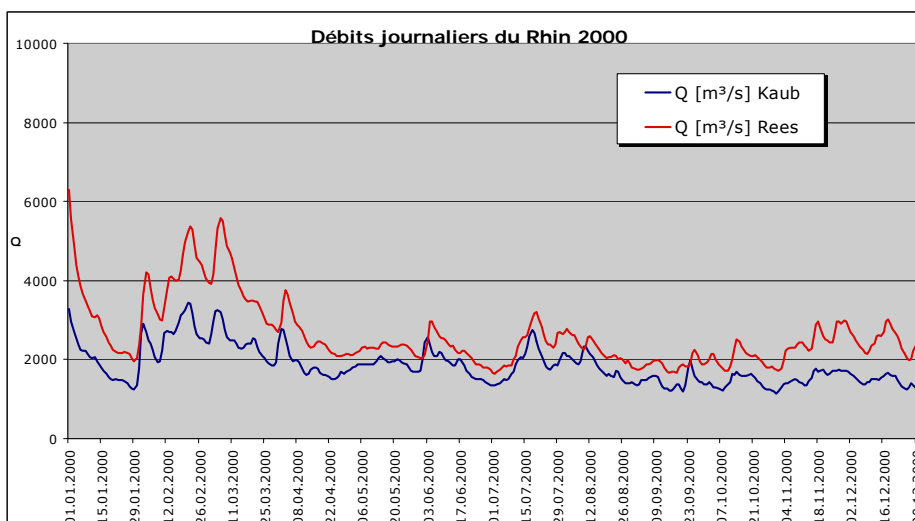
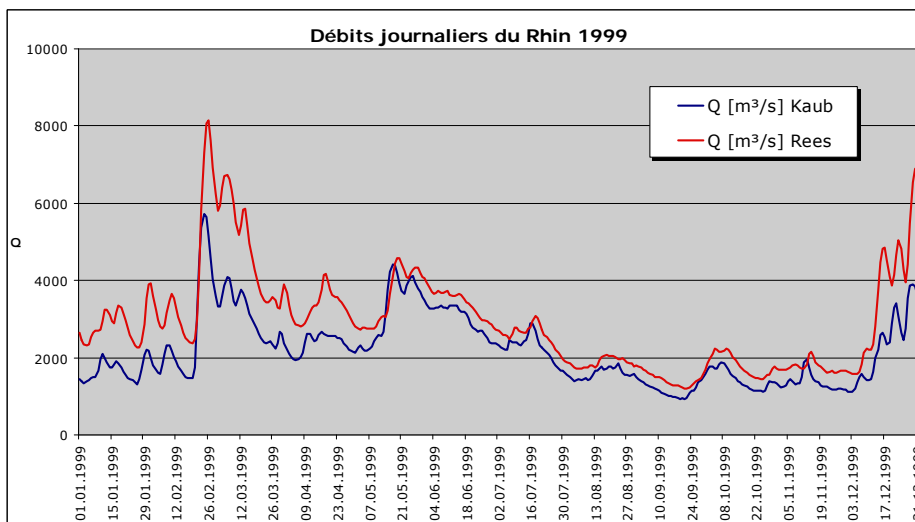
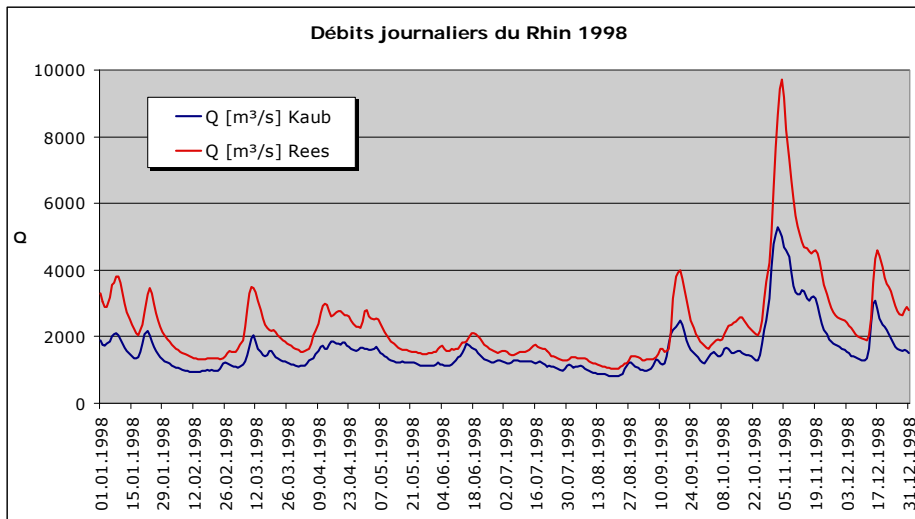
- débouché de la Lahn
- bras de Vallendar
- zone riveraine de Vallendar
- zone portuaire de Bendorf (près du débouché du Saynbach)
- île d'Urmitzer Werth (réserve naturelle)
- Namedy
- île d'Hammersteiner Werth
- port d'Andernach
- en aval du port de Brohl

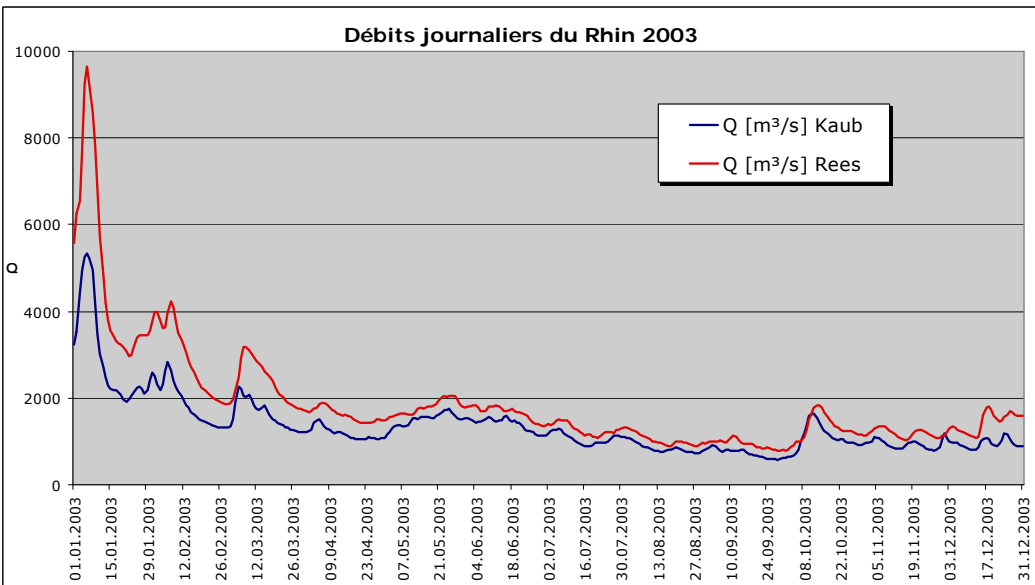
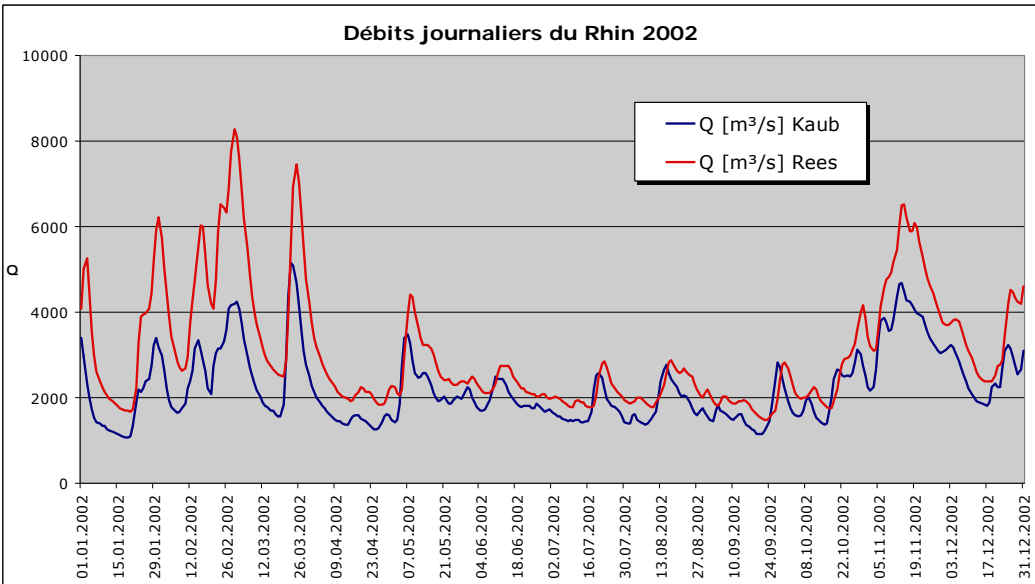
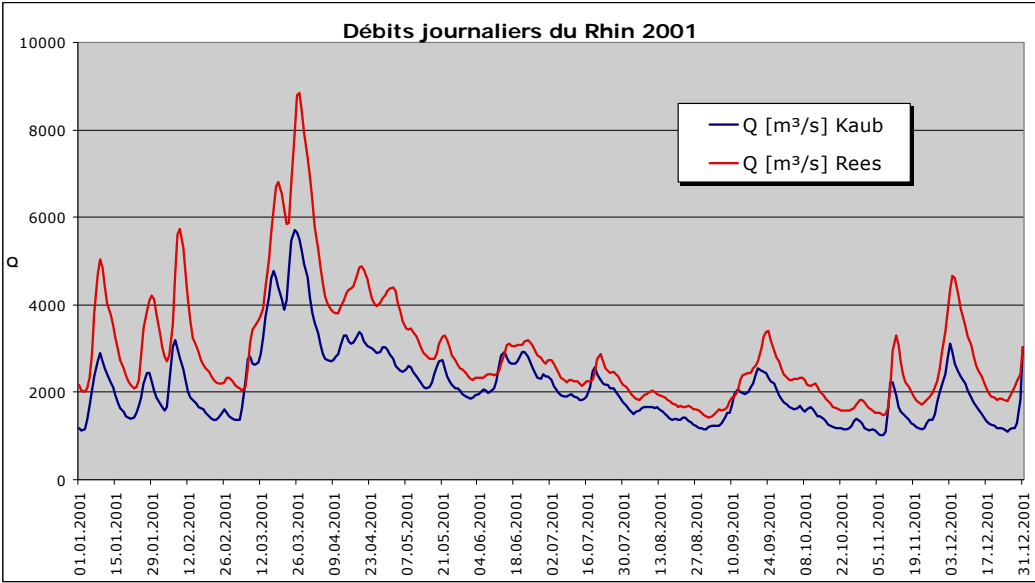
Nids de ponte :

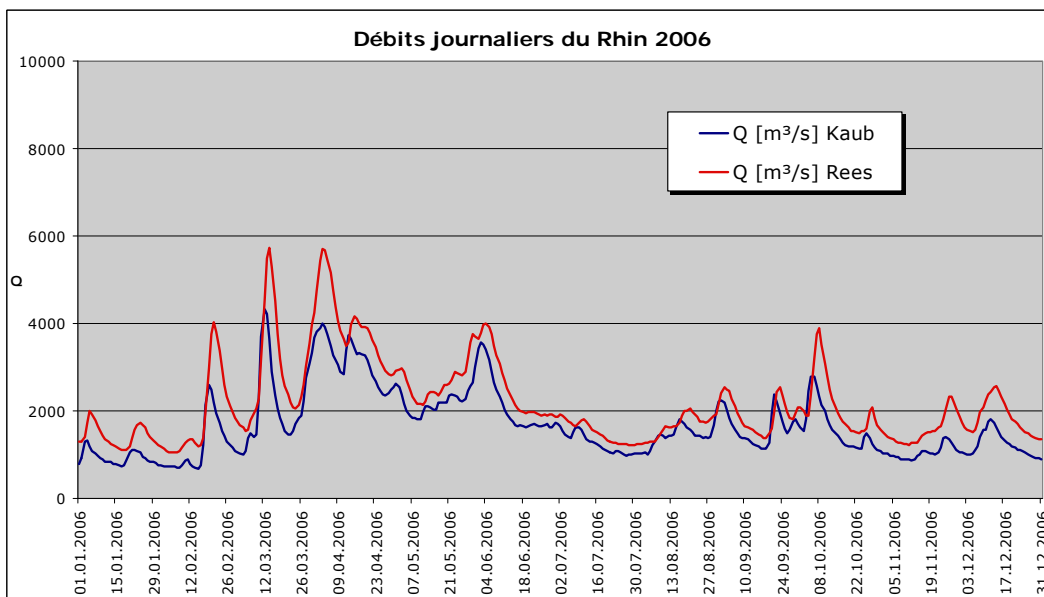
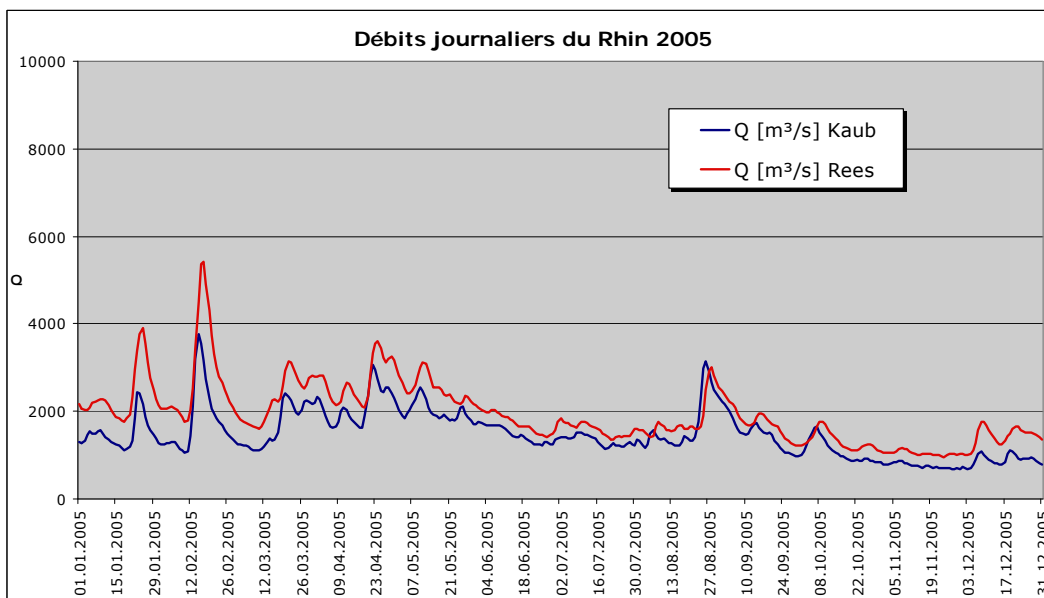
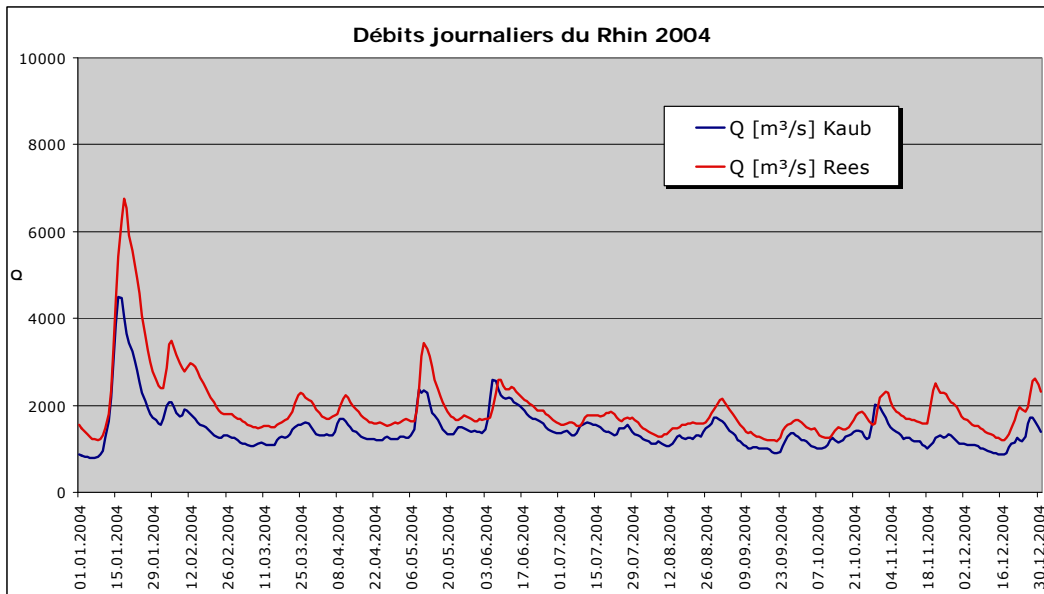
Monsieur Haubrich a détecté à plusieurs occasions des nids de ponte étendus dans le Rhin, notamment dans le bras de Vallendar (banc de gravier dans la partie aval, grands salmonidés faisant « le gros dos ») et dans l'Urmitzer Werth (banc de gravier dans la partie aval).

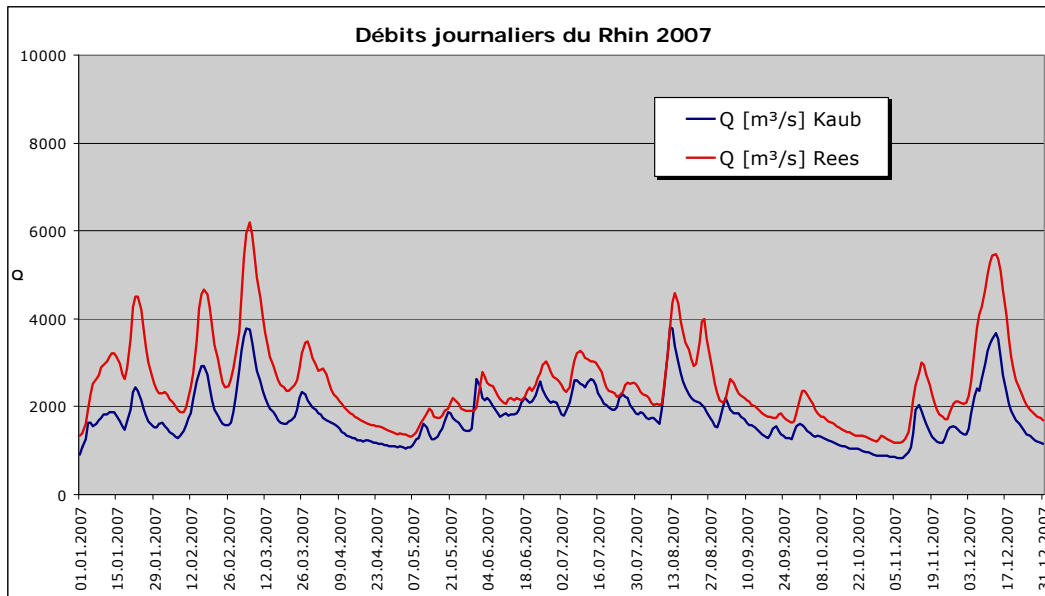
Monsieur Haubrich estime qu'une protection plus efficace des grands salmonidés passe obligatoirement par une intensification des contrôles. Les interdictions s'appliquant aux réserves de pêche sont souvent ignorées et restent sous une forte pression de pêche à la ligne, en particulier la nuit. Il propose que soit créé un poste de « Ranger » (garde-pêche) affecté à la protection du saumon, entretenant des contacts avec les pêcheurs à la ligne (pour les sensibiliser et obtenir des informations) et effectuant fréquemment des contrôles (effet de dissuasion), entre autres par bateau.

Débits du Rhin 1998 – 2007 aux échelles de Kaub et de Rees









Moyennes des débits du Rhin (m³/s) aux échelles de Kaub et de Rees pendant la période de migration des saumoneaux (avril, mai, juin)

Kaub	Avril	Mai	Juin	Rees	Avril	Mai	Juin
1998	1584	1316	1353	1998	2391	1871	1736
1999	2357	3244	3028	1999	3334	3570	3425
2000	1836	1884	1873	2000	2584	2273	2247
2001	3081	2356	2416	2001	4424	3180	2733
2002	1545	2243	1943	2002	2244	2824	2296
2003	1185	1503	1402	2003	1608	1783	1673
2004	1343	1580	1842	2004	1763	2043	2032
2005	2135	1996	1469	2005	2702	2522	1739
2006	3139	2220	2124	2006	3987	2697	2564
2007	1355	1464	2084	2007	1918	1756	2457

Stations de contrôle installées sur le Rhin supérieur :

Résultats des comptages de poissons dans la passe d'Iffezheim de 2000 à 2008

Résultats des comptages de poissons dans la passe de Gamsheim de 2006 à 2008

Résultats des comptages de poissons dans la passe d'Iffezheim de 2000 à 2008

	2000 13.06 - 31.12.	2001 1.1. - 31.12.	2002 4.3. - 31.12.	2003 1.1. - 31.12.	2004 1.1. - 31.12.	2005 1.1. - 31.12.	2006 1.1. - 31.12.	2007 1.1. - 31.12.	2008 1.1. - 31.12.	Total
GRANDS MIGRATEURS										
Saumon	75	61	103	90	72	49	47	62	86	645
Truite de mer	383	226	309	88	92	59	53	115	101	1.426
Grande alose	2	4	3	3	9	7	2	2	2	34
Anguille**	230	339	255	433	238	1.431	276	1.418	12.886	17.506
Lamproie fluviatile					1					1
Lamproie marine		205	57	80	137	103	192	208	145	1.127
PETITS ET MOYENS MIGRATEURS										
Ombre commun		3	1	1	2					7
Truite fario	12	41	28	28	9	24	18	20	13	193
Saumon de fontaine		4		1						5
Barbeau	3.586	6.593	4.088	9.727	7.480	7.231	7.341	4.633	2.064	52.743
Perche	13	2		6	4	17	6	6	3	57
Brème	1.123	2.341	2.778	5.867	12.144	4.122	4.889	6.212	2.941	42.417
Petits cyprinidés*			39	44	240	145	176	78	30	752
Corégone										0
Chevesne	36	245	187	156	220	198	162	281	145	1.630
Carpe chinoise			1	3	2	3	5		1	15
Chabot		6	2					1		9
Goujon		5	1		1	3	6	2		18
Brème bordelière	2	81	23	29	32	13		2		182
Vandoise	29	7	4	48	47			3	3	141
Brochet			1		1					2
Carassin	1			2	1	1			2	7
Carpe		4	3	3	15	3	7	10	4	49
Grémille		1	2							3
Hotu	558	2.592	2.135	2.081	2.685	1.461	1.220	4.964	720	18.416
Lotte de rivière			1							1
Aspe	386	1.228	2.646	2.634	2.807	1.871	2.548	5.639	2.122	21.881
Truite arc-en-ciel	4	9		5	2	3	2	4	2	31
Gardon	169	246	199	997	586	333	254	262	84	3.130
Rotengle				6	2		5		2	15
Petits salmonidés*		30	21	22				2		75
Tanche		3	6	1	4	3	7	5	9	38
Ablette**	152	59	38	68	117	16	178	37	726	1.391
Silure		1	7	7	32	27	22	24	16	136
Vimbe	1	1		2		2				6
Sandre	10	1	5	4		3	5		2	30
Brème du Danube	34	41	201	126	302	142	59	41	123	1.069
Total	6.806	14.379	13.144	22.562	27.284	17.270	17.480	24.031	22.232	165.188

*: L'enregistrement vidéo ne permet pas de différencier précisément les cyprinidés inférieurs à environ 30 cm des salmonidés de moins de 25 cm.

** : Les remontées de l'anguille et de l'ablette ne sont pas intégralement recensées par le système vidéo à Iffezheim. Des observations directes montrent que le nombre réel d'anguilles remontantes est nettement plus élevé.

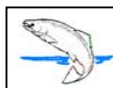
Résultats des comptages de poissons dans la passe de Gamsheim de 2006 à 2008

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006 12.4. - 31.12.	2007 1.1. - 31.12.	2008 1.1. - 31.12.	Total
GRANDS MIGRATEURS										
Saumon							18	27	70	115
Truite de mer							31	89	78	198
Grande alose							6	6		12
Anguille							27.930	14.135	22.893	64.958
Lamproie fluviatile										0
Lamproie marine							31	110	47	188
PETITS ET MOYENS MIGRATEURS										
Ombre commun										0
Truite fario							23	39	44	106
Saumon de fontaine										0
Barbeau							8.606	6.839	3.870	19.315
Perche							29	68	38	135
Brème							20.075	14.367	6.438	40.880
Petits cyprinidés*							527	211	585	1.323
Corégone									1	1
Chevesne							188	208	75	471
Carpe chinoise							7	6	2	15
Chabot										0
Goujon									13	13
Brème bordelière									1	1
Vandoise										0
Brochet								2	1	3
Carassin								2	5	7
Carpe							22	16	20	58
Grémille										0
Hotu							2.501	9.210	1.875	13.586
Lotte de rivière										0
Aspe							1.908	5.283	1.751	8.942
Truite arc-en-ciel										0
Gardon							428	431	202	1.061
Rotengle										0
Petits salmonidés*								8		8
Tanche							28	34	11	73
Ablette							2.134	3.786	368	6.288
Silure							54	32	20	106
Vimbe										0
Sandre										0
Brème du Danube										0
Total							64.546	54.909	38.408	157.863

* : L'enregistrement vidéo ne permet pas de différencier précisément les cyprinidés inférieurs à environ 30 cm des salmonidés de moins de 25 cm.

Statistiques de la CIPR « Saumons identifiés dans l'hydrosystème du Rhin » 1990 - 2008

ANNEXE V



Saumons adultes identifiés dans l'hydrosystème du Rhin depuis 1990

(statistiques CIPR sur les retours)

Suisse/France/D		F + CH Bade-Wurtemberg					Hesse et Rhénanie-Palatinat							Rhénanie-du-Nord.-Westphalie					Pays-Bas			Rhin			
Année	Gamb.	Iffezh.	Rhein/III	Murg	Kinzig	Rench	Alb	Autres	Wisper	Nette	Lahn	Saynb	Moselle	Ahr	Sieg	Rhein	Sieg	Wupper	Ruhr	Lippe	Waal	Lek	Ijssel	Total	
1990																	1							1	
1991																	2							2	
1992																	10							10	
1993																2	16							18	
1994													0				9				16	7	x	32	
1995		9											1			1	6				7	4	x	28	
1996		23										4	0			1	15				2	15	x	60	
1997		5									1	8	3				13				5	8	2	45	
1998		7									0	1	4	0	2		42	7		1	2	3	0	69	
1999		3									8	21	7	12	7		53	15		1	12	85	0	224	
2000		75				1					5	35	14	2	8		335	21		1	28	194	3	722	
2001		59	2								4	12	4	10	0		84	12			23	110	1	321	
2002		94				1					3	20	11	8	9		213	17	3		28	72	3	485	
2003		90		1				2	1		15	23	3	2	7		160	20	1	2	44	50	3	424	
2004		72			1						2	8	17	4	11	3		93	37			33	28	4	313
2005		49										5	1	5	9		195	39			38	12	6	361	
2006	18	47		2	1	1			4		5	13	4	0	11	1	287	43			28	18	4	487	
2007	27	62		3				1	4	1	12	26	2	1	24		463	69			79	27	4	805	
2008	70	86	1				2	2	1	1	3	19	10	3	9	4	339	32	1		43	33	4	663	
Total	115	681	3	6	2	3	2	5	13	6	64	204	68	54	89	9	2336	312	5	5	388	666	34	5070	

Saumons adultes à partir de 50 cm (premières captures)

Indications basées sur les données des groupes de travail locaux.

*Dispositif de montaison avec station de contrôle et de piégeage depuis 2000 sur le Rhin à Iffezheim ; captures depuis 2000

** Valeur corrigée sur la base de nouveaux chiffres du 12.01.2004

Les affluents du Rhin indiqués englobent l'ensemble du sous-bassin respectif (par ex. la Wupper avec la Dhünn)

En Rhénanie-du-Nord-Westphalie : poissons identifiés dans les nasses et par le biais de pêches électriques; depuis l'an 2000, le recensement est principalement effectué dans l'hydrosystème de la Sieg par le biais

Selon les informations disponibles, la station de contrôle de Buisdorf sur la Sieg recense 50 à 70% des saumons qui remontent.

Saynbach: (2003) plus 14 observations visuelles ; (2008) plus 2 observations visuelles

Hesse/Rhénanie-Palatinat : La rubrique 'Autres' englobe des déclarations issues du Rhin et d'autres affluents

Sieg (Rhénanie-Palatinat (2003 + 2004) : plus 1 et 2 observations visuelles

Lahn 2008 : plus 5 observations visuelles

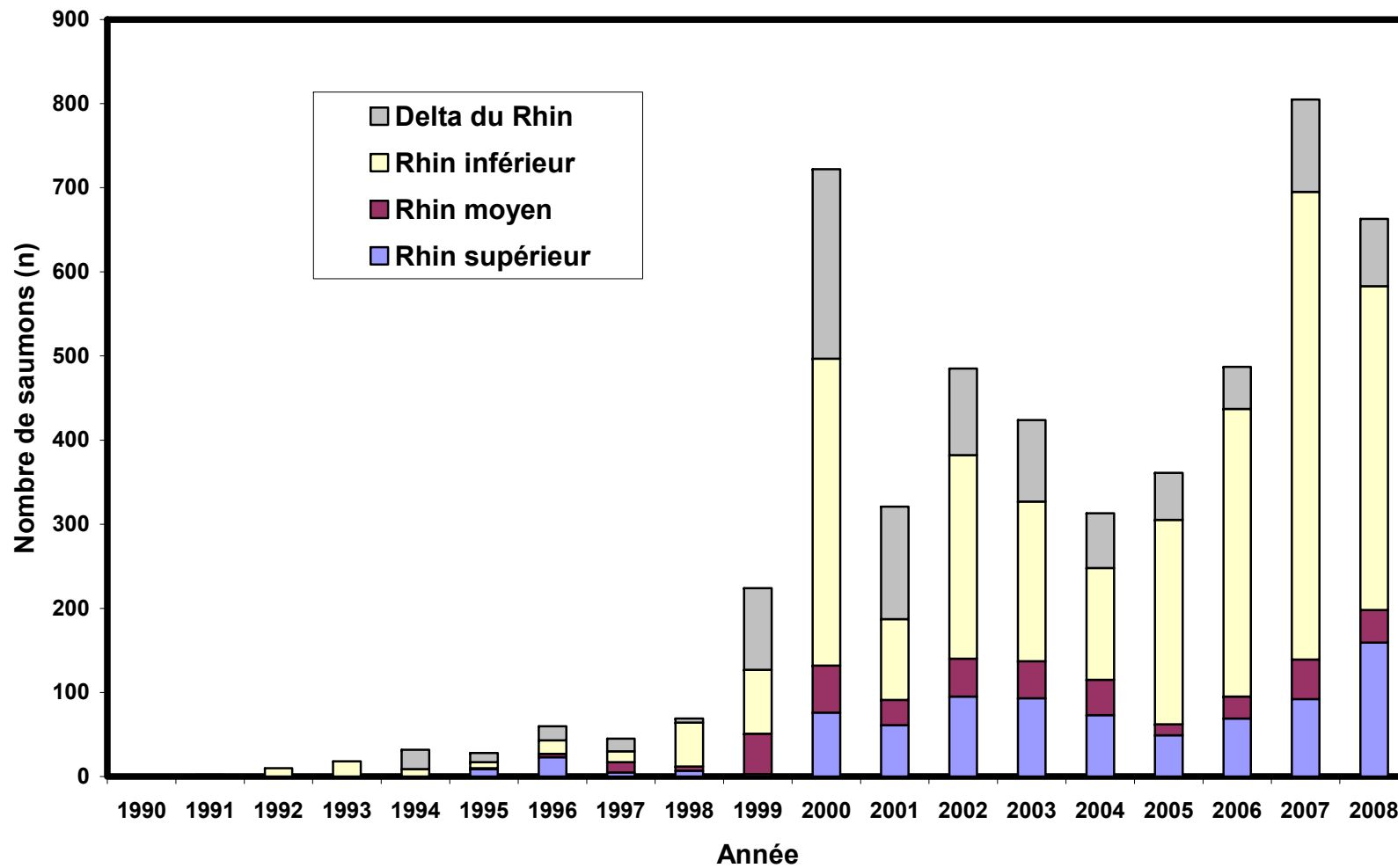
Sur la Murg, Rench et la Kinzig au Bade-Wurtemberg, les poissons ne peuvent actuellement être identifiés que par hasard.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, responsable : D. Ingendahl

Mise à jour : 06.02.2009

5.070 saumons identifiés dans le Rhin depuis 1990

(données rassemblées par D. Ingendahl, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW)



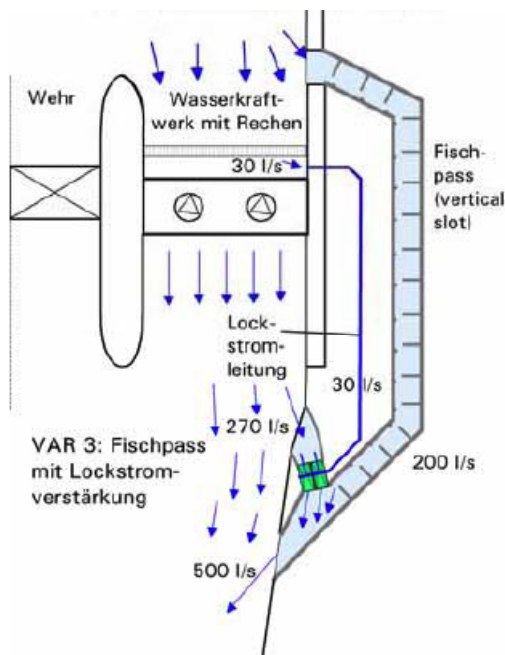
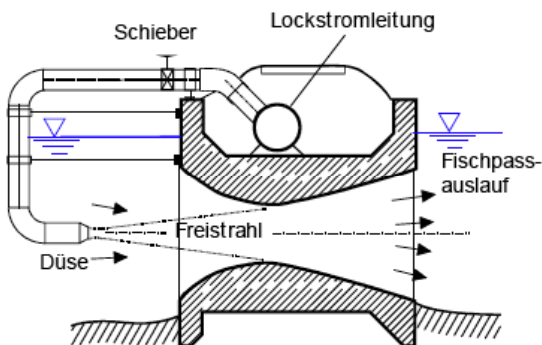
Résultats des recherches de la Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Universität de Kassel

I. Renforcement du débit d'attrait efficace en termes d'énergie et économe en eau au droit de dispositifs de remontée des poissons

A propos de l'optimisation économique de l'attractivité, une nouvelle approche de solution proposée par HASSINGER (www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/Lockstrompumpe_de.pdf) est actuellement testée dans le cadre d'un projet pilote sur l'usine hydroélectrique de Drau à hauteur de Villach et manifestement transposable aux grandes usines du Rhin supérieur (selon HASSINGER, communication écrite, cette technique n'implique pas de restrictions au niveau de la hauteur de chute et de la dimension du cours d'eau pour être appliquée à de grandes usines hydroélectriques et ne nécessite pas d'approvisionnement énergétique externe). Le principe de fonctionnement est décrit dans les termes suivants :

« L'idée de base d'un renforcement du courant d'attrait, que nous souhaitons présenter ici, consiste à utiliser la puissance hydraulique du courant d'attrait pour rehausser au niveau souhaité le débit transitant en sortie du dispositif, et ce uniquement à cet endroit. L'exercice consiste à mettre en mouvement, à partir d'un débit de faible volume mais de grande puissance prélevé dans le bief amont, un flux d'eau de volume important prélevé dans le bief aval et amené aux vitesses moyennes écologiquement requises. Le principe hydraulique de base ici appliqué [...] est celui d'une émission d'impulsion à un jet libre correspondant à l'effet d'une pompe à jet d'eau. Cette pompe de débit d'attrait se compose d'une conduite du débit d'attrait équipée d'une buse, cette dernière étant en position axiale devant le dispositif de pompage agissant comme une buse à effet Venturi. Le jet projeté hors de la buse emporte avec lui l'eau qui l'entoure et est freiné par cette eau. Le jet et l'eau emportée traversent le passage étroit de la buse (siphon) à effet Venturi et sont ralentis sur un cours trajet au niveau des vitesses tolérables par ouverture progressive de la conduite. » [...] « La rentabilité de ce système vient des coûts moins élevés du dispositif de remontée en soi, du dimensionnement nettement plus réduit de la conduite de courant d'attrait, du fait qu'une transformation d'énergie n'est pas nécessaire pour la production du flux supplémentaire et de l'économie permanente d'eau, car le courant d'attrait est prélevé en majorité (75%) sur les eaux du bief aval et non du bief amont. »

Düse	buse
Fischpass (vertical slot)	passé à poissons (à fentes verticales)
Fischpassauslauf	sortie aval de la passe
Freistrah	jet libre
Lockstromleitung	conduite du débit d'attrait
Schieber	vanne d'arrêt
VAR 3 : Fischpass mit Lockstromverstärkung	VARIANTE 3 : passe à poissons avec renforcement du débit d'attrait
Wasserkraftwerk mit Rechen	usine équipée de grilles
Wehr	barrage



Principe de fonctionnement de la pompe de production du courant d'attrait selon HASSINGER (tiré de HASSINGER : www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/Lockstrompumpe_de.pdf)

II. Renforcement de la conversion d'énergie dans les passes à fentes à l'aide de brosses, rapport sur des essais en laboratoire à l'échelle 1 : 1 (HASSINGER 2007)

Extraits

Les brosses mises en place dans les passes à fentes se répartissent sur 4 + 1 éléments. L'emplacement des brosses se fonde sur les réflexions suivantes :

Un élément de grande taille (n° 1) est placé sur le cours du jet et l'interrompt. Cet élément a une forme semi-circulaire qui absorbe le jet percutant, lui retire la majeure partie de son énergie et diffuse ensuite l'eau de manière presque radiale dans 3 directions à vitesse réduite. Cet élément est placé dans l'axe du jet. L'écart par rapport à la fente est d'env. 80 cm. On pallie à la tendance selon laquelle des parois lisses transmettent les jets en les ralentissant relativement et contribuent par là même à former des vagues dans le bassin en plaçant de petits éléments triangulaire sur les parois (n° 2 – 4). Les éléments latéraux sont placés au centre des parois. Ils interrompent les jets latéraux qui pourraient transporter l'énergie du courant. Un autre petit élément doté de brosses courtes (n° 0) est placé en amont juste devant la fente et a pour objectif de réduire les vitesses dans la partie inférieure de la fente. Cet élément contribue toutefois très peu à la conversion de l'énergie. Il réduit toutefois les vitesses et le débit et facilite la remontée de petits poissons benthiques.

Les analyses réalisées avec des éléments-brosses dans une passe à fentes grandeur nature ont montré qu'ils étaient en mesure de convertir efficacement l'énergie du courant, également dans ces conditions. En utilisant les brosses, on a réussi à abaisser la vitesse à environ 2/3 du niveau initial. Les brosses convertissent environ la moitié de l'énergie.

Pour évaluer la qualité hydraulique des brosses, on a utilisé la vitesse du courant comme nouveau paramètre impliquant une capacité de nage moyenne des poissons. Pour ce paramètre, on a basé la répartition sur la période d'évaluation [...]. La comparaison des courbes montre que les poissons peu ou moyennement performants trouvent nettement plus de volume dans la passe dotée de brosses que dans celle qui en est exempte.

Les brosses qui absorbent l'énergie constituent une possibilité avantageuse et pouvant être installée dans d'anciennes installations pour améliorer les conditions hydrauliques dans les passes à bassins. Dès lors que le nombre d'éléments-brosses est suffisant, on peut partir de l'hypothèse que ces éléments transforment environ la moitié de l'énergie. Le volume restant n'absorbe plus que la moitié de la puissance spécifique. On peut ainsi réduire dans une certaine mesure le volume du bassin. Il faut cependant veiller à ce que l'espace soit encore suffisant pour les poissons de grande taille (saumon, huchon).

A l'avenir, les brosses pourront être conçues avec des espaces pour que les petits poissons y trouvent également abris et refuges. Par ailleurs, on peut s'attendre à ce que des macroinvertébrés colonisent les éléments-brosses et offrent ainsi une source d'alimentation aux poissons. Il est très probable que la richesse morphologique et alimentaire qu'offre ce type de passes à bassins, et la vitesse réduite qui y règne, incitent certaines espèces piscicoles à y séjourner durablement.

Kassel, le 25.05.2007 Rédigé par: R. Hassinger

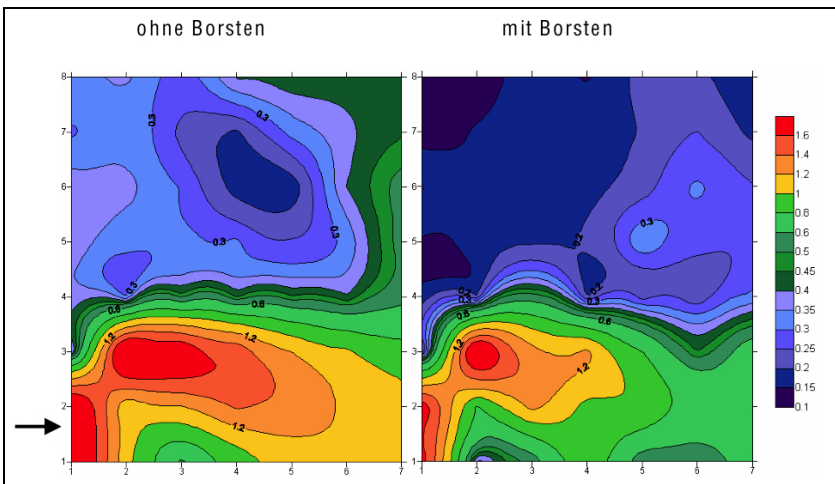
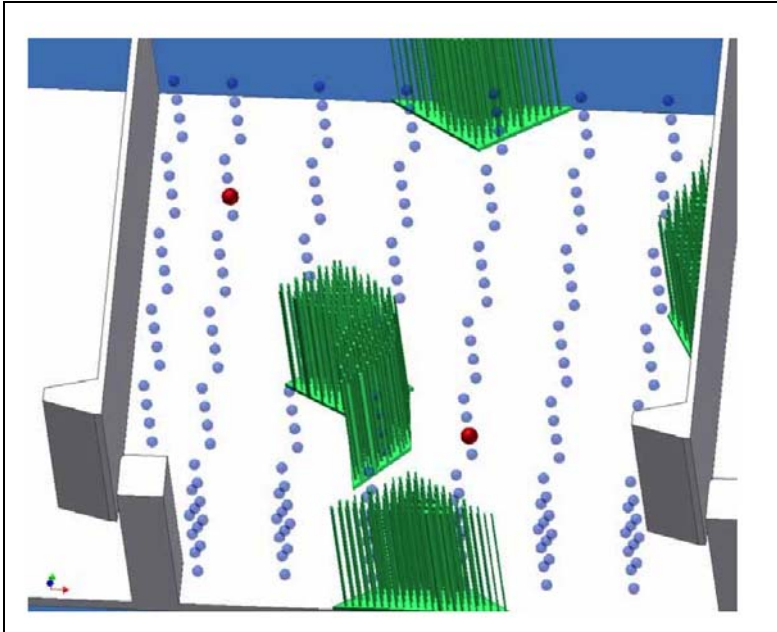


Bild 9: Geschwindigkeitsverteilung in der Ebene 2 (Zahlen-Angaben in m/s)

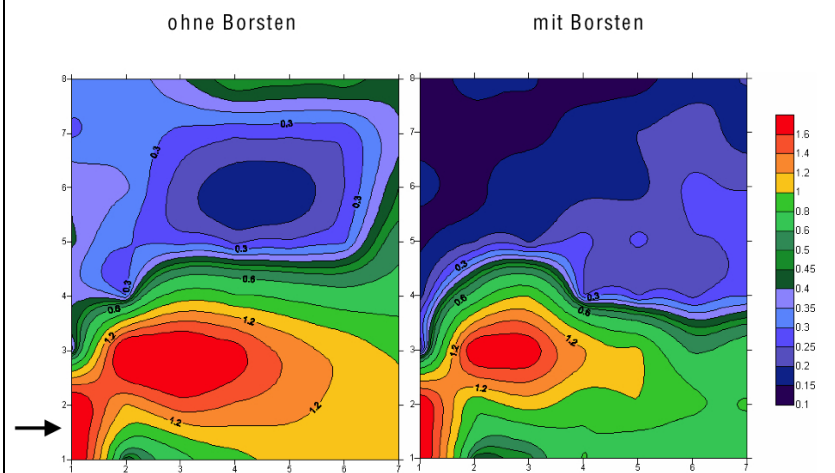


Bild 10: Geschwindigkeitsverteilung in der Ebene 3 (Zahlen-Angaben in m/s)

Connexions entre l'hydrosystème Elz-Dreisam et le Rhin supérieur

- Réponse du 16.4.2009 du Regierungspräsidium Freiburg, service chargé de l'environnement, à la demande de la délégation française : *Conférence interministérielle de Bonn, étude BFS et accès à Elz-Dreisam : réflexions EdF UP Est 16 mars 2009*
- 4 cartes
- 1 tableau (fichier Excel)



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
ABTEILUNG UMWELT

Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 5 · 79083 Freiburg i. Br.

CIPR
A l'attention de Madame A. Schulte-Wülwer-
Leidig

Coblence

Freiburg i. Br. 16.04.2009
Nom Ulrike Pfarr
Poste direct 0761 208-2311
Numéro de référence 53.3 8903.02-1
(veuillez indiquer dans votre
réponse)

par courriel

 Demande de la délégation française : Conférence interministérielle de Bonn, étude
BFS et accès à Elz-Dreisam : réflexions EdF UP Est 16 mars 2009

Annexes :

Cartes (PDF)

Tableau (fichier Excel)

Madame,

Comme convenu en dernière réunion du GT B, je vous transmets ci-joint notre avis sur le document d'EdF susmentionné. Pour plus de clarté, nous avons numéroté les connexions avec le Rhin sollicitées (voir PDF) et les avons listées de manière correspondante dans le tableau également joint en annexe.

Connexions entre l'hydrosystème Elz-Dreisam et le Rhin supérieur

La construction du canal Leopold au 19^{ème} siècle a donné naissance à une deuxième connexion entre l'hydrosystème Elz-Dreisam et le Rhin supérieur. L'ancien tracé de la rivière, l'Alte Elz, dispose depuis d'un débit moyen (MQ) de 7 m³/s, alors que le canal Leopold a un débit moyen de 14,6 m³/s. Le débouché naturel de l'Alte Elz a été fermé lors des travaux de construction de l'usine de Gerstheim. Depuis, l'eau de l'Alte Elz est acheminée vers l'hydrosystème ramifié du Mühlbach et de l'Ottenheimer Altrhein.

La fermeture du débouché initial de l'Alte Elz a renforcé plus encore l'importance du canal Leopold comme voie de montaison dans l'hydrosystème Elz-Dreisam. Vient s'y ajouter le fait que huit usines hydroélectriques au total, représentant des obstacles à la migration, se trouvent dans le Mühlbach et l'Alte Elz. En revanche, le canal Leopold ne comprend qu'un seul ouvrage transversal, qui sera aménagé au cours des prochaines années et peut dès à présent être franchi par les grands salmonidés.

Depuis sa mise en service, le canal Leopold est un cours d'eau important sous l'angle ichtyoécologique et piscicole. Jusque vers le milieu du 20^{ème} siècle, il représentait la principale voie de migration des saumons remontant dans l'hydrosystème Elz-Dreisam. Au début du 20^{ème} siècle encore, des grandes aloses migraient dans l'hydrosystème pour y frayer. Selon un rapport de l'ancien garde-pêche public, les saumons ont même frayé dans le canal Leopold jusqu'en 1950.

Aujourd'hui encore, ce cours d'eau a une importance ichtyoécologique beaucoup plus grande que ne peut le laisser penser son aménagement. Lors de récentes pêches de contrôle, on a détecté un éventail de 21 espèces parmi lesquelles des espèces exigeantes telles que l'ombre commun et la lamproie de Planer. Selon une expertise récente sur la recolonisation potentielle du Rhin supérieur méridional par la lamproie marine, le canal Leopold abrite 3 ha d'habitats propices au grossissement de cette espèce amphihaline.

La retenue actuelle au niveau du débouché, due à un seuil agricole dans le feston de Rhinau, réduit certes le courant d'attrait pour les poissons qui remontent, mais ne joue pas un rôle déterminant pour les saumons de retour dans l'hydrosystème Elz-Dreisam ; en effet, le saumon reconnaît sa rivière natale à l'aide des composants spécifiques présents dans l'eau (dans le cas contraire, les saumons ne pourraient pas globalement retrouver les affluents du Rhin dont le débit d'attrait est insuffisant au niveau du débouché).

En résumé, le canal Leopold a été et reste encore aujourd'hui la principale voie de migration dans l'hydrosystème Elz-Dreisam. Son accessibilité est donc indispensable pour la réimplantation du saumon dans ce système. La construction de passes à poissons au droit des barrages rhénans de Strasbourg et de Gerstheim, requise pour la reconnexion du canal Leopold, est simultanément une condition sine qua non à l'accessibilité des tronçons du Rhin situés plus en amont et des rivières prioritaires se jetant dans le Rhin à ce niveau.

Au cours des années passées, 16 passes à poissons ont été construites au total dans l'hydrosystème Elz-Dreisam, où il est prévu de réimplanter le saumon.

L'administration du Land de Bade-Wurtemberg travaille avec une priorité maximale au rétablissement de la continuité de ces rivières prioritaires. La classification en « priorité moyenne » a été faite par l'expert qui a élaboré l'étude sur les poissons migrateurs mandatée par la CIPR (« rapport SALM »).

Mise en oeuvre de la DCE dans le bassin Elz/Dreisam

Le projet de programme de mesures publié le 22.12.2008 pour la partie bade-wurtembergeoise du secteur de travail 'Rhin supérieur' prévoit dans le sous-bassin Elz-Dreisam des « tronçons prioritaires » dans lesquels doivent être améliorées les conditions hydromorphologiques. Ces tronçons font l'objet de mesures visant à rétablir la continuité, à garantir des débits réservés acceptables sous l'angle de l'écologie fluviale et à améliorer l'hydromorphologie et les propriétés des habitats. Les coûts d'aménagement sont évalués au total à quelque 25,8 millions d'euros.

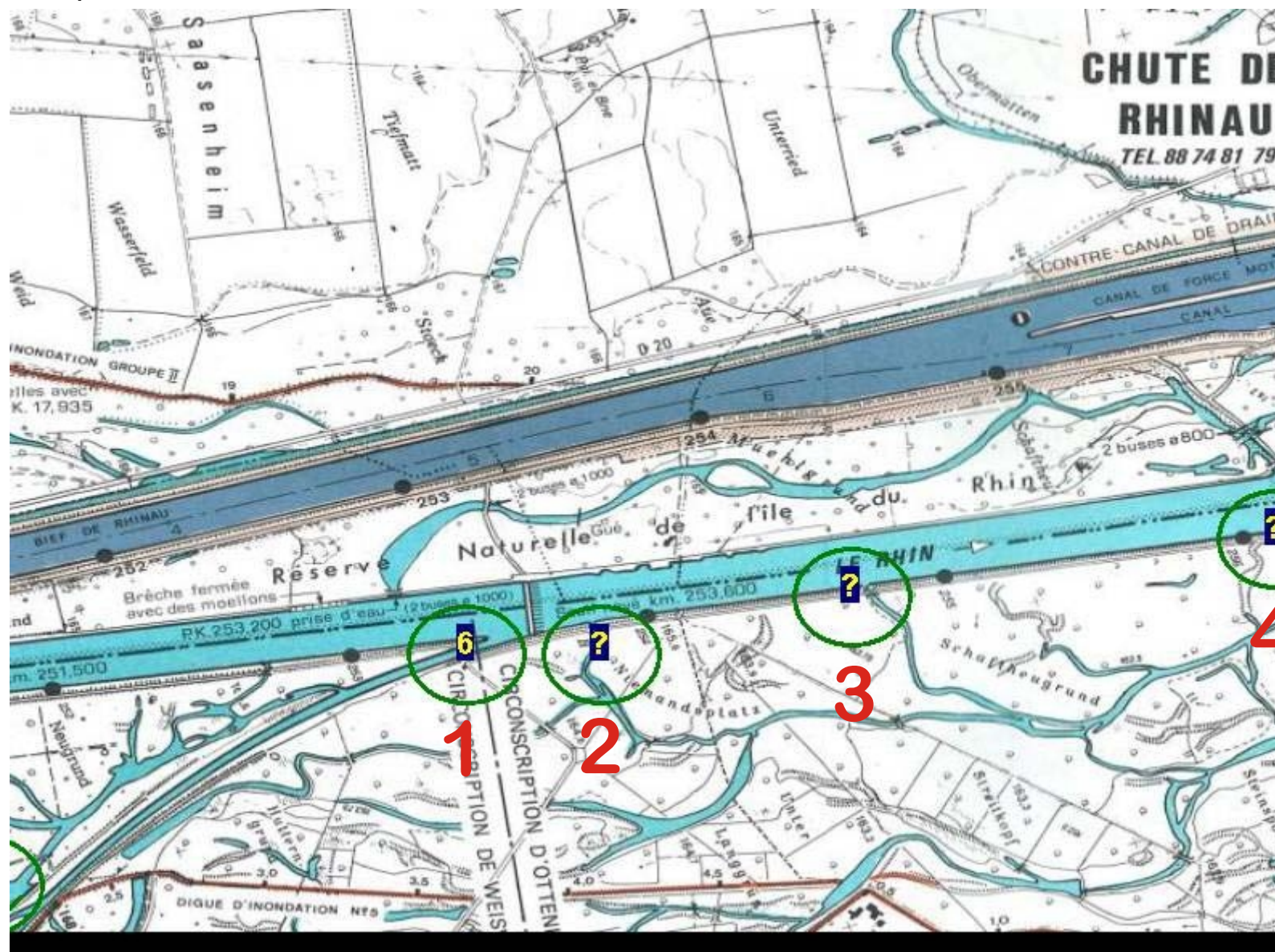
L'accessibilité de l'hydrosystème Elz-Dreisam à partir du Rhin n'étant pas encore garantie, il est prévu d'atteindre l'objectif à l'horizon 2021.

Recevez, Madame, l'expression de mes salutations les meilleures.

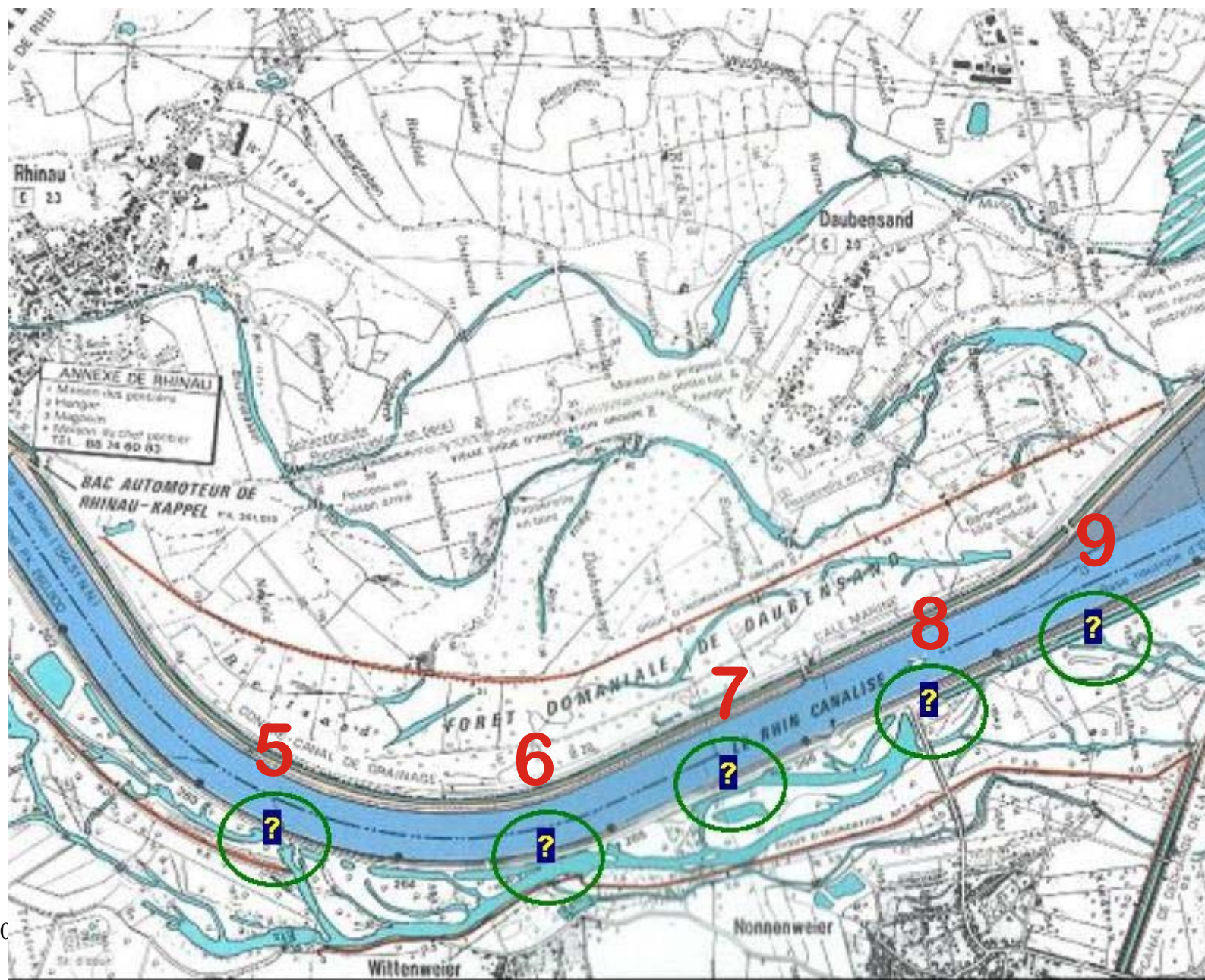


Ulrike Pfarr

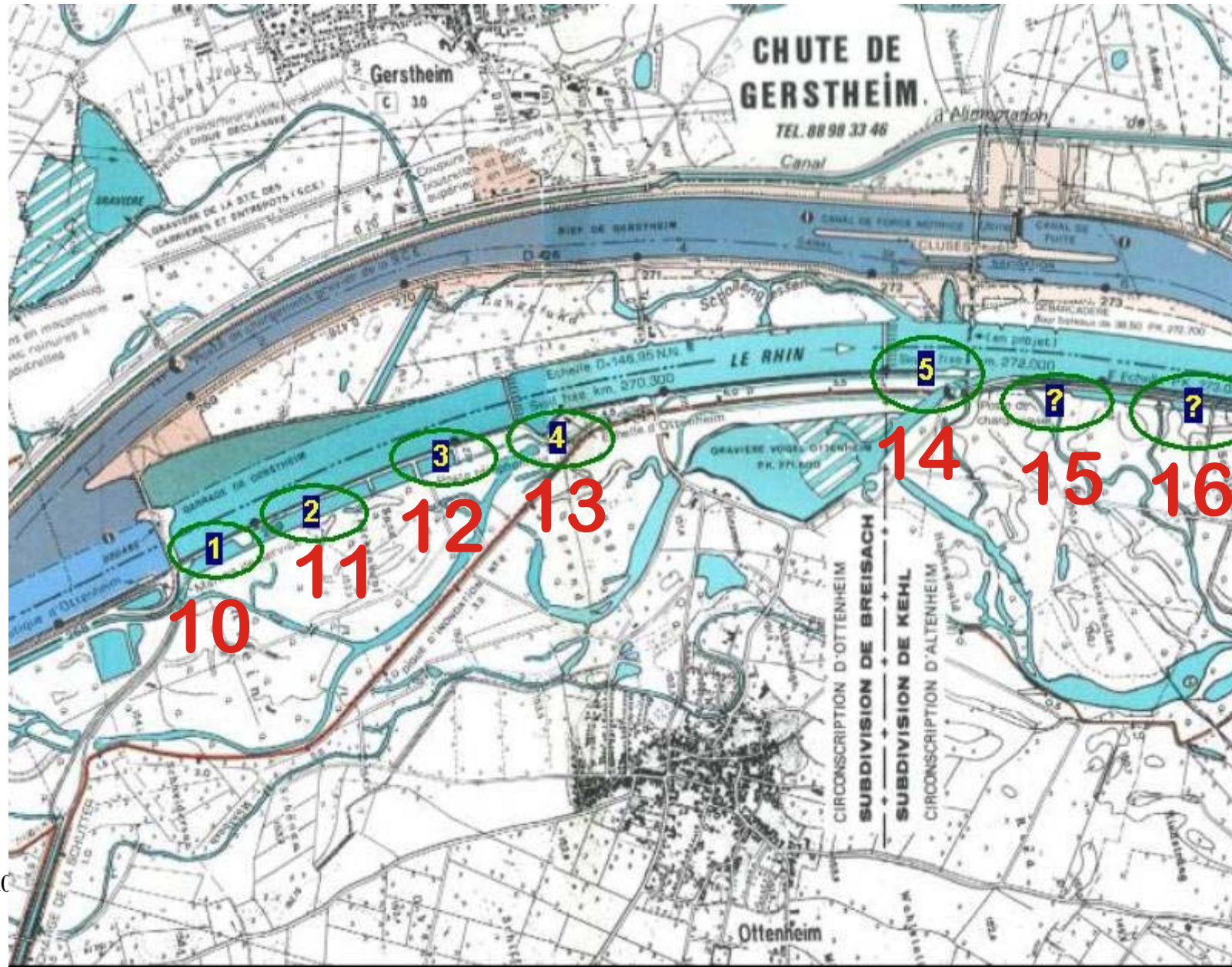
4 : Connexions possibles entre l'Elz et le Rhin : zoom confluence Canal Léopold / Vieux-Rhin (tronçon court-circuité de Rhinau)



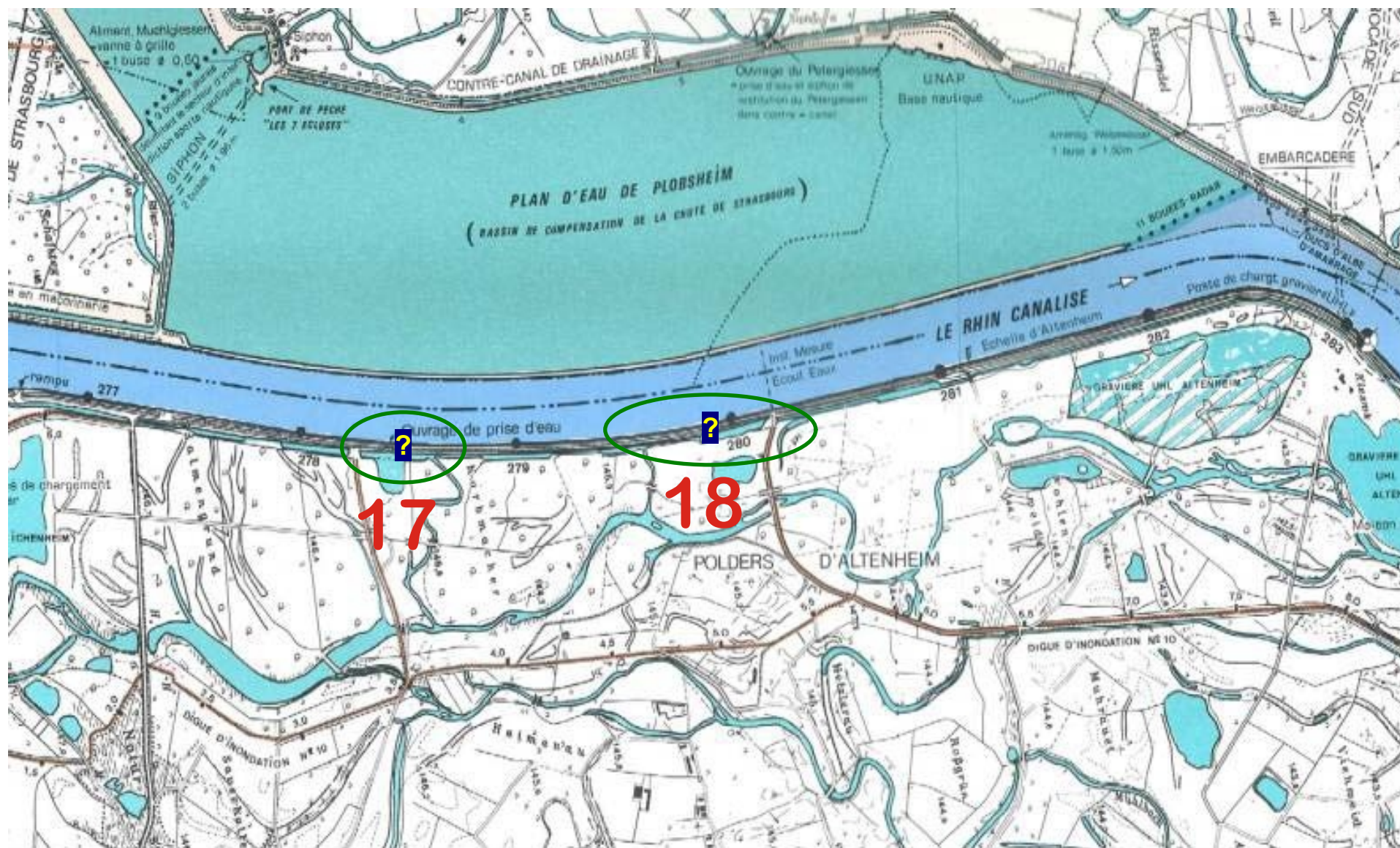
3 : Connexions possibles entre l'Elz et le Rhin : secteur amont barrage de Gerstheim



2 : Connexions possibles entre l'Elz et le Rhin : secteur aménagement de Gerstheim



1 : Connexions possibles entre l'Elz et le Rhin : secteur aval barrage de Gerstheim



N° rouge	N° EDF	Ouvrages					Période			Débit moyen		
		Désignation	N° officiel de l'ouvrage	Type			toujours ouvert	ouvert		m³/s	du	au
				Pas d'ouvrage	Ouvrage de prise	Ouvrage de vidange		du	au			
1	6	Débouché du canal Leopold		X			X			14,60		
2	?		Ouvrage 6.51			X	Ouvrage toujours fermé					
3	?		Ouvrage 0.69	X			Afflux Entenhot en cas de crue du Rhin ; transformation en gué ; redynamisation du Taubergießen 2007					
4	?		Ouvrage 6.62		X		X					
5	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
6	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
7	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
8	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
9	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
10	1	Dispositif de franchissement piscicole	Ouvrage 7,34 - photo page 9			X	X			0,05		
11	2	Débouché CDS - Rhin	Ouvrage 7,15 - photo page 10			X	X			2,00		
12	3	Débouché CDS - Rhin	Ouvrage 7,16 - photo page 11			X	X			4,00		
13	4	Débouché vieux bras - Rhin	Ouvrage 7,31			X	X	Rétention de l'écoulement		3,00		
14	5		Pas de connexion avec le Rhin	X								
14a		Débouché du prolongement CDS dans le Rhin, seuil en béton	L'ouvrage n'a pas de numéro									
15	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
16	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								
17	?	Ouvrage de prise du polder Altenheim	8,44		X				en cas de rétention des crues jusqu'à 120 m³/s si Q est > 150 m³/s au barrage agricole de Breisach jusqu'à 57 jours par an voir réglementation dossier vert point 3.6.2.1 apport jusqu'à 80 m³/s			
18	?		Pas de connexion avec le Rhin	X								

CDS = canal de décharge de la Schutter