



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Carte du milieu physique du Rhin

Editeur:

Commission Internationale
pour la Protection du Rhin (CIPR)
Postfach 20 02 53
D-56002 Coblenz

Tél.: +49-(0)261-12495

Fax: +49-(0)261-36572

E-mail: sekretariat@iksr.de

Internet: www.iksr.org

Groupe de travail ‚Ecologie‘ – Membres du groupe d’experts:

P. Goetghebeur, Agence de l’Eau Rhin-Meuse, Metz; Jan Kändler, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Karlsruhe; Christoph Linnenweber, Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz, Mainz; Monsieur Loy, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Stefan Meyer-Höltzl, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen; Dr. Agnes Rosso-Darmet, Direction Régionale de l’Environnement d’Alsace, Strasbourg; Margriet Schoor, Rijkswaterstaat (RIZA), Arnhem; Dr. Ulrich Sieber, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; Monika Sommer, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Dr. W. Teichmann, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden; Dr. Anne Schulte-Wülwer-Leidig, secrétariat de la CIPR, Coblenz

Traduction:

Isabelle Traue, Dominique Falloux

Résumé

1. **Objectif de la cartographie du milieu physique et mandat**
2. **Synopsis des méthodes appliquées**
3. **Résultats pour les tronçons du Rhin**
 - 3.1 Haut Rhin
 - 3.2 Rhin supérieur méridional
 - 3.3 Rhin supérieur septentrional
 - 3.4 Rhin moyen
 - 3.5 Rhin inférieur
 - 3.6 Delta du Rhin
4. **Evaluation globale**
5. **Améliorations du milieu physique et de la dynamique du Rhin**
 - 5.1 Propositions générales
 - 5.2 Travaux en cours ou prévus dans les tronçons du Rhin
6. **Régime de charriage et érosion du lit**
7. **Sources bibliographiques**

Résumé

L'Assemblée plénière de la CIPR avait chargé son Groupe de travail 'Ecologie' en 1999 de décrire la qualité du milieu physique du Rhin et d'établir une cartographie des résultats à l'échelle du 1/100.000ème. Cette description vient compléter les inventaires biologiques réalisés sur le Rhin en 2000. Cette description vient aussi alimenter et compléter la réflexion sur la mise en place d'un réseau de biotopes sur le cours principal du fleuve. Ce réseau de biotopes, qui s'ancre dans le Programme « Rhin 2020 », sera représenté par une carte de mise en réseau sur le cours principal du Rhin.

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE), qui définit des objectifs de qualité comparables pour les cours d'eau communautaires, prescrit le recensement et l'évaluation de paramètres écomorphologiques des cours d'eau.

La cartographie du milieu physique a pour objectif d'estimer de manière objective et reproductible le fonctionnement écologique du fleuve et du milieu alluvial à l'aide d'indicateurs sélectionnés (paramètres morphologiques). Le fonctionnement écologique dépendant pour une part essentielle de la morphologie du lit mineur et du lit majeur, les critères portant sur le milieu physique d'un cours d'eau sont déterminants dans l'évaluation écologique de l'état du cours d'eau.

L'objectif de ces investigations dépasse toutefois la pure évaluation et description de l'état écomorphologique d'un cours d'eau. Elles servent p.ex. de base à la programmation et à l'évaluation de mesures d'aménagement et de renaturation, d'entretien et du développement ainsi que d'études d'impact sur l'environnement.

Les Etats riverains du Rhin disposent depuis longtemps de méthodes permettant d'évaluer la qualité des eaux. Des études sur la morphologie des cours d'eau n'ont cependant été lancées que vers le milieu des années quatre vingt dix, en priorité sur les petites rivières. Des méthodes avaient préalablement été mises au point dans de nombreux pays dès le début des années quatre vingt. C'est donc la première fois que sont rassemblés au niveau international, à l'échelle d'un grand fleuve transfrontalier, le Rhin, les travaux préliminaires engagés dans les différents Etats pour évaluer respectivement la qualité du milieu physique des cours d'eau.

Malgré la diversité des méthodes de description du milieu physique utilisées dans les Etats riverains du Rhin, les critères utilisés sont comparables et s'attachent à décrire trois compartiments : le lit mineur, les berges et le lit majeur (parties du champ alluvial). Quelques différences méthodologiques sont recensées ; elles portent sur le mode de recensement et d'évaluation ainsi que la définition de l'état de référence (voir p. 9).

Les résultats de la qualité du milieu physique du Rhin sont présentés sous forme de classes de qualité (5 classes). Le chapitre 4 « Evaluation globale » présente sous forme de pourcentages les résultats décrivant la qualité de chaque grand tronçon du Rhin. Une comparaison des résultats entre les tronçons peut être établie.

Si l'on fait exception du delta du Rhin, le premier résultat qui saute immédiatement aux yeux est le pourcentage élevé de tronçons estimés dans un état « médiocre » ou « mauvais ». Il en est ainsi pour tous les compartiments fluviaux analysés, qu'il s'agisse du lit mineur, des berges ou du lit majeur, notamment pour le Rhin supérieur, le Rhin moyen et le Rhin inférieur. La répartition entre les 5 classes de qualité est cependant plus équilibrée sur le haut Rhin où l'on constate que presque 40% des segments sont évalués « très bons » ou « bons » dans le lit majeur alors que des déficits écologiques notables sont décelés principalement dans le lit mineur. Dans le delta du Rhin en revanche, les classes d'état morphologique « bonnes » à « médiocres » dominent, avec une répartition majoritaire (> 50%) sur les classes de « bon » et de « moyen » état.

On relève ici également la proportion tout à fait remarquable de « très bons » et de « bons » résultats sur les segments du lit majeur (env. 40%) et du lit mineur (env. 50%). Cette évaluation positive du delta du Rhin est principalement due à la méthode appliquée. Plusieurs facteurs expliquent l'évaluation relativement bonne du delta du Rhin: d'une part, l'état en présence autour de 1850 est pris comme référence de l'état potentiellement naturel (il existait déjà un système de digues à cette époque) ; d'autre part, tous les paramètres sont agrégés par formation de la moyenne et ne sont pas déterminés sur la base de l'évaluation la plus mauvaise, ce qui a pour effet que les valeurs sont supérieures à celles obtenues par la méthode allemande.

Si l'on fait l'évaluation sur l'ensemble du Rhin de la sortie du lac de Constance à l'embouchure en mer du Nord, on note une nette prépondérance des classes d'état morphologique « moyen » à « mauvais ». Cela reflète la situation actuelle et les nombreux usages les plus divers dont fait l'objet le cours principal du Rhin. Le résultat fait ressortir les importants déficits écologiques qu'accuse le Rhin sur l'ensemble de son cours.

1. Objectif de la cartographie du milieu physique et mandat

La description de la qualité du milieu physique du Rhin en 2000 ou 2001 vient compléter les études biologiques de la CIPR. En juillet 1999, l'Assemblée plénière de la CIPR a chargé le Groupe de travail 'Ecologie' de procéder à la description du milieu physique du fleuve et de représenter les résultats des investigations sur des cartes au 1/100.000ème.

La description du milieu physique du Rhin vient alimenter et compléter la réflexion sur la création d'un réseau de biotopes sur le Rhin. Ce réseau de biotope, dont la conception est ancrée dans le Programme « Rhin 2020 », conduira à l'élaboration d'une carte de mise en réseau des biotopes.

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE), qui définit des objectifs de qualité comparables pour les cours d'eau communautaires, exige que soit atteint un « bon état écologique » des masses d'eau. L'évaluation du milieu physique est obligatoire, dès lors que le « bon état écologique » ne peut pas être atteint, ce qui est très fréquemment le cas pour les grands fleuves et les voies navigables. La description de la qualité du milieu physique et la continuité écologique sont des paramètres auxiliaires à analyser à l'avenir tous les 6 ans. Si la masse d'eau est classé ou désigné « fortement modifié », il faut alors atteindre le « bon potentiel écologique ».

La cartographie du milieu physique a pour objectif d'estimer de manière objective et reproductible le fonctionnement écologique du fleuve et du milieu alluvial à l'aide d'indicateurs sélectionnés (paramètres morphologiques). Le fonctionnement écologique dépendant pour une part essentielle de la morphologie du lit mineur et du lit majeur, les critères portant sur le milieu physique d'un cours d'eau sont déterminants dans l'évaluation écologique de l'état du cours d'eau.

L'objectif de ces investigations dépasse toutefois la pure évaluation et description de l'état écomorphologique d'un cours d'eau. Elles servent p.ex. de base à la programmation et à l'évaluation de mesures d'aménagement, de renaturation, d'entretien et de développement. Elles peuvent aussi être utilisées dans le cadre des études d'impact sur l'environnement.

Les Etats riverains du Rhin disposent depuis longtemps de méthodes permettant d'évaluer la qualité des eaux. Des études sur la morphologie des cours d'eau n'ont cependant été lancées que depuis le milieu des années quatre vingt dix, en priorité sur les petites rivières. Les méthodes utilisées ont été mises au point dans de nombreux pays dès le début des années quatre vingt. C'est donc la première fois que sont rassemblés au niveau international, à l'échelle d'un grand fleuve transfrontalier, le Rhin, les travaux préliminaires engagés par différents Etats pour évaluer la qualité du milieu physique des cours d'eau.

Le régime de charriage du fleuve n'est pas abordé dans la description de la qualité physique du Rhin. Or, ce phénomène est important pour les processus écologiques. Un chapitre spécifique a été développé à cet effet ; il présente des informations sur le régime de charriage et sur les phénomènes d'érosion du lit dans quelques tronçons du Rhin.

2 Description succincte des méthodes utilisées

(La liste des descriptions des méthodes détaillées figure dans le chapitre 7)

2.1 Approche française

La méthode mise en oeuvre sur le Rhin utilise les bases méthodologiques du « Système d'Evaluation de la Qualité du milieu physique » (SEQ). Cette méthode fait référence au fonctionnement et à la dynamique naturelle des cours d'eau et se base sur une typologie géomorphologique. La typologie des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse définit sept types (Agence de l'Eau Rhin-Meuse ; 1996).

La méthode consiste tout d'abord à définir, à partir de cartes, des tronçons homogènes sur le plan de leurs grandes caractéristiques abiotiques. Cinq paramètres de base sont utilisés : typologie des cours d'eau, écorégions, perméabilité du substrat, pente de la vallée et confluences. Le découpage s'effectue de l'amont vers l'aval. Ce premier découpage a conduit à identifier 25 tronçons sur le Rhin supérieur français (Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2001). Une visite exhaustive sur le terrain a permis de compléter et valider les limites des tronçons.

Dans un second temps, un découpage plus fin est réalisé. Il tient compte des modifications anthropiques du cours d'eau (aménagement hydrauliques, occupation du sol dans le lit majeur, présence de ripisylve,..) et de relevés topographiques. On obtient ainsi, pour le Rhin supérieur français, 55 tronçons homogènes dont la longueur moyenne est de 4,9 km. La longueur des tronçons varie de 0,7 km à 13,5 km.

Le travail consiste ensuite à décrire, sur le terrain, chacun des 55 tronçons élémentaires. Ce travail a été réalisé au cours de l'été 2000. Une fiche de terrain, sur laquelle figurent 40 paramètres élémentaires, est renseignée pour chaque tronçon.

NB : Pour la présente étude, il s'est avéré nécessaire d'adapter la méthode aux particularités du Rhin (du fait de sa très grande artificialisation par rapport à son état naturel, ceci sur l'ensemble du profil longitudinal examiné).

Les fiches sont ensuite saisies sur un ordinateur ; les données sont traitées à l'aide d'un programme informatique. Une arborescence identifie et organise les paramètres descriptifs du milieu physique. Chaque paramètre élémentaire est pondéré en fonction du type de cours d'eau. Pour chaque type de cours d'eau, l'état de référence correspond pratiquement à un état naturel (pré-développement industriel) ; un usage agricole extensif du milieu alluvial est considéré comme non préjudiciable. Le Rhin appartient, dans le secteur d'étude, au type de référence « cours d'eau de piémont à lit mobile ».

Un indice synthétique chiffré, nommé « indice de qualité du milieu physique », est calculé. Le résultat s'exprime sous la forme d'un pourcentage compris entre 0% (qualité nulle) et 100 % (qualité maximale). On peut aussi obtenir des indices « partiels » pour le lit majeur, les berges et le lit mineur. Les indices obtenus sont répartis en cinq classes.

2.2 Approche allemande et suisse

On a utilisé en Allemagne et en Suisse la « méthode LAWA de cartographie pour les cours d'eau de grande ou moyenne taille » [3] (le projet est soumis au LAWA pour approbation).

Le recensement se fait sur des tronçons de 1000 m conformément au kilométrage officiel.

Le recensement et l'évaluation du milieu physique se font à la fois sur le terrain et au travers d'une analyse des données disponibles.

On procède au recensement des éléments morphologiques (paramètres individuels) et de leurs caractéristiques à l'aide de séries de descripteurs (évaluation sur la base d'un indice). On détermine donc un « degré par rapport à l'état naturel » (évaluation fondée sur des unités fonctionnelles). Les paramètres sélectionnés sont des indicateurs du fonctionnement écologique de cours d'eau particulièrement significatifs pour l'évaluation. Ces indicateurs peuvent être d'origine naturelle (paramètres positifs, p.ex. les bancs de sable) ou anthropique (paramètres négatifs, p.ex. les barrages). Ils sont plus ou moins prononcés en fonction de l'espace naturel et de l'anthropisme.

Le recensement est en partie qualitatif (p.ex. nature du lit) ; il est toutefois en majeure partie quantitatif (p.ex. retenue).

L'évaluation est le résultat de la combinaison de l'« évaluation sur la base d'un indice » et de l'« évaluation fondée sur des unités fonctionnelles ».¹

Evaluation sur la base d'un indice : L'identification de l'état morphologique prend appui sur un indice, l'évaluation démarrant au niveau des paramètres individuels. Chaque caractéristique indiquant l'état d'un paramètre individuel se voit attribuer une valeur d'indice comprise entre 1 et 7 qui montre le degré d'altération de chaque paramètre individuel. Cette classification est fonction du type de rivière considéré et des références d'évaluation s'y rapportant (état de référence, rivière de référence).

A partir de ces évaluations des paramètres individuels, on calcule d'après des règles de calcul définies l'évaluation pour le lit mineur, les berges et le lit majeur de même que l'évaluation globale.

Evaluation à l'aide d'unités fonctionnelles : sur la base d'états de référence caractéristiques du milieu considéré et de l'impression globale sur le terrain, le cartographe évalue 14 unités fonctionnelles par rapport à leur écart vis-à-vis de l'état naturel (état de référence/rivières de référence). Les unités fonctionnelles sont ensuite fusionnées par calcul de la moyenne des paramètres déterminés.

On procède au contrôle de plausibilité en comparant les résultats de l'évaluation obtenue sur la base d'un indice et ceux de l'évaluation fondée sur des unités fonctionnelles.

¹ En Allemagne, la qualité du milieu physique est évaluée sur la base de la méthode LAWA selon 7 classes, en France et aux Pays-Bas selon 5 classes. La cartographie du milieu physique du Rhin réalisée dans le cadre de la CIPR doit avoir un fondement d'évaluation uniforme pour les besoins de comparaison et de représentation commune des résultats sous forme de cartes. Dans le cadre de ce projet, les représentants des Länder fédéraux allemands associés ont convenu de convertir les données selon le schéma suivant :

Classe	7 classes	5 classes
1	1,0 – 1,7	1,0 – 2,1
2	1,8 – 2,6	2,2 – 3,3
3	2,7 – 3,5	3,4 – 4,5
4	3,6 – 4,4	4,6 – 5,7
5	4,5 – 5,3	5,8 – 7,0
6	5,4 – 6,2	
7	6,3 – 7,0	

La référence de l'évaluation est l'Etat Naturel Potentiel Actuel (ENPA) : il s'agit de l'état que l'on obtiendrait après abandon de tous les usages existants dans le cours d'eau et son milieu alluvial et après retrait de tous les aménagements. L'évaluation la plus élevée (classe d'état 1) s'oriente sur cet état de référence ; il faut toutefois tenir compte des différences qui sont fonction de l'espace naturel (états de référence liés à un espace naturel donné).

2.3 Approche aux Pays-Bas

Il n'existait pas jusqu'à présent aux Pays-Bas de méthode validée pour l'évaluation du milieu physique des grands fleuves. La méthode néerlandaise d'évaluation [4] (Schoor & Stouthamer, 2003)² a été développée pour le delta du Rhin à partir de la méthode allemande appliquée aux voies navigables [6] (Fleischhacker et. al., 2001). Du fait de la situation des Pays-Bas dans le delta du Rhin, on lui a cependant donné un caractère spécifiquement néerlandais en faisant appel à des données issues de modèles et du SIG (p.ex. cartographie des écotopes). On s'est efforcé ici de mettre en cohérence le plus largement possible l'évaluation néerlandaise et l'évaluation allemande.

Pour les besoins de la cartographie, les bras fluviaux (y compris lit mineur, berges et lit majeur) ont été subdivisés en tronçons de 1000 m conformément au kilométrage officiel³.

La cartographie se présente sous la forme d'une étude de bureau qui a évalué différents ouvrages cartographiques et données hydrologiques, par ex. des cartes historiques et des séries historiques de niveaux d'eau, des cartes topographiques et écologiques, des données d'un modèle hydrodynamique, des informations sur les opérations de dragage et des données de la banque européenne CORINE sur l'occupation des sols.

De manière similaire au système allemand, l'évaluation se fait à partir de la méthode de l'indice, mais celle-ci se fonde sur un classement en cinq classes. On évalue ainsi le lit mineur, les berges et le lit majeur par calcul de la moyenne des paramètres déterminés et non pas sur la base de la plus mauvaise évaluation comme c'est le cas dans la méthode allemande.

La référence de comparaison utilisée pour définir le « bon état écologique » est l'état naturel potentiel actuel. On entend ici l'état qui serait obtenu si les fleuves et les zones alluviales n'étaient plus soumis à une exploitation intensive. Cet état est jugé comparable à celui des bassins fluviaux néerlandais aux alentours de 1850. A l'époque, les fleuves étaient endigués et la plaine alluviale, caractérisée par des prairies riches en espèces (p.ex. prairies de vallée fluviale, prairies à grande diversité morphologique), une végétation de ried et de joncs, des zones de forêts et de marécages, était utilisée de manière extensive. On y rencontrait encore fréquemment des cours d'eau ouverts, tels que les bras morts et les lacs. Les prairies étaient gérées de manière proche du naturel (on n'utilisait pas à l'époque

² La méthode d'évaluation néerlandaise a été affinée depuis pour être mieux adaptée à la situation aux Pays-Bas. Il est prévu d'appliquer à l'avenir cette méthode perfectionnée à la Meuse, l'Escaut, l'Ems et au Rhin. Elle a été finalisée récemment et entraîne des modifications des résultats présentés dans ce rapport. Après concertation au sein du Groupe de travail, il a été convenu de ne pas intégrer ces nouveaux résultats puisque les cartes avaient été définitivement achevées auparavant. Pour les derniers résultats sur le delta du Rhin, on conseille de se reporter à Schoor & Jesse, 2003. La présente description se fonde sur les « anciens » résultats. Les nouveaux résultats pour le delta du Rhin divergent nettement moins des résultats des autres tronçons du Rhin.

³ Les kilomètres manquants sont dus au raccourcissement du linéaire suite à la correction du fleuve

d'engrais minéraux ni de pesticides). Le canal de Pannerden existait déjà, mais la régulation systématique des fleuves n'avait pas encore été engagée.

2.4 Tableau synoptique des méthodes appliquées

La comparaison des méthodes allemande/suisse, française et néerlandaise montre qu'elles reposent toutes les 3 sur un éventail de plusieurs critères permettant la description de 3 compartiments : le lit mineur (lit du fleuve), les berges et le lit majeur (parties de la zone alluviale).

Les principales différences portent sur le recensement et l'évaluation. Le critère d'évaluation, c'est-à-dire l'état de référence pour l'évaluation, présente les différences suivantes. Dans les méthodes allemande et suisse, 'l'état naturel potentiel' est défini comme l'état que l'on obtiendrait après abandon de toutes les activités humaines, c'est-à-dire si les berges et le lit majeur (milieu alluvial) étaient pour l'essentiel boisés. Les méthodes française et néerlandaise, quant à elles, considèrent qu'un usage agricole extensif du lit majeur (milieu alluvial) peut être intégré dans l'état de référence ; aux Pays-Bas, on se base sur l'état tel qu'il se présentait autour de 1850.

Concernant le lit majeur, la délimitation varie fortement selon les méthodes. Au Bade-Wurtemberg par ex., l'espace considéré pour quelques paramètres du lit majeur a été limité à une bande d'env. 400 m de large. La méthode française prend en considération une bande beaucoup plus large (zone inondable avant les aménagements de Tulla).

De plus, l'appréciation de la qualité de ce compartiment diffère sensiblement entre la méthode française et allemande. La position française considère que le Rhin est complètement déconnecté de son lit majeur du fait de son aménagement ; il est alors impossible de considérer l'occupation du lit majeur comme naturelle, même si celle-ci présente des forêts et prairies. L'occupation du sol, l'inondabilité et les annexes hydrauliques, même existantes de manière relictuelle derrière les digues, sont donc systématiquement considérées comme dégradées.

En revanche, la méthode allemande (LAWA) juge d'une manière plus positive une telle occupation du sol (prairies ; forêts alluviales) dans le lit majeur, des surfaces de développement potentielles « restant libres » (le milieu dispose d'un potentiel de développement et de possibilités d'amélioration).

	Allemagne, Suisse	France	Pays-Bas
Motif/objectif	Evaluation de l'état de caractéristiques morphologiques du cours d'eau	Evaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau	Evaluation de l'état de caractéristiques morphologiques du cours d'eau
Taille du cours d'eau	Cours d'eau de moyenne et de grande taille (largeur de la ligne d'eau > 10 m)	Tous les cours d'eau (petits, moyens et grands)	Grands cours d'eau (largeur de la ligne d'eau > 50 m)
Compartiments considérés	Lit mineur, berges, lit majeur	Lit mineur, berges, lit majeur	Lit mineur, berges, lit majeur
Type de recensement	Essentiellement quantitatif	Quantitatif et qualitatif	Quantitatif
Découpage	1000 m / 100 m	Tronçons homogènes déterminés en fonction de caractéristiques propres du cours d'eau et des aménagements (pour le Rhin longueur moyenne = 4,9 km)	1000 m
Nombre de descripteurs (paramètres)	Lit mineur: 14 Berges: 10 Lit majeur: 6	Lit mineur : 15 Berges: 19 Lit majeur: 6	Lit mineur: 8 (4 paramètres secondaires) Berges: 4 (2 paramètres secondaires) Lit majeur: 4
Echelle d'évaluation	Etat naturel potentiel du cours d'eau / état de référence typique (proche du naturel)	Etat de référence (proche du naturel), défini en fonction du type de cours d'eau	Etat du cours d'eau vers 1850/état de référence typologique
Méthode d'évaluation	Evaluation des descripteurs à l'aide d'indices allant de 1 à 7, avis d'experts conformément à un modèle d'agrégation défini ; principe de l'évaluation pessimiste, agrégation par formation de la moyenne	Détermination de l'indice « qualité du milieu physique ». L'indice varie de 0 à 100%. Il repose sur une combinaison non linéaire de paramètres de base (agrégation basée sur une arborescence). Une pondération spécifique est définie par type de cours d'eau.	Evaluation des descripteurs à l'aide d'indices allant de 1 à 5, agrégation par formation de la moyenne
Classification	Classes d'état morphologique 1 à 7, affectation d'une marge d'indice donnée pour chaque classe (5 classes pour le Rhin)	Indice de qualité à 5 niveaux, affectation de 20 pour cent à chaque niveau	Classes d'évaluation 1 à 5, affectation d'une marge d'indice donnée pour chaque classe

Tab.: 1 Comparaison des méthodes appliquées dans les Etats riverains du Rhin sur la base de critères sélectionnés

Lit mineur	Allemagne, Suisse	France	Pays-Bas
	Style fluvial (sinuosité, ramification, raccourcissement)	Sinuosité du lit	Linéaire (degré de sinuosité, raccourcissement du linéaire)
			Type fluvial (non ramifié, ramifié)
	Erosion de la rive convexe		
	Formes particulières du style fluvial (p.ex. formation d'îles, anastomose, bois mort)	Formation d'îles, anastomose, zones d'accumulations	
	Ouvrages transversaux	Ouvrages transversaux (nombre, franchissabilité)	Ouvrages transversaux
	Remous		
	Diversité du courant, variation de la profondeur	Variation de la profondeur, diversité du courant	Rapport largeur-profondeur
	Bancs transversaux		
	Court-circuitage	Perturbations du débit	Court-circuitage
	Nature des fonds	Nature des fonds, végétation aquatiques	Tourbillons de substrat, dragage
	Aménagement du lit mineur		Aménagement, creusement actuel
	Diversité des fonds	Diversité des fonds	
	Formes particulières du fond		
	Contraintes particulières du fond	Proliférations végétales, dépôts	
			Influence ou amplitude des marées

Berges	Allemagne, Suisse	France	Pays-Bas
	Type de profil		
	Profondeur du profil/approfondissement		
	Erosion latérale		
	Variation de largeur (niveau moyen des eaux)	Variation de largeur (niveau d'étiage)	
	Passage, pont		
	Rétrécissement, élargissement		
	Ripisylve	Végétation, composition; (végétation ripisylve, importance, état)	Ripisylve
	Aménagement des berges	Dynamique des berges, inclinaison des berges	Aménagement des berges, érosion des berges
	Formes particulières	Nature des berges	
	Contraintes particulières sur les berges	Nature des berges (matériaux), Dégradation des berges	
			Zones d'eaux plates (zone continentale), marées
			Salinité

Tab. 2 Analyse comparative des méthodes – descriptif des critères pris en considération

Lit majeur	Allemagne, Suisse	France	Pays-Bas
	Occupation des sols	Occupation des sols, axes de communication , annexes hydrauliques	Occupation des sols
	Bandes riveraines		Bandes riveraines
	Formes particulières du lit majeur		
	Formes ayant un impact négatif sur le lit majeur	Digues et remblais	
	Surfaces inondables	Inondabilité (surfaces et fréquence)	Surfaces inondables (1850 : aujourd'hui)
			Surface inondable en cas de crue moyenne
	Fréquence de débordement		

Tab. 2 Suite : Analyse comparative des méthodes – descriptif des critères pris en considération

3. Résultats pour les tronçons du Rhin

3.1 Haut Rhin : PK Rhin 23,6 – 168,45 (rive gauche), 170 (rive droite)

3.1.1 Evolution historique

Le haut Rhin comprend le tronçon d'une longueur de 145 km entre la sortie du lac inférieur du lac de Constance et Bâle. Ce tronçon du Rhin dans lequel se jettent de grands affluents originaires du « Mittelland » suisse (Thur, Töss, Aare, Birs) et de l'Allemagne du Sud (Wutach, Alb, Wiese) est principalement un fleuve encaissé qui a creusé son chemin plus ou moins profondément dans d'anciennes terrasses composées de gros graviers datant de la période glaciaire. Les derniers kilomètres les plus en aval en Suisse font déjà partie de la large vallée du Rhin supérieur. Le haut Rhin était initialement un fleuve à courant relativement fort avec quelques rares surfaces inondables. Il n'y a jamais eu vraiment de charriage entre le lac inférieur du lac de Constance (PK Rhin 24) et l'embouchure de la Thur (PK Rhin 65). Entre la confluence de la Thur et Bâle par contre, les affluents contribuaient initialement à un charriage important dans le haut Rhin en période de crue. Les matériaux étaient transportés dans le lit encaissé vers le Rhin supérieur. Le déplacement répété des bancs de gravier donnait lieu à une diversité du milieu physique, offrant des habitats à de nombreux organismes aquatiques autochtones.



Koblenzer Laufen, PK 99 (tronçon naturel avec structure typique de courbes)
Source : HYDRA, Berne, V. Maurer, 2001

Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, le haut Rhin n'a guère été anthropisé. Par contre, son caractère a été durablement modifié avec la construction de 12 usines hydroélectriques (Kembs incluse). Les usines construites entre 1895 et 1966 ont subdivisé le haut Rhin en tronçons plus ou moins longs ; en général, les zones de remous se trouvent juste en aval du barrage amont. Le courant, facteur biotopique caractéristique, a été pratiquement éliminé ; de même, le charriage et le régime continu ont été interrompus. Les tronçons à courant libre ont été réduits à un minimum et les structures biotopiques autrefois typiques du milieu fluvial ont disparu sur environ 80 % du tronçon du haut Rhin. Les impacts plus importants, par exemple les corrections locales du fleuve, la navigation sur le haut Rhin et les installations portuaires (Rheinfelden), les aménagements rigides des berges sur de grandes distances imposés par les usines et les vagues causées par les bateaux, la

construction de nombreux ouvrages à proximité des berges, ont également contribué à la perte des anciennes structures fluviales typiques du haut Rhin.

3.1.2 Situation actuelle

Le haut Rhin est aujourd'hui une chaîne de retenues. On ne trouve plus que rarement sur le haut Rhin des conditions favorables, en termes de courant et de nature du lit mineur, pour la reproduction des espèces réophiles frayant sur le gravier et autres espèces adaptées au courant. On ne trouve de zones proches du naturel que dans le tronçon du haut Rhin situé en amont de l'embouchure de l'Aare. Ces tronçons présentent aujourd'hui encore des habitats typiques d'un milieu fluvial et alluvial. On ne trouve que très localement des zones alluviales plus étendues qu'au contact de grands affluents tels que la Thur, la Wutach et l'Aare, générant (récemment pour le Thur et historiquement pour l'Aare) un charriage plus important et, par là-même, de dépôts alluviaux.

Les tronçons qui ne se trouvent pas dans une zone de retenue et dont le lit est encore caractérisé par un écoulement libre sont particulièrement précieux. Les principaux tronçons à écoulement libre se trouvent entre le lac de Constance-lac inférieur et Gailingen (PK Rhin 25 – 34), entre Rheinau et l'embouchure de la Thur (PK Rhin 59,5 – 65,6) et entre l'usine de Reckingen et l'embouchure de l'Aare (PK Rhin 90 – 102).

3.1.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

Exception faite de quelques zones alluviales, le linéaire et le style fluvial correspondent presque intégralement à la situation initiale (cartes de Dufour et Siegfried autour de 1840 et 1880). Le haut Rhin ne s'est guère déplacé. Le cours du haut Rhin n'a été canalisé que dans les deux zones alluviales à hauteur de l'embouchure de la Thur (PK Rhin 65) et à « Albruck-Dogern » à proximité de l'embouchure de l'Aare (PK Rhin 109-113).

La principale dégradation du haut Rhin est due à l'aménagement de 12 centrales hydroélectriques par le biais de retenues ou par court-circuitage. Le profil longitudinal très dégradé et la perte de pente ont entraîné des modifications sensibles sur le débit, la dynamique et la nature des fonds. Ainsi, le lit mineur a obtenu la plus mauvaise évaluation dans la présente étude.



Espace de rétention Albruck-Dogern, PK 108 (situation typique des rives artificielles dans les zones de rétention sur le haut Rhin)
Source : HYDRA Berne, V. Maurer, 2001

Près des berges, la réduction du courant entraîne également une baisse sensible de la dynamique et de l'érosion et le lissage de la dynamique d'inondation a pour effet de réduire la fréquence d'inondation dans le lit majeur. Les berges sont par ailleurs aménagées sur de grands tronçons. La méthode utilisée ne permet malheureusement pas de procéder à une estimation quantitative de ce paramètre.



Rhin à hauteur de Bâle, PK 165 (situation typique du fleuve canalisé dans une agglomération)
Source : HYDRA Berne, V. Maurer, 2001

Sur le haut Rhin, l'évaluation du lit majeur est relativement positive avec presque 40% en catégorie « très bon » à « bon » (indice 1 et 2). Pour les berges, on relève que 10 à 20% des tronçons évoluent à des niveaux « très bons » à « bons ». Les déficits écologiques les plus marquants sont constatés sur le haut Rhin au niveau du lit mineur où plus de 80% des tronçons sont jugés dans un état « mauvais » ou « médiocre » (indice 4 – 5).

3.1.4 Particularités

Les tronçons remarquables proches du naturel sont très rares. Seuls peuvent encore être qualifiés de tels la sortie du lac inférieur à partir de Stein am Rhein et les Koblenzer Laufen (zone alluviale de Rietheim comprise, PK Rhin 97 – 100). Ces zones doivent en tout cas être protégées et si possible valorisées. On trouve ponctuellement des éléments remarquables sur d'autres tronçons. Il s'agit par exemple des chutes du Rhin (lit, paysage, PK Rhin 43), de l'embouchure de la Thur (zones alluviales), du Tössegg (paysage, PK Rhin 70), du Wallbach – Rheinfeldten (berge sud boisée, PK Rhin 136 - 148). Ici, il est également très important d'étendre les efforts de protection et d'amélioration de ces zones.

3.2 Rhin supérieur méridional (PK Rhin 170 à 353 ; Bâle à Lauterbourg)

3.2.1 Evolution historique :

Le Rhin supérieur méridional parcourt environ 180 km de Bâle à Lauterbourg (PK 170 – 353). Les aménagements importants subis par le Rhin supérieur sont la conséquence de l'exploitation précoce du Rhin pour les besoins de la navigation, de la production hydroélectrique, de l'agriculture, des implantations humaines, sans oublier

la nécessité de protéger contre les ondes de crue des populations se rapprochant toujours plus près du fleuve. Ces interventions ont eu des impacts graves sur le Rhin et l'on constate que la transformation massive voire complète du milieu physique naturel se reflète aujourd'hui dans les résultats de la présente étude.

Contrairement au haut Rhin, le linéaire du Rhin supérieur méridional a été sensiblement modifié et raccourci. L'exploitation hydroélectrique (10 ouvrages hydroélectriques) entraîne la formation de remous sur environ 40 % des tronçons observés. Ce phénomène a des répercussions négatives sur le régime de charriage, le lit mineur, le comportement rhéologique et la dynamique des berges. Le lit du fleuve est soumis à d'autres contraintes imputables à la navigation, pour laquelle un chenal de navigation doit être réservé et des épis mis en place.



Rhin totalement canalisé en amont de l'ouvrage
(source : Agence de l'Eau Rhin-Meuse)



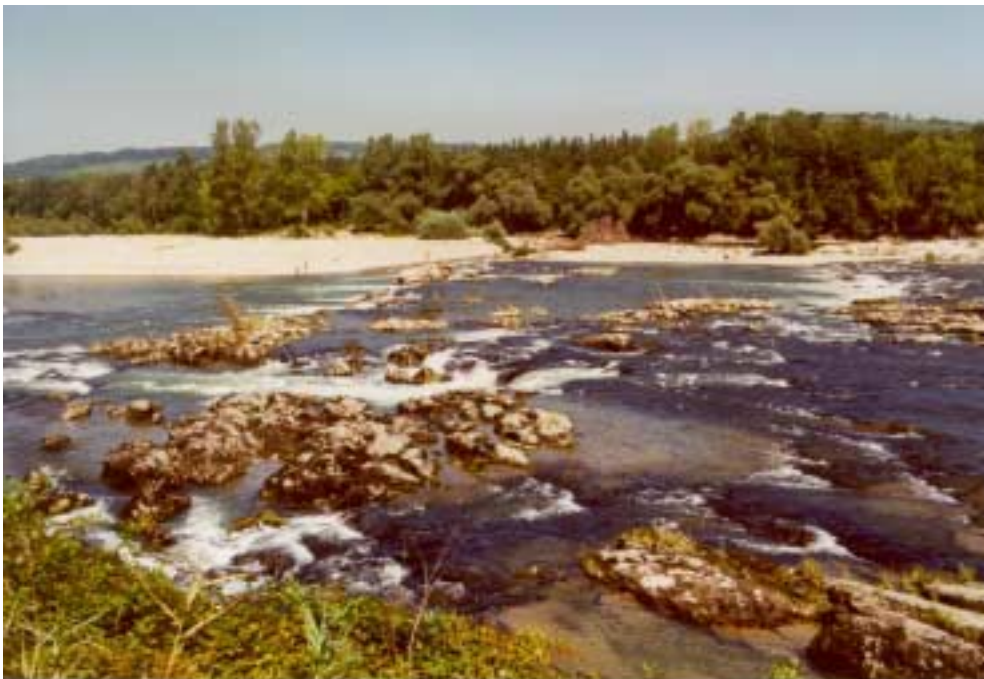
Rhin canalisé, entrée de l'usine hydroélectrique
(source: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

L'aménagement du Rhin supérieur a donné naissance à un profil transversal bordé de berges monotones. Les berges ont fait l'objet d'un aménagement rigide continu. Les processus dynamiques sur les berges, tels que l'érosion et l'accumulation, ont été fortement perturbés ou ont complètement disparu.

3.2.2 Situation actuelle

Comme conséquence de ces aménagements, différents tronçons homogènes du Rhin méridional peuvent être distingués :

- De la frontière suisse (Bâle ; PK 168) au PK 226 à Vogelsheim/Brisach-am Rhein (PK 226): Deux bras coulent en parallèle : le grand canal créé de toute pièce, jalonné d'écluses et de chutes exploitées pour leur hydroélectricité ; le vieux lit du Rhin appelé « Vieux Rhin ».



Vieux Rhin (source: Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

- Le Vieux-Rhin, long d'environ 50 km, a un débit réservé extrêmement faible, qui devient en étiage un facteur très limitant. Son lit a subi une profonde incision, liée à l'érosion régressive (conséquence des aménagements). Malgré cela, le Vieux Rhin reste un bon témoignage de ce que pouvait être le lit du Rhin avant canalisation.
- Dans les tronçons du Vieux Rhin, on note encore une certaine variabilité morphologique du lit mineur et des berges, car le débit réservé minimal s'écoule dans un lit beaucoup plus large. Une végétation spontanée peut ici se développer. Le développement de ces tronçons est donc fréquemment bien meilleur que celui des tronçons de plein débit.



Vieux-Rhin à hauteur de Märkt, source: LfU B.-W., U. Braukmann

- De la confluence du Vieux Rhin (PK 226) à l'île de Strasbourg (PK 291), le Rhin canalisé est régulièrement rescindé en deux bras (un canalisé et un plus sauvage mais de dimension modeste par rapport au Vieux Rhin) au niveau de 4 îles ou festons : Marckolsheim (PK 234 à 242), Rhinau (PK 249 à 260), Gerstheim (PK 268 à 274) et Strasbourg (PK 284 à 291).
- La dimension modeste des bras secondaires « sauvages » ne permet qu'un minimum de diversité et de fonctionnement dynamique. Le Rhin canalisé est encadré de digues positionnées directement sur ses berges.
- De l'île de Strasbourg (PK 291) à la sortie du territoire français (PK 353), coule le Rhin à « courant libre » sur lequel les ouvrages de Gambsheim et d'Iffezheim ne forment que des obstacles sans véritablement créer de bras secondaires. Les digues sont plus éloignées des berges et moins hautes qu'à l'amont notamment sur les parties aval.

3.2.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

L'état des lieux réalisé dans cette étude sur la qualité physique du Rhin, de Bâle à Lauterbourg, fait apparaître un fleuve dégradé sur la quasi-totalité de son linéaire, avec une dégradation plus marquée à l'amont (Grand Canal d'Alsace)

Les dégradations ont souvent un caractère irréversible et induisent de profondes perturbations de l'état physique et du fonctionnement naturel du cours d'eau.

Les endiguements, la canalisation et la construction des barrages hydroélectriques ont conduit à une banalisation à la fois du lit majeur, qui est complètement déconnecté, des berges et du lit mineur.

Les tronçons les plus remarquables correspondent au secteur du Vieux-Rhin (PK 174 à 226) ; ce sont eux qui présentent les degrés de diversité les plus importants au sein des trois grands compartiments du cours d'eau : lit majeur, berges et lit mineur. Malgré le fait qu'il soit dépendant de la régulation par le barrage de Kembs et qu'il soit « coincé » entre les deux digues, le Vieux-Rhin a pu

recréer un « mini-lit majeur » à l'intérieur duquel oscille son lit mineur en condition de basses eaux.

Il est encore possible de voir un tracé méandreux avec des diversités d'écoulement, de profondeur et de largeur du lit. Le Vieux-Rhin est un secteur biologiquement intéressant digne de protection.

Les secteurs de **Rhin court-circuité**, (bras vifs correspondant aux bras de décharge des barrages de Marckolsheim, Rhinau, Gerstheim et Strasbourg), présentent une plus grande diversité. La qualité globale (moyenne) montre que ces secteurs possèdent des aspects plus naturels (p.ex. annexes hydrauliques en communication avec le Rhin, diversité dans la nature des berges et du lit mineur).

Pour le reste, le Rhin est fortement marqué par les aménagements ; leur impact sur le milieu est très fort. Les secteurs présentent une très forte homogénéisation de l'ensemble des paramètres des trois grands compartiments (lit majeur, berges et lit mineur). Trois types de situation peuvent néanmoins être distingués :

1. Rhin canalisé et à courant libre gardant un certain degré de diversité (cf. aval de Gamsheim ; PK 309) :

Les notes couvrent les classes « médiocre » (4) et « moyenne » (3). Ce sont des zones du Rhin mais pour lesquelles l'absence de barrage, la présence de bras reconnectables dans le lit majeur et des diversités de berges permettent le maintien d'une qualité minimale.



Rhin canalisé gardant un certain degré de diversité (source : Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

2. Rhin canalisé ou canal avec uniformité quasi complète du milieu :

Les notes couvrent la classe « mauvaise » (5) voire le passage à la classe « médiocre » (4). Presque la moitié des tronçons (plus de 104 km) est concerné. Ces secteurs présentent des reliquats très limités de diversité ; ce sont des secteurs artificialisés, s'éloignant plus ou moins du comportement naturel. Le lit majeur est occupé pour la plupart de zones urbaines ou industrielles.



Grand Canal d'Alsace (source : Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

Seules quelques annexes hydrauliques déconnectées aux berges non consolidées offrent encore des possibilités d'amélioration limitées.

3. Rhin canalisé ou canal placé en influence amont d'un barrage

L'indice du milieu physique est situé dans les parties les plus mauvaises de la classe « mauvaise » (5). Tous les compartiments sont significativement atteints (lit majeur, berges et lit mineur). Aucune variation n'est rencontrée sur les secteurs totalement bétonnés et endigués. Contrairement aux autres tronçons, les possibilités d'amélioration sont nulles. Les altérations sont pour la plupart irréversibles.

L'évaluation reflète de manière correcte l'état actuel du Rhin avec ses différents secteurs ; la qualité générale s'étend de la classe « mauvaise » jusqu'à la classe « moyenne » avec une grande majorité de secteurs (25 tronçons) dans la classe V (mauvaise).

3.2.4 Particularités méthodologiques

Pour les tronçons du Rhin formant la frontière entre la France et l'Allemagne, les méthodes nationales respectives ont été appliquées. Le diagnostic de qualité des berges et du lit majeur résulte de ces méthodes (méthode française pour la rive gauche ; méthode allemande pour la rive droite). En revanche, l'évaluation du lit mineur correspond à une synthèse entre les 2 diagnostics (français et allemand).

3.3 Rhin supérieur septentrional (PK 354 – 529,1)

3.3.1 Evolution historique

Avant la correction du Rhin (à partir de 1817), le Rhin supérieur était un fleuve sauvage.

Alors qu'en amont de l'embouchure de l'III, le fleuve était subdivisé en de nombreux bras changeant régulièrement de linéaire, il s'écoulait en aval dans un profil fermé et traversait la plaine rhénane en formant de larges méandres. Ceux-ci aussi se

déplaçaient régulièrement. La pente, la contrainte au cisaillement et la granulométrie moyenne des matériaux charriés diminuent régulièrement le long du Rhin supérieur jusqu'au seuil d'érosion « Nackenheimer Schwelle ». Entre le Neckar et la Nahe, de nombreuses agglomérations ont vu le jour très tôt le long du Rhin supérieur, notamment sur la rive gauche. Leurs habitants naviguaient sur le Rhin, pêchaient et exploitaient l'énergie hydroélectrique grâce à des moulins. La forme des berges rhénanes a facilité la mise en place de chemins de halage au profit de la remontée. Seul le seuil de Nackenheim constituait un obstacle majeur à la navigation. Les parties les plus basses de la vallée rhénane souffraient des inondations et du manque de drainage, notamment sur la rive droite dans le Ried. Les digues locales construites depuis le Moyen Age ont été régulièrement endommagées lors de grandes crues ou du charriage des glaces, voire détruites suite à des ruptures.

A hauteur de Mayence, le fleuve s'oriente vers l'ouest et coule parallèlement au massif du « Taunus ». C'est ici, dans le Rheingau, que se formaient et se déplaçaient des bancs de sable dans les nombreuses ramifications du Rhin. Ce « Rhin des îles » fait transition avec le massif schisteux et est caractérisé par une faible pente, un large chenal combiné à une faible profondeur d'eau et à un charriage de matériaux sablonneux et graveleux fins.



Ancien bras du Rhin à hauteur de Lingenfeld, plaine alluviale, 1987, source : IMZ RP/R

3.3.2 Situation actuelle

Du nord vers le sud, le Rhin constitue un axe principal de trafic et d'urbanisation. On trouve cependant encore en dehors des centres industriels des bras morts et des fragments alluviaux ainsi que quelques paysages particulièrement attrayants. La vallée du Rhin moyen, par exemple, avec ses châteaux et ses forts disséminés sur le tronçon dit du « Rhin romantique », ou encore la Loreley, attirent en masse les touristes du monde entier. Le Rhin est simultanément la voie navigable la plus empruntée et celle ayant subi les aménagements les plus intensifs. Pour les besoins de la navigation, le Rhin a été équipé d'épis et de déflecteurs, d'installations portuaires et de transbordement du fret fluvial. Ses zones d'épandage sont pour la plupart endiguées.

Au point kilométrique 355,4 du Rhin à Neuburg, en aval du dernier barrage hydroélectrique, le Rhin s'engage dans le fossé rhénan et prend le caractère d'un

fleuve de vallée alluviale. Les premiers 70 kilomètres jusqu'aux portes de Mannheim et de Ludwigshafen sont fortement marqués par les aménagements hydrauliques de Tulla (1817) et de Max Honsell (1860). La rectification du Rhin supérieur et sa mutation en voie navigable par Max Honsell ont transformé ce tronçon jadis largement méandreux en un chenal de navigation au cours banalisé. Avec la remodelisation des tracés fluviaux, Mannheim s'est vu offrir un port industriel et un nouveau débouché du Neckar dans le Rhin.



Société BASF Ludwigshafen, 1968, source : LMZ RP/W. Lemp

Les deux supercentrales de Neckarau, visibles de loin, marquent le début de la région industrielle de Ludwigshafen/Mannheim. Les infrastructures dominantes sont ici les ports, sites de transbordement, voies de trafic et implantations industrielles à proximité immédiate du fleuve. La morphologie des berges a été radicalement modifiée par des parois rigides et des enrochements.

Dans ce tronçon, on procède entre Iffezheim et Mayence à un apport artificiel en débit solide pour empêcher l'érosion profonde du Rhin.

A hauteur des agglomérations de Mayence et de Wiesbaden, on atteint le bassin Rhin/Main, une région également caractérisée par une densité élevée d'implantations industrielles et d'installations portuaires. Plus en aval, on entre dans le « Rhin des îles » ou le « Rheingau » avec ses vignobles, ses flancs boisés, ses collines, son paysage globalement attrayant.

3.3.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

Le Rhin supérieur septentrional a une morphologie particulièrement dégradée et très largement artificialisée. Des déficits morphologiques majeurs se rencontrent autant sur la voie navigable que dans les cours d'eau alluviaux encore existants et dans le lit majeur.

Ceci fait que le Rhin supérieur septentrional doit être classé sur la majeure partie de son cours dans les classes « médiocre » et « mauvais » (indices 4 et 5).

Les conséquences en sont des conditions généralement globalement médiocres pour les paramètres du milieu physique, notamment le profil longitudinal, le lit mineur, les berges et le profil transversal.

Les nombreux bras morts subsistant sur les deux rives du Rhin revalorisent le lit majeur et autorisent une meilleure notation qualitative là où sont absents les aménagements rigides des berges, les routes, les ports, et là où subsistent en revanche des fragments de forêt alluviale, des surfaces en avant des digues etc. Le profil dominant reste cependant celui d'un cours régularisé marqué par une succession de champs d'épis.

Les phénomènes d'érosion et de divagation ont totalement disparu. Jusqu'en aval de Worms, le milieu physique Rhin est en majeure partie classé dans la catégorie la plus mauvaise (indice 5). Dans le tronçon compris entre Worms et Mayence, on note une répartition très hétérogène des trois classes morphologiques les moins bonnes. Alternent sur la rive gauche des zones de loisirs en avant de la digue principale, les localités d'Oppenheim et de Nierstein et des surfaces viticoles. Sur la rive droite, les berges sont moins exploitées. L'urbanisation est nettement moins dense et les fragments de forêts alluviales plus fréquents. Les réserves naturelles (comme p.ex. Kühkopf, Knoblochsau, Kornsand et Hessenau) rehaussent la diversité morphologique.

3.3.4 Particularités

Le cours principal du Rhin étant prioritairement utilisé comme voie navigable, les possibilités d'amélioration hydromorphologique sont ici très limitées.

Il est dès lors d'autant plus important de préserver et de développer les fonctions écologiques du milieu physique des eaux alluviales encore présentes dans l'étroite plaine alluviale du Rhin.



Ancien bras du Rhin au nord de Speyer,
Angelhofer Altrhein et Binsfeld, 1993, source : LMZ RP/
M. Czerwinzki, Rhin supérieur septentrional

Entre les agglomérations de Karlsruhe, Ludwigshafen, Worms et Mayence, on trouve encore quelques tronçons de grande valeur, le plus souvent en relation avec des anciens bras, des fragments d'annexes hydrauliques ou encore des îles. Cette remarque s'applique également au Rhin des îles situé entre Mayence et Bingen où subsistent encore des structures alluviales intacts dont le développement et la protection revêtent une importance toute particulière.

On trouve entre Ingelheim et Bingen une réserve naturelle ornithologique (« zone humide d'intérêt international » selon la Convention Ramsar) à statut Ramsar, avec de nombreuses îles particulièrement précieuses en hiver pour les oiseaux migrateurs et de passage venant du grand Nord.

3.4 Rhin moyen (PK 529,2 – 639,28)

3.4.1 Evolution historique

La vallée rocheuse du Rhin moyen, qui ne s'élargit qu'entre Coblenche et Neuwied, s'étend de Bingen à Bonn et est colonisée depuis très longtemps.

Les Romains y ont dominé pendant quatre siècles. Les anciennes agglomérations se trouvaient en général en dehors du champ d'inondation. Par contre, les routes dans la vallée sur les deux rives étaient exposées aux inondations sur de grandes distances.

Le lit rocheux et sinueux du Rhin posait de gros problèmes à la navigation. Le principal obstacle à la navigation dans le Rhin moyen, voire même sur l'ensemble du Rhin navigable, était le récif de quartzite dans le « Binger Loch » (aujourd'hui au PK Rhin 530,7) qui s'étendait d'une rive à l'autre, initialement sans interruption aucune, en aval de l'île du « Mäuseturm ». Il s'agissait en quelque sorte d'un barrage naturel infranchissable pour les bateaux en période d'étiage. Dans le tronçon montagneux entre Bingen et St. Goar, de nombreux récifs et rochers émergeaient du fond rocheux du fleuve. C'était p.ex. le cas entre Bacharach et Kaub, où le lit du fleuve était entrecoupé par de nombreux rochers et deux îles, le « Bacharacher Werth » et le « Kauber Werth ». Entre ces deux îles s'était formé un rapide, le « Wilde Gefähr ».



La Loreley à St. Goar, 1951, source : LMZ RP

En aval de St. Goar, le fleuve s'écoulait dans une vallée étroite, mais présentait cependant des bancs de sable variés, des îles et des divagations, notamment dans le bassin de Neuwied.

3.4.2 Situation actuelle

Le Rhin moyen démarre à Bingen avec un fort dénivelé. La pente et la contrainte au cisaillement diminuent ensuite, mais le linéaire n'est pas aussi continu que sur le Rhin supérieur. La granulométrie moyenne des matériaux solides, qui varie dans une certaine marge, suit à partir de Coblenz la tendance générale.



Boucle du Rhin à hauteur de Boppard, zone de développement pour rives et plaine alluviale, zone caractérisée par l'habitat et les usages, 1986, source : LMZ RP/G. Rittstieg

Le Rhin moyen est un milieu très artificialisé. Le fleuve rétrécit son cours dans la vallée encaissée du Rhin moyen entre Bingen et Coblenz. La pression intensive exercée par le trafic, le tourisme et l'urbanisation dans cette vallée étroite fait que le Rhin n'a aucun espace pour s'étendre ou développer des caractéristiques morphologiques propres. Le lit mineur a été aménagé pour optimiser la navigation et les conditions d'écoulement. Le dynamitage des rochers, l'aménagement d'épis et de déflecteurs, la consolidation des rives ont fait entièrement disparaître les structures naturelles des berges. Les zones amphibies naturelles à proprement parler, les bandes riveraines et le champ d'inondation sont soumis à une exploitation intensive et recouverts d'axes de circulation et d'implantations humaines. Il en résulte un milieu physique de « mauvaise » qualité malgré le caractère séduisant du paysage.

Une fois dépassées les zones de confluence de la Lahn et de la Moselle, le Rhin s'engage dans le bassin de Neuwied. Il s'élargit notablement en dépassant la concentration urbaine de Neuwied/Andernach avec ses installations portuaires, ses rampes de transbordement et de chargement. Le Rhin borde ensuite Bad Hönningen et Bad Breisig et se rapproche de la frontière entre Rhénanie-Palatinat et Rhénanie-du-Nord-Westphalie à hauteur d'Oberwinter/Bas Honnef. Dans ce tronçon, le cours du Rhin devient méandreux.

3.4.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

De par la forme encaissée de la vallée et de la géomorphologie du massif schisteux rhénan, le tronçon du Rhin moyen compris entre Bingen et Coblenche dispose de peu d'espace. L'érosion et la divagation latérales y sont absentes. Les épis et ouvrages de déflexion relèguent le fleuve dans le chenal de navigation. Des deux côtés des berges, des routes nationales et la voie ferrée longent le Rhin.

Avec les nombreuses îles qui parsèment son cours sur les premiers 40 kilomètres vers l'aval, de Bingen à St. Goar, le Rhin conserve des éléments morphologiques dignes d'être mentionnés (p.ex. Clemensgrund, Bacharach, - Tauber Werth, Geisenrücken) et qui valorisent le lit majeur dans ce tronçon. Par conséquent, la classe morphologique la plus mauvaise (mauvais état, indice 5) est pratiquement absente.



Navigation de plaisance à hauteur de la Loreley dans la vallée du Rhin moyen, routes nationales, voies de chemin de fer, 1988, source : LMZ RP/G. Rittstieg

Sur les 40 kilomètres suivants jusqu'à Coblenche, les îles et leurs périmètre alluvial ont disparu. Cette situation, à laquelle s'ajoute un aménagement rigide et un étroit chenal de navigation, font que l'évaluation du milieu physique débouche sur la plus mauvaise catégorie.

Dans le tronçon compris entre Coblenche et la frontière du Land de Rhénanie–du-Nord-Westphalie, les deux classes morphologiques les plus mauvaises se succèdent très fréquemment. On relève toutefois avec une dégradation sensible dans l'agglomération de Neuwied/Andernach. Les raisons en sont l'aménagement rigide des berges à hauteur des sites industriels et des installations de transbordement de marchandises. La présence de trois îles apporte une certaine variété dans un environnement sinon monotone.



Le « Deutsche Eck » (confluence Rhin/Moselle) lors de la crue centennale
Vue de la forteresse Ehrenbreitstein Coblenche, 1993, source : LMZ RP/G

3.4.4 Particularités

Dans la vallée étroite et encaissée du Rhin moyen, on ne trouve pas d'anciens bras du Rhin. Les forêts alluviales ne s'étendent plus que sur de très petites surfaces.

Ce n'est qu'en atteignant le cours aval de la vallée du Rhin moyen que l'on voit réapparaître entre Coblenche et Bad Honnef, sur de faibles superficies cependant, des anciens bras et des formes alluviales, comme par ex. la Rheinlache près de Coblenche, le Nameyer Werth et l'Urmitzer Werth.



Vallée du Rhin moyen à hauteur de St. Goarshausen, retrécissement de la vallée de 300-450 m à 130 m de large, 1986, source : LMZ RP/G. Rittstieg

Le 27.06.2002, l'UNESCO a déclaré patrimoine culturel mondial la vallée du Rhin moyen comprise entre Bingen/Rüdesheim et Coblenche. Ce tronçon du cours amont de la vallée du Rhin moyen, d'une longueur d'env. 65 km, est un paysage culturel remarquable par sa diversité et sa beauté.

Cette distinction montre que ce paysage est d'une valeur universelle exceptionnelle, unique et authentique et qu'il mérite d'être protégé et conservé.

3.5 Rhin inférieur : PK 639,29 – 857,7 (rive gauche), 865,5 (rive droite)

3.5.1 Evolution historique

Jusqu'au 15^{ème} siècle, le Rhin peut modeler le cours de son lit avec une grande liberté. Les digues apparaissent, dans une mesure restreinte, à partir du 16^{ème} siècle et sont progressivement raccordées au fil des décennies suivantes. Dès le 16^{ème} et le 17^{ème} siècle, on procède ici et là à des raccourcissements du cours en court-circuitant des méandres. A Emmerich, par ex. une première tentative de correction de ce type se solde par un échec en 1588. Elle est réitérée, avec succès cette fois, en 1644. De même, un court-circuitage est tenté sans succès à Rees en 1654, puis réalisé en 1670.

De 1750 à 1780, les mesures d'aménagement fluvial, exécutées jusqu'alors de manière hétérogène selon les besoins locaux des riverains, sont progressivement remplacées, sous l'autorité prussienne, par un cours, un profil et des ouvrages de consolidation uniformisés. Le Rhin inférieur perd au total env. 23 km de son cours sous l'effet des mesures de correction.



Rive convexe non consolidée, courbe 'blanche' du Rhin (photo infrarouge)

Avec l'avènement de la navigation à vapeur en 1841, les travaux de correction ne se concentrent plus prioritairement sur la protection des rives et la conquête de surfaces mais visent plutôt à donner au fleuve une profondeur, largeur et profil adaptés à la navigation et permettant d'évacuer rapidement les eaux. L'objectif de régulation consiste alors à mettre en place un chenal de 150 m de large pour un profil transversal de 300 m du lit mouillé. En situation de débit d'étiage moyen, l'objectif est fixé jusqu'à Cologne à une profondeur de chenal de 2,10 m et à partir de Cologne à 2,50 m, rapporté au niveau d'eau équivalent (Gleichwertiger Wasserstand) de 1982.

Aux alentours de 1880, de nombreux systèmes d'épis sont déjà adaptés aux lignes de correction et les talus sont consolidés par des enrochements. Les principales interventions de génie hydraulique ont lieu dans les années qui suivent et sont toutes achevées en 1900. Ce niveau d'aménagement déjà atteint au début du 20^{ème} siècle, qui a transformé le Rhin inférieur en voie navigable fédérale, est encore considéré aujourd'hui pour l'essentiel comme le stade de développement visé.

L'impact de l'homme sur le Rhin inférieur et son milieu alluvial remonte loin dans le temps. Dès la fin du 13^{ème} siècle, les forêts alluviales d'origine sont pratiquement toutes défrichées et transformées en un paysage de prairies sous l'effet de l'extension progressive des surfaces d'exploitation agricole.

La plupart des surfaces naturelles inondables du Rhin disparaissent. Le raccourcissement du cours se traduit par une pente accrue et une accélération significative du courant, phénomène encore renforcé dans le bassin et dans les anciennes surfaces de rétention par l'imperméabilisation des surfaces, les déboisements, le remembrement, la culture d'espèces fruitières sans couverture végétale du sol etc.

Du début du 19^{ème} siècle jusqu'en 1970 environ, le Rhin doit faire face à une pollution massive par des substances nuisibles (entre autres des apports agricoles, des rejets d'eau usées industrielles, des apports diffus de substances). La disparition de nombreuses biocénoses aquatiques et alluviales est la conséquence de cette dégradation de la qualité de l'eau d'une part et des altérations

morphologiques et modifications des conditions d'écoulement occasionnées par les aménagements hydrauliques.

3.5.2 Situation actuelle

Le Rhin traverse la Rhénanie-du-Nord-Westphalie de Rolandseck à Bimmen, c'est-à-dire du PK 639,3 au PK 865,5. L'apparence de ce fleuve a beaucoup changé au fil des millénaires. Le Rhin dit inférieur ainsi que son lit majeur sont caractérisés par un usage croissant. Alors qu'il existait jadis des zones alluviales étendues et des vieux bras, on a créé de plus en plus de surfaces bâties, industrielles, routières et agricoles le long du Rhin en endiguant le fleuve, en raccourcissant son linéaire et en consolidant les rives. La grande importance du Rhin pour l'homme n'est pas uniquement due au fait que de nombreuses villes datent de l'époque romaine, mais aussi au fait que le plus grand port fluvial au monde se trouve à Duisburg. En conséquence, l'exploitation du Rhin comme voie navigable est prioritaire.



Aménagement d'épis à hauteur de Düsseldorf – Kaiserswerth (photo infrarouge)

3.5.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

De Rolandseck à Bonn (PK 639,3 – 654), le Rhin est, selon l'état de référence, un fleuve de plaine linéaire, pour l'essentiel non ramifié, influencé par les massifs moyens et à couverture essentiellement graveleuse. L'aménagement lourd des berges interdit toute possibilité de développement sur ce tronçon, il ne peut y avoir d'érosion des rives convexes. On observe comme formes particulières les îles Grafenwerth et Nonnenwerth. Sous l'influence des massifs moyens, le pourcentage de gros graviers est plus élevé que dans les tronçons suivants ; selon l'état de référence, les fonds se composent pour la plupart de gravier. On ne trouve ni fosses ni dépressions profondes. L'aménagement d'épis et le remblai des dépressions par des substrats à proximité des berges aux fins de garantir la navigation entraînent une dégradation du milieu physique. L'approfondissement, qui va à l'encontre du profil naturel plat, a également un impact négatif sur l'évaluation. Des épis sont aménagés sur tout ce tronçon, exception faite de la ville de Bonn et des îles susmentionnées. On trouve sur l'ensemble du tronçon un aménagement lourd des berges, par emmurement partiel à Bonn même et par enrochement ailleurs.

Le tronçon suivant va de Bonn à Leverkusen (PK 654 – 701,5). Selon l'état de référence, c'est un fleuve de plaine faiblement sinueux, très peu ramifié, influencé par les massifs moyens et à couverture essentiellement graveleuse. Le fleuve, linéaire au début de ce tronçon, se transforme peu à peu en un fleuve faiblement sinueux. L'approfondissement moyen et l'aménagement presque intégral des berges ne permettent pas d'évaluation positive du style fluvial. On ne trouve pas de

fonds naturels, seulement des alluvionnements près des champs d'épis. A hauteur de Godorf, le fond est dégradé par l'aménagement de dépressions. Ici aussi, l'approfondissement par rapport au profil naturel plat, combiné au manque d'érosion latérale et de variation de largeur, au profil régulé et à la mise en place d'épis, entraîne un mauvais classement du profil transversal. Dans les zones urbaines de Bonn et de Cologne notamment, mais aussi dans les zones industrielles de Köln-Godorf, Köln-Niehl et Leverkusen, les berges sont complètement dégradées par la construction de murs.

Le tronçon suivant commence en aval de Leverkusen et s'étend jusqu'à Duisburg (PK 701,5 – 775). Selon l'état de référence, le Rhin est ici un fleuve de plaine méandreux, très peu ramifié, à couverture essentiellement graveleuse, parfois accompagné d'annexes latérales. Le tracé linéaire ou sinueux, rarement méandreux, l'aménagement lourd des berges et le fort creusement ont un impact négatif sur la classification du style fluvial. A hauteur de Düsseldorf, Krefeld-Uerdingen et Duisburg, les berges ont un profil régulé et sont fortement ou intégralement aménagées avec dominance d'épis. On ne rencontre que rarement des berges non aménagées présentant une végétation typique du milieu. Il s'agit principalement de larges rives convexes avec des surfaces graveleuses végétalisées. Le lit majeur est caractérisé par des formes étendues de vieux bras, p.ex. à hauteur de Meerbusch, Urdenbach et Worringen. Ces surfaces sont en partie soumises à une exploitation agricole, en partie protégées.

Le tronçon qui s'étend de Duisbourg à Wesel (PK 775 – 813) correspond, selon l'état de référence, à un fleuve de plaine méandreux, riche en annexes latérales, en partie ramifié et à couverture essentiellement graveleuse, accompagné d'un paysage de lacs dus à l'exploitation minière. Ces affaissements sont imputables à l'exploitation de la houille et du sel ; le niveau fluvial a donc à nouveau été rehaussé. Sur certains tronçons, le Rhin est assez élevé. La structure du fond est souvent caractérisée par un fond massif dû aux déversements de terres de lavage suite aux affaissements et au remblai des fosses. On trouve également dans ce tronçon des seuils de fond et des prélèvements locaux de débit solide. Dans toute cette zone, le profil transversal est totalement dégradé ; on y trouve un profil régulé, des approfondissements > 2 m et des rétrécissements ainsi qu'un manque de variation de largeur et d'érosion latérale. Dans quelques rares cas, la structure des berges a pu être qualifiée de moyennement dégradée ; il s'agit ici de rives convexes non aménagées avec des bosquets autochtones, des végétations pionnières ou naturellement dénuées de végétation. On observe plus rarement des lisières continues de bosquets riverains. Les grandes dépressions de terrains imputables aux affaissements miniers dans la région de la Ruhr sont typiques pour le lit majeur de même que les nombreuses gravières sur les deux rives du Rhin.

Le dernier tronçon du Rhin sur le territoire allemand va de Wesel à Bimmen (PK 813 – 865,5). Selon l'état de référence, il s'agit d'un fleuve de plaine méandreux, riche en annexes latérales et souvent ramifié, à couverture essentiellement graveleuse. Sur ce tronçon, le tracé du fleuve a été raccourci, le Rhin est ici faiblement sinueux. Des court-circuitages ont été réalisés à plusieurs reprises, six d'entre eux à des époques lointaines. On ne trouve aujourd'hui ni ramifications ni annexes latérales et très rarement des formes particulières sur le linéaire. Les dégradations du lit en sont d'autant plus importantes, p.ex. sous forme de seuils de fond ; il manque également des structures du linéaire et du fond. Le profil essentiellement régulé est remplacé plus en aval par un profil aménagé en épis. Ici aussi, le Rhin est très encaissé, sensiblement rétréci et il n'y a ni érosion latérale ni variation de largeur. La mauvaise évaluation est due avant tout à l'aménagement rigide et au manque de lisières continues de bosquets riverains.

Un examen global du milieu physique du Rhin inférieur en Rhénanie-du-Nord-Westphalie fait ressortir les déficits morphologiques actuels par rapport aux conditions de référence. Malgré ces déficits, principalement dus au trafic fluvial intense et à l'exploitation du milieu environnant, on relève quelques petites surfaces évaluées de meilleure qualité. Il s'agit cependant uniquement de courts segments de berges en pente douce mais qui donnent cependant une idée du potentiel de développement du fleuve au cours stabilisé. Si l'on agrège la notation du lit mineur, des berges et du lit majeur en une unique classe morphologique, le milieu physique du Rhin inférieur s'écoulant en Rhénanie-du-Nord-Westphalie oscille entre la classe 3 (« moyen ») et la classe 5 (« mauvais ») avec dominance de la classe 4 (« médiocre »).

3.6 Delta du Rhin : PK 857,8 (rive gauche), 865,5 (rive droite) – 1 ou 2 miles marins en dehors de la ligne de base

3.6.1 Evolution historique

Le delta du Rhin est colonisé depuis longtemps, l'influence anthropogénique y est manifeste. Les premiers systèmes de digues ont été construits il y a plus de 1000 ans, au 15^{ème} siècle, tout le lit majeur était endigué. Les digues principales ont été érigées entre la ceinture des méandres et le champ d'inondation. A la suite de démêlés militaires et économiques, les courbes et les bras du Rhin ont été court-circuités. Les surfaces inondables endiguées se sont envasées et des épis ont été mis en place pour obtenir des surfaces agricoles. Ces épis n'ont pu empêcher l'érosion des berges et la formation de bancs de sable par le fleuve. Le lit fluvial pouvait donc continuer à divaguer entre les digues. Comme l'IJssel avait tendance à se colmater par déposition sédimentaire, il a été décidé, pour améliorer la répartition des débits entre le Nederrijn/IJssel et le Waal, de construire le Pannerdense Kanaal. Les larges surfaces inondables endiguées réduisaient la capacité d'écoulement du fleuve et les embâcles étaient fréquentes au niveau des bancs de sable. C'est ce qui a donné lieu aux ruptures de digues et inondations de grande ampleur dans le courant du 17^{ème} siècle. A partir de 1803, des travaux de régulation ont été réalisés sur tous les bras du Rhin et de la Meuse. On entendait ainsi accélérer le débit fluvial dans la mer en obturant les lits de dérivation et contraindre le fleuve, en construisant des épis, à s'écouler dans un lit plus étroit et plus profond. Le Nieuwe Waterweg et la Nieuwe Merwede ont été construits dans l'ouest de la Hollande et la Meuse a été séparée du Waal dans le centre de la Hollande par fermeture du lit de dérivation du Heerewaarden. La Meuse a été dotée d'une nouvelle embouchure en mer. Tous ces travaux se sont achevés en 1920. Plus tard, dans les années 50 et 60, le chenal de navigation a été creusé plus profondément, ce qui a provoqué un abaissement du niveau d'eau en situation de débit moyen et de débit d'étiage. Pour rehausser le débit de l'IJssel en période de faible débit, trois barrages ont été mis en place sur le Nederrijn et le Lek dans le courant des années 70. A la même période, on a condamné l'accès à la mer du Haringvliet par une digue. Dans le champ d'inondation, la production de briques, les carrières de sable et de gravier et l'exploitation agricole se sont développés. L'objectif d'un « rétablissement écologique » des fleuves et de leur milieu alluvial » a vu le jour dans les années 90. Pour finir, il a été décidé après les inondations dramatiques de 1995 de se donner pour objectif prioritaire d'augmenter les capacités de débit en situation de crue. Cet objectif doit être atteint par des mesures de creusement et de décaissement du champ d'inondation et avec la mise en place de canaux latéraux.

3.6.2 Situation actuelle

Le Rhin atteint les Pays-Bas à hauteur de Lobith. Le tronçon compris entre Lobith et Millingen sur Rhin (PK 858-867) est appelé Boven-Rijn. La rive gauche et le lit majeur du Boven-Rijn sont allemands sur 7 kilomètres. A Millingen sur Rhin, le Rhin se scinde en canal de Pannerden et Waal. Le Waal s'écoule vers l'ouest. A partir de l'endroit où l'Afgedamde Maas débouche dans le Waal, ce bras prend le nom de Boven-Merwede.

Au sud d'Arnhem, le canal de Pannerden se sépare en deux ramifications, le Nederrijn/Lek et l'IJssel. Le Nederrijn/Lek s'écoule vers l'ouest, son cours aval devenant la Nieuwe Maas et le Nieuwe Waterweg. Le Nederrijn/Lek est canalisé sur toute sa longueur. Les autres bras s'écoulent librement.

L'IJssel s'écoule vers le nord et se jette dans l'IJsselmeer.



Retenue sur le Nederrijn à hauteur d'Amerongen (PK 922, photo : RWS(MD))

Environ à 100 kilomètres en aval de Lobith, dans la partie aval du bassin du Rhin (Benedenrivierengebied), le Waal/Boven-Merwede et le Lek se divisent en plusieurs bras, qui se rejoignent en partie pour former d'autres bras. Dans cette zone, les niveaux d'eau sont déterminés par les marées. L'hydrosystème du Rhin et celui de la Meuse se transforment dans leur partie aval en Hollandsch Diep/Haringvliet. Comme le Hollandsch Diep et le Haringvliet sont officiellement comptés dans le bassin de la Meuse, ils n'ont pas été intégrés dans la cartographie des bras du Rhin. Seul le Nieuwe Waterweg s'écoule librement dans la mer. Le Haringvliet a été barré par une digue en 1970, de sorte que l'influence des marées a fortement diminué en bordure méridionale du bassin aval.

L'érosion du lit fluvial a atteint jusqu'à 1 mètre lors du siècle précédent dans le delta du Rhin. Elle s'est fortement réduite cependant au cours des dix dernières années. Le lit est à présent stable à de nombreux endroits et le dragage n'est autorisé que si le sable prélevé est réintroduit dans le fleuve à d'autres endroits. Cette mesure a un effet positif sur la stabilité du lit et sur le régime de charriage. Le processus actuel d'érosion est pris en compte dans le présent ouvrage cartographique.

3.6.3 Résultats de l'évaluation du milieu physique

Malgré les nombreuses modifications, le milieu physique du delta du Rhin est estimé relativement bon. Ceci est dû en grande partie à la nature de la méthode qui prend pour référence l'état de l'hydrosystème en 1850. Le linéaire du lit, l'extension des surfaces inondables et leur inondabilité en cas de crue ont peu évolué depuis 1850. Le Waal est le cours d'eau néerlandais le plus proche du naturel.



Réserve naturelle Ewijk sur le Waal avec végétation alluviale naturelle et sédimentation après la crue de 1993/93 (photo : RWS/MD)

Lit mineur

Dans le delta du Rhin, le lit mineur est à 50% dans un « bon » état (2^{ème} classe) et à 50% dans un état « moyen » à « médiocre ». Les différents paramètres sont parfois évalués de manière très variable :

- Le linéaire et le profil du cours sont estimés à 40 % « très bons » et à 60 % « moyens » à « mauvais »
- La relation largeur/profondeur et la mise en suspension de substrat/dragage sont jugés à 80% « moyens » à « mauvais » et à 20% « bons » à « très bons »
- L'évaluation est « mauvaise » pour l'aménagement et le creusement du lit dans le Boven-Rijn, le Waal, le Pannerdens Kanaal, le Nederrijn et le Lek (60% des bras fluviaux au total) et « très bonne » dans l'IJssel et le bassin aval.
- Il n'y a d'ouvrages transversaux et de tronçons court-circuités que sur le Nederrijn/Lek ; 20% des bras fluviaux sont donc considérés comme « mauvais » et 80% comme « très bons ».
- Le paramètre 'amplitude horizontale des marées dans le cours aval' est estimé à 50% « bon » à « très bon » et « moyen » à « mauvais » à 50% également.

Dans l'ensemble, le lit mineur de l'IJssel et du cours aval est estimé « bon » à plus de 75%. Le lit mineur du Boven-Rijn, du Waal, du Pannerdens Kanaal, du Nederrijn et du Lek est considéré en majeure partie « moyen ». 30% du Nederrijn/Lek est jugé « médiocre ».



Réserve naturelle Ewijk sur le Waal, très grands champs d'épis plats et végétation alluviale naturelle, situation en 2003 (photo : G. Geerling)

Berges

Globalement, les berges sont à 25% en « bon » ou en « très bon » état (classe 1 ou 2), à 40% dans un état « moyen » et à 35% dans un état « médiocre » ou « mauvais ». Des différences significatives apparaissent cependant entre les différents bras du Rhin.

- Les berges du Boven-Rijn et du Waal sont estimées « bonnes » (40% dans la classe 1 et 40% dans la classe 2) car elles ont peu changé par rapport à l'état de 1850. On trouve le long du Waal de grands tronçons d'épis non consolidés avec des plages à pente douce et une végétation naturelle des berges.
- Les berges du Pannerdens Kanaal, du Nederrijn et du Lek sont dans un état « moyen » à « mauvais » (47 % en classe 3, 28 % en 4 et 8 % en 5). La succession de retenues maintient les fluctuations de hauteur d'eau à un faible niveau (80 % « médiocre » et « mauvais »), de sorte que la zone amphibie comprise entre la zone aquatique et la zone terrestre est étroite. En outre, 50 % des berges sont consolidés par de gros graviers. La végétation des berges est estimée « bonne » à « très bonne » dans 50 % des cas.
- Les berges de l'IJssel sont les zones recevant la plus mauvaise notation (39 % « moyen », 55 % « médiocre », et 5 % « mauvais »). Dans 90 % des cas, les berges sont consolidées et comme les épis font souvent défaut, les zones de haut-fond sont assez rares (90% « médiocre » et « mauvais »). La végétation des berges est estimée « bonne » dans 45 % des cas.)

- L'évaluation des paramètres appliqués aux berges varient fortement sur le cours aval. Les berges du Nieuwe Merwede, du Beneden-Merwede, du Dordtsche Kil et du Noord, de même que les berges bordant les agglomérations urbaines sur la Nieuwe Maas, le cours amont du Spui et le cours amont de l'Oude Maas sont dans un état qualifié « médiocre » (34 % de la zone en classe 4). La raison en est d'une part la consolidation des berges (bras septentrionaux) et d'autre part la baisse de l'influence des marées (bras méridionaux). Dans les urbanisations, on s'attendait à ce que les paramètres des berges et du lit majeur soient complètement modifiés, mais comme les paramètres 'amplitude verticale des marées', 'degré de salinité', 'superficie du lit majeur' et 'profondeur du fleuve' n'ont pas connu de changements et sont donc estimés de qualité relativement « bonne », on obtient une évaluation en classe 4 et non 5. Les berges du cours aval du Spui ont été complètement modifiées avec l'abaissement radical de l'impact des marées consécutif à l'endiguement du Harinvliet (classe 5). Les berges de la Hollandsche IJssel, du cours aval de l'Oude Maas et du Nieuwe Waterweg (40 % du bassin) sont toutes jugées de qualité « moyenne » (classe 3). Comme l'influence des marées a été maintenue, les berges de ce tronçon fluvial sont évaluées plus positivement que celles des bras méridionaux.



Sur le cours aval industrialisé aussi (par ex. Rozenburg sur le Nieuwe Waterweg), on trouve rarement des rives naturelles et un lit majeur naturel, comme c'est le cas à Groden Rozenburg sur le Nieuwe Waterweg, PK 1019 (photo : C. Storm)

Lit majeur

Le lit majeur du delta du Rhin est estimé « bon » à « très bon » à raison de 41%. Ceci est dû en partie à l'état de référence choisi (1850), époque où les digues existaient déjà. Comme dans le cas du lit mineur, les paramètres sont jugés en partie « bons » et en partie « moyens » à « mauvais ».

- L'occupation des sols et les bandes riveraines ne sont jugées « bonnes » ou « très bonnes » que dans 20% des cas. La situation est la plus mauvaise sur l'IJssel et la meilleure sur le Waal. En outre, comme les surfaces alluviales de l'IJssel sont relativement importantes, la végétation alluviale naturelle sur des parties du champ d'inondation a un moindre impact en termes de pourcentage.
- Le paramètre 'champ d'inondation' (1850 : aujourd'hui) et les 'surfaces inondables' en situation de crue sont estimés à env. 80% « très bons » à « bons ». Les zones alluviales ne sont très élevées que dans le cours aval et seules 25% des surfaces sont bien inondées.

Au total, 70% du milieu alluvial du Waal sont jugés « bons ». Il en va de même pour 60% de la plaine alluviale du Pannerdens Kanaal, du Nederrijn et du Lek et pour 25% de l'IJssel et du cours inférieur.

3.6.4 Particularités²



IJssel PK 952, grand lit majeur très humide et berges consolidées à l'aide de cailloux le long de l'IJssel, PK 952 (photo : RWS/MD)

On relève l'évaluation relativement bonne du lit mineur sur le delta du Rhin, ce qui ne concorde pas avec l'état réel des bras du delta du Rhin : le lit est ici stabilisé par des épis, ce qui l'empêche de divaguer naturellement. Certains bras, comme le Pannerdens Kanaal, le Nieuwe Waterweg et la Nieuwe Merwede, sont d'origine artificielle ; le cours de l'IJssel a notamment été raccourci (court-circuitages) en de nombreux endroits. Le lien qui existait initialement entre la Meuse et le Waal a été colmaté. La mise en place de barrages sur le Nederrijn/Lek et l'endiguement du Haringvliet ont entraîné une dégradation de la continuité pour les poissons. Le lit mineur s'est creusé et est aujourd'hui nettement plus étroit qu'il ne l'était en 1850, ce qui a fait disparaître pratiquement totalement le type biotopique de rivière à courant lent.

Les berges et le lit majeur sont également relativement bien évalués. Bien qu'il n'y ait pas de cailloux dans les champs d'épis, ceux-ci ne constituent pas de berges naturelles, car ils ont un impact important sur le courant et empêchent le lit mineur de divaguer. Les endiguements et la coupure de zones alluviales ne sont pas naturelles, mais cet état est considéré comme référence aux Pays-Bas, étant donné que ces interventions ont eu lieu avant 1850.

La différence entre le résultat de l'évaluation et l'état écologique réel est principalement due à l'évaluation positive de quelques paramètres qui font remonter la valeur moyenne. Ainsi, de nombreux bras sont estimés « bons » du fait de l'absence de retenues, d'aménagements rigides du lit mineur, de captages

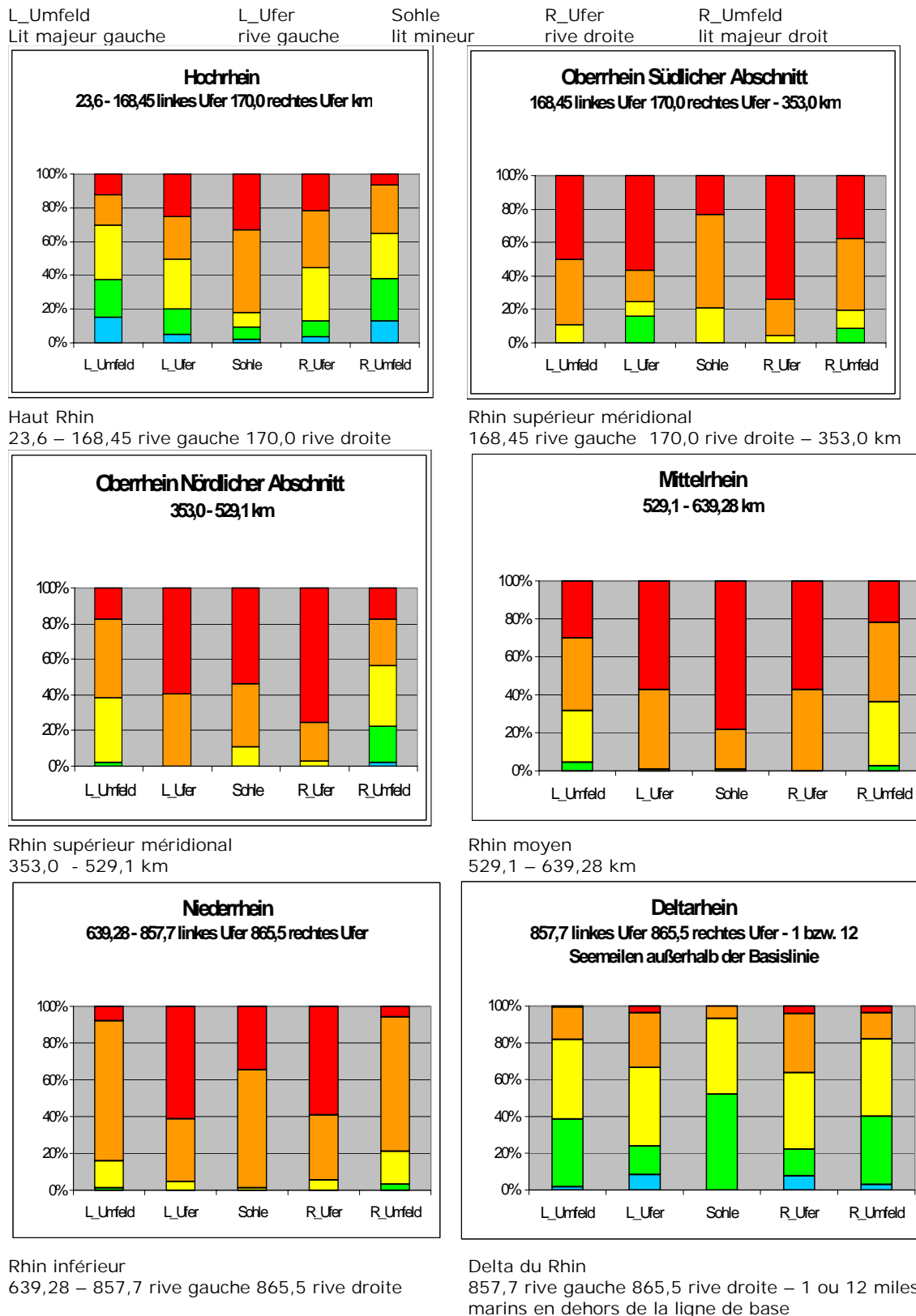
² La méthode d'évaluation néerlandaise a été affinée depuis pour être mieux adaptée à la situation aux Pays-Bas. Il est prévu d'appliquer à l'avenir cette méthode perfectionnée à la Meuse, l'Escaut, l'Ems et au Rhin. Elle a été finalisée récemment et entraîne des modifications des résultats présentés dans ce rapport. Après concertation au sein du Groupe de travail, il a été convenu de ne pas intégrer ces nouveaux résultats puisque les cartes avaient été définitivement achevées auparavant. Pour les derniers résultats sur le delta du Rhin, on conseille de se reporter à Schoor & Jesse, 2003. La présente description se fonde sur les « anciens » résultats. Les nouveaux résultats pour le delta du Rhin divergent nettement moins des résultats des autres tronçons du Rhin.

d'eau, et parce que leur linéaire, le lit majeur, la salinité et l'amplitude horizontale des marées n'ont pas changé. En revanche, les interventions qui ont eu lieu avant 1850, comme la construction des digues et du Pannerdens Kanaal, ne sont pas prises en compte comme éléments négatifs.

La méthode néerlandaise d'évaluation va être soumise à vérification en 2003 puis améliorée. L'importance des paramètres et la méthode de calcul y seront à nouveau ajustés pour permettre de mieux mettre en évidence l'état réel du lit mineur. On vise de plus à simplifier la méthode sans pour autant compromettre l'objectif à appliquer et les directives internationales (par ex. la DCE de l'UE).

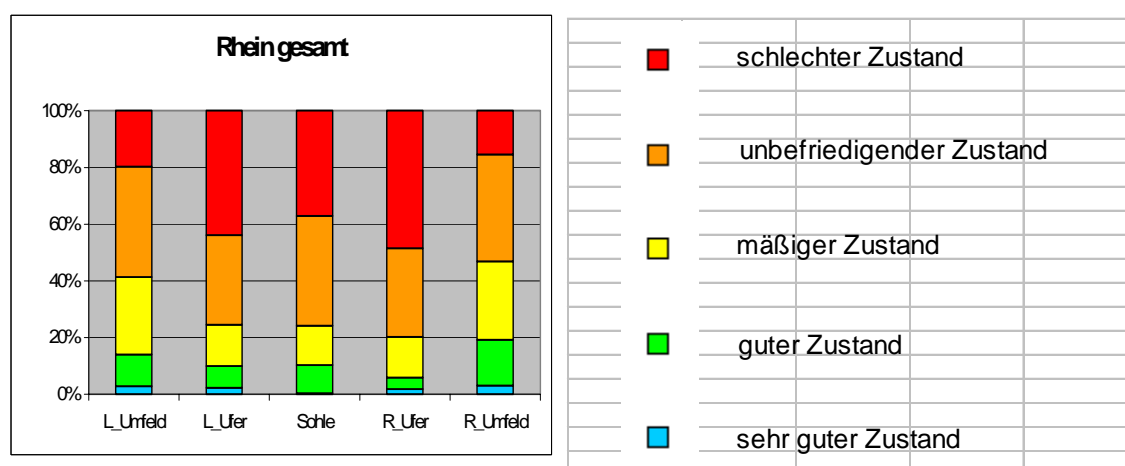
4. Evaluation globale

Une approche globale, à l'échelle des grands tronçons du Rhin (haut Rhin, Rhin supérieur, Rhin moyen, Rhin inférieur et delta du Rhin) permet d'avoir une vue d'ensemble de la qualité du milieu physique du Rhin. La lecture de la figure (proportions des 5 classes de qualités par grands tronçons) met en évidence les faits suivants :



Si l'on fait exception du delta du Rhin, un pourcentage élevé de tronçons se trouve dans un état médiocre ou mauvais. Il en est ainsi pour tous les compartiments analysés (lit mineur, berges, lit majeur), notamment dans le Rhin supérieur, le Rhin moyen et le Rhin inférieur. La répartition entre les 5 classes de qualité est cependant plus équilibrée dans le haut Rhin où l'on constate que presque 40% des tronçons sont qualifiés de « très bons » ou « bons » dans le lit majeur ; les déficits écologiques sont principalement localisés au niveau du lit mineur.

Dans le delta du Rhin en revanche, les classes de qualité morphologique « bonnes » à « médiocres » dominent, avec une forte proportion (> 50%) de « bonne qualité » et de « qualité moyenne ». On relève ici également la proportion tout à fait remarquable de très bons et de bons résultats sur les segments pour le lit majeur (env. 40%) et le lit mineur (env. 50%). Deux facteurs expliquent l'évaluation relativement bonne du delta du Rhin: d'une part, l'état en présence autour de 1850 est pris comme référence de l'état potentiellement naturel (il existait déjà un système de digues à cette époque) ; d'autre part, tous les paramètres sont agrégés par formation de la moyenne et ne sont pas déterminés sur la base de l'évaluation la plus mauvaise, ce qui a pour effet que les valeurs sont supérieures à celles obtenues par la méthode allemande.



Rhein gesamt

L_Umfeld

L_Ufer

Sohle

R_Ufer

R_Umfeld

Schlechter Zustand

Unbefriedigender Zustand

Mäßiger Zustand

Guter Zustand

Sehr guter Zustand

Rhin dans son ensemble

lit majeur gauche

rive gauche

lit mineur

rive droite

lit majeur droit

mauvais état

état médiocre

état moyen

bon état

très bon état

Ce graphique fait la synthèse des évaluations obtenues sur l'ensemble du Rhin. On note ici une nette prépondérance des classes d'état morphologique moyen à mauvais. Ce résultat met donc en évidence les déficits écologiques importants qu'accuse l'ensemble du Rhin. Ces déficits sont le reflet de la situation actuelle et des nombreux usages divers qui s'appliquent au cours principal du Rhin.

5. Amélioration du milieu physique et de la dynamique du Rhin

Actuellement, l'ensemble des pays développe ou envisage de développer des programmes ambitieux de restauration et de renaturation du Rhin.

Ces actions, compte tenu de la banalisation importante du Rhin et de ses écosystèmes associés, ne permettent, dans la plupart des cas, **qu'une amélioration limitée du milieu physique** et du fonctionnement dynamique global du milieu.



Mise en place d'une connexion ouverte, Altrhein Ballauf à hauteur de Mannheim, Source : LfU B.-W., Steinmetz



Mise en place de passages dans le sentier de halage à hauteur d'Eggenstein, source : Fra. Wald & Corbe, Hesch

La réversibilité des dégradations est fonction du compartiment concerné. Si le lit mineur présente des possibilités d'amélioration souvent extrêmement marginales, le lit majeur et les berges peuvent bénéficier d'améliorations locales significatives, même si le retour à un fonctionnement naturel reste souvent difficile.

Ainsi, la remise en communication d'anciens bras du Rhin permet **une amélioration extrêmement intéressante du fonctionnement biologique du cours d'eau**. Ces opérations contribuent à développer des habitats et un cortège faunistique et floristique riches et diversifiés. On peut ainsi stabiliser des populations d'espèces menacées, voire même réintroduire des espèces disparues.

Cet élément est d'autant plus fondamental que la qualité biologique représente une partie essentielle du diagnostic (le milieu physique intervient comme un des éléments explicatifs).

Une grande partie des actions envisagées sur le lit majeur **a une importance décisive pour la prévention des crues** (recul de digues ; création de polders...). Dans le cadre de ces opérations, les bénéfices biologiques et écologiques peuvent être tout à fait intéressants.

Les paragraphes suivants listent les possibilités d'amélioration envisageables pour le Rhin. Il n'est pas tenu compte ici de conditions spéciales ou de contraintes résultant d'usages du cours d'eau. La réalisation des propositions doit être examinée et planifiée au cas par cas.

5.1 Propositions générales

Mesures dans le lit fluvial proprement dit

- Dans les secteurs canalisés préserver les tronçons à écoulement libre ; – éliminer ou réduire les obstacles existants, là où cela est possible
- Garantir le passage des poissons au niveau des ouvrages transversaux : construction de rivières artificielles, de passes à poissons, etc.
- Abaisser temporairement les barrages de retenue pour faciliter le transport des matériaux solides
- Admettre et autoriser les processus morphodynamiques naturels (p.ex. les formations de bancs), partout là où cela est possible
- Diversifier l'espace fluvial dans les tronçons sans morphodynamique naturelle afin de créer une diversité de courant et de profondeur d'eau
- Restaurer ou créer des zones d'eau peu profondes ainsi que des frayères
- Réduire les excavations de graviers et de sables au strict minimum (pour assurer le bon fonctionnement des usages du Rhin)
- Elargir le lit du fleuve pour réduire la vitesse d'écoulement et empêcher l'érosion
- Eviter les aménagements artificiels du lit mineur ; les remplacer par des substrats appropriés

Mesures sur les berges et dans le lit majeur

- Préserver les berges et le lit majeur dans un état proches de l'état naturel
- Reconnecter les anciens bras
- Redynamiser les anciens bras colmatés
- Mettre en place des rivières artificielles
- Retirer ou renaturer les aménagements rigides des rives ; développer la formation de bosquets
- Veiller, là où les aménagements rigides sont indispensables, à ce qu'ils n'atteignent que le niveau des eaux moyennes. Procéder au-dessus de cette ligne à un aménagement plus naturel
- Aplanir les talus des berges
- Mettre en place des zones de contact entre le Rhin et les terres (bandes riveraines, bosquets riverains, retrait de zones imperméabilisées, installations, etc.)
- Mettre en place des secteurs inondables ou élargir le lit fluvial pour lancer la formation de zones alluviales
- Renaturer des zones inondables en procédant à une extensification des usages et en délimitant de surfaces de succession écologiques
- Reculer les digues, agrandir les espaces inondables (polders)
- Créer des possibilités de surverse sur les digues existantes pour reconnecter des surfaces alluviales soumises à un régime « naturel » d'inondation.

Mesures sur les bras latéraux

- Remettre les bras latéraux en communication avec le Rhin (zones de confluence proches du naturel, élimination d'obstacles à la migration, rétablissement de la continuité également dans les zones habitées, etc.)
- Modifier les aménagements techniques (des berges) pour rendre les berges plus naturelles
- Admettre la formation d'un linéaire naturel
- Renaturer et développer à long terme des zones riveraines diversifiées, mise en réseau avec l'arrière-pays (bandes riveraines, lisières)
- Retirer les collecteurs de charriage ou permettre le transport régulier de matériaux vers l'aval
- Renaturer les profils transversaux
- Aménager les ouvrages transversaux existants (rampes de franchissement, rampes rugueuses, etc.)
- Eviter la prolifération de la couverture herbacée ; privilégier une végétation rivulaire proche du naturel (ombrage)

Divers

- Respecter les intérêts écologiques dans le cadre de l'entretien des cours d'eau
- Ouvrir les écluses pour optimiser la continuité (migration piscicole) et pour améliorer l'influence des marées et la salinité dans le delta du Rhin

5.2 Mesures prévues dans les différents tronçons du Rhin

Haut Rhin

Dans les années 90, la partie suisse a mis au point des ébauches de projet pour la réalisation de 12 projets de renaturation locaux, mis en œuvre progressivement par les cantons riverains du Rhin. Les mesures contenues dans ces projets portent sur la restauration de berges, la création de berges plates et de zones d'eau peu profondes, la redynamisation d'anciens bras (Weidegrin, Rietheim), l'aménagement naturel d'espaces de retenue, la renaturation de zones de confluence des affluents (Wutach, Thur) et la création d'îles de gravier.

Le « plan écologique global pour le haut Rhin » de 1998 présente pour la rive allemande du haut Rhin des mesures ciblées visant à restaurer l'écosystème du haut Rhin et de ses berges. Pour améliorer l'écosystème, un état de référence et des objectifs de développement sont mis au point sur la base de l'état naturel typique et compte tenu des usages implantés au fil du temps. Des mesures concrètes sont proposées à partir de la comparaison de l'état des lieux et des objectifs de développement. Ces propositions de mesures visent à préserver et améliorer le caractère écologique remarquable du haut Rhin et de ses berges. Pour la mise en œuvre du projet écologique global pour le haut Rhin, on a désigné des tronçons modèles sur lesquels seront prises des mesures réalisables à court terme.

Les enseignements sur les mesures efficaces, obtenus à partir des études sur l'amélioration du régime de charriage (voir chapitre 6), seront pris en compte dans le cadre des négociations actuelles et futures sur les concessions des usines du haut Rhin. Les mesures proposées présentent un potentiel élevé de restauration du milieu physique du lit mineur, notamment sur le tronçon entre l'embouchure de la Thur et celle de l'Aare.

Rhin supérieur : tronçon méridional franco-allemand

Les possibilités de restauration sont assez limitées sur la majorité de ces secteurs du fait de l'irréversibilité d'une grande partie des dégradations. Certains projets (reconnexion d'annexes hydrauliques, réinondation de massifs forestiers

restauration de berges ou création d'espaces de rétention naturels) sont envisagés et mis en place.

En moyenne, ces améliorations correspondent à un gain de 10% en termes de résultat global (soit la moitié d'une classe de qualité).

Il existe de nombreux projets sur le Rhin plus ou moins ambitieux et coûteux. L'objectif final n'est pas de retrouver un état naturel correspondant à celui qui existait avant les aménagements de Tulla ; cela est pratiquement impossible (navigation et production hydroélectrique). Il s'agit en fait d'améliorer la qualité biologique des milieux alluviaux et leur connectivité.

Des simulations (prise en compte de différents scénarios dans un modèle de simulation) sur l'impact de projets de restauration envisagés à plus ou moins long terme peuvent être faites et peuvent aider à la prise de décision. En effet, des simulations peuvent faire varier l'indice du milieu physique très faiblement, mais avoir un impact considérable sur l'écologie du milieu aquatique.

On envisage à long terme de simuler la modification de la ripisylve qui pourrait réapparaître sur des tronçons à écoulement libre, là où les dispositions en matière de génie hydraulique sont moins rigoureuses. L'amélioration sensible observée (de presque une classe de qualité ; soit de 20 %) confirme l'importance et la possibilité de restaurer le Rhin.

Les mesures prévues à court ou à long terme peuvent sensiblement améliorer la diversité biologique et les fonctions écologiques du fleuve, même si l'évaluation du milieu physique atteint tout au plus la classe « moyenne ». Il est toutefois très important de mesurer ce niveau à la dégradation majeure et parfois irréversible et de savoir qu'un gain de qualité d'un tronçon de 10 à 15 points signifie une amélioration de 20% à 100% de la notation.

Les actions menées sur le Rhin doivent être réfléchies à l'échelle du fleuve et de son bassin versant. C'est pourquoi l'évaluation de la qualité physique à l'échelle du bassin versant est nécessaire pour mener une politique cohérente de gestion internationale du fleuve.

Rhin supérieur septentrional

De nombreuses activités en cours en Rhénanie-Palatinat visant à améliorer le milieu physique du Rhin sont combinées à des projets de protection contre les inondations. On trouve fréquemment des mises en retrait de digues (par ex. Speyer „Im Kirchengrün“ env. 22 ha; Worms Bürgerweide: 70 ha de plaine alluviale redynamisée, milieu alluvial rhénan entre Leimersheim et Sondernheim, env. 2000 ha, Sondernheim env. 11,5 ha, Mainz-Ingelheim, mise en retrait de digues à Worms „Mittlerer Busch“, env. 65 ha), et polders (par ex. Kollerinsel, env. 232 ha, achèvement des travaux d'ici 2004), ou encore une combinaison des deux types de mesure (par ex. près de l'espace de rétention de Waldsee/Altrip/Neuhofen, env. 332 ha, à réaliser d'ici 2008; rétention de Wörth/Jockgrim env. 420 ha, (à réaliser d'ici 2006). Par ailleurs, le Land de Rhénanie-Palatinat met au point et poursuivra au cours des prochaines années pour différents tronçons des plans de développement des eaux pour l'ensemble du Rhin rhénan-palatin dans le cadre de d'un programme intitulé 'Aktion Blau' (Leimersheimer Altrhein « De l'eau fraîche pour la plaine alluviale »)

Rhin moyen

Il est actuellement préparé un projet cadre sur la rive gauche du Rhin appelé « Projet cadre pour le Rhin moyen – pour un développement durable des zones proches du Rhin dans la vallée du Rhin moyen entre Bingen/Rüdesheim et Coblence » et dont on attend des impulsions dans le sens d'une amélioration du milieu physique du Rhin.

Rhin inférieur

De nombreuses mises en retrait de digues ont déjà eu lieu sur le Rhin inférieur pour redynamiser le milieu alluvial et améliorer les conditions de protection contre les inondations (par ex. Orsoy-Land, env. 220 ha; Monheimer Rheinbogen, env. 200 ha, Bislicher Insel env. 1.100 ha, Niederkassel env. 35 ha). D'autres mesures sont prévues ou programmées (Itter-Himmelgeist, env. 60 ha, Lohrward env. 500 ha, Mündelheim env. 150 ha). Des espaces de rétention sont également envisagés sous forme de polders de rétention statique dits "polders de poche" (Köln-Langel env. 500 ha, Worringer-Bruch, Ilvericher Altrhein-Schlinge env. 600 ha, Bylerwardt). A hauteur de Biener Praest, des anciens bras doivent être raccordés au Rhin et de grandes zones inondables vont être restaurées sur les affluents du Rhin inférieur dans le cadre du programme sur le milieu alluvial. En outre, un cadastre des barrages est actuellement établi pour permettre de recenser la continuité des rivières pour la faune piscicole et de programmer des mesures visant à pallier les dégradations de la continuité.

Zone de delta du Rhin

Pour améliorer l'état écologique du lit mineur du Nederrijn/Lek, on construit des passes à poissons sur les barrages d'Amerongen et de Hagestein. Dans la zone d'embouchure, la modification du régime d'ouverture des écluses du Haringvliet permettra d'améliorer la continuité pour les poissons (migrateurs) et l'influence des marées. Les projets de restauration écologique déjà envisagés seront combinés aux objectifs de la protection contre les inondations. Des études dont le but est de garantir à l'avenir la protection contre les inondations sont en cours d'élaboration. La création de bras annexes, le décaissement du lit majeur et la mise en retrait de digues permettent de combiner les objectifs de restauration écologique et l'amélioration du milieu physique.

6. Régime de charriage et érosion du lit mineur

Pour compléter la carte du milieu physique du Rhin, le présent chapitre décrit les études disponibles sur la problématique du régime de charriage et de l'érosion du lit mineur dans le Rhin [6], [9]. Ces phénomènes sont très étroitement liés à la morphologie mais ne sont toutefois pas considérés par les méthodes décrites précédemment et appliquées pour le recensement du milieu physique.

Un cours d'eau naturel se caractérise par un régime sédimentaire typique. Les nombreuses modifications du milieu physique, notamment la mise en place de retenues sur le Rhin, ont entraîné des modifications sensibles du régime sédimentaire typique du Rhin, entravant à la fois les usages liés au cours d'eau et à l'écologie. Les problèmes liés aux usages sont notamment dus aux creusements du lit mineur suite au manque de charriage ; c'est le cas p.ex. à l'aval de retenues, d'ouvrages consécutifs. Ces creusements font en général baisser le niveau de la nappe dans le lit majeur, ce qui a à son tour des impacts négatifs sur l'écologie. Des études ont été réalisées sur le haut Rhin dans le but de mieux connaître ces modifications et de résoudre les problèmes liés aux modifications du régime de charriage. Les résultats de ces études sont regroupés ci-dessous. En outre, on dispose d'informations à ce sujet sur le Rhin supérieur septentrional et sur le Rhin moyen.

Résultat de l'étude „Régime de charriage dans le haut Rhin“ – Situation actuelle [7]

Cette étude a été réalisée dans le but de lister les impacts des retenues et de la production d'énergie sur l'écologie et d'analyser les éventuelles améliorations. L'actuel régime de charriage du haut Rhin se caractérise par

- un apport en débit solide en provenance des affluents sensiblement réduit
- des capacités restreintes de transport de débit solide à hauteur des retenues et
- de nombreux aménagements rigides des berges

Sur environ la moitié du haut Rhin, intégrant deux tronçons à écoulement libre, il n'y a plus de transport de débit solide. Dans les autres tronçons (entre autres dans le segment à écoulement libre à hauteur de Zurzach, PK 90 à 102 du Rhin), le flux solide charrié ne représente plus qu'une faible partie de ce qu'il était à l'origine. En raison de l'apport très restreint en débit solide issu des affluents, le lit du haut Rhin est en grande partie aplati et colmaté (comme le confirment les relevés établis par des plongeurs). Le ralentissement de l'écoulement dans les zones de retenue fait que le fond graveleux initial est recouvert de couches sablonneuses dans les zones profondes des retenues.

Si l'on arrivait à faire transiter par les zones de retenue le débit solide pouvant encore être charrié par les affluents, on pourrait rehausser les apports, aujourd'hui insignifiants, jusqu'à un niveau de l'ordre de 10.000 m³/an. Par rapport aux conditions que l'on trouvait autour de 1900, ce volume correspond à une valeur comprise entre 1/3 et 1/5ème du flux initialement charrié.

Les calculs effectués dans l'étude « Régime de charriage dans le haut Rhin » montrent que le charriage est interrompu dans la zone de retenue de deux centrales (Eglisau et Ryburg-Schwörstadt). Pour trois centrales (Rheinau, Reckingen, Birsfelden), le transport de débit solide au travers des retenues n'est possible qu'à partir de débits supérieurs à ceux d'une crue décennale (c'est-à-dire plus rarement que tous les 10 ans). Pour trois autres centrales (Albbruck-Dogern et tronçon court-circuité, Säkingen, Augst-Whylen), les débits doivent également être de l'ordre de ceux d'une crue décennale pour permettre

au débit solide de transiter par les retenues. Pour trois centrales enfin (Schaffhouse, Laufenburg et Rheinfelden), les retenues n'entravent pas le transport de débit solide.

Mesures recommandées

En redynamisant le régime de charriage, on peut améliorer les conditions écologiques sur le haut Rhin dans les trois tronçons à écoulement libre ainsi que dans les zones élargies situées en amont des remous (du tiers supérieur jusqu'à la moitié des retenues).

Les mesures proposées pour redynamiser le régime de charriage sur le haut Rhin peuvent être subdivisées en trois catégories :

Les mesures locales visent à élargir et mettre en réseau des affluents de petite taille qui déposent le débit solide à hauteur des débouchés et à entamer localement et dans un rayon limité les berges du Rhin. Les mesures de ce type n'occasionnent pas une augmentation du débit solide charrié mais visent cependant à accroître la diversité morphologique des berges et améliorent de ce fait de manière ponctuelle les conditions écologiques et morphologiques. Elles sont significatives dès lors qu'elles peuvent être appliquées rapidement et sans grand renfort de moyens (cf. entre autres les 12 projets de restauration figurant dans l'annexe II du Communiqué des ministres compétents pour le Rhin, Berne 1994).

Les mesures régionales sont des mesures portant sur les affluents transportant régulièrement de grandes quantités de débit solide et des mesures consistant à entamer largement les berges et à maintenir ces ouvertures pendant une longue période. Le débit solide ainsi ajouté est transporté vers l'aval par les crues fréquentes et donne naissance à des structures dynamiques et diversifiées du lit. L'impact de chaque mesure individuelle prend généralement fin dans les zones plus profondes de la retenue de la prochaine centrale en aval.

Grâce aux mesures régionales, on peut apporter durablement au Rhin les quantités de débit solide qui lui font aujourd'hui défaut. Elles constituent la base d'une redynamisation du régime de charriage du haut Rhin. Si elles ne sont pas combinées à des mesures plus globales, ces mesures régionales peuvent poser relativement vite des problèmes en termes de protection contre les inondations.

Les mesures globales permettent de déplacer vers l'aval le débit solide ajouté en le faisant transiter par une ou plusieurs zones de retenue, afin que ce débit solide puisse avoir l'effet morphologique et écologique souhaité sur une grande distance. Les mesures globales concernent en priorité l'abaissement temporaire des retenues des centrales en période de crue. Leurs effets se faisant généralement sentir après quelques années, elles ont donc pour caractéristique d'agir à moyen ou long terme.

Seule une combinaison de mesures régionales et globales est susceptible de restaurer un régime continu de charriage dans le haut Rhin. En phase de débits de crue, le débit solide transite par les barrages des centrales (sous-verse des vannes relevées des barrages, transport vers l'aval du débit solide). Le débit solide se redépose notamment dans les tronçons à écoulement libre et dans les zones situées en amont des remous.

En regard des résultats de l'étude « Régime de charriage du haut Rhin », différents travaux consécutifs ont déjà été réalisés ou sont prévus :

- Elaboration de propositions de mesures immédiates et à rayon d'action limité afin d'améliorer au niveau local les conditions morphologiques
- Réalisation d'une étude visant à estimer le potentiel de restauration écologique des mesures proposées pour redynamiser le régime de charriage du haut Rhin (juin 2001 à mars 2002)

- Examen plus intensif du potentiel de restauration en présence à hauteur des centrales d'Eglisau et de Ryburg-Schwörstadt
- Détermination de l'ordre de grandeur des coûts requis et des risques encourus pour concrétiser la faisabilité technique et scientifique.

Régime de charriage Rhin supérieur septentrional , Rhin moyen et Rhin inférieur [9]

Les études ont été réalisées suite aux impacts négatifs de l'érosion du lit mineur sur la navigation et le niveau de la nappe souterraine.

Le Rhin est coupé de l'apport de matériau de charriage naturel en provenance du cours amont par les barrages du Rhin supérieur jusqu'à Iffezheim à hauteur du PK Rhin 334 ainsi que par les affluents également canalisés que sont le Neckar, le Main, la Moselle et l'Ahr. Pour combler ce déficit, 170.000 m³ de matériaux solides sont déversés en moyenne par an dans le Rhin en aval du barrage.

Le fleuve transporte vers l'aval ces matériaux peu sablonneux et bien triés. Comme le montre la baisse des flux de charriage en aval de Karlsruhe, une grande partie des matériaux graveleux se dépose à nouveau du fait de la réduction des forces de transport. Par contre, le fleuve reçoit en aval de Mannheim un apport de matériaux fins, notamment du sable et du gravier fin. Les matériaux de charriage composés de sable et de gravier fin ou moyen passent sans grandes pertes le seuil de Nackenheim et se déposent ensuite à hauteur de Mayence et dans le Rheingau (Rhin des îles). Ces dépôts entraînent entre autres la formation de dunes sur un sous-sol relativement stable, à gros grains, mais aussi sur du tertiaire dégagé. Ces matériaux doivent fréquemment être retirés par dragage pour maintenir la profondeur du chenal de navigation. Ainsi, seule une partie du flux de charriage mesuré en moyenne pluriannuelle à hauteur de Mayence (env. 110.000 m³/an) atteint le massif schisteux à hauteur de Bingen. Dans ce tronçon, une partie du flux déposé est remis en suspension sous l'effet de conditions d'écoulement modifiées.

Les matériaux solides restants sont transportés sur un lit mineur tout d'abord rocheux, puis composé de matériaux meubles grossiers ; dans certains tronçons de cette région montagneuse, on observe des dépôts, p.ex. sur la berge convexe du méandre de Boppard. Ici, on a retiré lors d'opérations de dragage au moins env. 30.000 m³ de matériaux solides par an, une quantité dont il convient de tenir compte dans un bilan de charriage de la partie aval du Rhin moyen déficitaire. L'aménagement de barrages sur la Moselle et la Lahn a également fait perdre l'apport de charriage de ces deux rivières.

Si l'on observe en aval de Coblenche une érosion de seulement 4 mm/an env., ceci est dû à la capacité du lit mineur de se stabiliser. Les roches meubles quaternaires du bassin de Neuwied et de la vallée aval du Rhin moyen sont mélangées avec des pierres et des blocs de sorte que les particules fines sont retirées et un lit mineur pavé, voire cuirassé, peut se former. Comme le montre un essai de bilan, le Rhin prélève sur le lit env. 55.000 m³ de matériaux solides par an sur le tronçon Coblenche-Bonn (y compris de faibles parts provenant des affluents). Plus en aval, vers l'agglomération de Cologne, le fleuve ne peut plus transporter intégralement le matériau grossier ; des mesures du charriage et des écho-sondages ont fait ressortir ici une tendance à l'accumulation. Les matériaux solides se déposant à proximité de Cologne font ensuite défaut dans le tronçon suivant, ce qui crée une érosion. Cette tendance à l'érosion s'accroît vers l'aval et impose un apport important de charriage (en moyenne env. 160.000 m³/an) entre Düsseldorf et Krefeld.

Ici, le Rhin a déjà creusé son lit jusqu'aux couches tertiaire. La présence de sable fin favorise l'érosion au point que l'on observe localement de grands affouillements.

A hauteur de Duisbourg, le lit s'est affaissé de plusieurs mètres à cause de l'exploitation souterraine du charbon. Ces cuvettes ont le même effet qu'une perte de charriage ; elles

absorbent aujourd'hui encore une grande partie des matériaux solides provenant du cours amont malgré le déversement de matériau de remblai. En aval de la zone d'affaissement minière, le fleuve retire de grandes quantités de matériau du lit mineur, avec des taux d'érosion pouvant atteindre 3 cm/an, et les transporte vers l'aval, en partie sous forme de dunes, jusqu'au-delà de la frontière germano-néerlandaise.

Mesures susceptibles de résoudre les problèmes :

- Apport de matériaux solides externes au fleuve
- Opérations de dragage aux fins d'entretien et utilisation des matériaux dragués comme apport de matériaux solides
- Construction d'épis / construction de déflecteurs
- Remblai des affouillements.

7 Bibliographie

7.1 Méthodes de recensement

- (1) Agence de l'Eau Rhin-Meuse, ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement: Système d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau, Metz, 1996
- (2) Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz, (Hrsg.): Gewässerstrukturgütekartierung - Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer, Verfahrensbeschreibung LfW-Bericht Nr. 221/96, Mainz 1996.
- (3) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für mittelgroße bis große Fließgewässer (Entwurf 2002)
- (4) Schoor, M.M. & E Stouthamer (2003): Ecomorfologische kartering van de Rijntakken in Nederland. RIZA rapport 2003.009. Lelystad/Arnhem, 60 pages
- (5) Schoor, M.M. & P. Jesse, 2003: Herziening methodiek hydromorfologische kartering rivieren. RIZA Werkdocument 2003.194x.
- (6) Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen. Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer. LUA-Merkblätter Nr. 26, 2001.

7.2 Autres sources bibliographiques

- (7) Fleischhacker, T., Sommer, M., Kern, K.: Strukturgüte-Kartierverfahren für Wasserstraßen. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Januar 2001
- (8) Schälchli, Abegg & Hunzinger, Zürich/Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, 2000: Geschiebehaushalt Hochrhein. Studie im Auftrag von Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-2503 Biel und Regierungspräsidium Freiburg, D-79083 Freiburg i.Br.
- (9) BUWAL, 2001: Gewässerstruktur des Hochrheins, Erhebung 2001. Interner Bericht
- (10) Ökon, 2002: Potenzial der ökologischen Verbesserungen durch Reaktivierung des Geschiebes im Hochrhein. Studie im Auftrag von Bundesamt für Wasser und Geologie, ch-2503 Biel und Regierungspräsidium Freiburg, D-79083 Freiburg i.Br.
- (11) Bundesminister für Verkehr, Abteilung Binnenschifffahrt und Wasserstraßen: Untersuchung der Abfluss- und Geschiebeverhältnisse des Rheins – Schlussbericht, Bonn, 1987
- (12) Agence de l'Eau Rhin-Meuse, DIREN Alsace: Qualité du milieu physique du Rhin, Metz, 2000/2001
- (13) Gewässerdirektion Südl.Oberrhein/Hochrhein :Ökologisches Gesamtkonzept Hochrhein, (Band 1), 1998
- (14) Landesanstalt für Umweltschutz Ba.-Wü./Gewässerdirektion Südl.Oberrhein/Hochrhein: Konzeption zur Entwicklung und zum Schutz der südl. Oberrheinniederung (Textband und Kartenatlas, Bd. 10), 1999

- (15) Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz und Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz, (Hrsg.): "Gewässerstrukturgüte 2000" und "Gewässerstrukturgütekarte 2001"