



Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen - Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft -

KHR-Arbeitsgruppe »Anthropogene Einflüsse auf das Abflußregime«

Obman: H. Kalweit

Autoren: **Buck, W.** – Universität Karlsruhe

Felkel, K. – früher Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Gerhard, H. – Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden

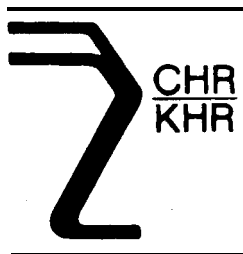
Kalweit H. – früher Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz

Malde, J. van – Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage

Nippes, K.-R. – Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.Br.

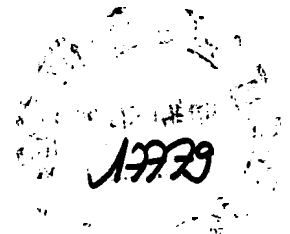
Ploeger, B. – früher Rijkswaterstaat, Arnheim

Schmitz, W. – Staatliches Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft,
Düsseldorf



Secretariaat CHR|KHR
Maerlant 16

Postbus 17
NL-6200 AA Lelystad
Niederlande|Pays-Bas



Bericht Nr. I-1 1 der KHR

© 1993, CHR/KHR
ISBN 90-70980-17-7

Le Rhin sous l'influence de l'homme
- aménagement, navigation, gestion des eaux -
(rapport I-11 de la CHR)

Comme la couverture de ce livre vous montre déjà, l'homme a changé le Rhin au cours des siècles d'un fleuve sauvage avec beaucoup de branches à un chenal largement canalisé et régularisé. Ce livre décrit d'une façon très lisible comment et quand ces changements ont eu lieu. Illustré abondamment, il donne un sommaire détaillé de **tous** les aspects des interventions humaines dans le bassin du Rhin.

Le rapport a été écrit par un groupe de travail international consistant en des experts allemands, néerlandais et suisses sous la direction de M. Dr.-Ing. **Heino Kalweit**, un hydraulicien allemand. Il s'agit d'un rapport allemand avec un résumé exhaustif en français, anglais et néerlandais.

Avant-propos

«L'eau s'écoule en suivant le chemin qui lui a été tracé»

Ce dicton bohémien vaut également pour les fleuves du bassin du Rhin, dont le cours a été modifié par l'homme au cours des siècles passés, pour le meilleur et pour le pire. Pour se protéger de la violence ou de l'invasion des eaux, l'homme a aménagé, corrigé et dérivé leur cours naturel. L'eau et la puissance qu'elle véhicule ont toujours davantage été mises à contribution, pour la navigation, l'alimentation, l'élimination des déchets, la pêche, la détente et aussi pour la fabrication d'électricité. A côté des nombreux aspects positifs de cette mise en valeur, cet empiètement de l'homme sur l'élément liquide a aussi des aspects négatifs, comme son action néfaste sur la qualité de l'eau et l'écosystème.

Mais en plus des atteintes anthropogènes, le cycle de l'eau est également soumis à des changements naturels. Dans le but de mieux pouvoir quantifier les effets de ces deux catégories d'influences, la Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin a mandaté un groupe international d'experts sous la direction de M. Dr. Ing. H. Kalweit pour réunir et présenter une documentation sur les interventions humaines dans le bassin du Rhin (corrections de cours d'eau, installations destinées à la navigation, la production d'énergie et la protection contre les crues). L'étude a été soutenue, sur le plan financier comme sur celui du personnel, par le Comité national allemand pour le PHI et le PHO.

C'est le résultat de ces recherches qui est présenté ici. Que les experts, les différents collaborateurs, le Secrétariat et tous les autres participants veuillent bien accepter nos remerciements pour cet aperçu très complet et approfondi des atteintes anthropogènes à l'intégrité du Rhin, au cours des siècles passés.

Dr. M. Spreafico
Président de la CHR

Le Rhin sous l'influence de l'homme - aménagement, navigation, gestion des eaux -

7. Résumé

But du rapport et réalisation

Au cours des siècles, le Rhin et son bassin ont subi toujours plus fortement l'influence de l'homme. Quittant leur état naturel, ils sont devenus des éléments, intensément exploités et cultivés, du paysage de l'Europe centrale. D'un côté, on constate des améliorations décisives des facilités offertes par le fleuve, ainsi que des conditions de vie de la population. Mais d'un autre côté, les progrès réalisés n'ont pas été sans revers, ni sans apporter de changements nuisibles à la nature.

Depuis quelques années, une vive polémique oppose ceux qui soutiennent le bien fondé général des interventions humaines sur le cours du fleuve et ceux qui les condamnent pour les perturbations et nuisances causées à l'environnement. Mais il s'est avéré que ni les uns ni les autres ne parvenaient à fonder leurs arguments sur une connaissance suffisante des modifications artificielles mises en cause. De plus, ces divers arguments ne tenaient que partiellement compte des raisons justifiant ces modifications, ni non plus de leurs conséquences sur l'état du Rhin. Ils ne prenaient que trop peu en compte également un facteur souvent décisif: les exigences des populations riveraines. Des connaissances de base sont cependant indispensables si l'on veut pouvoir évaluer ce qui a été réalisé et en tirer éventuellement des conclusions utiles, si d'autres mesures encore devaient être prises à l'avenir.

C'est la raison pour laquelle la Commission internationale pour l'Hydrologie du bassin du Rhin a entrepris une vaste présentation synoptique des travaux réalisés à ce jour. Comme contribution à cette entreprise, elle a demandé un rapport consacré à l'historique des ouvrages destinés à la navigation, à la production d'énergie hydro-électrique et à la protection contre les crues. Un groupe de travail constitué d'experts allemands, suisses et néerlandais a été chargé de cette tâche.

Un résumé de cette étude est donné ci-après avec, au préalable, quelques données hydrologiques, ainsi qu'un aperçu des besoins relatifs à l'utilisation des eaux.

Quelques données sur l'état naturel

Le Rhin avec son débit moyen de $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$ à la bifurcation du Rhin inférieur («Bovenrijn» aux Pays-Bas) est un des fleuves les plus abondants d'Europe. Son bassin versant s'étale du sud au nord sur environ 900 km, avec une surface de 185.000 km^2 . Il s'étend sur une partie importante du Massif alpin, où il trouve sa source, sur la région montagneuse centrale, de laquelle il reçoit ses principaux affluents, le Main et la Moselle, ainsi que sur la basse plaine. Le fleuve se divise alors en plusieurs bras, pour atteindre la mer du Nord.

Les sous-bassins présentent des conditions hydrologiques assez variées, ayant des régimes souvent en franche opposition l'un par rapport à l'autre. De ce fait, le débit du Rhin est moins variable que celui d'autres fleuves européens de même importance. A cause du stockage dans les Alpes, sous forme de neige, d'une grande partie des précipitations hivernales et de leur fonte en été, le débit du cours supérieur passe par un minimum en saison froide. Au contraire, sur le Rhin inférieur, c'est pendant

la saison chaude que les bas débits se présentent. Dans les régions montagneuses centrales et dans la basse plaine en effet, le stockage de la neige est peu important et les précipitations estivales sont en grande partie évaporées.

Ce n'est que dans le Rhin alpin que le régime du fleuve présente des variations abruptes. En aval du lac de Constance avec son influence régulatrice le régime hydrologique est relativement régularisé jusqu'au Delta. De temps à autres, interviennent de longues périodes d'étiage ou de vastes ondes de crues, qui compliquent singulièrement la tâche des riverains. Ceux-ci doivent en effet assurer, au moyen d'aménagements hydrauliques et d'un ensemble de prescriptions techniques, une exploitation économique du fleuve et des régions riveraines, de plus en plus développées.

Charges imposées aux cours d'eau et utilisation des eaux

La Suisse, l'Allemagne, la France et les Pays-Bas sont les principaux pays qui ont part au bassin du Rhin, alors que cinq autres pays se partagent cependant encore des parts peu importantes du bassin versant hydrologique. Avec ses 54 % du bassin, la part de l'Allemagne est la plus grande. Sa part est également la plus grande en ce qui concerne la population. Celle-ci a d'ailleurs augmenté dans tout le bassin du Rhin, passant d'environ 10 millions d'habitants en 1800 à près de 50 millions aujourd'hui.

- ♦ La croissance du nombre des habitants est allée de pair avec une augmentation importante de la production économique, provoquant inévitablement une charge toujours plus forte pour l'environnement. Les surfaces cultivées se sont étendues, aux dépens de la forêt et des terres incultes. Aujourd'hui elles fournissent une production à l'hectare de cinq à dix fois plus importante qu'il y a deux cents ans. Il est certain que les ouvrages de protection contre les crues, les drainages et l'irrigation y ont contribué.

Dans le bassin du Rhin, l'industrie ne s'est pas seulement développée, autour de gisements de richesses naturelles comme dans la Ruhr et la haute-Moselle. En effet, l'industrie a pris de l'extension en de très nombreux endroits, s'étendant à presque tous les secteurs modernes, jusqu'aux centrales nucléaires. En conséquence, les besoins en eau et en traitement d'eaux usées n'ont fait qu'augmenter.

A ceci s'ajoute l'utilisation du Rhin et des fleuves canalisés auxquels il est raccordé, pour le transport par bateau de passagers et de marchandises. Le Rhin supérieur, le haut Rhin, ainsi que de nombreux affluents, sont mis à contribution pour la production d'énergie hydroélectrique. Et récemment, on assiste à un accroissement considérable des exigences en tout ce qui concerne les sports nautiques, les loisirs au bord de l'eau et l'amélioration des peuplements de poissons. En économie des eaux, ce sont là des éléments de planification devenus tout à fait essentiels.

Les interventions humaines avant l'ère industrielle

On a pu prouver que, déjà à l'époque romaine, des travaux ont été entrepris sur le Rhin et ses affluents. Ces travaux servaient avant tout à la navigation, dont l'importance était primordiale, en raison des conditions souvent déficientes des routes. Très tôt déjà, des agglomérations d'habitations et de riches domaines agricoles, furent protégés contre les crues par des digues.

Au Moyen Age, de vastes défrichements, des variations climatiques et un accroisse-

ment de la population, nécessitèrent des interventions de plus en plus fréquentes sur les rives et dans le lit du Rhin même. On en arriva aux premières constructions de chemins de halage et de dérivations de fleuves, qui ne furent pas toujours couronnées de succès. En bordure du Rhin, on entreprit des travaux d'aménagement pour la protection contre les crues, pour le drainage ou l'irrigation. Ces ouvrages couvraient des besoins limités au rayon local et n'étaient pas reliés entre eux sur de grandes distances, sauf dans la région du Delta. L'utilisation de l'énergie hydraulique se répandit, avec la construction de très nombreux ouvrages de retenue sur de petits affluents et avec l'implantation de moulins flottants, sur le Rhin.

Il faut signaler quelques mesures innovateur en particulier, comme par exemple la dérivation de la Kander dans le lac de Thoune, en amont de Berne. Cette dérivation produisit une atténuation des pointes de crue, assura l'élimination des graviers charriés par cette rivière et ouvrit la voie, bien plus tard, à des réalisations similaires. Sur le cours du Rhin supérieur, les riverains obtinrent des améliorations locales permanentes, au moyen de coupures de méandres.

A la suite d'efforts incessants, la restriction la plus sérieuse à la navigation sur le Rhin, la passe du récif de quartzite de la Barre du Trou à Bingen, fut rendue peu à peu suffisamment navigable pour de petits bateaux ou des radeaux. Sur le Rhin inférieur, diverses associations, fondées dès le Moyen Age pour créer des digues, construisirent par étapes successives, et ce jusqu'au XVIII^e siècle, des ouvrages assurant une protection continue contre les crues. De même, plusieurs voies navigables secondaires furent approfondies.

Les premiers travaux d'aménagement fluviaux entrepris aux Pays-Bas ont eu une extension particulièrement importante. Au XIV^e déjà, il fut possible d'effectuer la fermeture de la plus grande partie d'un système efficace de digues de protection contre les crues. Au XVII^e siècle, on construisit le Pannerdensch Kanaal, tout d'abord un ouvrage défensif, mais bientôt développé comme une nouvelle liaison entre le Waal (Bovenrijn) et le Nederrijn. Ce canal s'étant élargi par l'action de l'écoulement du Bovenrijn, une nouvelle liaison du Rhin inférieur vers l'IJssel s'est créée, contournant l'ancien cours (Oude Rijn). C'est ainsi qu'a commencé la décharge planifiée des eaux du Waal, le plus important des cours inférieurs du Rhin. Quelques décennies après, des travaux furent entrepris sur le cours inférieur du Waal, dans le but de restreindre les liaisons avec la Meuse et d'améliorer la sécurité contre les crues.

Nouvelles interventions aux XIX^e et XX^e siècles

Aux XIX^e et XX^e siècles, les progrès dans le domaine des sciences et de leurs applications techniques, la puissance économique croissante, certains développements politiques et la prise de conscience de la nécessité de coordonner les interventions, ont eu pour effet que les tronçons encore sauvages du Rhin et de ses plus importants affluents purent être régularisés. Une série d'aménagements importants est présentée ci-après.

Le bassin du Rhin en amont de Bâle

Dans les régions alpines, des inondations fréquentes dues à des crues, à des déversements de matériaux charriés, ou à des déplacements du lit des cours d'eau, mettaient encore et toujours les populations en péril. Au début, celles-ci se protégeaient par de nombreuses actions isolées, puis plus tard, aussi par des aménagements hydrauliques.

ques, prévus dans des plans établis à l'échelon supérieur. Entre les pays riverains, la Suisse, l'Autriche et le Liéchtenstein, on signa des conventions relatives à l'aménagement du Rhin alpin, qui finit ainsi par avoir un lit stable et régulier. Son estuaire dans le lac de Constance avait autrefois de nombreuses ramifications qui furent réunies en un seul chenal, réorienté vers une zone plus profonde du lac. Tout ceci mit fin aux atterrissements et à l'ensablement des rivages.

Au début du XIX^e siècle déjà, un affluent de l'Aar, la Linth, fut détourné dans le lac de Walenstadt, pour supprimer localement le danger de crues. Cinquante ans plus tard, on entreprit des aménagements très importants de l'Aar, le cours d'eau principal du bassin du haut Rhin. Il s'agissait d'en régulariser le débit et de diminuer le transport des matières solides. Ces travaux sont connus sous le nom de «Première correction des eaux du Jura» et restent liés au nom de l'ingénieur *La Nicca*. La première étape fut le détournement de l'Aar supérieur vers le lac de Biemme. Ensuite vint l'aménagement des liaisons entre les lacs de Morat et de Neuchâtel, de Neuchâtel et de Biemme, et l'aménagement même de l'Aar. On put alors utiliser l'ensemble formé par les trois lacs comme un seul grand réservoir. A partir de l'évaluation des expériences faites, les aménagements en vue de la régularisation ont encore été perfectionnés, vers le milieu de ce siècle.

Mais sur l'Aar, on a également construit des usines hydro-électriques, de même que sur le haut Rhin, où 11 centrales ont été installées avec des retenues, fournissant une moyenne annuelle d'environ 4 milliards de kilowatts-heures. Au sud de la Forêt Noire, le complexe des installations hydro-électriques du Schluchsee et de l'Hotzenwald, reliées entre elles, accumulent cycliquement de l'énergie par pompage. Elles utilisent comme réservoir inférieur des retenues établies sur le cours du haut Rhin.

La mise en valeur des forces hydrauliques a impliqué la construction d'importants barrages de vallée. Le premier d'entre eux, celui de Pérolles, date de 1872 et atteint une hauteur de 21 m. Sa construction a été suivie de celle de beaucoup d'autres, surtout dans la deuxième moitié de ce siècle. En amont de Bâle, la capacité totale des barrages dépasse 1,8 milliard de m³. Tous ces barrages ne font pas que de permettre la régulation des débits en vue de la production d'énergie mais, conjointement avec les lacs périalpins partiellement régularisés, ils procurent une bonne atténuation des crues. Cette atténuation se marque de façon favorable sur le tronçon directement en aval.

Le Rhin supérieur

Dans son état naturel, le Rhin supérieur jusqu'en aval de Strasbourg se dispersait suivant de multiples chenaux, divaguant sans cesse. Puis il se stabilisa sur un parcours où le courant méandrait selon des boucles irrégulières. En raison du dépôt incessant de matériaux charriés et de la formation de marécages, la mise en valeur de la vallée du Rhin présentait d'énormes difficultés et des dangers certains. La région était infectée de moustiques; le typhus et le paluadisme y étaient endémiques. Des localités au bord du Rhin étaient fréquemment victimes d'inondations. D'autres parvenaient à l'autre côté du Rhin après des débordements. La navigation n'était possible qu'avec de petites embarcations et aux d'efforts considérables.

Le mérite d'avoir apporté une amélioration, et ceci jusqu'à l'embouchure du Neckar, revient en premier lieu à *Tulla*, un officier du corps des ingénieurs badois. Au début du XIX^e siècle, il a élaboré les bases d'une stabilisation du cours du Rhin supérieur, avec un lit régulier et stable. Il a aussi commencé l'exécution des travaux. Au début,

il se heurta à l'opposition des riverains, jusqu'au moment où ceux-ci virent de leurs yeux quelle bénédiction représentait cette correction du Rhin supérieur et la soutinrent en connaissance de cause.

Jusqu'en 1880 et progressant d'amont en aval, on aménagea sur 280 km le tronçon de Bâle à Worms. Par suite de nombreuses coupures de méandres, la longueur fut raccourcie de 37%, dans la zone concernée. La protection de la vallée contre les crues se trouva améliorée de façon décisive, surtout par la construction de digues. Sur le tronçon supérieur, déjà avant le milieu du XIX^e siècle, un approfondissement considérable du lit s'était produit. Favorable à la protection contre les crues, cette tendance causait des difficultés à la navigation et abaissait le niveau des nappes phréatiques de façon défavorable. Ces conséquences-là de la correction n'avaient été prévues que partiellement.

En aval de Worms, les travaux destinés à régulariser le courant impétueux se poursuivirent. Dans le Rheingau, ils ne purent être réalisés que vers la fin du XIX^e siècle, après que des difficultés soulevées par les frontières politiques purent être aplanies. En aval de l'embouchure du Main, le caractère particulier de la vallée fut maintenu, avec ses plans d'eau beaucoup plus larges. La conduite intelligente des travaux, assurée par le directeur des Constructions hydrauliques de Prusse, *M. Nobiling*, y contribua certainement. A celui-ci également revient le mérite de l'aménagement du Rhin, vers l'aval, jusqu'à la frontière néerlandaise.

La première phase de l'aménagement du Rhin supérieur a permis de fixer le cours du fleuve, de développer la navigation et d'assurer une meilleure protection contre les crues. En raison des difficiles conditions naturelles, le succès de la régularisation ne pouvait être complet du premier coup. C'est pourquoi, dès 1900, des travaux systématiques complémentaires durent être entrepris sur le cours supérieur, comportant notamment la stabilisation du chenal par des épis, destinés à faire remonter le niveau d'étiage. En aval, des aménagements correspondants avaient déjà été réalisés précédemment et ont d'ailleurs sporadiquement été poursuivis jusqu'à nos jours.

D'autres interventions décisives encore ont été pratiquées sur le tronçon supérieur du Rhin, après 1950. Dix barrages y ont été construits, afin d'utiliser l'énergie hydraulique et d'assurer la navigation de gros tonnage. Les quatre barrages supérieurs se situent sur le canal latéral, rive gauche, entre Kembs et Vogelgrün. Les dix centrales hydro-électriques fournissent en moyenne un total annuel, d'environ 4,5 milliards de kWh. Comme les retenues ont diminué considérablement le débit solide du charriage de fond, du gravier est systématiquement ajouté en aval du dernier barrage sur le Rhin, à Iffezheim, pour maintenir l'équilibre du lit. Le volume de gravier ainsi déversé annuellement est de 180.000 m³.

A cause de la régulation du Rhin, due aux barrages situés en amont de Karlsruhe, 130 km² de plaine naturelle inondable lors des crues ont disparu, ce qui représente le 60% de l'étendue initiale. De ce fait, les crues se sont singulièrement accentuées en aval. Pour remédier à l'accroissement du risque encouru de ce fait par les riverains, des dispositions permettant de retenir un total de 220 millions de m³ sont projetées. Ces dispositions consistent en une accumulation temporaire dans la zone des canaux des usines électriques et deux barrages mobiles à usage agricole, en amont de Breisach et de Strasbourg. Ces deux barrages serviraient aussi au maintien d'un niveau approprié des nappes phréatiques de la vallée. De plus un volume d'accumulation d'environ 130 millions de m³ devrait être disponible dans des réservoirs de crue latéraux. De tout ce dispositif, seule une petite partie est actuellement disponible, mais la totalité de son volume serait nécessaire pour pouvoir limiter

les pointes de crues, pouvant aller jusqu'à celles d'une «période» de 200 ans, au niveau de la crue dite «de projet».

Un rehaussement des digues et des murs construits sur les rives, pour retenir les crues devenues plus importantes, ne peut être envisagé à titre de mesure unique de remplacement, et cela pour des raisons aussi bien esthétiques qu'économiques. De longues et hautes digues ont déjà été construites sur d'importants tronçons, dont le maintien occasionne des frais élevés. La plupart d'entre elles ont été achevées après une crue destructrice, ayant commencé dans les derniers jours de 1882.

Les travaux de régulation du cours du Rhin ainsi que les ouvrages de protection contre les crues représentaient des conditions préalables à ce que les surfaces latérales de la vallée soient plus intensément mises en valeur, que ce soit de l'urbanisation, de l'agriculture ou de la silviculture. Beaucoup d'ouvrages de captages furent ainsi protégés des crues. Ceux-ci se partagent l'utilisation des eaux souterraines de la vallée avec les installations d'irrigation. Récemment, d'anciens bras du Rhin et une partie des biotopes humides de naguère ont été restaurés afin de redonner à la flore et à la faune un peu du rôle qu'elles avaient.

Le Rhin moyen et le Rhin inférieur

Le Rhin moyen coule entre Bingen et Bonn à travers le Massif schisteux rhénan, où il est enserré en grande partie dans un lit rocheux. Des obstacles à la navigation y présentaient un danger redoutable, et les victimes en furent très nombreuses dans le passé. Au XIX^e siècle, on entreprit à plusieurs reprises d'élargir la passe la plus étroite, celle du Trou de Bingen. A un prix toujours plus élevé, ces travaux ont été poursuivis selon un plan scientifiquement établi. Finalement, en 1974, un chenal navigable et sûr, d'une largeur de 120 m, pouvait être mis à la disposition de la navigation.

Des mesures semblables ont également été prises pour les obstacles rocheux situés en aval, jusqu'à St-Goar. Des aménagements ont été pratiqués, dans l'intérêt de la navigation, jusqu'au Rhin inférieur. Aujourd'hui, la navigation est possible de façon continue, depuis la côte jusqu'à Bâle, même pour le poussage de grands assemblages de péniches. Le Rhin, étant le fleuve le plus important d'Europe, de nombreux canaux et fleuves canalisés lui sont reliés. Il est ainsi relié aux réseaux des canaux français, au Danube par une liaison achevée 1992, ainsi qu'aux réseaux du nord-ouest et du nord de l'Allemagne.

Alors que sur le Rhin moyen les mesures de protection contre les crues et la mise en valeur des terres sont en net retrait pour des raisons topographiques, celles-ci prennent une importance primordiale sur le Rhin inférieur. Là en effet, certains tronçons durent être régularisés et des digues de protection durent être construites ou complétées sur les deux rives, ainsi que de nombreux autres travaux d'aménagement hydrauliques. Avec cela, les besoins de la région industrielle la plus grande et la plus peuplée des bords du Rhin se sont trouvés satisfaits.

La demande en eau potable et en eau destinée à l'agriculture ou à l'industrie, dans la région du bas Rhin, s'élève à plusieurs milliards de m³ par an. Cette demande ne peut être satisfaite qu'en prélevant de l'eau du Rhin, bien que les nappes phréatiques des terres riveraines soient très largement utilisées et que des retenues sur des affluents ainsi que d'autres possibilités de production. L'eau prélevée du Rhin l'est principalement sous forme d'infiltration à travers les berges du fleuve.

On a eu à combattre un problème particulier, principalement au niveau de Duisburg, quand à partir de 1908 des affaissements toujours plus importants du lit du fleuve se sont produits. Ils atteignirent une profondeur maximale de 2,5 m et ont mis en question localement la protection contre les crues. Ils rendaient la navigation plus difficile et avaient un impact négatif sur le niveau des eaux souterraines et sur les conditions écologiques. Les causes principales en étaient dues à des affaissements du sous-sol à la suite de l'exploitation minière, de la houille et du sel gemme. D'autres causes également s'y ajoutaient, les prélèvements de gravier du lit du fleuve en particulier. Ces prélèvements de gravier cessèrent aussitôt. On a essayé, par des aménagements fluviaux, de s'opposer à l'affaissement du lit. Depuis peu, on observe que ces affaissements se sont arrêtés. Les digues de protection ont dû être rehaussées à plusieurs reprises sur certains tronçons.

En plus des aménagements fluviaux effectués pour des raisons économiques, des mesures en faveur de l'aspect général du paysage ont été entreprises sur une grande échelle, sur le bas Rhin, qui ont bénéficié aux loisirs aquatiques. C'est ainsi que de grandes fosses de dragage ont été aménagées à l'intention des sports nautiques. La sécurité contre les crues a été accrue systématiquement et dans la région de la frontière entre l'Allemagne et les Pays-Bas, elle est assurée en collaboration, conjointement par les deux états.

Bassin du Rhin aux Pays-Bas

Bien davantage qu'aucun autre des états du bassin du Rhin, les Pays-Bas dépendent d'une gestion des eaux, générale et planifiée. La plus grande partie de leur territoire se situe en dessous du niveau atteint par les grandes crues de ses fleuves ou par les marées tempétueuses de la mer du Nord. Ceci s'applique tout particulièrement aux embouchures des trois bras du Rhin, Waal, Nederrijn-Lek et IJssel ainsi qu'à leurs cours latéraux.

Déjà au Moyen Age, et au début des temps modernes, des protections contre les crues, ainsi que des drainages très étendus, avaient été réalisés. Ils ont ensuite été complétés et perfectionnés aux XIX^e et XX^e siècles. On a essayé tout d'abord de réduire les pointes de crues, par des déviations latérales, jusqu'à des niveaux ne provoquant pas de dégâts. Cette approche ne donna pas les résultats escomptés, de sorte que l'on s'est mis à aménager le fleuve de façon à lui donner une capacité d'écoulement plus grande et à protéger tout l'arrière-pays par des digues. Depuis les années vingt de ce siècle, l'accent principal des travaux s'est porté sur les abords de la mer du Nord. Là, de grands barrages ont été construits aux embouchures des cours d'eau et la limite des eaux douces a été repoussée vers le littoral.

En vue du développement de la navigation, on a entrepris, à côté de régulation des fleuves, la construction de canaux et d'écluses. Dans de vastes régions du pays, on est parvenu à une régulation précise du niveau des eaux souterraines. L'alimentation en eau potable fut assurée, parmi d'autres méthodes, en faisant s'infiltrer de l'eau du Rhin dans le cordon de dunes littorales et en la pompant ensuite.

A la base des aménagements fluviaux systématiques qui ont finalement abouti au niveau actuel de protection contre les crues et d'endiguement des fleuves, on trouve un rapport établi par deux fonctionnaires du service des constructions hydrauliques, **Ferrundet Van der Kun**. Leurs conceptions directrices, complétées selon de nouveaux besoins et à la lumière de connaissances plus récentes, sont devenues réalité, cette constatation étant valable aussi bien en ce qui concerne les questions de dimensionnement que pour chaque mesure particulière envisagée.

Une partie de ce plan concernait l'endiguement du Oude Rijn, sur le Nederrijn ainsi que la répartition précise du débit du Rhin entre ses bras principaux. A cet égard, le Waal a conservé son rôle en tant que cours d'eau le plus abondant et principale voie de navigation. Le Nederrijn a été canalisé avec trois étages de retenue. Le barrage supérieur, celui de Driel, joue un rôle important dans la répartition du courant entre les différents bras du Rhin. En temps d'étiage, le Nederrijn reçoit la plus petite part du débit. Malgré des avis contraires, l'IJssel n'a pas été équipé d'ouvrages de retenue. Par des aménagements en plusieurs étapes, il peut maintenant jouer le triple rôle de, voie de navigation à forte capacité, d'exutoire efficace lors de crues et de chenal pour l'alimentation en eau douce du nord-ouest et du nord des Pays-Bas, par l'intermédiaire de l'IJsselmeer, qui se trouve ainsi dessalé.

Ce n'est qu'après 1860 que la région portuaire de Rotterdam, alimentée à partir du Nederrijn et du Waal, fut reliée à la mer du Nord, par la voie la plus courte, ce qui impliquait le dragage du Nieuwe Waterweg. L'accès des grands navires de mer était ainsi assuré. Avec nombre d'ouvrages construits depuis, cela a permis l'augmentation considérable du transbordement de marchandises, qui a fait de Rotterdam le plus grand port d'Europe.

Le cours inférieur du Waal a été séparé du cours de la Meuse, par des aménagements, en amont du Hollandsch Diep, de façon à pouvoir assurer la protection contre les crues et le drainage des eaux intérieures. Près de Dordrecht et située entre les deux fleuves, la région marécageuse de Merwede, le «Biesbosch», créée par les tempêtes et les crues, fut drainée et cultivée.

Les derniers grands aménagements entrepris aux Pays-Bas sont ceux réalisés dans la région côtière. Après les graves dommages causés en 1916 par des tempêtes et des marées hautes, la baie du Zuiderzee fut protégée par des digues, contre la mer du Nord. Derrière les digues, 165.000 ha d'anciens fonds marins ont été asséchés et cultivés pour la plupart, alors que d'autres surfaces ont été déclarées zones naturelles protégées.

Après 1945 et après la réparation des graves dommages de la guerre aux digues maritimes, le premier nouvel ouvrage contre marées et tempêtes fut l'endiguement de la Brielsche Maas, au sud-ouest de Rotterdam. Puis vint la catastrophe du 1^{er} février 1953, due à une marée tempétueuse, qui coûta la vie à plus de 1.800 personnes. Ce désastre déclencha le démarrage de travaux d'une ampleur jamais encore jugée possible auparavant. Les projets furent regroupés sous le nom de «Plan Delta» et la réalisation commença. Ses immenses barrages dans les baies de la mer du Nord et dans les embouchures des fleuves s'étendent du sud-ouest de Rotterdam jusqu'à l'île de Walcheren. Des barrages dans le Haringvliet, le Grevelingen, l'Escaut oriental et le Veerse Gat offrent, sur le littoral, une barrière de protection ininterrompue contre la mer du Nord. Pour des raisons écologiques et économiques, les vannes du barrage dans l'Escaut oriental restent ouvertes lors de marées normales, alors que les autres ouvrages sont fermés. La limite de l'eau douce a beaucoup progressé dans la partie nord du dispositif. A partir de la région Rhin-Meuse et jusqu'à l'Escaut, un important chenal a été ouvert à la grande navigation.

Les grands travaux hydrauliques aux Pays-Bas, sur la côte, sur les fleuves et dans l'arrière pays, ont été complétés récemment par l'aménagement systématique de sites écologiques de grande valeur. Dans l'ensemble, tout cela caractérise le pays comme une terre où, par une bonne gestion des eaux, les hommes ont obtenu une très haute qualité de vie et tiennent à la conserver.

Perspectives d'avenir

En raison des besoins de la population et des contraintes économiques, le Rhin a été transformé, à partir du fleuve sauvage et meurtrier qu'il était, en artère vitale d'une vaste région intensément mise en valeur. Malgré bien des interventions qui l'ont quelque peu dénaturé, il a cependant conservé son caractère de bien culturel. Des efforts multiples sont consacrés à restaurer, dans la mesure du possible, les richesses naturelles qui embellissaient son cours, actuellement perdues ou dégradées.

De même, à l'avenir des interventions techniques permettront certainement de maintenir et de développer tout ce qui a été acquis. La dynamique du cycle des eaux ne connaît pas d'état stable, pas plus que celle de la société. De nouvelles interventions hydrauliques sont déjà prévues et de nouvelles organisations se mettent en places. Il y a par exemple des retenues artificielles de crue qui devraient devenir les éléments d'un vaste système de contrôle. Puis il y aura sur la rive gauche du Rhin inférieur le problème à résoudre de remplir rapidement l'immense excavation résultant de l'exploitation à ciel ouvert de lignite, à l'ouest de l'Erft, après la cessation de cette activité. L'amélioration ultérieure de la qualité de l'eau du Rhin, objet qui n'entre cependant pas dans le cadre de ce rapport-ci, représente une tâche d'assainissement au niveau international.

Jusqu'à présent, on a toujours réussi à accroître le rôle économique du Rhin et à maintenir son éclat dans la culture européenne. On peut penser avec confiance que cela restera encore vrai dans l'avenir. A travers leurs diverses commissions, les états riverains s'efforcent de poursuivre ce but en commun.