

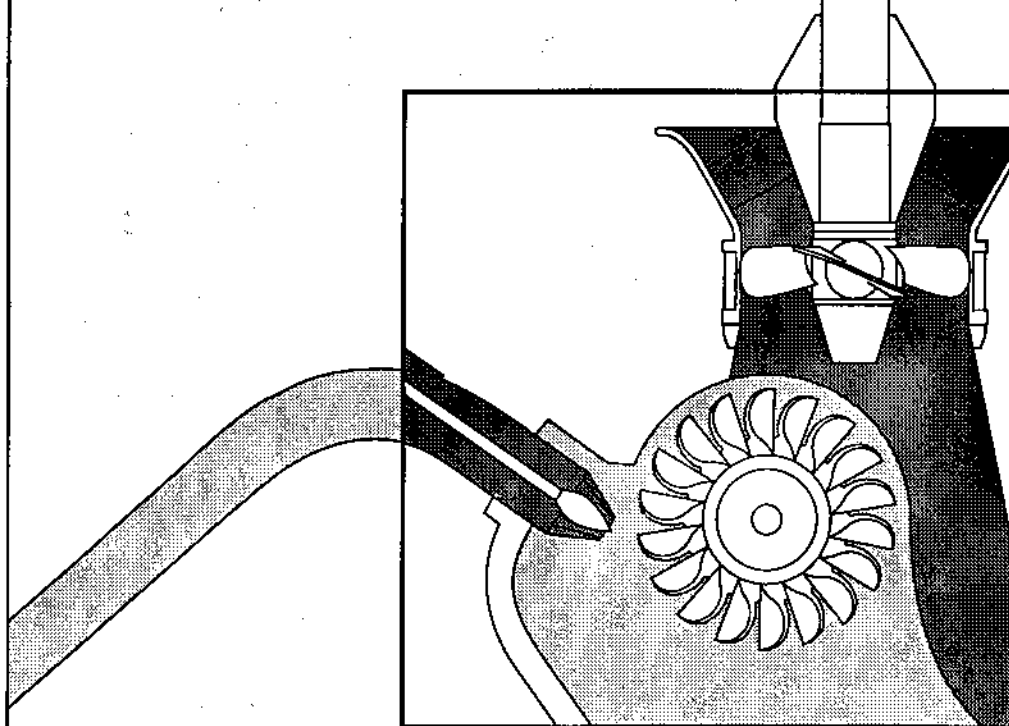
805.631 f

⑥

DIANE 10
Petites centrales hydrauliques

*Petites centrales
hydrauliques et
écologie des eaux*

Analyse de la situation



 **2000**

*Le programme Energie 2000:
notre politique énergétique
pour un développement durable*

***Petites centrales
hydrauliques et
écologie des eaux***

Analyse de la situation

**Auteurs: Claudia Zaugg, AQUARIUS, Neuchâtel
Hanspeter Leutwiler, Affoltern a/A**

1996 / Numéro de commande: 805.631.f

**Direction du projet:
DIANE, Petites centrales hydrauliques
c/o ITECO
Case postale, 8910 Affoltern am Albis
Tél. 01 762 18 18 / fax. 01 762 18 15**

IMPRESSUM

- Editeur:** Office fédéral de l'énergie, Berne
avec la collaboration de l'Office fédéral de l'économie des eaux,
Bienne et de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et
du paysage, Berne
- Conception et texte:** Claudia Zaugg, c/o AQUARIUS, case postale 67,
2000 Neuchâtel, tél. 032 - 724 72 62
Hanspeter Leutwiler, c/o ITECO, Affoltern am Albis
- Accompagnement
du projet:** Groupe de travail Ecologie et petites centrales hydrauliques
Dr. Peter Huggenberger, c/o EAWAG Dübendorf
Dr. Jean-Carlo Pedrolì, c/o AQUARIUS, Neuchâtel
- Traduction:** Klaus Riegler, c/o AQUARIUS, Neuchâtel
- Page de titre:** F. Hartmann, St-Gall
- Copyright:** Office fédéral de l'énergie (OFE), 3003 Berne
- Sources:**
- Office fédéral central des imprimés et du matériel, 3000 Berne
No de commande: 805.631.f
 - SKAT, Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et
le Management, Vadianstrasse 42, 9000 St-Gall
 - INFOENERGIE Nordwestschweiz (voir adresse ci-dessous)

Information et conseil

Les services de consultation d'INFOENERGIE ou la direction du projet DIANE, Petites centrales hydrauliques, fournissent les informations relatives aux mesures d'encouragement de la Confédération, au projet DIANE, Petites centrale hydrauliques, ainsi qu'aux autres questions concernant les petites centrales hydrauliques:

INFOENERGIE Ostschweiz

c/o Nova Energie GmbH
FAT, 8356 Tänikon bei Aadorf
Tél. 052-368 34 89, fax 052-368 34 89

INFOENERGIE Nordwestschweiz

c/o Nova Energie GmbH
Schachenallee 29, 5000 Aarau
Tél. 062-834 03 03, fax 062-834 20 15

INFOENERGIA Ticino

Centrale di consulenza sezione
protezione aria e acqua,
6500 Bellinzona
Tél. 091-804 37 55/53, fax 091-804 37 36

INFO-ENERGIE PCH
Suisse romande

Raymond Chenal c/o MHyLab,
1354 Montcherand
Tél. et fax 024 -441 36 54

Table des matières

REMERCIEMENTS AVANT-PROPOS

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE I - PARTIE GENERALE | 1 |
| I. Pourquoi une analyse de la situation des petites centrales hydrauliques par rapport à l'écologie? | 1 |
| II. Qu'est-ce qu'un cours d'eau proche de l'état naturel? | 4 |
| III. Quel est l'état actuel des cours d'eau? | 6 |
| IV. Bases légales | 10 |
| V. Littérature | 11 |
| CHAPITRE II - PARTIE SPECIFIQUE: PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES - PROBLEMES ET AMORCES DE SOLUTIONS | 12 |
| I. Effets écologiques à grande échelle | 12 |
| II. Effets écologiques à l'échelle locale | 13 |
| 1 Dispositifs de franchissement - canaux latéraux | 16 |
| 1.1 Interruption de la migration des poissons par des obstacles naturels, des seuils, des digues et des barrages | 16 |
| 1.2 Echelles à poissons | 17 |
| 1.3 Canaux latéraux | 19 |
| 1.4 Des passes pour les poissons - et les autres habitants des rivières? | 21 |
| 1.5 La situation en Suisse | 21 |
| 1.6 Littérature | 23 |
| 2 La problématique de la dévalaison - la mortalité due aux turbines | 25 |
| 2.1 Problématique | 25 |
| 2.2 Influence du bassin de retenue sur la dévalaison des poissons | 25 |
| 2.3 Risques de blessures dues aux chutes | 25 |
| 2.4 Mortalité piscicole dans les turbines | 25 |
| 2.5 Mesures à prendre | 26 |
| 2.6 La situation en Suisse | 26 |
| 2.7 Littérature | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3 | Débit résiduel - surface mouillée | 28 |
| 3.1 | Pourquoi la rivière a-t-elle besoin d'un débit résiduel déterminé? | 28 |
| 3.2 | La situation en Suisse | 29 |
| 3.3 | Littérature | 30 |
| 4 | Vidange des retenues de barrage | 31 |
| 4.1 | Pourquoi vidange-t-on les retenues de barrage? | 31 |
| 4.2 | Les problèmes rencontrés | 31 |
| 4.3 | Amorces de solutions pour réduire les dégâts causés à l'environnement | 32 |
| 4.4 | Exemple concret: le canton des Grisons | 34 |
| 4.5 | Exemple concret: le lac Eugénisee | 34 |
| 4.6 | La situation en Suisse | 35 |
| 4.7 | Littérature | 36 |
| 5 | Turbinage aux heures de pointe | 37 |
| 5.1 | Pourquoi le turbinage aux heures de pointe peut-il s'avérer nuisible? | 37 |
| 5.2 | Exemple en Autriche | 37 |
| 5.3 | Conclusions et amorces de solutions pour les petites centrales hydrauliques | 38 |
| 5.4 | La situation en Suisse | 39 |
| 5.5 | Littérature | 39 |
| 6 | Bassin de retenue | 40 |
| 6.1 | Transformations subies par la rivière lors de l'endiguement | 40 |
| 6.2 | Mesures d'aménagement du bassin de retenue | 40 |
| 6.3 | Gestion des bassins de retenue | 43 |
| 6.4 | La situation en Suisse | 43 |
| 6.5 | Littérature | 44 |
| 7 | Détritus flottants | 45 |
| 7.1 | Problématique | 45 |
| 7.2 | Bases légales | 45 |
| 7.3 | Objectifs du projet partiel DIANE « Le problème des débris flottants dans les petites centrales hydrauliques » | 45 |
| 7.4 | Littérature | 46 |
| 8 | Substances polluantes: lubrifiants et huiles hydrauliques | 48 |
| 9 | La situation dans les secteurs d'eau courante des petites centrales hydrauliques | 51 |
| 9.1 | Généralités | 51 |
| 9.2 | Une ancienne technologie redécouverte: les techniques d'aménagement des eaux du génie biologique | 51 |
| 9.3 | Le cas particulier des tronçons court-circuités | 53 |
| 9.4 | Canaux d'amenée et bassins de rétention comme milieux de vie? | 54 |
| 9.5 | La situation en Suisse | 56 |
| 9.6 | Littérature | 57 |
| 10 | Optimisation écologique et économique globale | 58 |

| | |
|---|-----------|
| Annexe 1: bibliographie | 59 |
| a) Introduction/généralités | 61 |
| b) Situation légale | 62 |
| c) Dispositifs de franchissement/canaux latéraux/continuum du cours d'eau | 63 |
| d) Débit résiduel/surface mouillée | 64 |
| e) Vidanges | 65 |
| f) Turbinage aux heures de pointe | 67 |
| g) Bassin de retenue | 67 |
| h) Détritus flottants | 68 |
| i) Aménagement des eaux | 68 |
| Annexe 2: publications DIANE | 73 |

REMERCIEMENTS

« L'analyse de la situation des petites centrales hydrauliques et l'écologie des eaux », l'un des premiers travaux du projet DIANE, Petites centrales hydrauliques, fut abordé comme un outil de travail interne du groupe de travail DIANE « Ecologie et petites centrales hydrauliques ». La richesse du thème et le défi que celui-ci représentait ont fait naître l'objectif de publier les expériences faites par le groupe de travail sous forme d'une brochure. Pour que ce but puisse être atteint, de nombreuses personnes et autorités ont participé sous forme d'initiative, de contribution ou de relecture, en particulier les membres du groupe d'accompagnement du projet DIANE Petites centrales hydrauliques et du groupe de travail « Ecologie et petites centrales hydrauliques ».

Les auteurs remercient tous ces collaborateurs pour leur engagement, leur grande endurance et leur sens du consensus, qui ont permis à ce travail de voir le jour.

AVANT-PROPOS

Le conflit: petites centrales hydrauliques - protection de l'environnement

Les maîtres d'oeuvre, exploitants et concepteurs, convaincus que « les petites centrales hydrauliques représentent l'une des techniques de production d'énergie les plus respectueuses de l'environnement », investissent beaucoup d'idéalisme, de temps et de moyens financiers dans ces installations de longue durée qui brassent d'importants capitaux. « L'énergie provenant de sources renouvelables est une dimension écologique » - ce principe est à la base de l'Article sur l'énergie, de l'Ordonnance sur l'énergie et du programme pour l'encouragement des petites centrales hydrauliques de la Confédération.

Du côté de la protection de l'environnement et des services chargés de cette protection, on estime au contraire que « les petites centrales hydrauliques portent une atteinte supplémentaire à des cours d'eau déjà suffisamment malmenés sans cela ». De nouvelles restrictions légales touchent les petites centrales hydrauliques de manière sensible. Les oppositions et les modifications de projets qui en découlent augmentent le coût de ces projets. Un examen effectué par des spécialistes a en outre démontré que dans de nombreux cas, les possibilités - financièrement supportables - d'aménager et d'exploiter les petites centrales hydrauliques de façon plus écologique, n'ont pas toutes été épuisées. La procédure, suivant laquelle il convient de rechercher une solution d'entente dans la discussion avec les milieux de la protection des eaux, et d'obtenir, de la part des autorités, des conditions et obligations qui tiennent compte de la réalité, n'est souvent pas suivie ou alors elle échoue par manque de connaissances professionnelles et en raison de préjugés réciproques.

Malgré cette contradiction, ou justement à cause d'elle, les petites centrales hydrauliques représentent un test pour l'encouragement des nouvelles énergies renouvelables: dans aucun autre domaine technologique on ne trouve autant de millions de kilowattheures, provenant de sources renouvelables, immédiatement disponibles et à des prix financièrement supportables, laissés en friche. Ou, vu d'une perspective différente: la question de leur tolérance vis à vis des cours d'eau est devenue la pierre d'achoppement pour les petites centrales hydrauliques.

Amorces de solutions

Le présent travail a pour objectif d'aborder ce problème. Pour la première fois en Suisse, le thème des « Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux » est largement développé à l'attention des maîtres d'œuvre, des exploitants et des concepteurs, afin de leur fournir un instrument pour l'établissement des projets, la procédure d'autorisation et l'exploitation. Il s'agit d'une part de sensibiliser le groupe ciblé aux problèmes écologiques et d'autre part de rendre accessibles les connaissances sur la manière d'épuiser toutes les possibilités écologiques.

Chaque cours d'eau présente une dynamique spécifique et possède des propriétés déterminées, que les interventions humaines modifient. Dans ce travail, les influences humaines sur un cours d'eau ne seront pas systématiquement jugées de façon négative. Il convient cependant toujours de veiller à ce que la fonctionnalité de l'ensemble du système soit garantie. Les petites centrales hydrauliques, avec leurs étangs et canaux existant en partie depuis le début du Moyen Âge, sont respectées en tant qu'éléments constitutifs du paysage et des sites aquatiques. Dans un rapport du département paysage et sites aquatiques du canton d'Argovie, on peut par exemple lire:

A côté des analyses purement techniques, les aspects écologiques ont également été étudiés. Dans de nombreuses centrales hydrauliques, les spécialistes ont été surpris par la beauté et la diversité écologique des canaux d'amenée et de fuite, qui représentent le plus souvent de précieux biotopes pour la faune et la flore aquatique et terrestre. Il faut que ces canaux soient maintenus dans le panorama du canton d'Argovie, si riche en cours d'eau.

Au siècle dernier, près de 10'000 petites et minuscules turbines et roues à eau étaient en activité en Suisse, avec autant de retenues d'eau et de tronçons court-circuités, sans que l'on accorde d'importance aux conséquences écologiques. L'impact des petites centrales hydrauliques comptait peu du fait que la majeure partie des tronçons de cours d'eau restants étaient encore dans l'état naturel.

C'est pourquoi il est aujourd'hui difficile, pour les représentants des petites centrales hydrauliques, de croire que les moins de 1000 installations restantes peuvent poser un problème.

Quel que soit le résultat des appréciations, les représentants des petites centrales hydrauliques sont aujourd'hui appelés à s'occuper de façon approfondie des requêtes de l'écologie des eaux. Cette revendication ne doit pas amoindrir - au contraire - les mérites de ceux qui, durant des générations, ont volontairement et à leurs frais aménagé et soigné la nature avec amour dans le cadre de leurs installations. Les témoins en sont, dans tout le pays, les ruisseaux de moulins, canaux d'usines, retenues d'eau et étangs, qui sont devenus, à l'image de certains parcs, des parties idylliques du paysage.

Le rôle des autorités

Les autorités jouent un rôle déterminant. Elles peuvent endosser le rôle de modérateur dans la recherche d'une solution financièrement supportable avec les différents intéressés. Les autorités ont également les possibilités suivantes:

- Les concessions traditionnelles comportent de nombreuses restrictions qui ne sont pas prescrites par la loi, comme par exemple l'obligation d'entretenir les chemins, les ponts et les cours d'eau. Les concessions existantes pourraient être examinées du point de vue de la suppression de telles tâches, et il conviendrait de renoncer à ces restrictions lors du renouvellement de concessions ou d'un nouvel octroi.
- Les finances publiques peuvent prendre en charge une partie des coûts de l'aménagement des eaux et des mesures écologiques. Cela se justifie par le fait que tant la production d'une énergie sûre, sans effet sur le climat, que la protection des eaux sont d'intérêt public.

Le projet DIANE, Petites centrales hydrauliques

Le projet DIANE, Petites centrales hydrauliques recherche des potentialités inutilisées dans les systèmes d'eau potable et d'eaux usées. D'autres potentialités se cachent surtout au niveau des installations vétustes et abandonnées, ainsi qu'à celui des faibles chutes. Le projet lance une série de publications servant d'aides dans la manière de procéder, et organise des congrès pour une meilleure utilisation de ces sources d'énergie. Il propose en outre des conseils et poursuit un vaste travail médiatique et d'information. Une série de congrès, ainsi que la mise en oeuvre d'une exposition permettent de propager les informations sur les petites centrales hydrauliques. Une liste des publications se trouve dans l'annexe, à la fin du présent rapport.

Un groupe de travail « Ecologie et petites centrales hydrauliques », composé de spécialistes des sciences aquatiques et de l'écologie des eaux, fut fondé. Ce groupe a inspecté de très nombreuses installations et a défini les points prioritaires pour les projets écologiques partiels du projet DIANE, Petites centrales hydrauliques.

Le projet DIANE, Petites centrales hydrauliques reprend trois des plus importants thèmes écologiques, qui sont traités sous forme de projets partiels indépendants:

- Le projet partiel « Continuum du cours d'eau » élabore les bases et établit un fil conducteur pour les passes à poissons et autres organismes aquatiques.
- Le projet partiel « Détritus flottants » a pour objectif, par l'intermédiaire d'une prescription légale sur l'enlèvement des détritus au niveau du captage d'eau, de diminuer la charge financière.
- Un autre projet partiel s'occupe d'examiner l'énergie « grise », plus précisément le facteur de rendement énergétique des petites centrales hydrauliques, afin d'obtenir des informations sur le bilan énergétique global.

Les résultats de tous les travaux DIANE, Petites centrales hydrauliques seront réunis dans une publication finale au terme des projets.

HP. Leutwiler, chef de projet

CHAPITRE I - PARTIE GENERALE

I. POURQUOI UNE ANALYSE DE LA SITUATION DES PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A L'ÉCOLOGIE?

Dans le cadre du programme Energie 2000, l'Office fédéral de l'énergie a lancé différents projets visant à économiser l'énergie et à promouvoir la production d'énergies renouvelables et respectueuses de l'environnement (programme DIANE). Le projet DIANE, Petites centrales hydrauliques a pour objectif de promouvoir la production d'électricité des centrales de ce type. Suivant l'usage international, et conformément à la définition de l'Office fédéral de l'énergie, les petites centrales hydrauliques sont des installations produisant jusqu'à 10 MW de puissance installée. Elles produisent un peu moins de 10 % de l'énergie hydraulique du pays. Les petites centrales hydrauliques d'une puissance allant jusqu'à 1 MW, dont la contribution à l'énergie hydraulique nationale est d'environ 2 %, sont particulièrement encouragées. Le terme de très petites centrales hydrauliques désigne les installations produisant moins de 300 kW.

Evolution des petites centrales hydrauliques en Suisse

En Suisse, les petites centrales hydrauliques ont connu leur apogée lors de la révolution industrielle, au 19^e et au début du 20^e siècle. En date du 1^{er} janvier 1914, **6'860 centrales hydrauliques** - principalement des petites centrales hydrauliques - fonctionnaient en Suisse. La puissance des 6'700 très petites centrales hydrauliques de moins de 300 kW s'élevait à 85 MW. L'évolution vers une exploitation de haute technologie de l'énergie hydraulique, rendue possible par les progrès techniques, a eu pour effet de fortement diminuer l'importance des très petites installations. De nombreuses très petites centrales hydrauliques furent mises à l'arrêt durant la période qui s'étend de la première guerre mondiale à nos jours, ce qui équivaut à une perte de production d'énergie renouvelable. Au moment du dernier inventaire, en 1984, seules environ **700 installations de production d'électricité de moins de 300 kW et environ 400 très petites installations** à transmission d'énergie purement mécanique (moulins, scieries) étaient encore en service. Leur puissance s'élevait à 46 MW, ce qui correspond à une production annuelle de 190 Mio kWh. Les petites centrales hydrauliques plus importantes purent se maintenir, mais souvent aux dépens de leur propre substance - un grand nombre d'entre elles affichent en effet un grand besoin de rénovation et de modernisation.

Au cours des dernières décennies, les limites des **ressources non renouvelables** apparurent cependant clairement, raison pour laquelle l'exploitation de l'énergie hydraulique par de petites installations gagne à nouveau en importance. Le programme Energie 2000 s'est fixé comme objectif, pour des raisons de politique énergétique et de l'environnement, de freiner le recul des petites centrales hydrauliques en favorisant les petites installations de ce type. Pour l'an 2000, on espère atteindre une augmentation de la production d'énergie électrique hydraulique de 5 %, chiffre auquel les petites centrales hydrauliques peuvent contribuer.

Politique énergétique et de protection de l'environnement

En raison des corrections de rivières, de diverses formes d'utilisation de l'eau et de la pollution des eaux, les cours d'eau naturels sont devenus rares. La dynamique des eaux (charriage de sédiments, vitesse d'écoulement, structure des rives et des fonds etc.) a fortement changé, ce qui a conduit à une diminution de la diversité des milieux de vie pour la faune et la flore. Dans une telle situation, les petites centrales hydrauliques représentent souvent une atteinte supplémentaire au milieu aquatique, d'une part en renforçant les influences négatives qui pèsent déjà sur l'écosystème aquatique, et d'autre part en introduisant de nouvelles nuisances.

Entre la politique énergétique et la politique de protection de l'environnement, il existe des points communs et des conflits d'objectifs. Les conflits deviennent manifestes lorsque la discussion porte sur les répercussions écologiques de l'exploitation des installations hydrauliques. D'un autre côté, l'exploitation de l'énergie hydraulique par de petites installations représente une technologie de production d'énergie indigène et renouvelable, dont on conserve une vue d'ensemble claire.

La longévité des installations, l'excellent facteur de rendement énergétique, le caractère inoffensif des matériaux employés et la décentralisation de la production d'énergie sont autant d'autres avantages qui révèlent un bilan écologique favorable en comparaison d'autres installations de production d'électricité.

Il en résulte que la question de savoir si les petites centrales hydrauliques peuvent être acceptées - et peuvent survivre - d'un point de vue écologique dépend en grande partie de la manière dont elles seront à même de résoudre les éventuels problèmes d'écologie des eaux, et de comment elles satisferont, de façon financièrement supportable, aux dispositions légales de protection des eaux et de la faune piscicole.

Il serait à ce sujet souhaitable que la discussion « production d'énergie - protection de l'environnement », souvent passionnée, puisse avoir lieu à un niveau plus rationnel. Les recherches scientifiques peuvent servir de base de discussion, car elles mettent en évidence non seulement les conséquences possibles et réelles des petites centrales hydrauliques sur l'écologie des eaux, mais aussi les lacunes dans nos connaissances sur cette question.

Objectifs de l'analyse de la situation

La présente brochure a pour objectif d'analyser l'influence des petites centrales hydrauliques sur les écosystèmes aquatiques à l'aide de résultats de recherche concrets tirés de la littérature. Les connaissances ainsi acquises doivent d'une part permettre aux maîtres d'oeuvre et aux exploitants, ainsi qu'à leurs concepteurs et aux responsables de l'exécution des lois, de trouver des solutions adaptées aux situations et financièrement supportables, et d'autre part faciliter la procédure d'autorisation.

Une considération individuelle des cas particuliers et une prise de contact précoce avec les services responsables, ainsi qu'avec les associations de protection de la nature et de l'environnement, permettent de réduire à un minimum les éventuelles modifications de projets et peut-être même d'éviter les oppositions.

Contrairement aux projets de grande envergure, où le coût des investigations écologiques, études de variantes, expertises etc. est moins important proportionnellement au prix de revient de l'énergie, et où d'autre part les compromis optimaux entre écologie et économie, obtenus grâce à des recherches détaillées, justifient les dépenses, il convient de calculer au plus juste la rentabilité et l'importance des travaux de planification dans le cas des petites centrales hydrauliques. On y parviendra par la recherche en commun de consensus et de solutions pragmatiques et, du côté des autorités, en fournissant et en élaborant des documents et instruments d'appréciation (cartes des eaux, listes de contrôle, aide-mémoire).

Objectif premier

L'objectif premier de la présente analyse de la situation est de mettre en évidence les principales caractéristiques d'un **écosystème aquatique naturel**. Il ne s'agit pas ici du rétablissement d'un état originel, mais de montrer les processus qui se déroulent dans un cours d'eau et qu'il convient, le cas échéant, de sauvegarder afin de garantir une diversité de milieux de vie aussi grande que possible pour la faune et la flore.

L'analyse décrit également les objectifs poursuivis par les lois fédérales sur la protection de la nature et de l'environnement. Une comparaison de ces objectifs avec la situation actuelle de nos cours d'eau et le fonctionnement des petites centrales hydrauliques renseigne sur l'éventuelle nécessité d'appliquer certaines mesures (nécessité d'agir).

Second objectif

Le second objectif du présent rapport consiste à montrer où et comment l'écosystème aquatique est, le cas échéant, **influencé par le fonctionnement de petites centrales hydrauliques**. Le rapport précise, à cette occasion, les domaines pour lesquels des résultats scientifiques sûrs existent, et ceux pour lesquels il y a des lacunes dans nos connaissances (nécessité d'agir) et qui ne peuvent faire l'objet que de suppositions. Les explications les plus importantes concernant les différents thèmes, issues de l'état actuel de nos connaissances, sont mentionnées, accompagnées d'amorces de solutions. Des indications sur la littérature correspondante sont données à la fin du chapitre en question. En outre, une liste bibliographique détaillée, relative aux différents thèmes, se trouve en annexe.

Troisième objectif

Le troisième objectif de la présente analyse de situation consiste à développer des **propositions pratiques et directement applicables**. Dans la plupart des cas, les petites centrales hydrauliques sont la propriété de sociétés d'électricité, de personnes privées ou de petites firmes. On peut de ce fait comprendre que les améliorations de l'installation pour des raisons d'environnement ne reçoivent pas la priorité, les motifs financiers étant la plupart du temps prépondérants. Nous sommes de l'avis que cette attitude repose souvent sur un manque d'information, et que, dans bien des cas, des mesures d'assainissement simples et peu coûteuses peuvent déjà produire d'importantes améliorations dans l'écosystème aquatique.

II. QU'EST-CE QU'UN COURS D'EAU PROCHE DE L'ETAT NATUREL?

Maintenir ou retrouver un cours d'eau proche de l'état naturel est un des objectifs de la Loi fédérale sur la pêche du 21 juin 1991, qui vise à *préserv*er ou *d'accroître la diversité naturelle et l'abondance des espèces indigènes des poissons, d'écrevisses, d'organismes leur servant de pâture ainsi que de protéger, d'améliorer ou, si possible, de reconstituer leurs biotopes* [Art.1, al.1 lettre a].

Les cours d'eau naturels forment une unité fonctionnelle avec leurs zones alluviales et leurs rives. Les crues et les étiages, le charriage de sédiments et de détrit

us, le gel en hiver et la croissance végétale en été sont les moteurs principaux d'une dynamique déterminée par les eaux. Les flux élevés de matières et d'énergie, alliés aux constants processus de synthèse et de dégradation dans les zones alluviales et dans le cours d'eau, créent des conditions de vie diversifiées, qui varient sur un espace infime, de sorte que des communautés biotiques riches en espèces, vitales et capables de régénération peuvent exister ici.

Ces ruisseaux et rivières naturels créent eux-mêmes leur lit et forment, suivant la pente, le charriage de sédiments et le débit, les types morphologiques (types de vallées) les plus divers. Des crues naturelles inondent les terrains environnants.

Les processus les plus divers se déroulent dans de tels cours d'eau « naturels »; de nombreux animaux et plantes les colonisent:

Les processus qui façonnent les cours d'eau

La force et l'influence de l'eau courante représentent le facteur principal du façonnement de la morphologie des écosystèmes d'eaux courantes. Dans un cours d'eau naturel, les matériaux les plus divers sont transportés (matières en suspension, charriage de sédiments, matières dissoutes), ce qui conduit à un échange permanent entre l'érosion (enlèvement) et la sédimentation (dépôt). Ces processus, tout comme différents autres (crues, cycle des matières etc.), façonnent les cours d'eau naturels et engendrent une grande dynamique.

Plantes

Les plantes se sont adaptées de très diverse façon à la vie dans et à proximité de l'eau: alors que certaines plantes aquatiques typiques peuvent vivre complètement immergées, d'autres colonisent les bancs de gravier, les rives ou les terres environnantes temporairement inondées. Les cours d'eau originels étaient autrefois entourés d'immenses forêts alluviales, qui abritaient d'innombrables espèces animales et végétales.

Invertébrés

Lorsque l'on songe aux invertébrés (« animaux inférieurs », organismes nutritifs pour les poissons, soi-disant macroinvertébrés) de nos rivières, ce sont en premier les escargots et les moules qui nous viennent à l'esprit. Ceux-ci ne représentent cependant qu'une petite partie des organismes benthiques de nos cours d'eau: dans le lit de la rivière, la plupart du temps sous les pierres, se cachent quantités d'autres animaux

tels que gammares, aselles, vers et coléoptères, qui passent la totalité de leur vie dans l'eau. A côté de ceux-ci, de très nombreux autres animaux passent une grande partie de leur vie dans l'eau, à l'image de nombreuses larves d'insectes comme les éphémères, les plecoptères et les trichoptères.

Poissons

La faune piscicole suisse comptait autrefois 54 espèces, en partie largement répandues, dont certaines entreprenaient de longues migrations. Le saumon, à titre d'exemple, remontait le Rhin depuis la mer jusque dans le lac de Brienz, et pouvait se reproduire dans des rivières comme l'Aar, l'Emme, la Reuss, la Glatt, la Thur, la Töss, la Sarine etc.

Beaucoup parmi ces poissons dépendent non seulement de la qualité de l'eau, mais aussi de milieux de vie intacts et souvent de la possibilité de migrer librement, afin de pouvoir se reproduire dans le cours supérieur des rivières.

III. QUEL EST L'ETAT ACTUEL DES COURS D'EAU?

De nos jours comme par le passé, l'homme utilise les cours d'eau, mais dans une toute autre mesure cependant, de sorte qu'il n'existe aujourd'hui **pratiquement plus de cours d'eau non modifiés ou ne subissant aucune atteinte** en Suisse:

- De nombreux ruisseaux sont rectifiés, endigués et coulent en partie sur des fonds en béton ne comportant plus la moindre diversité morphologique. Sur ces tronçons, la vitesse d'écoulement a souvent été augmentée. Les petits cours d'eau ont avant tout été modifiés pour des raisons d'aménagement des eaux: construction de seuils pour la protection des fonds contre l'érosion, canalisation pour l'évacuation des crues, protection des rives contre l'érosion etc. Beaucoup parmi ces cours d'eau ont en outre été mis sous tuyaux dans le but de gagner des terres pour l'agriculture.
- Dans les cours d'eau comportant des retenues d'eau, les crues ne peuvent plus emporter les sédiments fins qui se sont déposés sur le fond, la vitesse d'écoulement n'étant plus assez grande. Le régime d'écoulement des cours d'eau a fréquemment subi de profondes modifications par l'homme.
- Un grand nombre de barrages au fil de l'eau furent érigés, avec pour effet d'interrompre le continuum du cours d'eau, de retenir l'eau sur des kilomètres parfois et de laisser le lit de la rivière presque à sec en aval du barrage. Le milieu de vie rivière et ses habitants s'en trouvent fondamentalement modifiés.
- La qualité de l'eau est dégradée par les apports d'eaux usées domestiques et industrielles, ainsi que par les engrais et pesticides issus de l'agriculture.

Bien que l'amélioration de la qualité de l'eau soit encore un thème central de nos jours, le problème se pose actuellement de façon beaucoup moins aiguë dans les cours d'eau. Aujourd'hui, l'un des problèmes écologiques majeurs de nos ruisseaux et rivières se trouve certainement dans leur aménagement, qui est encore très fortement marqué par **des interventions constructives lourdes**. Ce type d'aménagement façonne les cours d'eau en fonction des différentes utilisations qui en sont faites, le plus souvent sans tenir compte des intérêts écologiques. Lors de l'établissement des projets, on se soucie généralement en premier lieu d'obtenir des profils favorables à l'écoulement des eaux, ce qui conduit à des solutions particulièrement monotones.

Il en résulte, entre autres, les conséquences suivantes sur les processus et les communautés biotiques des cours d'eau:

Les processus qui façonnent les cours d'eau

L'homme a fondamentalement modifié la dynamique des cours d'eau en maints endroits. Mentionnons, à titre d'exemple, la consolidation (colmatage) du lit des rivières, pratique largement répandue de nos jours: avec la diminution de la vitesse du courant et l'absence de crues, le charriage de sédiments ne se fait plus. Les fonds se couvrent de dépôts de sédiments fins, ce qui, dans de nombreux cas, a de lourdes conséquences sur l'ensemble de l'écosystème (diminution des processus d'échange avec les eaux souterraines, recul des milieux de vie et des frayères etc.).

Plantes

Les terres agricoles exploitées s'étendent aujourd'hui jusqu'au bord des cours d'eau, en lieu et place des anciennes forêts alluviales; les arbres et buissons typiques des rives ont dû céder la place à une végétation herbacée uniforme, voir même à du béton. Ce manque d'ombrage sur l'eau a permis le développement des algues et des plantes aquatiques supérieures, qui envahissent complètement le lit du cours d'eau et entravent parfois même l'écoulement des eaux. D'autres plantes en revanche, dépendantes de conditions locales déterminées, ont fortement reculé ou sont en voie d'extinction.

Invertébrés

Un grand nombre parmi ces organismes benthiques, principalement les espèces sensibles, ont fortement reculé ou même disparu. Les raisons en sont d'une part la dégradation de la qualité de l'eau, mais aussi, d'autre part, les profondes modifications subies par le fond des cours d'eau.

Alors que les invertébrés pouvaient autrefois se réfugier au plus profond du substrat, le fond des cours d'eau est aujourd'hui très souvent colmaté (consolidé), de sorte qu'il n'existe plus d'interstices entre les pierres et que l'oxygène ne peut guère pénétrer dans le substrat. Le milieu de vie de très nombreuses espèces d'invertébrés s'en trouve réduit et dégradé.

Les espèces ubiquistes et les indicateurs d'eaux polluées ont en revanche fortement augmenté et forment parfois, dans des stations fortement aménagées et polluées, d'importants rassemblements.

Poissons

Sur les 54 espèces que comptait autrefois la faune piscicole suisse, **7 ont déjà disparu**, **5 sont menacées d'extinction**, **8 sont fortement menacées** et **8** sont classées comme **menacées**. De plus, **13 nouvelles espèces** furent introduites dans nos eaux, ces espèces concurrencent notre faune piscicole indigène et la mettent par là même en danger.

De nombreuses espèces ne peuvent aujourd'hui presque plus se reproduire naturellement:

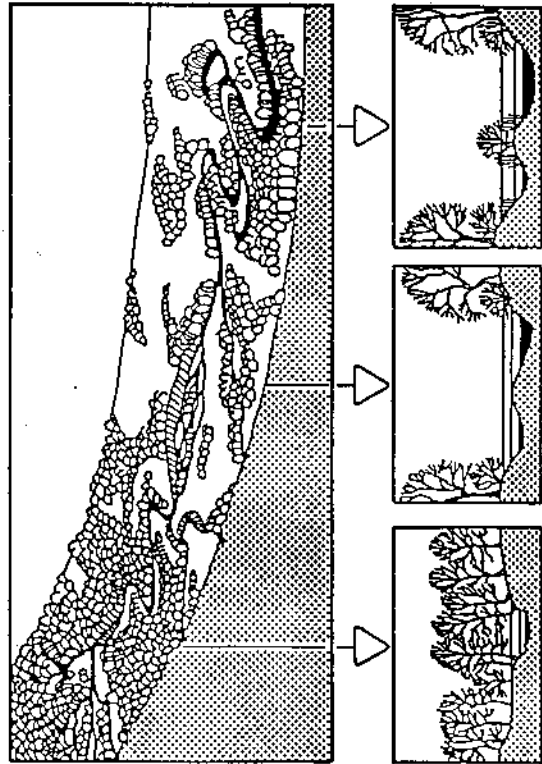
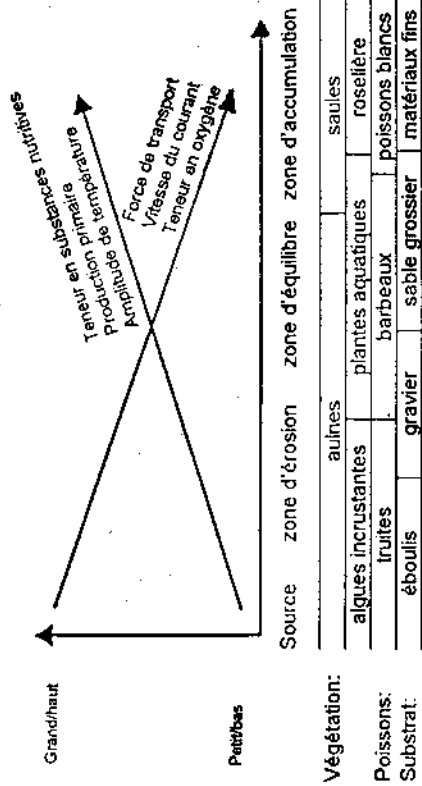
- De nombreuses rivières n'offrent plus de frayères appropriées (p.ex. végétation des rives, gravier meuble pour des poissons comme la truite, dont les oeufs sont enterrés dans le gravier).
- Certaines espèces migrent vers le cours supérieur des rivières pour frayer. De nombreux seuils et digues entravent cependant cette migration ou la rendent même impossible.

En outre, les poissons ne trouvent que peu de refuges dans les cours canalisés et deviennent ainsi une proie facile pour différents prédateurs.

Fig. 1: Représentation schématique d'un cours d'eau naturel, respectivement non naturel (d'après DWK-Merkblatt, 1984).

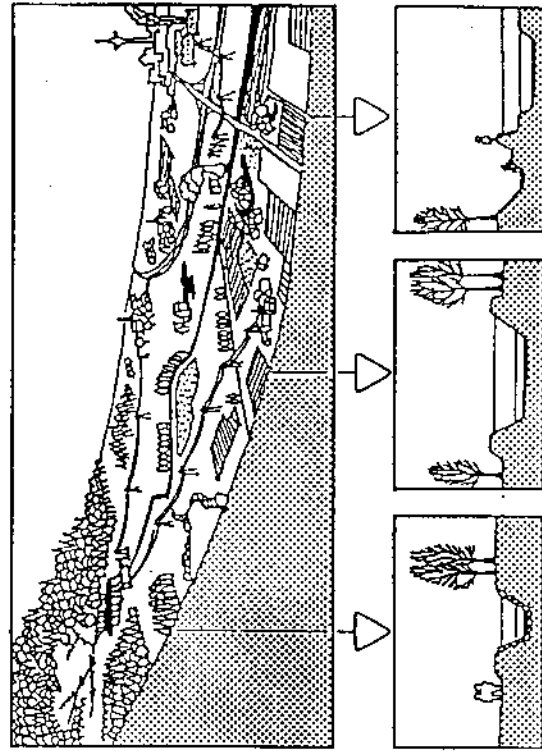
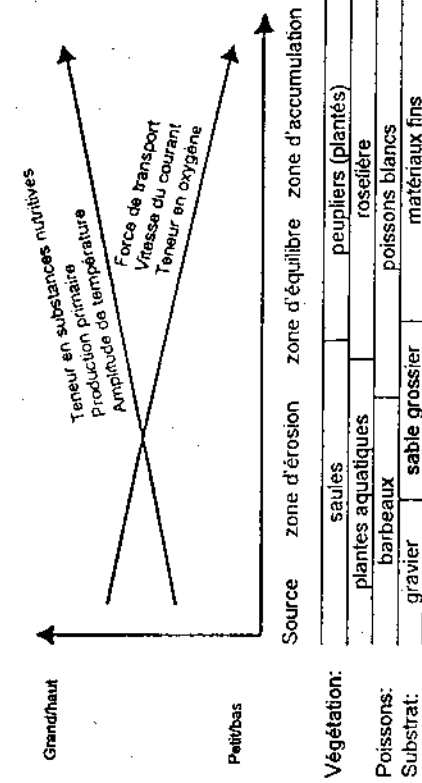
Fond de vallée peu exploité

Cours d'eau naturel



Fond de vallée densément exploité

Cours d'eau non naturel



Tab. 1: Cours d'eau naturel et non naturel - confrontation simplifiée des conditions écologiques (d'après DVWK-Merkblatt 204, 1984).

| COURS D'EAU NATUREL | COURS D'EAU NON NATUREL |
|---|---|
| Le cours d'eau est une unité traversable , il garantit un échange permanent des organismes aquatiques de la source à l'embouchure et inversement, et n'est interrompu que par des lacs et des chutes naturels. | Les barrages et les sauts dans la qualité de l'eau, conditionnée par les rejets d'eaux usées, divisent le cours d'eau en tronçons indépendants , ce qui entrave dans une large mesure l'échange ininterrompu d'organismes aquatiques. |
| La teneur en substances nutritives et l'amplitude des températures entre l'été et l'hiver augmentent de la source à l'embouchure, et les valeurs sont peu élevées dans le cours supérieur. | La teneur en substances nutritives et l'amplitude des températures entre l'été et l'hiver augmentent de la source à l'embouchure, et on enregistre des valeurs élevées dans le cours supérieur déjà. |
| La pente, et par conséquent la vitesse du courant, la force de transport et la teneur en oxygène (dans l'obscurité) diminuent de la source à l'embouchure, et les valeurs sont très élevées dans le cours supérieur. | La pente, et par conséquent la vitesse du courant, la force de transport et la teneur en oxygène, diminuent de la source à l'embouchure, et on constate fréquemment des valeurs peu élevées dans le cours supérieur déjà. |
| La granulométrie du substrat diminue de la source à l'embouchure. L' érosion est prépondérante dans le cours supérieur, la sédimentation dans le cours inférieur. | Le substrat est peu trié de la source à l'embouchure. On constate déjà la sédimentation de matériaux fins (vase p.ex.) dans les cours supérieurs en cas de retenues d'eau et/ou d'eutrophisation. |
| Le cours supérieur possède de nombreux milieux de vie différents sur peu d'espace (trous profonds, zones à courant variable). Le cours moyen est quand à lui caractérisé par de plus grandes surfaces d'eau calme et par la présence de bancs de sable et de gravier. Dans le cours inférieur, on trouve des bras morts (en contact permanent avec la rivière); de l'eau morte (en relation avec la rivière uniquement lors de crues) et des lieux où l'eau ne coule que périodiquement. | En raison de la consolidation des rives et du fond, le cours supérieur ne présente que des milieux de vie homogènes . Les profils divisés et en trapèze d'un cours moyen corrigé n'autorisent pas la formation de surfaces d'eau calme, ni celle de bancs de sable et de gravier. Dans le cours inférieur, les anciens bras morts, les eaux mortes et les lits périodiquement en eau ont été soit remblayés, soit isolés par des digues. |
| Des espèces ligneuses riveraines accompagnent la rivière de sa source à l'embouchure. Les aulnes prédominent dans le cours supérieur et, suivant l'importance du cours d'eau, les saules dans le cours inférieur. | Le cours d'eau n'est que rarement accompagné de végétation arbustive ou arborescente, et si tel est le cas, ces espèces ligneuses se trouvent alors en dehors du profil d'écoulement, ne sont pas spécifiques des eaux et n'ont plus qu'une faible influence sur les organismes aquatiques. |
| En raison de l' ombrage important , les algues incrustantes dominent dans le cours supérieur. Dans le cours moyen, l'ensoleillement partiel et une eau principalement claire favorisent le développement des associations de plantes submergées, alors que l'eau trouble et la stabilité du substrat du cours inférieur favorisent les peuplements de roseaux et de grands carex. | Des peuplements luxuriants de plantes aquatiques , dans certains cas même des roseaux, dominent déjà dans le cours supérieur, ils évoluent ensuite vers les buissons et les champs d'orties nitrophiles dans le cours inférieur. |
| Les féroces truites et ombres (salmonidés) dominent en densités d'individus peu importantes dans le cours supérieur, alors que le cours inférieur est caractérisé par de grandes densités de poissons pacifiques . | Les poissons pacifiques (cyprinidés) comme le barbeau, la brème, le gardon, le rotengle, la carpe et la tanche dominent dans ce cours d'eau. Certains tronçons individuels de cours d'eau peuvent devenir des déserts biologiques . |

IV. BASES LEGALES

Les intérêts de la pêche et de l'hydrologie sont, pour l'essentiel, réglementés par les lois fédérales révisées sur la pêche (21 juin 1991) et sur la protection des eaux (Loi sur la protection des eaux du 24 janvier 1991). La nouvelle loi sur la protection des eaux a pour objectif (art.1) *de protéger les eaux contre toute atteinte nuisible. Elle vise notamment à:*

- a. *préserver la santé des êtres humains, des animaux et des plantes;*
- b. *garantir l'approvisionnement en eau potable et en eau d'usage industriel et promouvoir un usage ménager de l'eau;*
- c. *sauvegarder les biotopes naturels abritant la faune et la flore indigènes*
- d. *sauvegarder les eaux piscicoles*
- e. *sauvegarder les eaux en tant qu'élément du paysage*
- f. *assurer l'irrigation des terres agricoles*
- g. *permettre l'utilisation des eaux pour les loisirs*
- h. *assurer le fonctionnement naturel du régime hydrologique.*

Ces deux lois réglementent divers domaines tels que débits résiduels, aménagements et corrections de cours d'eau, vidanges et vidages de retenues de barrage, évacuation des débris flottants dans les barrages etc. Il faut par contre encore décider, suivant la situation et après estimation de l'**intérêt général**, de quelle manière ces domaines seront considérés.

L'exécution de ces deux lois fédérales révisées permettra cependant, à l'avenir, de tenir davantage compte des différents domaines touchant à la protection des eaux et de rendre à nos eaux un aspect plus proche de l'état naturel.

V. LITTÉRATURE

Comme mentionné précédemment, une liste bibliographique détaillée, relative aux différents thèmes traités, se trouve dans l'annexe. Nous donnons en outre quelques indications bibliographiques à la fin de chacun des chapitres suivants, afin de permettre au lecteur de s'informer sur un domaine particulier à l'aide d'un choix restreint de publications.

Les thèmes « évolution de l'énergie hydraulique en Suisse », « écologie des eaux courantes » et « modifications de nos cours d'eau par l'homme » ont fait l'objet d'un grand nombre de publications, dont trois sont à mettre en évidence ici:

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Wasserwirtschaft (1987): Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil III.- Mitteilung Nr. 2, Bern, 145 pages.

Cette étude traite, d'un côté, de l'évolution générale de l'exploitation de l'énergie hydraulique en Suisse. Elle donne des explications sur les bases naturelles, techniques et légales, ainsi que sur le rapport entre l'exploitation de l'énergie hydraulique et la gestion de l'électricité. D'un autre côté, l'étude fournit principalement des éléments sur l'importance des petites centrales hydrauliques en Suisse. Pour ce faire, les résultats d'un inventaire des petites centrales hydrauliques sont présentés et commentés. L'étude tente en outre de montrer, sur la base de deux tronçons d'essai, des possibilités concrètes d'augmentation de la production d'électricité au moyen de transformations et par la construction de nouveaux ouvrages.

Cette étude est d'un accès facile et s'adresse aussi bien au spécialiste qu'au profane intéressé. Elle est disponible en allemand ou en français auprès de l'OFCIM à Berne.

v. Känel, A. (1991): Fliessgewässer im Kanton Bern, Lebensräume und Oekologie bernischer Bäche und Flüsse.- Hrsg: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, Bern, 40 pages.

Cette documentation claire et richement illustrée expose les aspects les plus divers des cours d'eau bernois. Une grande importance est accordée à éveiller l'attention du lecteur sur la faune et la flore des ruisseaux et rivières. On montre aussi, à l'aide de photos et de cartes, les modifications que différents tronçons de cours d'eau ont subi par l'intervention de l'homme. On présente tant des exemples négatifs que des mesures positives.

Pedroli, J.-C., Zaugg, B. & Kirchhofer, A. (1991): Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse.- CSCF, Neuchâtel, 207 pages.

Dans cet atlas sont réunis et interprétés les résultats de plusieurs années d'enquêtes et de pêches de recensement dans toutes les régions du pays. On y mentionne les espèces de poissons autrefois présentes en Suisse et l'on explique les raisons de leur disparition. L'atlas analyse en outre la distribution, la biologie et le degré de menace des espèces actuellement présentes chez nous. On précise également de quelle manière nos lacs et nos rivières devraient être assainis pour qu'ils puissent offrir un milieu de vie approprié aux espèces les plus diverses. L'atlas est complété par une clé de détermination et par des photos en couleur des différentes espèces de poissons. Ce livre a paru en version bilingue (allemand/français).

CHAPITRE II - PARTIE SPECIFIQUE: PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES - PROBLEMES ET AMORCES DE SOLUTIONS

I. EFFETS ECOLOGIQUES A GRANDE ECHELLE

Il n'est pas simple de répondre à la question des effets écologiques à grande échelle causés par une petite centrale hydraulique sur un cours d'eau. Nous tenterons néanmoins de donner ici quelques indices sur les mécanismes qui sont en jeu. Ces indices concernent exclusivement le continuum de la rivière, car **l'interruption de ce continuum** représente l'une des **plus importantes atteintes à l'écosystème aquatique**. Si, par exemple, le continuum du cours d'eau est interrompu par un obstacle infranchissable à proximité de l'embouchure, il en résulte que différentes espèces de poissons ne pourront plus remonter dans la rivière depuis le lac. Certaines parmi ces espèces dépendent cependant de cette migration dans les rivières pour se reproduire (p.ex. la truite de lac). Si cette migration est entravée, il y aura des conséquences non seulement pour le cours d'eau lui-même (appauvrissement du spectre des espèces), mais aussi pour l'ensemble du lac, pour les effectifs de l'espèce en question et finalement aussi pour l'homme (pêche). Ainsi, **des atteintes apparemment peu importantes de ce genre** peuvent avoir des **conséquences lourdes et très étendues**.

Pour l'appréciation d'une situation, il est déterminant de connaître les conditions qui doivent être remplies pour qu'un cours d'eau puisse exercer ses différentes fonctions et offrir un milieu de vie approprié aux animaux et aux plantes. Il faut dès lors se poser la question suivante: **Quel serait l'aspect du cours d'eau si l'on n'y portait pas atteinte et, surtout, comment fonctionnerait-il?** Il convient par conséquent, dans la mesure du possible, d'examiner les mesures à prendre par rapport à l'état naturel originel d'un cours d'eau.

Durant cette étape, il faut veiller à éviter de considérer unilatéralement l'état effectif actuel du cours d'eau, car de telles réflexions conduiraient à des affirmations du type: « ce cours d'eau subit déjà de fortes atteintes, les mesures de protection des eaux sont donc superflues! ».

Mentionnons brièvement six aspects:

- 1) **Si le cours d'eau ne subissait aucune influence, la vitesse d'écoulement serait-elle suffisamment grande pour permettre le charriage de matériaux grossiers?**

Les tronçons de cours d'eau libres présentent un renouvellement régulier du substrat, ce qui garantit le déroulement naturel des processus biologiques. Un seul barrage peut le cas échéant suffire pour faire disparaître presque complètement ce processus précieux pour la nature.

- 2) **Sur quelle distance s'étend le continuum naturel du cours d'eau en aval de la petite centrale hydraulique?**

Les longs tronçons de cours d'eau sans obstacles sont extrêmement importants du point de vue écologique. Ils permettent, entre autres, la survie d'espèces

animales qui dépendent des migrations. Les obstacles naturels - et artificiels - limitent fortement la présence de telles espèces.

- 3) **Le cours d'eau pourrait-il offrir un milieu de vie pour des espèces rares ou peu répandues? Ces espèces apparaissaient-elles dans le site autrefois? Les y trouve-t-on encore aujourd'hui?**

Même dans des conditions naturelles, les espèces ne sont pas toutes répandues uniformément, ni en quantité égale. Une grande attention doit être accordée aux cours d'eau qui abritent des espèces naturellement rares ou dont l'aire de distribution est restreinte.

- 4) **Le cas particulier de la production électrique aux heures de pointe - pourquoi cette production peut-elle être nuisible?**

Le fonctionnement d'une centrale d'appoint provoque de fortes augmentations et diminutions de débit dans un court laps de temps. On ne sait jusqu'à présent que très peu de choses sur les conséquences de ces variations artificielles de débit. Il faut cependant compter avec le fait que les centrales hydrauliques importantes, fonctionnant par appoint, portent très fortement atteinte à l'écosystème situé en aval. En revanche, ces conséquences sont probablement de nature plutôt locale dans le cas des petites centrales hydrauliques, raison pour laquelle cette question sera traitée en partie II.

- 5) **Une petite centrale hydraulique offre-t-elle une compensation écologique par l'intermédiaire de ses aménagements hydrauliques?**

Par l'intermédiaire de grands étangs et de longs canaux semi-naturels, les petites centrales hydrauliques peuvent former un milieu de vie de remplacement pour différentes espèces. Certaines parmi ces installations font office de site naturel protégé et sont des espaces de récréation appréciés. En outre, le nettoyage réalisé par les installations de dégrillage de la centrale peut se répercuter positivement sur le cours d'eau, puisqu'il y aurait davantage de déchets de civilisation sur les rives sans ces installations.

- 6) **Effets cumulatifs des petites centrales hydrauliques**

Plusieurs petites centrales hydrauliques situées sur le même cours d'eau peuvent engendrer une atteinte cumulative qui perturbe durablement la fonctionnalité de ce cours d'eau.

II. EFFETS ECOLOGIQUES A L'ECHELLE LOCALE

Les effets à l'échelle locale se définissent plus aisément, du fait qu'ils se limitent à une zone située entre la proximité immédiate de la centrale et quelques kilomètres en amont et en aval. Les illustrations schématiques 2a) et 2b) montrent les différents domaines dans lesquels des atteintes - mais aussi des améliorations par rapport aux constructions existantes - sont possibles.

Fig. 2a): Atteintes possibles à l'écosystème aquatique par l'exploitation d'une petite centrale hydraulique.

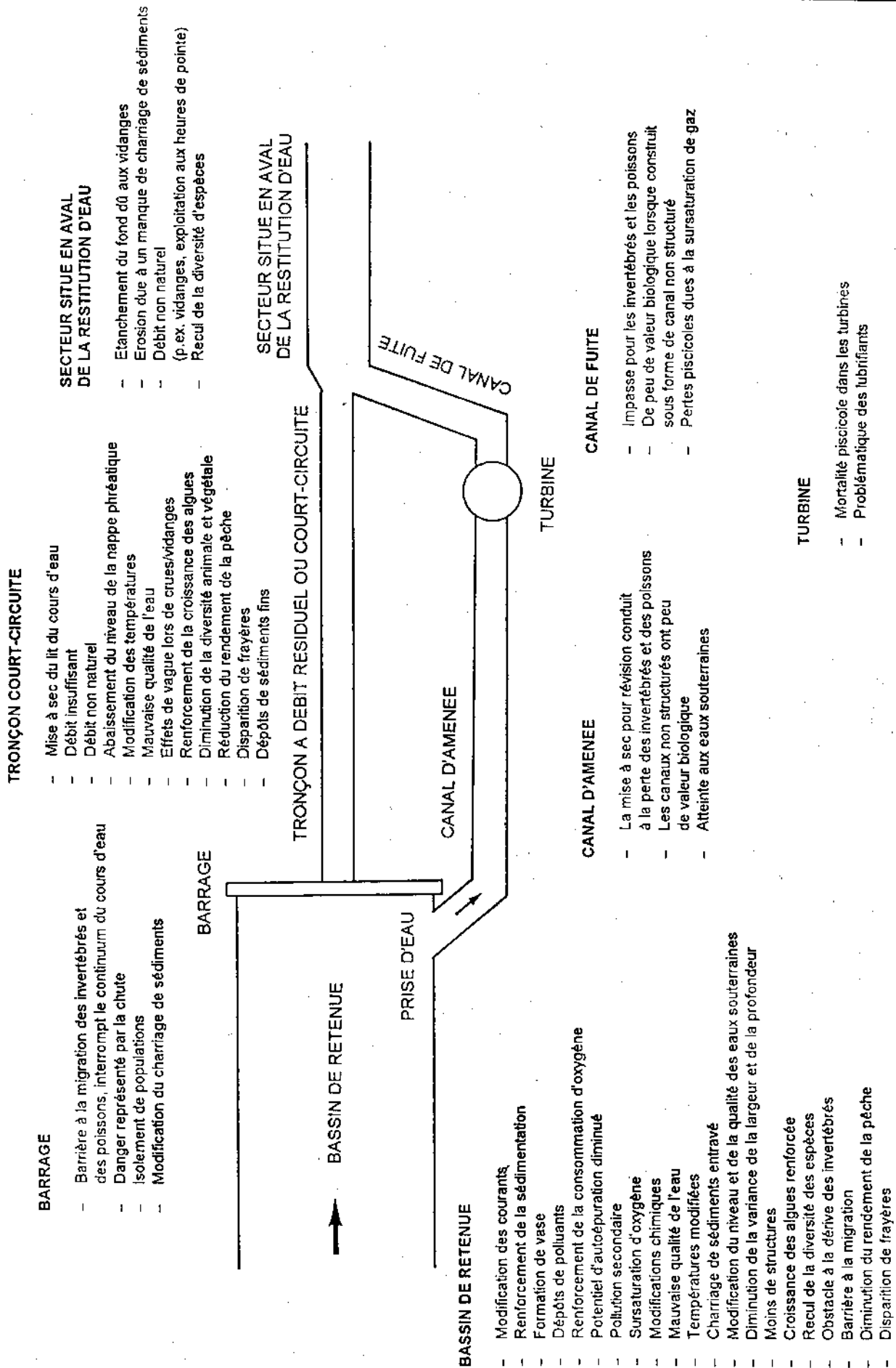
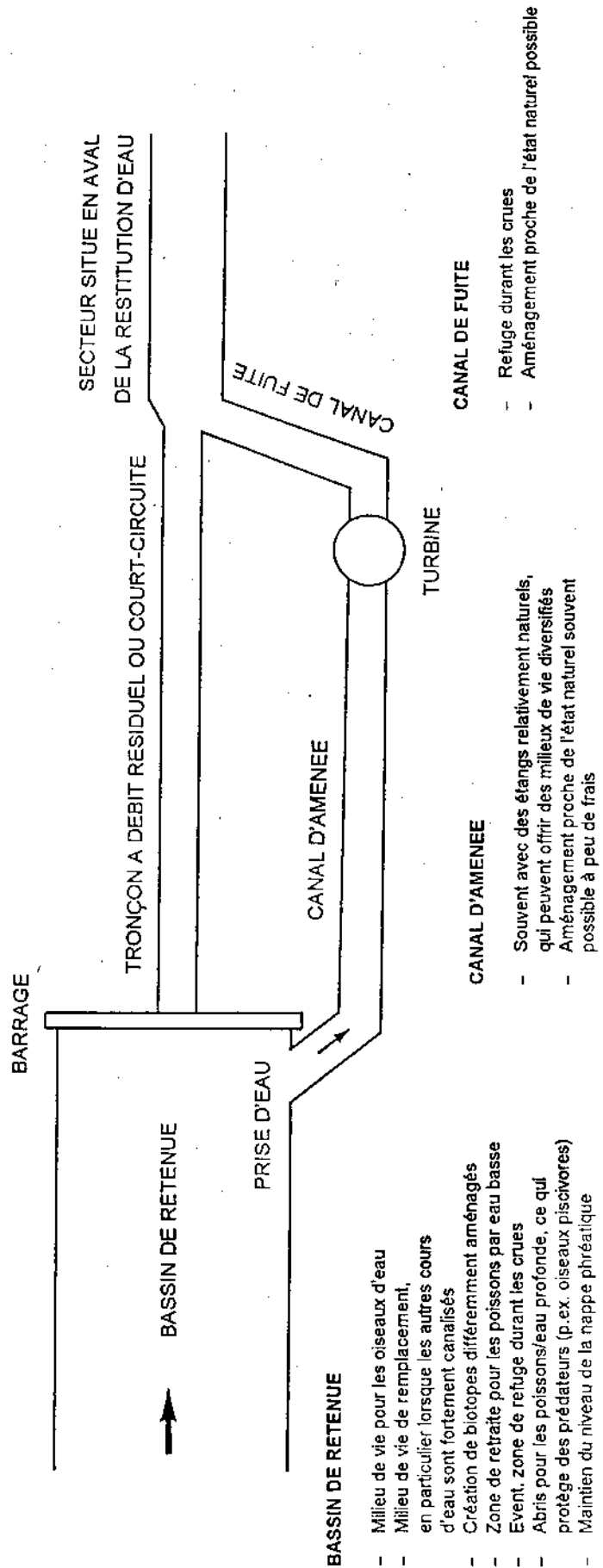


Fig. 2b): Influences positives possibles de l'exploitation d'une petite centrale hydraulique sur l'écosystème aquatique.

- SECTEUR SITUE EN AVAL DE LA RESTITUTION D'EAU**
- Peut, le cas échéant, présenter une meilleure qualité de l'eau après enlèvement des débris flottants (surtout élimination des déchets de civilisation ainsi que des algues et plantes aquatiques, dont la présence peut être massive dans les eaux surengraissées)
 - Une optimisation des vidanges permet de réduire la consolidation des fonds

TRONÇON COURT-CIRCUITE

Peut être plus proche de l'état originel que des tronçons fortement corrigés si l'aménagement est approprié et le débit suffisant



1. DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT - CANAUX LATÉRAUX

1.1 Interruption de la migration des poissons par des obstacles naturels, des seuils, des digues et des barrages

Certaines espèces de poissons effectuent d'importantes migrations. Les migrateurs au long cours comme le saumon, l'aloise ou l'anguille, qui passent une partie de leur vie en mer et l'autre en eau douce, sont bien connus.

Il existe cependant de nombreux autres poissons d'eau douce qui **entreprennent** des migrations, certes moins longues, la plupart du temps liées à la reproduction (barbeaux, nases, chevaines, truites etc.).

D'autres poissons d'eau douce sont connus pour être sédentaires. On sait cependant que même ceux-ci ne restent pas toujours au même endroit, mais se déplacent tant vers l'amont que vers l'aval

Des obstacles naturels tels que chutes élevées, lacs etc. peuvent entraver cette migration. C'est ainsi, par exemple, que le saumon n'est jamais apparu en amont des chutes du Rhin. De telles barrières naturelles limitent l'aire de distribution d'une espèce.

Les corrections des cours d'eau ont cependant fortement entravé, ou même interrompu, la migration des poissons. Les petites espèces de poissons (p.ex. chabot) sont particulièrement facilement entravées par des obstacles, même de petite taille comme des seuils.

Avec l'apparition de l'exploitation de l'énergie hydraulique, d'importants murs de barrages et digues furent érigés, qui **interdirent** tout passage à l'ensemble de la faune piscicole. Ce problème fut rapidement reconnu, du fait que de très nombreux poissons, empêchés de gagner leurs frayères habituelles, se rassemblaient sous les barrages. Une telle interruption de la migration des poissons peut avoir les conséquences suivantes:

- Certaines espèces ne peuvent plus se reproduire que dans une moindre mesure ou plus du tout. 7 parmi nos 8 espèces migratrices au long cours indigènes ont d'ores et déjà disparu. Dans la liste rouge des poissons et cyclostomes de Suisse, la **presque totalité des espèces migratrices** se trouve dans la catégorie **menacé**.
- Les secteurs situés en amont de l'obstacle **s'appauvrissent**, leur diversité d'espèces diminue.
- Il en résulte un **isolement** des différentes populations piscicoles.
- Les régions ayant subi un appauvrissement à la suite d'une crue ou d'une pollution sont **recolonisées moins rapidement**.

1.2 Echelles à poissons

Pour tenter de résoudre ces problèmes, on s'est mis à développer des **passes à poissons** (passes à bassins successifs, passes Denil, passes du type vertical-slot, écluses à poissons, ascenseurs à poissons etc.), généralement sous forme d'échelles à poissons. Le but de ces installations étant de permettre aux poissons d'atteindre le tronçon de rivière situé à l'amont d'un obstacle. Comme ces ouvrages de franchissement ne sont souvent pas très esthétiques, ni d'une efficacité optimale, on a de plus en plus tendance aujourd'hui à les remplacer par des canaux latéraux.

Il faut cependant relever ici, qu'aucun ouvrage de franchissement, aussi bien conçu soit-il, ne pourra jamais remplacer la libre migration de la faune aquatique.

Tab. 2: Dimensions d'une passe à bassins successifs de construction conventionnelle (d'après JENS, 1971).

| Paramètres | Cours d'eau à peuplement piscicole mixte | Cours d'eau à truites |
|--|--|------------------------|
| Profondeur d'eau minimale des bassins | 0.80 m | 0.60 m |
| Longueur des bassins | 2 m min. | 0.80 m min. |
| Largeur des bassins | 0.8 m min. | 0.6 m min. |
| Hauteur de chute (hauteur de saut) entre les bassins | 0.12 à 0.14 m | 0.30 m max. |
| Hauteur du limon en dessus du niveau d'eau des bassins | 0.30 m min. | 0.30 m min. |
| Echancrure (hauteur/largeur) | 0.25/0.20 à 0.30/0.25 m | 0.20/0.20 m min. |
| Orifice noyé (hauteur/largeur) | 0.20/0.20 à 0.30/0.25 m | Orifice pas nécessaire |

Une échelle à poissons est un canal conduisant de l'aval vers l'amont, interrompu par des parois transversales qui ont pour effet de le subdiviser en plusieurs bassins (« passe à bassins successifs »). On installe la plupart du temps les types de parois transversales suivantes:

- **Bassins avec jets plongeants:** l'eau déborde par-dessus les parois transversales successives en formant une sorte de cascade que les poissons doivent franchir en sautant.
- Parois transversales comportant des **orifices noyés** (ouvertures au bas des parois) et/ou des **échancrures** (ouvertures sur le bord supérieur). Le poisson peut ainsi passer d'un bassin à l'autre soit par la nage, soit par le saut. Cela permet également le passage d'espèces plus petites, dont l'aptitude au saut est limitée. Ce type d'échelle à poissons est le plus fréquemment installé en Suisse.

Avant qu'une échelle à poissons puisse être construite, il faut d'abord examiner les conditions hydrologiques et ichtyologiques du cours d'eau. La passe à poissons sera dimensionnée et aménagée en fonction des résultats.

L'aménagement adéquat d'une passe à poissons n'est cependant pas encore suffisant. Plusieurs autres points doivent être pris en compte et différentes questions sont à résoudre:

Volume d'eau dans la passe à poissons: Par principe, une passe à poissons est d'autant plus efficace que la quantité d'eau qui traverse cette passe est importante. Ce volume d'eau est cependant perdu pour la production d'énergie. C'est pourquoi on estime généralement que la quantité d'eau à accorder à la passe à poissons devrait atteindre de 1 à 5 % du débit disponible durant la période de migration. C'est avant tout au moment où les espèces de poissons présentes dans le cours d'eau migrent qu'une passe à poissons doit fonctionner pleinement, et plus particulièrement lors de leurs migrations de reproduction. La question de savoir si et quand ces installations peuvent momentanément être arrêtées reste cependant controversée. C'est précisément dans le cas des petits cours d'eau que nos connaissances à ce sujet comportent encore de nombreuses lacunes. En outre, le prix de recherches plus poussées est très élevé pour les petites centrales hydrauliques.

Dans le cas des très petites centrales, le prélèvement d'eau nécessaire au fonctionnement de la passe à poissons (p.ex. les installations au fil de l'eau situés sur un petit ruisseau) peut diminuer la production d'énergie dans une proportion importante (p.ex. dans le cas de cours d'eau ayant un débit moyen de l'ordre de moins de 50 l/s). Il s'agit ici de trouver, à l'aide de concepts bien étudiés, des solutions individuelles à des situations particulières.

Localisation et débit d'attrait: le problème principal des passes à poissons est que les poissons puissent trouver l'entrée de celles-ci. Du moment qu'ils sont dans la passe, le franchissement ne pose généralement plus de gros problèmes. Il faut par conséquent accorder une grande attention à la recherche de l'emplacement optimal pour l'établissement de l'entrée de la passe. Sur le terrain, on constate que la plupart des réflexions concernant la localisation de l'entrée sont empiriques. Les poissons sont attirés vers les lieux où le courant est soutenu, c'est donc également là que devrait se situer l'entrée de la passe à poissons. Il est par exemple indiqué d'établir l'entrée de la passe à l'endroit où débutent les courants de la restitution d'eau des turbines. Un débit d'attrait supplémentaire permet souvent d'augmenter l'attractivité d'une passe à poissons.

Peut-on « mettre sous tuyaux » une passe à poissons? Il n'est, par principe, pas indiqué de recouvrir une passe à poissons, même si la plupart des poissons entreprennent leur migration de nuit. Dans le cas où le recouvrement d'une partie de la passe ne peut être évité, il faut veiller à ce que le passage entre la lumière du jour et l'obscurité ne soit pas trop brusque. Cependant, si cette zone de transition est aménagée de manière adéquate, il est le plus souvent possible de renoncer à un éclairage artificiel de la passe.

Entretien: on observe malheureusement parfois des passes à poissons que le manque d'entretien empêche de fonctionner. Ces passes sont parfois tellement bouchées, que les poissons ne trouvent plus de passages praticables. Les passes à poissons doivent par conséquent être régulièrement entretenues après leur construction (élimination des débris flottants, réparation d'éventuels dégâts).

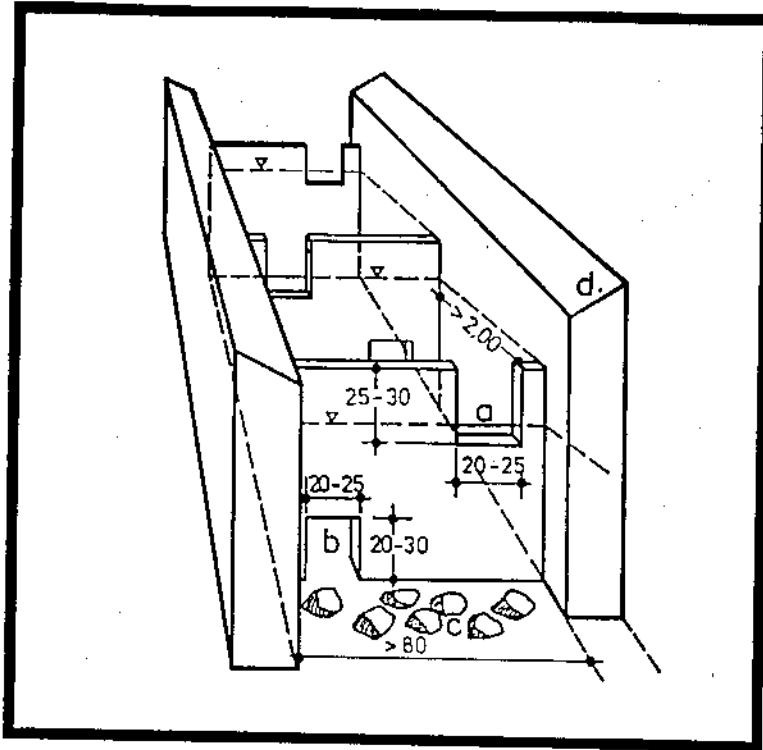


Fig. 3: Echelle à poissons d'après JENS (1971) et LANGE & LECHTER (1989)
 a. Echancrure
 b. Orifice noyé
 c. Pierres comme rugosités
 d. Inclinaison, afin que les poissons qui ratent leur saut retrouvent leur élément

Contrôles du succès: le meilleur des concepts ne peut garantir qu'une passe à poissons fonctionne parfaitement en pleine nature. Raison pour laquelle il faut, dans tous les cas, effectuer des contrôles du succès après la mise en service d'une passe à poissons. On peut, pour cela, immerger une nasse dans l'un des bassins, afin de recenser les poissons en migration. L'exploitation des résultats devrait être confiée à un expert du domaine des sciences aquatiques. Il est souvent possible, ainsi, d'améliorer encore une installation après coup.

1.3 Canaux latéraux

En dehors des passes à poissons, généralement en béton, il existe une solution plus naturelle pour permettre aux poissons de franchir un obstacle, les **canaux latéraux**. Ces dispositifs conduisent également les poissons de l'aval vers l'amont d'un obstacle, mais par l'intermédiaire d'un **cours d'eau**, que l'on peut **aménager de façon naturelle**. Cette solution offre les avantages ou inconvénients suivants:

- Pour les organismes des ruisseaux et des rivières, le cours d'eau de contournement représente une bonne solution du fait qu'il peut être aménagé de façon très naturelle. Il contient certes moins d'eau que le cours principal, mais peut, s'il est aménagé de façon optimale, offrir des habitats semblables et un milieu de vie non seulement aux grandes espèces de poissons, mais aussi aux petites et aux invertébrés, tout en leur offrant un passage vers l'amont.

Fig. 4: Exemples positifs et négatifs de dispositifs de franchissement.

DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT - CANAL LATÉRAL

POSITIF

Canal latéral

Solution idéale pour le franchissement d'un obstacle. Tant les poissons que les invertébrés peuvent remonter dans le secteur amont.

Echelle à poissons

Permet à de nombreux poissons de gagner le secteur amont.

Examen préalable

On examine les caractéristiques du cours d'eau (p.ex. débit), de l'obstacle et des données biologiques.

Le dispositif de franchissement est conçu et établi conformément aux résultats de l'examen. Un contrôle du succès permet d'optimiser le franchissement.

Entrée optimale

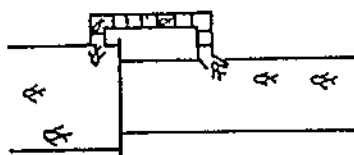
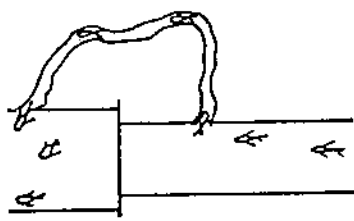
L'entrée est établie de façon à ce que les poissons la trouvent aussi rapidement que possible.

Débit d'attrait approprié

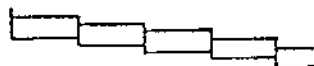
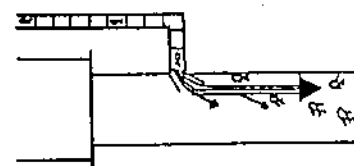
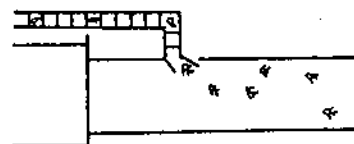
Un débit d'attrait suffisamment important conduit les poissons vers l'entrée du dispositif.

Entretien régulier

L'entretien régulier du dispositif de franchissement garantit un fonctionnement optimal.



Concept,
construction,
contrôle du succès



NEGATIF

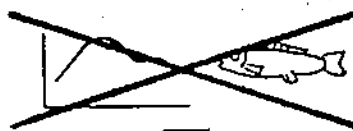
Pas de dispositif de franchissement

Les poissons et invertébrés ne peuvent gagner le cours supérieur

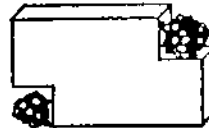
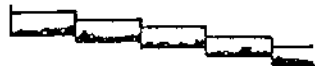
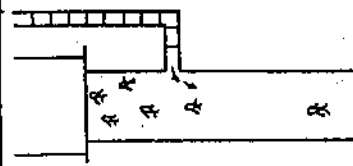
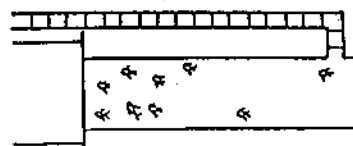
- ⇒ Entrave à la migration de reproduction
- ⇒ Isolement de populations

Pas d'examen préalable

Si l'on construit une passe à poissons sans tenir compte des données locales existantes, il se peut que le dispositif ne fonctionne pas (fausses dimensions, mauvaise localisation de l'entrée, débit d'attrait trop faible etc.)



Dispositif de franchissement quelconque

**Entrée défavorable**

Lorsque l'entrée est établie au mauvais endroit, p.ex. dans une zone de turbulence ou trop en aval, les poissons ne trouvent pas le dispositif de franchissement.

Débit d'attrait trop faible

Lorsque le courant provenant de la passe est trop faible, les poissons ne trouvent pas l'entrée du dispositif.

Entretien insuffisant

Lorsque l'installation n'est pas, ou est insuffisamment entretenue, cela peut mener à des dépôts de sédiments et à l'obstruction des passages (orifices noyés et échancrures).

- Les inconvénients ne sont pas d'ordre écologique: les canaux latéraux ne permettent pas de franchir aussi directement la différence de hauteur d'un obstacle que les échelles à poissons, de sorte qu'ils nécessitent davantage de place que ces dernières. Il en résulte que la réalisation de ces ouvrages exige souvent l'acquisition de terrains supplémentaires, ce qui n'est pas toujours possible.

Du point de vue du paysage et de l'écologie des eaux, l'installation d'une voie de contournement est préférable à la construction d'une échelle à poissons.

1.4 Des passes pour les poissons - et les autres habitants des rivières?

Nous n'avons jusqu'ici évoqué que les dispositifs de franchissement destinés aux poissons, bien que les poissons ne représentent qu'une partie des organismes vivant dans l'eau. On prend cependant conscience, ces derniers temps surtout, que l'on devrait de plus en plus tenir compte de **l'ensemble de l'écosystème aquatique**. Il faut pour cela encourager aussi les espèces écologiquement moins spectaculaires, car un cours d'eau fonctionne mal sans elles.

On sait aujourd'hui que beaucoup d'**invertébrés** se laissent dériver dans le courant, et **remontent le cours d'eau** par la suite, ce qui leur permet de coloniser des milieux de vie appropriés. Par conséquent, les seuils et digues représentent également des obstacles à la migration pour ces petits animaux. On peut supposer que ces organismes colonisent les canaux latéraux, mais on ne sait rien de leur comportement face aux échelles à poissons, généralement construites en béton.

Comme le montre une littérature relativement abondante, la dérive et la migration vers l'amont sont **intégrées de façon contraignante** dans le **processus d'évolution des invertébrés** d'un cours d'eau. C'est pourquoi, dans ce contexte, les schémas comportementaux et les exigences envers le milieu représentent des « **contraintes écologiques** » et devraient être pris en compte dans les planifications relatives à la gestion des eaux.

Dans le cadre du programme DIANE, une recherche est menée concernant l'effet barrière des seuils et des digues pour les invertébrés aquatiques. En outre, un fil conducteur est établi pour la construction, à prix avantageux, de dispositifs de franchissement pour les poissons et petits organismes.

1.5 La situation en Suisse

La loi fédérale sur la pêche prescrit que dans le cas de nouvelles installations, d'agrandissements ou de remises en état de centrales, ou d'un renouvellement de concession, toutes les mesures doivent être prises pour assurer la libre migration des poissons. Cela signifie que même les petites centrales hydrauliques ne disposant jusqu'alors d'aucun dispositif de franchissement, devront installer une passe à poissons ou un canal latéral lors de leur remise en état.

Bien que l'établissement de dispositifs de franchissement soit régi par la loi, il est frappant de constater que l'on ne sait aujourd'hui que peu de choses sur leur nombre ni, surtout, sur leur **fonctionnement**. Alors que des comptages furent effectués et analysés pour les installations importantes (p.ex. Rhin, Aar), on constate en revanche **d'importantes lacunes à ce sujet pour les petites centrales hydrauliques:**

- Dans de nombreux cantons, le nombre de dispositifs de remontée se trouvant sur le territoire n'est pas connu.
- Des inspections sur le terrain, des enquêtes et des discussions avec les propriétaires de centrales ainsi qu'avec les représentants de la pêche ont montré que même dans le cas de passes à poissons ou de canaux latéraux nouvellement établis, on ne sait la plupart du temps pas si ceux-ci peuvent effectivement remplir leur fonction. Pour certaines installations, il est même manifeste qu'elles ne peuvent pas fonctionner du tout (complètement obstruées, mal disposées, quasi absence de courant etc.).

Cette situation est aujourd'hui **insatisfaisante**, tant pour les **propriétaires de centrales** que pour les **représentants de la pêche**. Les dispositifs de franchissement doivent certes être installés, mais sans pour autant servir « d'exercice alibi ». Il est nécessaire de vérifier leur fonctionnement effectif, sans quoi de simples adaptations insignifiantes suffiront à satisfaire les exigences.

Dans ce contexte, les réflexions suivantes devraient être prises en compte pour chaque installation:

- **La centrale hydraulique utilise-t-elle une chute naturelle? Dans ce cas la migration des poissons est déjà interrompue de façon naturelle.**

Mentionnons, à titre d'exemple, la petite centrale hydraulique de Guggenloch (près de Lütisburg, SG): on projette de faire à nouveau usage du droit d'eau en vigueur à cet endroit depuis cent ans. La rivière Gonzenbach forme naturellement un étang, suivi par une chute qui interrompt depuis toujours la migration des poissons. Dans un tel cas, il est **inutile** de construire une passe à poissons.

- **La centrale se situe-t-elle à proximité immédiate d'un obstacle naturel insurmontable pour les poissons?**

C'est par exemple le cas de la petite centrale hydraulique Elektra Kirchberg (SG): la rivière Hörbach forme une chute élevée en aval de l'installation; dans un tel cas, l'installation d'une passe à poissons n'est **pas prioritaire**.

- **La petite centrale hydraulique se situe-t-elle à proximité de l'embouchure dans le lac? Le cours d'eau sert-il de site de reproduction important?**

Dans ces cas, une **grande importance** est à accorder tant à la construction qu'au fonctionnement du dispositif de franchissement. Il faut cependant aussi s'assurer dans tous les autres cas que, comme l'exige la loi, la migration des poissons peut avoir lieu.

- **L'installation existante fonctionne-t-elle?**

Bien que l'on dispose aujourd'hui de nombreuses données théoriques sur la conception de telles installations, on ne peut jamais en garantir le fonctionnement « a priori » étant donné que chaque installation doit être adaptée aux conditions locales. La **vérification** de ce fonctionnement est par conséquent inévitable. On peut effectuer celle-ci par l'intermédiaire de comptages dans les passes à poissons (nasses), comme cela a été fait pour certaines passes à bassins

successifs dans le canton des Grisons et pour la centrale du Chalet (Orbe, VD). Ce contrôle requiert il est vrai un travail relativement important, mais qui est cependant volontiers effectué, du moins en partie, par les milieux locaux de la pêche.

Des observations indirectes peuvent également confirmer le fonctionnement de l'installation, comme ce fut le cas dans la Langete (BE): des alevins et estivaux d'ombres furent introduits dans cette rivière (l'ombre n'y était plus présent) et ces poissons furent par la suite recapturés 3.8 km en amont du lieu d'introduction à l'occasion d'une pêche à l'électricité. On put en déduire que même ces poissons de taille relativement modeste avaient pu passer 5 obstacles (pourvus de 3 passes à bassins et d'un chenal de franchissement; seuil sans dispositif). Ces résultats ont permis, à peu de frais, de savoir que les différents dispositifs situés entre Madiswil et Rohrbach remplissaient leur fonction.

Il ressort des réflexions ci-dessus que la « franchissabilité » d'un obstacle peut, suivant les situations, ne jouer aucun rôle, un rôle secondaire ou - dans de nombreux cas - un rôle très important. Toutefois, si la construction d'une passe à poissons est prescrite, alors il faut, à notre avis, **vérifier impérativement** si celle-ci **fonctionne** effectivement.

1.6 Littérature

Jens, G. (1982): Der Bau von Fischwegen.- Verlag P. Parey, 93 pages.

Un résumé des connaissances théoriques dirigé vers la pratique, avec des conseils pour la conception d'échelles à poissons et autres dispositifs de franchissement.

Vischer, D. (1991): Sind Fischtreppen noch aktuell? Ist ihre Entwicklung abgeschlossen?- Wasser, Energie, Luft, Heft 5/6: S. 168-172.

Zaugg, C. & Pedroli, J.-C. (1991): Konzeption und Bau von Fischaufstiegshilfen.- Baublatt, Nr. 25, S. 2-5.

Deux articles qui offrent une courte vue d'ensemble des passes à poissons usuelles, de leur efficacité, leur entretien et leurs problèmes. Illustré au moyen de schémas, de plans et de photos. D'accès facile, même pour le profane.

WEA (1993): Leitfaden für den Bau von Fischwegen.- Bern, 41 pages.

Un fil conducteur concret qui s'adresse aux propriétaires de centrales, à leurs ingénieurs et concepteurs, aux responsables de l'aménagement des eaux ainsi qu'aux gardes-pêche. On donne des conseils concrets, basés sur la littérature existante et sur l'expérience acquise, pour la conception, le choix de l'emplacement, le tracé et le type de construction possible d'une passe à poissons. Illustré avec des exemples de solutions.

Larinier, M. (1977): Les passes à poissons.- Etude n°16 du centre technique du génie rural des eaux et forêts, Paris, 136 pages.

Gosset, C., Larinier, M., Porcher, J.P. & Travade, F. (1994): Passes à poissons. Expertise/conception des ouvrages de franchissement.- Conseil supérieur de la pêche, Paris.

Etude détaillée de différents ouvrages de franchissement, de leur conception, fonctionnement, réalisation etc. Illustré au moyen de schémas, de plans et d'une bonne documentation photographique. S'adresse plutôt aux spécialistes. En français.

DVWK (1996): Fischaufstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle.- Merkblätter zur Wasserwirtschaft Nr. 232.

Présentation complète des bases écologiques, des exigences envers les passes à poissons, du contrôle du fonctionnement, ainsi que description d'installations techniques et d'installations proches d'un état naturel. Richement illustré au moyen de schémas, de plans, de photos couleur et d'exemples de calculs pour des installations existantes. S'adresse aussi bien au spécialiste qu'au profane intéressé.

2. LA PROBLEMATIQUE DE LA DEVALAISON - LA MORTALITE DUE AUX TURBINES

2.1 Problématique

Dans un cours d'eau, les poissons ne doivent pas seulement pouvoir migrer vers l'amont, il faut aussi que leur dévalaison soit assurée. Concernant la dévalaison, on peut distinguer trois différents types de groupes faunistiques:

- Les poissons qui gagnent le cours supérieur des rivières pour se reproduire, puis migrent à nouveau vers l'aval par la suite (p.ex. truite, nase).
- Les jeunes poissons dont les parents avaient gagné le cours supérieur de la rivière pour frayer, et qui migrent à présent vers le cours inférieur ou les lacs (p.ex. truite de rivière et truite de lac).
- Les poissons qui migrent vers l'aval pour se reproduire (p.ex. l'anguille, qui se reproduit en mer).

Cette dévalaison peut être rendue difficile ou impossible par la présence d'un barrage, de chutes élevées ou le passage de turbines; une partie des poissons n'y survit pas.

2.2 Influence du bassin de retenue sur la dévalaison des poissons

Les poissons des cours d'eau sont adaptés aux courants, en particulier les espèces des eaux vives. Lorsque, au cours de la dévalaison, ils atteignent un bassin de retenue, où le courant est très faible, ils peuvent rencontrer des problèmes d'orientation qui retardent leur dévalaison. Il en résulte d'une part que leur cycle de vie naturel est modifié, et d'autre part qu'en cas de mauvaise qualité de l'eau, la mortalité et les cas de maladies peuvent augmenter jusqu'à menacer la survie de ces espèces dans le cours d'eau. En outre, si les abris font défaut, ces poissons seront la proie des oiseaux et poissons piscivores.

2.3 Risques de blessures dues aux chutes

Les poissons sont capables de passer sans dommages de très hautes chutes: des recherches menées en Amérique ont montré que les taux de mortalité étaient de 0-4 % pour une chute de 27 m, et de 17-64 % pour une chute de 76 m. Les petites centrales hydrauliques ne présentent pas de chutes aussi hautes, ce qui n'empêche pas que le poisson peut se blesser en passant la chute du barrage, soit parce que la profondeur n'est pas assez grande sous la chute, soit pour des raisons mécaniques.

2.4 Mortalité piscicole dans les turbines

Un poisson pris dans une turbine est exposé aux dangers suivants:

- brusques accélérations et décélérations
- importantes différences de pressions
- blessures mécaniques

Des études sur les blessures et les taux de mortalité dans les turbines ont été menées dans différents pays. On a ainsi pu constater que la mortalité s'élève à 100 % dans les turbines PELTON. Dans les turbines FRANCIS et KAPLAN, ce taux de mortalité varie entre 0 et 100 % en fonction des caractéristiques des turbines, de leur fonctionnement, de la différence de hauteur ainsi que de la taille des poissons. On peut indiquer les taux de mortalité moyens suivants pour les poissons pris dans les turbines (TRAVADE & LARINIER, 1990):

turbines FRANCIS: 37 %
turbines KAPLAN: 9 %

En raison du faible écartement des barres du dégrilleur (15-40 mm) qui équipent les petites turbines, les gros poissons ne passent pas dans les turbines. De manière générale, la mortalité est plus faible pour les petits poissons.

Etant donné que, comme mentionné, la mortalité piscicole dans les turbines varie beaucoup selon le type d'installation, il faut décider individuellement pour chaque installation si des dispositifs doivent être installés, et de quel type, afin d'empêcher que de trop nombreux poissons passent dans les turbines. Dans la plupart des petites centrales hydrauliques, les dégrilleurs aux barres serrées permettent d'éviter le passage des gros poissons dans les turbines.

2.5 Mesures à prendre

Différentes mesures peuvent être envisagées pour faciliter, ou simplement rendre possible, la dévalaison des poissons:

- Le bassin d'accumulation devrait être **bien structuré**, afin que les poissons dont la dévalaison est retardée aient tout de même de bonnes chances de survie.
- Les poissons doivent également avoir la possibilité de dévaler durant les périodes de faible débit (pas de trop-plein de barrage, eau de dotation par la passe à poissons). On peut, à l'aide de **dispositifs de guidage**, diriger les poissons venant de l'amont vers l'entrée de la passe à poissons ou du canal latéral, afin qu'ils puissent dévaler.
- Lorsqu'un trop-plein de barrage existe, il faut s'assurer que les poissons emportés par cette eau **ne puissent pas se blesser** (profondeur d'eau suffisante, pas d'arêtes tranchantes). Il est préférable que la hauteur de chute ne soit pas trop importante.
- Lorsque le risque d'une mortalité élevée dans les turbines existe, il faut que les poissons soient **empêchés** de pénétrer dans les turbines. On peut y parvenir à l'aide de barrières mécaniques ou alors au moyen de « barrières comportementales » (rideau de bulles que le poisson évite, barrières électriques etc.).

2.6 La situation en Suisse

Il n'existe que peu d'études sur le retardement de la dévalaison et sur les blessures des poissons dues au passage des chutes des petites centrales hydrauliques. On peut cependant admettre que c'est précisément la dévalaison que la construction de barra-

ges sur un cours d'eau retarde ou même empêche. La mortalité dans les turbines est en revanche plutôt un problème posé par les grandes centrales, ou par certaines installations spéciales (p.ex. barrage La Dernier, Lac Brenet, Orbe, VD).

2.7. Littérature

Travade, F., Dartiguelongue, J. & Larinier, M. (1987): Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques: l'expérience EDF.- La Houille Blanche, n°1/2: 125-133.

Travade, F. & Larinier, M. (1990): Migration d'avalaison - problèmes - dispositifs.- Séminaire sur les passes à poissons au Lichtenstein, non publié, 8 pages.

Ces deux articles offrent une bonne vue d'ensemble de la migration des poissons vers l'aval et de la problématique de la mortalité dans les turbines. Différentes études sont dépeintes, où l'on décrit les blessures que les chutes et le passage des turbines provoquent aux poissons, ainsi que les solutions possibles. En français.

3. DEBIT RESIDUEL - SURFACE MOUILLEE

3.1 Pourquoi la rivière a-t-elle besoin d'un débit résiduel déterminé?

Lorsque l'on dérive de l'eau à des fins de production énergétique, on retire une certaine quantité d'eau à la rivière, et on dirige celle-ci vers les turbines. Dans la rivière même, il ne reste sur ce tronçon court-circuité que ce que l'on nomme un « débit résiduel ». Ceci peut avoir, entre autres, les conséquences suivantes:

- La **réduction de débit** et l'**absence de crues périodiques**, ou du moins de variations de niveau, engendrent une monotonisation du régime d'écoulement, ce qui conduit à un appauvrissement des milieux de vie.
- La **vitesse d'écoulement diminue**. Il en résulte une réduction du charriage de sédiments, les matériaux fins se déposent davantage. Il s'en suit une modification des conditions physico-chimiques sur et dans le substrat (p.ex. moins d'oxygène).
- Le **dépôt de particules fines en suspension** empêche certaines espèces de poissons de se reproduire. Cela concerne en particulier les poissons qui frayent dans le gravier comme p.ex. la truite. En outre, les tronçons de ce type offrent souvent trop peu d'abris ainsi que des profondeurs d'eau trop faibles, ce qui peut avoir pour conséquence d'empêcher la présence d'individus de grande taille et d'entraver la migration vers les secteurs situés en amont.
- La **profondeur d'eau diminue**. Lorsque le profil d'un tel tronçon court-circuité est trop large, la **profondeur d'eau sera trop faible** pour permettre une grande diversité biologique.
- La **température de l'eau** s'ajuste davantage à la température ambiante lorsque l'écoulement est faible. Cela signifie que dans de tels tronçons, l'eau deviendra trop froide en hiver et trop chaude en été. La conséquence en sera, entre autres, une accélération, respectivement un ralentissement, du développement des insectes. Si, à cause de cela, ces insectes éclosent trop tôt dans la saison, ils risquent d'être confrontés à un environnement hostile.
- La **croissance des algues augmente**, ce qui favorise la sédimentation des particules fines. Comme ces algues forment un milieu de vie très différent du substrat d'un secteur d'eau vive, les espèces fragiles comme les larves d'éphémères et de plecoptères périssent et sont remplacées par des espèces moins sensibles (larves de chironomes surtout).
- Dans le cas de tronçons court-circuités très courts ou fortement aménagés ce n'est pas tant l'atteinte à ce secteur de cours d'eau qui importe, mais surtout **l'interruption du cours d'eau** que ce tronçon représente.

La problématique des débits résiduels est d'actualité depuis quelques années: les milieux de la protection de la nature demandent que lorsque des prélèvements d'eau sont effectués, on laisse nettement plus d'eau dans la rivière que jusqu'à présent. Une eau de dotation plus élevée représente cependant une perte de production énergéti-

que. Suivant le degré de construction et les possibilités de réaménagement du secteur court-circuité, il peut être utile, dans les cas particuliers, de procéder à une évaluation entre différents débits résiduels, différentes mesures d'aménagement écologique des eaux et les pertes de production énergétique (l'énergie provenant de sources renouvelables est considérée comme dimension écologique). Il faut que le bilan des avantages écologiques soit fait de manière plus conséquente et qu'il soit ensuite confronté aux coûts économiques.

3.2 La situation en Suisse

L'aspect quantitatif de la question des débits résiduels est entièrement couvert par la **loi révisée sur la protection des eaux** du 24 janvier 1991. L'autorité compétente détermine l'importance du débit résiduel sur la base d'une pesée des intérêts pour et contre le prélèvement d'eau prévu (art. 33 LEaux). Le débit résiduel ne doit pas être inférieur au débit minimum selon l'art. 31 de la LEaux, soit une quantité d'eau déterminée sur la base d'un débit d'étiage « naturel » et des exigences relatives à l'écologie des eaux. Dans certains cas d'exception, les cantons peuvent fixer un débit résiduel inférieur (art. 32, p.ex. eaux non piscicoles). Les autorités peuvent cependant aussi fixer un débit résiduel minimal plus élevé, dans la mesure où cette décision provient de la pesée des intérêts pour et contre le prélèvement d'eau.

Mentionnons, à cet endroit, quelques amorces de solutions, afin de limiter au mieux les conséquences écologiques négatives dans les tronçons à débit résiduel:

- La dotation d'eau doit être déterminée de façon à **varier dans le temps**, afin de maintenir une certaine dynamique d'écoulement en aval de la prise d'eau.
- Une **limitation du débit équipé** permet de conserver des débits élevés dans le tronçon court-circuité durant les crues naturelles.
- Les élévations périodiques de débit, durant de courtes périodes, permettent le nettoyage et la structuration du substrat.
- Le tronçon à débit résiduel devrait être aussi **court** que possible, ce qui, dans le cas des petites centrales hydrauliques précisément, ne pose généralement pas de problèmes.
- Le tronçon court-circuité doit être pourvu d'une morphologie bien structurée, comme nous le décrivons au chapitre 9.3. Dans la plupart des cas, il est possible d'obtenir une nette élévation du niveau de l'eau au moyen de mesures d'aménagement artificielles (**lit mineur**). Il faut en outre veiller à ce que l'eau ne se réchauffe pas trop en été.
- La libre circulation des organismes aquatiques peut également, dans certains cas, être assurée par le canal d'amenée.
- Un aménagement proche de l'état naturel des canaux d'amenée peut représenter une certaine compensation écologique.

3.3 Littérature

La problématique des débits résiduels a fait l'objet de descriptions et de discussions circonstanciées ces derniers temps. C'est pourquoi nous nous limiterons ici à l'indication d'une seule publication; d'autres indications sur cette question se trouvent dans la bibliographie générale (annexe).

Akeret, E. (président), (1982): Rapport final du groupe de travail interdépartemental sur les débits résiduels.- Berne, 401 pages.

Ce rapport circonstancié a contribué dans une large mesure à l'élaboration des dispositions sur les débits résiduels actuellement en vigueur. Ces dispositions sont fixées dans la loi, révisée, sur la protection des eaux. Les aspects partiels suivants ont été examinés et largement décrits par différents services compétents: pêche, écologie et esthétique du paysage, qualité de l'eau, eaux souterraines, agriculture, aménagement des eaux, protection contre les crues, exploitation de l'énergie hydraulique et aménagement du territoire. Le rapport a paru en version bilingue allemand/français).

4. VIDANGE DES RETENUES DE BARRAGE

4.1 Pourquoi vidange-t-on les retenues de barrage?

Les eaux courantes apportent en permanence des sédiments et des matières solides dans la retenue de barrage, où elles se déposent en raison de la diminution de la vitesse du courant. Beaucoup parmi ces tronçons de retenue d'eau sont de ce fait menacés d'ensablement et ne peuvent **plus remplir leur fonction d'accumulation d'eau**.

Si, dans le cas des grands lacs de barrage, il est possible de draguer en partie ces dépôts, il en va tout autrement des petites centrales hydrauliques, pour lesquelles cette méthode est d'une part trop coûteuse et d'autre part souvent impossible à mettre en pratique en raison des difficultés d'accès. Par ailleurs, cette méthode est en partie interdite par les autorités.

Il n'en reste pas moins que ce processus d'ensablement engendre une perte de volume d'accumulation, ce qui peut mener à des problèmes d'exploitation. Des vidanges sont par conséquent souvent nécessaires, qui, suivant les cas, peuvent porter atteinte à l'écosystème situé en aval.

4.2 Les problèmes rencontrés

La vidange d'une retenue de barrage peut engendrer les problèmes suivants:

- Le but de la vidange est d'évacuer les matières, principalement des sédiments fins, qui se sont déposées dans le bassin de retenue. Si la dilution n'est pas assez grande durant cette opération (débit insuffisant), cela peut avoir pour conséquence des **atteintes directes à la faune aquatique**.
- Lorsque le débit est augmenté très rapidement, les animaux n'ont pas le temps de s'habituer aux nouvelles conditions et sont emportés par le courant. De même, si le débit diminue très rapidement après la vidange, certains organismes resteront prisonniers des flaques qui se forment à côté du lit normal du cours d'eau, et périront lors de leur assèchement.
- Si le courant est trop faible pour évacuer complètement toutes les matières du lit du cours d'eau, celles-ci se déposeront sur le fond, où elles obstrueront les interstices (**colmatage**). La circulation d'eau au sein du substrat s'en trouve réduite ou même interrompue, il en résulte une diminution de la teneur en oxygène, ce qui peut avoir les conséquences suivantes:
 - * Le renouvellement de l'eau est entravé.
 - * Les invertébrés vivant dans le substrat périssent ou se laissent emporter vers l'aval; les poissons résidents ne trouvent plus assez de nourriture et émigrent.
 - * Les oeufs et les alevins des poissons qui frayent dans le gravier peuvent subir d'importants dommages. Les poissons vivant sous les pierres, comme le chabot, trouvent moins d'abris.

De tels dépôts de sédiments fins ne seront souvent évacués que lors de crues exceptionnelles.

- Les matières en suspension ne portent pas seulement atteinte au cours inférieur de la rivière en question, mais aussi aux cours d'eau et aux lacs situés plus en aval. Dans les lacs, suivant les conditions physiques, la saison, l'importance de l'apport de matières en suspension, le type de cours d'eau etc., il peut en résulter de véritables **couches de sédiments fins**, qui influenceront fortement la stratification naturelle et autres processus.
- Lorsque la centrale se situe dans une région habitée, il se peut que la rivière soit très chargée par les eaux résiduaires. Cela a pour conséquence que les polluants de toute sorte se déposent dans les sédiments de la retenue de barrage et seront libérés lors de la vidange. Il en résultera une **détérioration de la qualité de l'eau** en aval. De tels rinçages de polluants se produisent aussi avec les dépôts naturels (formés en périodes de basses eaux), durant les crues naturelles, mais en concentration plus faible. Il s'agit par conséquent en premier lieu de réduire la cause du problème, c'est-à-dire la pollution des eaux.

4.3 Amorces de solutions pour réduire les dégâts causés à l'environnement

Il est souvent possible de réduire fortement les dommages causés par les vidanges en respectant certaines conditions cadres. Bien que l'on puisse établir certains principes de valeur générale pour les vidanges, il faut cependant évaluer **chaque cas individuellement**.

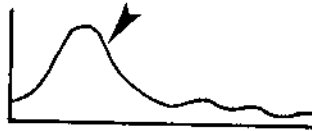
- La vidange devrait avoir lieu **durant une crue naturelle**. Cette dernière en sera renforcée et prolongée, mais les dégâts seront moins importants que dans le cas de vidanges durant une période sèche. Les sédiments et éventuels polluants seront davantage dilués par l'important volume d'eau, et les dépôts de matières seront moins fréquents dans le lit du cours d'eau. En outre, de nombreux animaux s'adaptent bien aux crues naturelles, notamment en se retirant au plus profond des abris, dans la mesure où le fond n'est pas trop colmaté.
- Le débit devrait être **augmenté et diminué très lentement**.
- **La qualité de l'eau** durant la vidange ne doit pas mettre en péril la faune aquatique.
- **Le moment** de la vidange ne doit pas seulement être déterminé en fonction du débit, mais aussi de la faune résidente. Il devra être fixé en dehors de la période de reproduction des poissons.
- Dans les situations qui dépendent de l'évolution météorologique, en particulier pour ce qui concerne le débit et le charriage de sédiments, les programmes de vidanges et de vidages devront être **adaptés à court terme**.

Fig. 5: Procédés positifs et négatifs lors de vidanges de retenues de barrage.

VIDANGES DE RETENUES DE BARRAGE

POSITIF

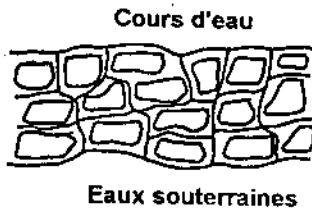
La vidange a lieu durant une crue.



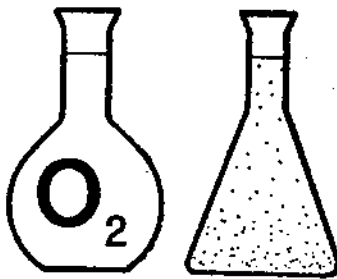
Le débit est augmenté et abaissé lentement.



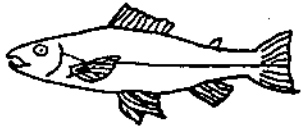
La vidange est effectuée de manière à éviter au maximum le dépôt de matériaux fins sur le fond et dans les interstices.



Il y a en permanence assez d'oxygène dans l'eau. La concentration de particules en suspension et de polluants reste suffisamment basse pour ne pas causer de dommages aux plantes et aux animaux.

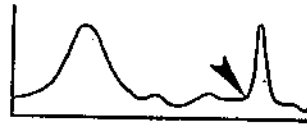


Le moment de la vidange est déterminé en fonction de la faune piscicole présente. Les animaux adultes sont moins sensibles.



NEGATIF

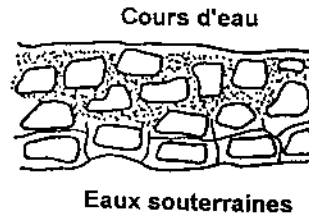
La vidange est effectuée durant une période météorologique sèche.



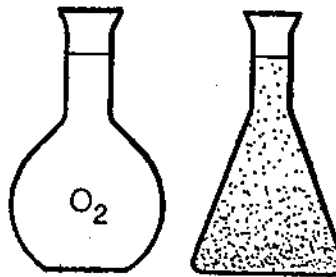
Le débit est modifié très rapidement.



Les matériaux fins obstruent les pores du substrat ⇒ Echange avec les eaux souterraines entravé, atteinte aux organismes.



La concentration d'oxygène diminue fortement. Les charges de polluants et de matières en suspension sont élevées et causent des dommages aux plantes et aux animaux.



La vidange a lieu durant la période de reproduction ou d'incubation des poissons. Les oeufs et les juvéniles sont fortement menacés par les vidanges.



Les vidanges et vidages de retenues de barrage sont régis par l'art. 40 de la nouvelle loi sur la protection des eaux et ne peuvent être entrepris, en Suisse, qu'avec l'autorisation des autorités cantonales. De nombreux cantons ont élaboré des règlements de vidanges, qui présentent certains principes, et que l'on adapte aux cas particuliers étant donné que les conditions peuvent être très différentes suivant l'emplacement de la centrale et les dimensions de l'installation. Dans le cas de très petits bassins d'accumulation, on devrait accorder une importance particulière à la faisabilité technique, financière et en personnel de la vidange, eu égard aux règlements de vidange. En fonction de la situation, l'autorité détermine le déroulement exact de la vidange, ou alors uniquement le moment et la manière de vidanger. Il est dans l'intérêt des exploitants de centrales d'annoncer les vidanges **aussi tôt que possible**, étant donné que cela permet de prendre toutes les mesures et d'effectuer toutes les recherches nécessaires.

4.4 Exemple concret: le canton des Grisons

Le point de départ pour l'examen minutieux des vidanges dans le canton des Grisons fut une vidange de retenue de barrage effectuée en 1981, qui provoqua d'importants dégâts. C'est suite à cela que le gouvernement grison installa un groupe de travail qui, depuis lors, a suivi de nombreuses vidanges et effectué diverses recherches.

Les vidanges présentent en partie les mêmes effets que les crues naturelles, raison pour laquelle ces dernières furent également analysées. On s'est ainsi rendu compte que les crues provoquaient une charge de matières en suspension semblable, et qu'elles pouvaient soit nettoyer les fonds, soit les recouvrir de sédiments. En conséquence de quoi on postula que les valeurs de référence établies durant les processus naturels devaient absolument être respectées, afin de ne pas occasionner de dégâts supplémentaires.

Les recherches ont en outre montré que chaque vidange devait être réglementée individuellement, en tenant compte des conditions existantes.

Le rapport final du groupe de spécialistes a servi de base pour l'établissement, par le gouvernement, des nouveaux règlements sur les vidanges et vidages de lacs de barrage actuellement en vigueur dans le canton des Grisons. Le rapport s'applique aux grands lacs de barrage, mais contient cependant des informations fondamentales, très utiles pour la planification de vidanges dans le cadre des petites centrales hydrauliques.

4.5 Exemple concret: le lac Eugenisee

Les apports de l'Engelbergeraas ont produit d'importants ensablements dans l'Eugenisee, raison pour laquelle les exploitants ont présenté la demande d'évacuer environ 40'000 m³ de sédiments par l'Engelbergeraas. A côté des services cantonaux, on fit également appel à l'EAWAG, que l'on chargea du suivi scientifique de la vidange, afin que les intérêts de la protection des eaux et de la pêche puissent être défendus. Des conditions de déversement furent formulées avant la vidange, elles prenaient en particulier en considération l'écologie de la rivière, les eaux souterraines et le colmatage du lit du cours d'eau. Les points les plus importants étaient alors:

- **Introduction dosée** des sédiments de l'Eugenisee dans l'Engelbergeraa.
- **Concentration des matières solides de dépôt** (cône Imhof, temps de dépôt 2 h) **au maximum 5 ml/l**. En cas d'augmentation involontaire de la concentration de matières solides, en particulier à la suite d'orages, il aurait fallu réduire, ou le cas échéant interrompre la vidange pour respecter autant que possible la valeur limite.
- La concentration d'oxygène, en aval du point de déversement, ne devait **pas être inférieure de façon significative à la valeur de référence** établie en amont de ce point, et devait s'élever **au minimum à 6 mg/l**.
- La vidange ne pouvait être réalisée que si le débit de l'Engelbergeraa était **d'au moins 2 m³/s** au point de déversement. En même temps, le débit devait être d'au moins 2 m³/s partout en aval du point de déversement. Cela permit de favoriser l'évacuation des sédiments vidangés vers le lac des Quatre-Cantons et d'empêcher au mieux les dépôts dans la rivière elle-même.

Différentes mesures et analyses furent effectuées avant, pendant et après la vidange, concernant la morphologie, l'hydrologie, la chimie, la turbidité, le charriage et le dépôt de sédiments, le colmatage, la quantité et la qualité des eaux souterraines, les invertébrés et la faune piscicole.

Bien que l'on ait constaté certains changements dans l'Engelbergeraa (colmatage partiel du substrat, différences dans la densité d'individus chez les invertébrés, indices d'atteintes aux truites de rivière), ni la rivière, ni les eaux souterraines, ni les organismes qui l'habitent n'ont cependant subi de modifications importantes. Les conditions de déversement de cette vidange se sont donc avérées appropriées.

4.6 La situation en Suisse

Nous ne pouvons présenter ici une vue d'ensemble de la situation de cette problématique en Suisse, étant donné que les vidanges doivent précisément toujours être évaluées en fonction de la situation.

Lors de l'établissement d'un règlement de vidange, il faut toujours qu'une pesée des intérêts des différents facteurs soit effectuée. On peut citer, à titre d'exemple, la petite centrale hydraulique de Roggwil, où l'on dut effectuer une vidange forcée en automne 1993, en raison du remplissage excessif du bassin de retenue et des problèmes engendrés par cette situation (le bassin de retenue ne remplissait plus sa fonction de bassin de décantation). Les dommages financiers que cela entraîna (dégâts à la faune piscicole) purent être réglés à l'amiable entre la centrale et les propriétaires des droits de pêche. Suite à cela, on forma une commission composée de représentants de la centrale hydraulique, de la pêche et du service cantonal des eaux, ainsi qu'un responsable de la rédaction d'un rapport. Cette commission reçut pour mission de planifier et de vérifier la manière d'agir durant les futures vidanges.

4.7 Littérature

Gartmann, R. (1990): Spülungen und Entleerungen von Stauseen und Ausgleichsbecken. Umweltbezogene Anforderungen.- Wasser, Energie, Luft, Heft 1/2, pages 33-37.

Un rapport sur les recherches du groupe de travail « Vidanges et vidages de retenues de barrage dans le canton des Grisons ». Décrit les recherches effectuées, lesquelles ont conduit à une résolution gouvernementale sur les vidanges, qui tient compte des domaines de la protection des eaux, de la pêche, de la police des eaux, du droit d'eau, ainsi que de la protection de la nature et du paysage.

Müller, R. & Huggenberger, P. (1992): Verhandlungsraum Eugenisee 1990. Bericht über die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Spülung des Eugenisees OW.- EAWAG, im Auftrag des Baudepartements des Kt. Obwalden.

Ce rapport présente en détail la vidange du lac Eugenisee. L'intérêt de ce travail réside, entre autres, dans le fait que les aspects les plus différents sont examinés. Des inventaires détaillés de la faune d'invertébrés et des poissons furent notamment effectués, ce que l'on peut considérer comme de la recherche fondamentale, étant donné que de telles connaissances étaient pratiquement inexistantes jusqu'à présent. Dans un rapport de l'EWLE-AG (HEUTSCHY, 1992) on décrit en outre les effets de ces vidanges sur la centrale hydraulique d'Obermatt (fonctionnement de la centrale durant la vidange, aspects liés à la production, coûts). Bien que dans le cas de la centrale d'Obermatt il s'agisse d'une installation importante, ces recherches circonstanciées fournissent néanmoins de précieuses indications pour les vidanges au niveau des petites centrales hydrauliques également.

BUWAL (1994): Oekologische Folgen von Stauraumspülungen. Empfehlungen für die Planung und Durchführung spülbegleitender Massnahmen.- Schriftenreihe Umwelt Nr. 219, Fischerei, Bern, 47 pages.

Ce rapport tente, à l'aide de recherches de littérature et des résultats de différentes vidanges, de réduire les lacunes dans les connaissances sur les conséquences écologiques des vidanges de retenues de barrage. Des recommandations sur la planification et l'exécution des vidanges furent en outre élaborées, afin qu'à l'avenir les dégâts puissent être minimisés. Les expériences acquises proviennent des vidanges de grands lacs de barrage, mais sont néanmoins applicables, en partie du moins, à de petits bassins de retenue. Ce rapport peut être obtenu auprès du service de documentation de l'OFEFP.

5. TURBINAGE AUX HEURES DE POINTE

5.1 Pourquoi le turbinage aux heures de pointe peut-il s'avérer nuisible?

Lorsqu'une centrale hydraulique ne turbine qu'à certaines périodes, on parle de **production d'appoint**. Cela signifie que le débit du cours d'eau en aval du rejet sera important durant les périodes où le prix de l'électricité est élevé, soit lorsque la demande d'énergie électrique est forte (durant les heures de travail lorsque la transmission est directe), et très faible, voire nulle, en période de tarif réduit (en fin de semaine). Il en résulte de fortes fluctuations - artificielles - de débit, caractérisées, en outre, par une montée et une descente très rapides de l'eau. Ce type d'exploitation hydraulique était autrefois très répandu, étant donné que l'électricité était nécessaire seulement durant les heures de travail - d'un moulin par exemple - et que les installations n'étaient pas en connexion. Avec le raccordement de nombreuses usines au réseau électrique, ce type d'exploitation a fortement diminué au niveau des petites centrales hydrauliques.

En comparaison d'autres thèmes, on n'a mené que très peu de recherches concernant les effets de la production d'appoint sur la vie aquatique. Il est cependant admis que ce type d'exploitation hydraulique fait partie des plus graves atteintes portées à un cours d'eau, et que, suivant le fonctionnement de la centrale, les habitants du cours d'eau subissent des dommages jusque loin en aval de celle-ci (JUNGWIRTH & MUHAR, 1991).

La rapide élévation du débit peut provoquer la perte d'un grand nombre d'invertébrés, de poissons juvéniles et de petites espèces de poissons, entraînés par le courant. Lors du recul des eaux, le « Sunk », on constate fréquemment que des invertébrés et des alevins, juvéniles et petites espèces de poissons se font piéger dans les zones mises à sec, où elles s'asphyxient et sont la proie facile de différents animaux terrestres (p.ex. oiseaux). Il peut en résulter, à long terme, une diminution de la biomasse des organismes nutritifs des poissons, ainsi qu'un recul de leur diversité (JUNGWIRTH & MUHAR, 1991).

AMMANN (1993) montre, au moyen de recherches menées sur différents tronçons d'un ruisseau de montagne soumis à une exploitation d'appoint, que ce sont essentiellement les zones situées directement à l'aval de la centrale qui sont endommagées, étant complètement mises à sec par le barrage. Les tronçons présentant un débit minimum avaient certes des densités d'invertébrés plus faibles, mais leur biomasse ne changeait guère. Dans le cas de ce ruisseau, la faune subissait les effets de la mise à sec de certains tronçons de cours d'eau, mais n'était pas influencée par les crues artificielles. Cependant, comme le mentionne l'auteur, de très nombreuses questions restent encore sans réponse à ce sujet. On ne sait par exemple pas quels sont les effets exercés par les modifications de températures, que l'exploitation d'appoint provoque, sur la faune des tronçons concernés.

5.2 Exemple en Autriche

Des recherches concrètes, concernant les effets de la production électrique d'appoint sur les invertébrés, furent menées dans deux rivières autrichiennes, où l'on turbine trois fois par jour:

Bregenzerach: Le débit varie entre 1 et 30 m³/s dans la partie supérieure du secteur analysé, et entre 1.5 et 60 m³/s dans la partie inférieure.

Enns: Le débit varie entre 20 et 240 m³/s.

Les recherches ont révélé que les changements rapides de débit avaient une forte influence sur les invertébrés: pour un rapport de 30 : 1 entre le débit maximum et le débit minimum, leur biomasse diminuait d'environ 70 % dans la Bregenzerach, et d'environ 85-90 % pour un rapport de 60 :1. Après l'embouchure de tributaires, le débit résiduel était certes plus élevé, mais la perte de biomasse restait cependant importante.

Dans l'Enns, les invertébrés subissaient une diminution de 5 à 40 %. Cette constatation fut mise en rapport avec les différentes vitesses de courant: durant les périodes de débit résiduel, la vitesse est très faible et du sable se dépose sur le fond. Puis, lors des trois pics de débit, ce sable est à nouveau emporté. Cela explique pourquoi ni les espèces des courants vifs (rhéophiles), ni les espèces liées aux sédiments fins (limnophiles) ne peuvent survivre.

Bien qu'aucune recherche n'ait été effectuée concernant la faune piscicole, il faut admettre que les poissons subissent des dommages d'une part directement par les variations de débit, d'autre part indirectement par la diminution des organismes nutritifs.

5.3 Conclusions et amorces de solutions pour les petites centrales hydrauliques

Comme décrit ci-dessus, l'exploitation électrique aux heures de pointe peut se répercuter de façon très diverse sur un cours d'eau. Les recherches n'ont cependant jusqu'ici porté que sur des cas particuliers; de nombreux aspects ne sont pas encore connus. Il serait de ce fait d'un grand intérêt d'entreprendre de nouvelles recherches concernant les effets de la production électrique d'appoint sur l'écosystème se trouvant en aval. Il faudrait par exemple déterminer: les vitesses de courant critiques pour les différentes espèces d'invertébrés, les conséquences de l'exploitation d'appoint pour des ouvrages de différentes dimensions et pour différents types d'augmentations de débit, si la faune piscicole est atteinte, et dans quelle mesure.

On doit cependant admettre qu'une production électrique d'appoint provoquant de fortes fluctuations de niveau occasionnera **d'importants dégâts** à l'écosystème se trouvant en aval. La production électrique d'appoint ne permet pas d'obtenir davantage d'énergie, mais elle produit de l'énergie à un moment où sa valeur économique est plus élevée. En raison de leur dimensions réduites, les petites centrales hydrauliques ne produisent que relativement peu d'énergie. Comme, en outre, le rapport entre les dégâts causés à l'environnement et le gain d'énergie est plutôt élevé, et qu'une connexion des centrales électriques est aujourd'hui possible, il faut dans la mesure du possible **renoncer à la production électrique d'appoint** au niveau des petites centrales hydrauliques.

5.4 La situation en Suisse

Le turbinage aux heures de pointe est une conséquence typique de l'exploitation par accumulation d'eau ou par pompage-accumulation. En Suisse, elle concerne principalement les cours d'eau alpins d'altitude relativement élevée. Les cours d'eau alpins se caractérisent naturellement par des conditions environnementales très dynamiques et par des vitesses de courant souvent importantes, qui s'opposent, par exemple, au colmatage (consolidation) des fonds. De fortes diminutions périodiques et artificielles de débit peuvent par conséquent avoir des effets considérables.

Ce type d'exploitation, autrefois très répandu, ne se rencontre presque plus sur le Plateau de nos jours, bien que nous ne possédions pas d'indications exactes sur le nombre de petites centrales hydrauliques procédant par déversements intermittents.

5.5 Littérature

Il n'existe que très peu de littérature relative à ce thème. On entre fréquemment très en détail sur des aspects particuliers (p.ex. le nombre d'invertébrés entraînés par le courant et les modifications de l'activité des invertébrés), sans examiner la situation générale.

Bretschko, G. & Moog, O. (1990): Downstream effects of intermittent power generation.- *Wat. Sci. Tech.*, pages 127-135.

En anglais, décrit les recherches menées dans deux rivières autrichiennes sur la faune d'invertébrés.

Ammann, M. (1993): Das durch Wasserkraftnutzung veränderte Abflussregime eines alpinen Fliessgewässers und dessen Auswirkungen auf das Makrobenthos.- *Dissertation ETH Zürich.*

Recherches sur la chimie, le régime d'écoulement, la température et en particulier la faune d'invertébrés d'un cours d'eau alpin, le Secklisbach, soumis à une exploitation aux heures de pointe.

6. Bassin de retenue

6.1 Transformations subies par la rivière lors de l'endiguement

Comme l'a montré la figure 2a), l'endiguement d'une rivière engendre des modifications fondamentales du milieu de vie et des processus qui s'y déroulent. La vitesse d'écoulement diminue, ce qui permet au sable et aux limons de se déposer. Le fond du cours d'eau, autrefois composé d'un substrat varié, se couvre de substances très fines, la **multitude de microbiotopes** (p.ex. les interstices du gravier) **diminue**.

Ce phénomène a des conséquences directes sur les animaux aquatiques: la reproduction et l'incubation des espèces de poissons liées au substrat sont perturbées, le nombre des espèces d'invertébrés diminue, on constate le développement d'une faune typique des zones à courant faible. Le bassin d'accumulation agit en outre comme une barrière à la migration de certains habitants du cours d'eau qui s'orientent d'après le courant.

La disparition des bancs de pierres et de sable représente aussi une perte de biotopes de nidification pour différentes espèces d'oiseaux qui nichent au sol; les oiseaux limicoles trouvent moins de biotopes de chasse.

L'endiguement des cours d'eau provoque encore d'autres modifications comme une réduction de l'apport d'oxygène, une diminution du potentiel d'autoépuration, un changement de températures, de nouvelles conditions locales pour la végétation etc. De telles modifications, qui se rapprochent des conditions du type lacustre, ne sont a priori pas négatives, mais mènent à un tout autre milieu aquatique. Un aménagement naturel de ce bassin de retenue permet de créer des milieux de vie de remplacement pour différents animaux et plantes aquatiques, mais la faune et la flore qui s'y installe ne correspond plus à l'état d'origine du cours d'eau.

Ces conséquences dépendent en même temps fortement des dimensions du bassin de retenue: à titre d'exemple, alors que les grands bassins de retenue représentent vraisemblablement des barrières infranchissables pour les invertébrés, et permettent l'évolution vers des conditions du type lacustre, les modifications du milieu de vie « eaux courantes » seront beaucoup moins importantes dans le cas de petits bassins d'accumulation. On ne dispose cependant que de peu d'études concrètes à ce sujet; une lacune dans nos connaissances qu'il conviendrait de combler à l'avenir par de nouvelles recherches fondamentales.

6.2 Mesures d'aménagement du bassin de retenue

Lorsqu'une centrale hydroélectrique crée une certaine accumulation d'eau, il n'est pas possible d'annuler les modifications du cours d'eau, décrites ci-dessus, à l'aide de mesures spéciales. Mais il faut cependant tout faire pour limiter au mieux les dégâts écologiques causés par un barrage. Les barrages de conception purement technique, monotones, et les canaux régulés, rendus étanches au moyen de bitume, où tout arbre est taillé au niveau de la souche, devraient à présent faire partie du passé.

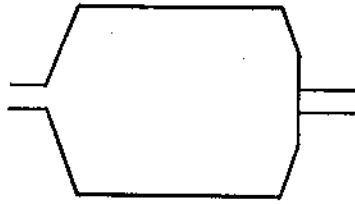
Fig. 6: Exemples positifs et négatifs d'aménagement des bassins de retenue

AMENAGEMENT DES BASSINS DE RETENUE

POSITIF

On dispose d'une surface importante pour l'aménagement du bassin de retenue

- ⇒ Création d'un biotope bien structuré
- ⇒ Connexion avec l'environnement

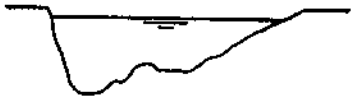


Grande variance de la largeur et de la profondeur



Talus d'inclinaison variable

- ⇒ Nombreuses niches écologiques
- ⇒ Grande diversité



Végétation diversifiée et adaptée au site

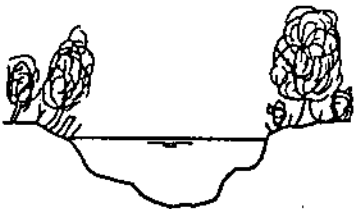
- ⇒ Différents biotopes
- ⇒ Etagement naturel
- ⇒ Ombrage



Création de microbiotopes (îles, zones d'eau peu profonde, baies, bras morts etc.)



Entretien écologique



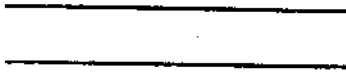
NÉGATIF

L'aménagement du bassin de retenue doit être fait sur une surface minimale

- ⇒ Le périmètre du bassin ne peut presque pas être structuré



Différences minimales de largeur et de profondeur



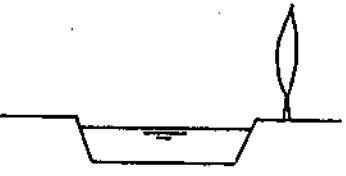
Inclinaison de talus uniforme

- ⇒ Peu de niches écologiques
- ⇒ Faible diversité

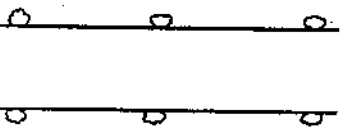


Végétation absente ou uniquement esthétique

- ⇒ Faible bénéfice écologique
- ⇒ Peu d'ombrage, croissance d'algues



Retenue d'eau monotone, pauvre en structures



Coupe rase, toute végétation ligneuse est taillée au niveau de la souche



Bien que certaines atteintes soient inéluctables en raison de la réduction de courant (le bassin de retenue le mieux aménagé ne remplacera jamais un cours d'eau libre), il reste néanmoins possible de prendre différentes mesures, afin que pour les habitants du cours d'eau, les conditions de vie soient aménagées au mieux dans le bassin de retenue également.

Voici ce que les expériences nous montrent: certains bassins de retenue représentent aujourd'hui de précieux biotopes humides pour les oiseaux et ont été classés comme sites naturels protégés. Des barrages construits des décennies plus tôt se sont ainsi, en partie, transformés en paysages naturels de seconde main et peuvent servir **d'exemples pour de nouvelles installations.**

Tout dépend de la surface disponible: si celle-ci est restreinte, on ne pourra réaliser que peu de possibilités d'aménagement, et les rives devront être protégées par des aménagements durs. Pour un aménagement proche de l'état naturel d'un bassin de retenue, il est indispensable que la surface mise à disposition soit généreusement dimensionnée.

Voici quelques propositions qui peuvent être prises en compte lors de la création, ou de la revitalisation, d'un bassin de retenue:

- Lorsque des digues ou des levées sont nécessaires, on peut les intégrer au paysage au moyen **d'un tracé arqué, d'une inclinaison variable des talus, ou de constructions en épis.**
- Les sites nouvellement créés devraient **en partie recevoir une plantation**, surtout aux endroits menacés par l'érosion. Les terres nouvelles peuvent cependant aussi être laissées en partie à elles mêmes, la végétation poussera d'elle même et évoluera naturellement.
- Le remblayage et le déblayage permettent de créer des **microbiotopes supplémentaires** tels que zones d'eau peu profonde, îles, eau morte, mares, rives abruptes, îles de gravier etc. L'aménagement de talus à faible inclinaison est également très important, afin d'offrir une zone de transition entre l'eau et la terre. La diversité du site peut être augmentée par l'aménagement de zones comportant des courants différents.
- Les **baies** donnent de la vie à des bassins de retenue par ailleurs plutôt monotones. Les baies constituent des biotopes que les poissons peuvent mettre à profit comme frayère, comme abri pour les alevins et pour se réfugier des crues.

On peut dire, en résumé, que **plus la retenue de barrage est richement structurée, plus la diversité d'espèces** de la faune et de la flore sera grande.

Les sites nouvellement aménagés évoluent constamment. Un entretien des lieux d'orientation écologique favorise l'évolution vers des sites aquatiques proches de l'état naturel.

6.3 Gestion des bassins de retenue

Tous les étangs de petites centrales hydrauliques existants, ainsi que de nombreux biefs supérieurs et tronçons barrés généreusement dimensionnés, furent à l'origine construits pour des raisons de gestion de la réserve d'eau.

En l'absence d'un raccordement au réseau, les abonnés à l'électricité dépendaient de la compensation de la courbe des charges journalière et souvent de l'accumulation nuit-jour. Les grandes capacités d'accumulation, permettant la compensation hebdomadaire ou la compensation des périodes sèches, voire même saisonnière, ne se rencontrent que très rarement, ou pas du tout, au niveau des petites centrales hydrauliques.

La distribution d'électricité de pointe et le décalage nuit-jour de l'approvisionnement électrique pourraient encore être utiles de nos jours, en même temps que financièrement intéressants pour les exploitants. Comme cependant les fluctuations journalières du niveau d'eau du bassin de retenue et les lâchers d'eau en aval de la centrale portent atteinte à la nature, on préfère en règle générale renoncer à cette solution aujourd'hui, lorsqu'elle n'est pas déjà interdite par les autorités concédantes. Dans la plupart des cas, les étangs ne sont cependant pas remblayés, mais continuent d'être entretenus par les exploitants, ce qui peut représenter une contribution précieuse pour la nature.

Si cependant le bassin de retenue est tout de même géré, il est possible de réduire les atteintes au bassin à l'aide des mesures mentionnées au chap. 6.2, respectivement en fig. 6 (création de milieux de vie diversifiés, aménagement proche de l'état naturel etc.). Pour réduire, voire éviter les dégâts dans l'eau d'aval, il convient de respecter les conditions relatives aux vidanges de retenues de barrage (chap. 4) et au turbinage aux heures de pointe (chap. 5) (augmentation et diminution lentes du débit, modifications aussi faibles que possible de l'écoulement naturel etc.).

6.4 La situation en Suisse

Les bassins de retenue des petites centrales hydrauliques ont été très diversement aménagés: dans le cas de chutes naturelles (p.ex. Guggenloch, SG) on rencontre souvent des étangs importants et diversifiés. En outre, on veille aujourd'hui en maints endroits à aménager le bassin de retenue de manière structurée (p.ex. la centrale Tiergarten à Burgdorf, la centrale Roggwil). Il est vrai que les anciens systèmes de canaux présentent aujourd'hui encore un tracé le plus souvent très rectiligne, une variabilité de profondeur minimale, des talus abrupts etc., mais leurs rives et zones périphériques sont souvent bordées par une végétation dense qui crée, du moins par endroits, des habitats pour les plantes et animaux aquatiques, ainsi que pour les oiseaux d'eau (p.ex. les canaux latéraux de l'Emme à Utzenstorf). Les bassins de rétention monotones et sans diversité écologique se rencontrent surtout dans les zones d'habitation où l'espace est compté, où les rives sont en béton et où la végétation, lorsqu'elle peut se développer, est taillée au plus près.

6.5 Littérature

Kemmerling, W. (1986): Naturnahe Gestaltung von Stauhaltungen. 5. Seminar Landschaftswasserbau an der Techn. Universität Wien.- Wien, Inst. für Wassergüte und Landschaftswasserbau, 1986, 4105, Landschaftswasserbau Band 7.

Ce volume contient les articles de différents auteurs, qui tous traitent de la problématique des bassins de retenue. On présente d'un côté les différentes atteintes provoquées par les retenues de barrage, mais on esquisse aussi, d'autre part, des propositions d'aménagement appropriées, en partie à l'appui d'exemples concrets. Les textes sont écrits de façon bien compréhensible, les exemples sont illustrés au moyen de photos, de cartes et de plans d'aménagement.

7. DETRITUS FLOTTANTS

Des recherches sont menées au sein du programme DIANE concernant les mesures d'aménagement des eaux destinées à diminuer les coûts d'exploitation des petites centrales hydrauliques, compte tenu des aspects matériels de l'élimination des débris flottants. Les explications données dans ce chapitre sont tirées du rapport intermédiaire d'avril 1995 sur ce sujet.

7.1 Problématique

Les petites centrales hydrauliques se situent pour la plupart sur les cours d'eau pré-alpins et du Plateau de petite à moyenne importance. Ces ruisseaux ou rivières drainent fréquemment un bassin versant d'exploitation intensive, avec une végétation d'accompagnement composée d'essences à feuilles caduques. Il en résulte un apport périodique massif de matières biologiques (algues, feuilles, bois) dans la prise d'eau, matières qui sont soit emportées vers l'aval sous forme de débris flottants, soit déposées dans les zones d'eau calme. La dérivation d'eau conduisant vers une petite centrale hydraulique entraîne une partie de ces matières vers l'installation de dégrillage, où elles sont enlevées afin de prévenir tout dégât aux turbines.

C'est principalement en automne, lors de la chute des feuilles, que de grandes quantités de feuilles, de bois - mais aussi de déchets de civilisation - sont interceptées par les installations de dégrillage des centrales hydroélectriques. Le nettoyage des grilles se fait soit manuellement, soit mécaniquement. Les matières récoltées doivent ensuite être éliminées par l'exploitant. Raison pour laquelle l'exploitant de la centrale est intéressé à éviter autant que possible, par l'intermédiaire de mesures d'aménagement, l'introduction de débris flottants dans sa prise d'eau. Les mesures d'aménagement en question ne doivent cependant pas conduire à une augmentation de la quantité de sédiments entraînés dans le captage d'eau.

7.2 Bases légales

La Loi fédérale sur la protection des eaux de 1991 régit le traitement des débris flottants dans le cadre de l'exploitation de l'énergie hydraulique. L'article 41 exige que les débris flottants récoltés soient éliminés de façon appropriée. Ce qui signifie que toutes les matières - indépendamment de leur composition - retenues par les grilles devront être compostées, ou évacuées vers des décharges ou des usines d'incinération des déchets. L'article 79 exige en outre que des aménagements de récolte des débris flottants soient réalisés - dans la mesure où cela est nécessaire - dans les cinq ans par le propriétaire du barrage. L'exécution de la loi sur la protection des eaux incombe aux cantons; ceux-ci peuvent également accorder les exceptions spécifiques aux installations.

7.3 Objectifs du projet partiel DIANE « le problème des débris flottants dans les petites centrales hydrauliques »

Sur la base de la situation de départ décrite ci-dessus, les questions de principe suivantes se posent:

- Quels sont les problèmes rencontrés par différentes petites centrales hydrauliques, dans différentes régions de Suisse, par rapport aux débris flottants?
- Dans quelles couches d'eau les débris sont-ils de préférence transportés, et dans quelle mesure ce transport est-il influencé par une géométrie d'entrée déterminée?
- A l'aide de quelles mesures peut-on améliorer le régime des courants au niveau de l'entrée du captage dans le but de réduire les apports de débris, et quelles en sont les conséquences pour l'exploitation et le rendement énergétique?
- Quelles sont les solutions, économiquement et écologiquement défendables, qui permettent d'éliminer les débris flottants de façon supportable par l'exploitation?
- Quelle est, en règle générale, la composition des débris flottants, ou, plus exactement, quelles fractions organiques (feuilles, bois, algues filamenteuses, déchets de jardin, cadavres etc.) ou inorganiques (essentiellement ordures) sont proportionnellement d'importance?
- Quelle est la part des matières piégées par une centrale par rapport à l'ensemble de la charge de débris, ou, plus exactement, combien de matières organiques (énergie), de substances nutritives et de polluants retire-t-on de la rivière lors de l'enlèvement des débris flottants?

Le projet partiel DIANE traitant de la problématique des débris flottants fait l'analyse prioritaire des trois points suivants:

- Evaluation de mesures d'aménagement des eaux, écologiquement compatibles, pour la réduction de l'apport de débris flottants, dans le but de diminuer les coûts d'exploitation dans le domaine de l'enlèvement des débris flottants.
- Inventaire et appréciation du cycle des matières pour différentes installations en Suisse.
- Inventaire et appréciation des aspects énergétiques et d'exploitation de l'enlèvement des débris flottants.

L'écologie et l'exploitation de l'énergie hydraulique sont des domaines conflictuels. Le projet intitulé « Le problème des débris flottants dans les petites centrales hydrauliques » tente de développer, entre profit et protection du site, des solutions reposant sur de solides consensus.

7.4 Littérature

Il n'existe jusqu'à présent que relativement peu de recherches sur le thème des débris flottants. Le projet partiel du programme DIANE, décrit ci-dessus, apportera une contribution importante dans ce contexte. Les publications suivantes offrent un aperçu de la problématique:

Chevalley, M.F. et al. (1981): Etude pour l'élimination des débris flottants de la retenue de Verbois. Rapport final du groupe de travail.- Genève, 24 pages.

Cette étude traite de l'origine, de la composition et de la quantité des débris flottants de la centrale de Verbois, ainsi que de leur enlèvement du fleuve, de leur tri, de leur transport et de leur élimination. On présente des solutions pratiques et l'on évalue le coût des mesures d'aménagement, ainsi que les frais annuels pour l'élimination des débris. En français.

Bretschko, G. & Klemens, W.E. (1985): Erkenntnisse der Fließgewässerlimnologie und ihre Bedeutung für die Problemkreise Dotationswassermenge und Schwemmgut. Studie der biologischen Station Lunz, Institut für Limnologie der österreichischen Akademie der Wissenschaften.- Oesterr. Verein zur Förderung von Kleinkraftwerken, Schriftenreihe Nr. 5: 25 pages.

Cet écrit introduit de façon facilement compréhensible à différents thèmes de l'écologie des eaux, qui sont exposés par l'intermédiaire de recherches concrètes menées dans la région de Lunz (Autriche). L'article décrit la problématique des débris flottants et attire l'attention sur les lacunes considérables de la recherche dans ce domaine.

8. SUBSTANCES POLLUANTES: LUBRIFIANTS ET HUILES HYDRAULIQUES

Du point de vue des substances polluantes, les petites centrales hydrauliques sont pratiquement neutres pour les eaux. A côté des risques habituels liés à la construction des installations, il se peut aussi, lors de manipulations impropres et lorsque l'entretien des machines est insuffisant, **que les lubrifiants et huiles hydrauliques** présentent un **risque**, le cas échéant entraînant une certaine **pollution chronique**.

Les pollutions suivantes peuvent apparaître:

- Lors de travaux sur de petites centrales hydrauliques, des risques de pollution des eaux existent, principalement lorsque la planification est insuffisante et lors de manipulations impropres (lavage de matériel, pollution par des travaux de terrassement etc.).
- L'entreposage peut entraîner des fuites, des pertes au remplissage et des rinçages par inondation.
- Un nettoyage impropre des machines peut polluer les eaux.
- Lors de travaux de démontage, il existe le danger que le contenu des systèmes hydrauliques s'échappe, tout comme l'huile des roulements.
- Les fausses manoeuvres lors des travaux de mise en service et de montage peuvent provoquer des pertes d'huile.
- Les dégâts aux conduites, aux joints etc. peuvent occasionner des pertes soudaines ou continues.
- Avec l'âge, les roulements et les cylindres de compression perdent de petites quantités d'huile ou de graisse.
- Les crues extrêmes peuvent atteindre des lieux de dépôt que l'on croyait sûrs (même dans la salle des machines) et emporter les produits d'entretien qui s'y trouvent.

Ces risques peuvent être fortement réduits en prenant les précautions suivantes:

Durant le déroulement des travaux:

- * Conserver les produits d'entretien hors d'atteinte des crues.
- * Respecter les habituelles dispositions et mesures de précaution relatives à la protection des eaux (prescriptions de la police des eaux).

Constructions complémentaires:

- * Montage d'un séparateur d'huile au niveau de l'évacuation d'eau de la salle des machines, le cas échéant dans le bac de rétention.
- * L'habituelle conduite d'évacuation des eaux de la salle des machines peut protéger des inondations, mais comporte le risque que des eaux souillées par les lubrifiants soient emportées. La conduite devrait conduire à une STEP ou à un bac de rétention clos.

Mesures constructives en cas de transformations et pour de nouvelles machines:

- * Roulements de palier sans huile ni graisse (sans entretien) (les roulements de l'arbre des turbines et du générateur restent eux lubrifiés à l'huile ou à la graisse). Exception: les très petites turbines aux roulements d'arbre lubrifiés à l'eau.
- * Pour les machines importantes: mesures de surveillance appropriées et automatismes de coupure.
- * Moyeux remplis d'eau à la place d'huile (mécanique inoxydable), en particulier dans le cas de turbines axiales avec régulation par commande de l'aubage de la roue motrice.
- * Emploi d'huiles et de graisses dont les propriétés biodégradables sont prouvées.
- * Les systèmes hydrauliques à huile peuvent être remplacés par des systèmes à électromoteurs, pneumatiques ou hydrauliques à eau, ce qui est particulièrement utile dans le cas de petites machines.
- * Pour les grosses machines, on peut envisager des mesures de protection allant encore plus loin.

Entreposage:

- * Etablir l'entrepôt hors d'atteinte des crues exceptionnelles.
- * Eviter que les récipients puissent être emportés ou renversés lors d'inondations.
- * Ne laisser traîner aucun récipient ouvert, fermer le couvercle.
- * Installer des bassins de réception d'huile sous les réservoirs.
- * Dans le cas de grands séparateurs d'huile: bac de rétention dans la salle des machines au lieu d'écoulement direct dans la rivière.

Pertes durant le fonctionnement et l'entretien

- * Nettoyage régulier de la salle des machines et des machines.
- * Installation de rigoles de récupération d'huile.
- * Entretien régulier des joints et des tuyaux
- * Bassins d'accumulation d'huile sous la génératrice

9. LA SITUATION DANS LES SECTEURS D'EAU COURANTE DES PETITES CENTRALES HYDRAULIQUES

9.1 Généralités

On peut désigner comme secteurs d'eau courante le canal d'aménée, le tronçon court-circuité, le canal de fuite et le cours d'eau lui-même en aval de la restitution d'eau.

Parmi les corrections des cours d'eau, les secteurs d'eaux courantes des petites centrales hydrauliques ont souvent été aménagés sous forme de canaux dont la valeur biologique est faible. Dans ce qui suit, nous tentons de montrer à l'aide de quelles mesures il est possible de réaménager ces tronçons de façon plus naturelle, sans pour autant que l'exploitation énergétique en soit influencée. Il apparaît souvent qu'un aménagement fait avec des matériaux naturels revient même moins cher. Les constructions en bois immergées en permanence sont très durables, ce n'est pas pour rien que la fixation des canaux et étangs des petites centrales hydrauliques était autrefois en bois. Il est cependant vrai que les canaux d'aménagement naturel nécessitent davantage d'espace du fait qu'ils n'autorisent pas des vitesses de courant élevées, ni de grandes profondeurs. On peut appliquer, pour ces secteurs, les principes généraux issus de nos connaissances actuelles dans le domaine de l'aménagement des eaux du génie biologique (voir sous-chapitre suivant).

9.2 Une ancienne technologie redécouverte: les techniques d'aménagement des eaux du génie biologique

Dans le domaine des techniques d'aménagement des eaux du génie biologique, on utilise principalement les matières vivantes, mais souvent en combinaison avec les matières inertes (constructions combinées):

Construction avec matières vivantes

Par construction avec matières vivantes on désigne des types de constructions utilisant des **plantes ou parties de plantes vivantes et capables de croître** comme matériaux de construction. Le but de la construction avec matières vivantes est de créer ou de maintenir, le long des cours d'eau, une couverture végétale dont le rôle est non seulement de stabiliser les rives, les talus et les versants, mais aussi d'offrir un milieu de vie écologiquement précieux.

L'idée de base de la construction avec matières vivantes repose sur la stabilisation à grande surface du lit latéral du cours d'eau, au moyen d'un réseau de racines dense et profondément ancré.

Construction avec matières inertes

Il s'agit d'un **aménagement du génie civil**, avec des objectifs économiques et techniques. Il ne nécessite que peu d'espace, peut être appliqué aux talus de toute inclinaison, supporte les sollicitations les plus élevées et fonctionne immédiatement après la construction. A côté des constructions traditionnelles et universellement connues en **béton**, en **pierre** ou avec des **bois durs étrangers**, on a de plus en plus souvent recours aujourd'hui à de nouveaux matériaux comme le **bitume**, les **matières synthétiques** et les **métaux**.

Pour des raisons esthétiques et écologiques, on ne devrait employer les matériaux de construction inertes qu'aux endroits où les mesures d'aménagement avec matières vivantes ne permettent pas, ou ne permettent pas à elles seules, d'éviter les dégâts causés par l'eau, ainsi qu'aux endroits où la place ne suffit pas pour un aménagement avec matières vivantes. On rencontre, par conséquent, ce type d'aménagement surtout dans la zone d'étiage et en particulier au pied des talus ou sur la rive concave, le cas échéant devant ou derrière les ouvrages (ponts, chutes etc.). Lorsque l'emploi de matériaux de construction inertes est inévitable, il est tout de même possible de prendre des mesures pour créer un milieu de vie diversifié (p.ex. abris pour les poissons). La condition essentielle pour la réussite d'un aménagement avec matières vivantes dans la zone supérieure du profil du cours d'eau, est souvent une forme adéquate et une fixation sûre du talus en dessous du niveau d'eau moyen.

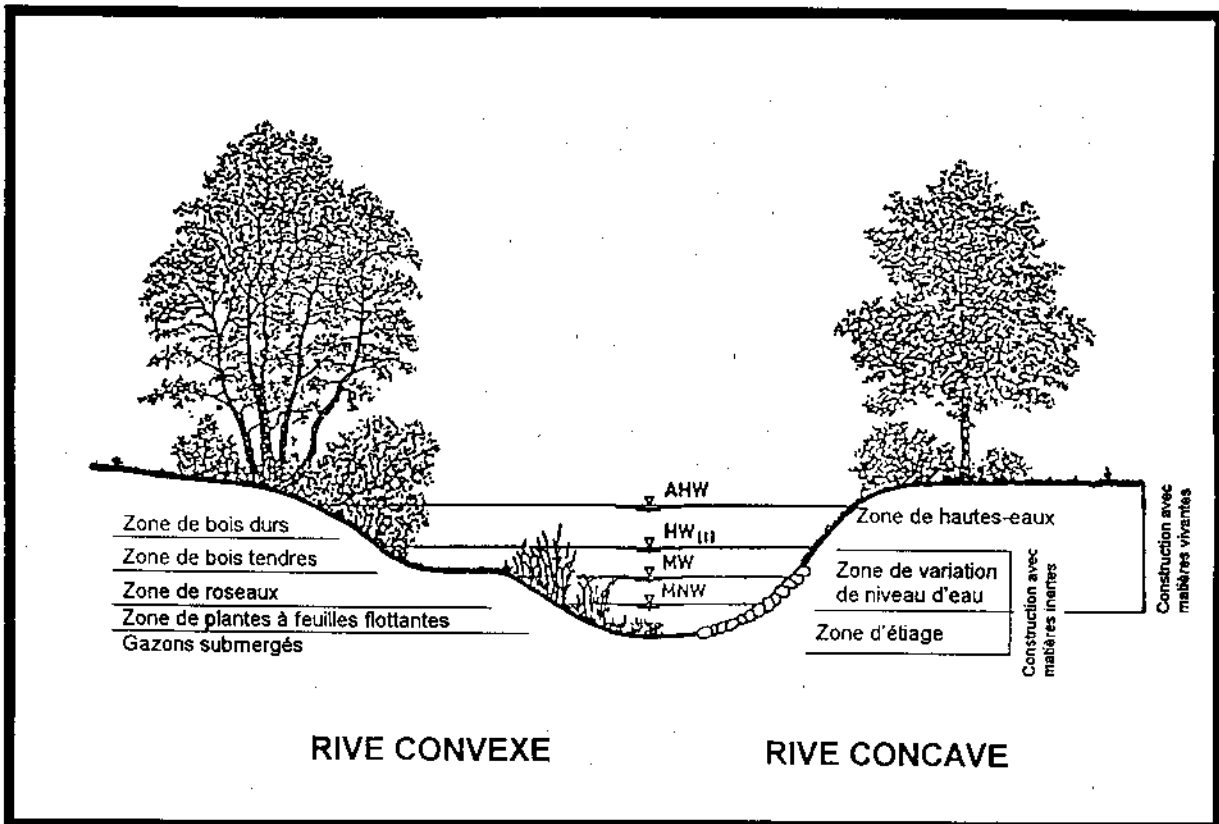


Fig. 7: Classification du profil du cours d'eau en zones hydrologiques et zones de végétation; domaines d'intervention de la construction avec matières inertes et avec matières vivantes (LANGE & LECHE, 1989).

Constructions combinées

Etant donné que les deux types de constructions décrits comportent des avantages et des inconvénients, on s'est mis à **combiner la construction avec matières vivantes et celle avec matières inertes** de manière à mettre à profit les avantages de chacune des méthodes: à côté des plantes et parties de plantes, on utilise aussi des matériaux inertes dont le rôle est de soutenir provisoirement ces plantes ou de les protéger lorsqu'elles sont soumises à rude épreuve. Ces constructions combinées se prêtent également bien à l'aménagement de biefs, d'étangs et de canaux d'amenée au niveau des petites centrales hydrauliques.

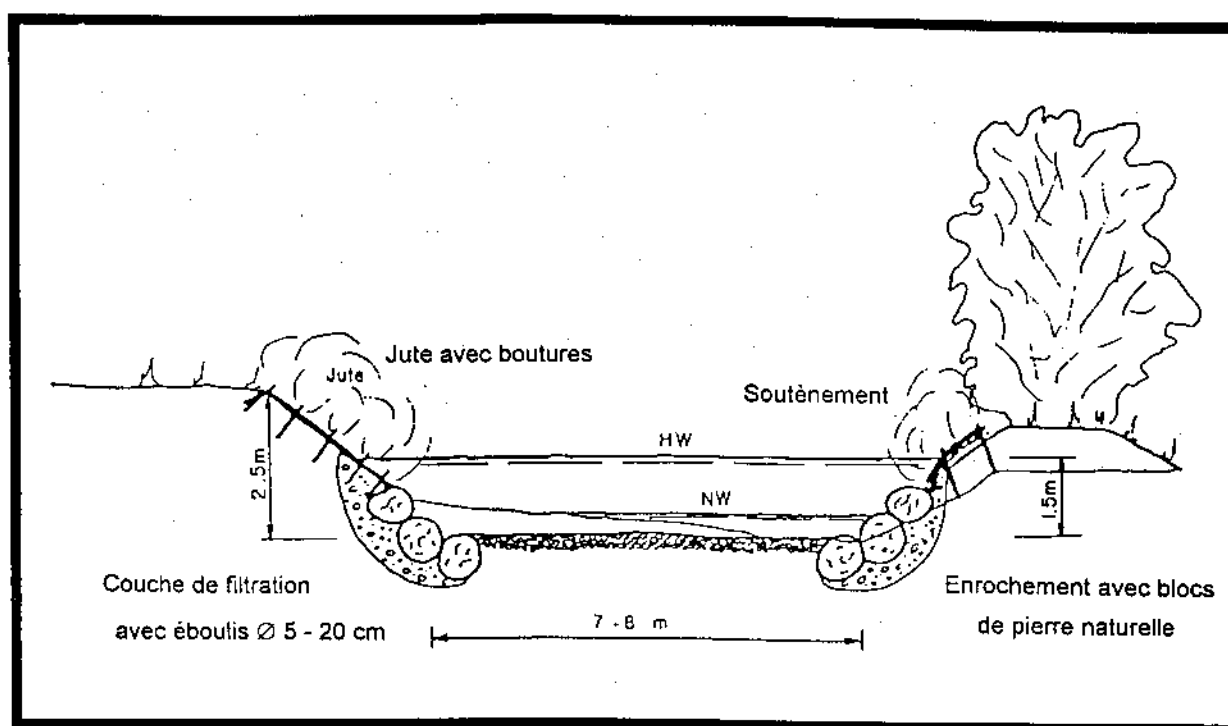


Fig. 8: Exemple d'aménagement du génie biologique: Lüssel près de Brislach (Direction des Travaux Publics du Canton de Berne, 1988).

9.3 Le cas particulier des tronçons court-circuités (voir fig. 10)

Les tronçons court-circuités présentent souvent des débits très différents: le débit est faible durant une grande partie de l'année (tronçon à débit résiduel), mais on se sert aussi de ce tronçon pour l'évacuation des débits de pointe (crues, vidanges). Voilà pourquoi on ne les aménageait autrefois qu'en fonction de leur sécurité en cas de crue. Un tel profil est trop large pour le faible débit qui s'y écoule la plupart du temps. La surface mouillée est par conséquent souvent trop peu profonde pour permettre une grande diversité biologique.

Il est possible d'améliorer ce type de tronçon court-circuité par la construction d'un double profil:

- On aménage, d'une part, un profil naturel suffisamment large, qui garantit la **sécurité en cas de crue**, mais qui n'est pour ainsi dire pas mouillé par débit normal.
- A l'intérieur de ce profil, on aménage ensuite des **lits mineurs**, ou des **lits mineurs en méandres**, dans lesquels l'eau pourra s'écouler avec une profondeur et une vitesse suffisantes pour offrir des conditions locales typiques à la faune et à la flore, et pour garantir le charriage des sédiments. L'introduction de blocs de pierre ou de groupes de blocs appropriés et convenablement ancrés permet de garantir que le cours d'eau pourra lui-même éroder à nouveau ce lit après le recul des eaux de crue.

La réduction de débit, associée aux mesures d'aménagement mentionnées, peut conduire, dans le cas de cours d'eau soumis à des régimes hydrobiologiques sévères et enserrés dans des profils étroits, à une situation **plus naturelle** et à une vie plus diversifiée dans l'eau et le long des rives. S'il est possible, par exemple, d'aménager un site de façon à obtenir de petits méandres, des rapides, des profonds et des bancs de gravier submergés, alors ce tronçon court-circuité pourra devenir, dans le cadre des barrages existants, une copie à l'échelle réduite du cours d'eau naturel originel, et présenter une diversité écologique presque semblable. Pour l'**optimisation** des mesures d'aménagement, de la diversité écologique et des pertes de production énergétique dues au débit résiduel, il existe des méthodes scientifiques.

Pour que la diversité écologique puisse se développer et se maintenir dans les tronçons court-circuités, il faut que l'exploitation énergétique tienne compte des critères écologiques, particulièrement en ce qui concerne les vidanges et les lâchers d'eau.

9.4 Canaux d'aménée et bassins de rétention comme milieux de vie?

Une faune et une flore diversifiée peut se former dans les étangs et les canaux d'aménée, à la condition toutefois que le niveau de l'eau ne change pas trop (p.ex. fonctionnement par accumulation d'eau quotidienne) et que le site a été aménagé de façon naturelle grâce à la construction avec des matières vivantes.

La problématique d'un aménagement des eaux proche de l'état naturel réside dans le fait que pour gagner des terres, on cherche à construire des canaux relativement profonds, avec des vitesses de courant élevées, ce qui requiert souvent des aménagements durs. En outre, le fond et les rives des canaux dont la vitesse de courant est élevée, c'est-à-dire dont le profil transversal est serré, ne doivent pas être trop rugueux pour des raisons de pertes de pente. En revanche, le fait que les canaux, contrairement aux cours d'eau, ne doivent pas faire face à des crues extrêmes, facilite les choses.

Il faut par conséquent chercher des **compromis économiquement supportables** entre le besoin de terres, les pertes de pente, la solidité et les valeurs esthétiques et écologiques.

Fig. 9: Exemples positifs et négatifs de cours d'eau, respectivement d'interventions sur l'écosystème aquatique (d'après LACHAT, 1991).

DIFFERENCES DE MORPHOLOGIE ENTRE COURS D'EAU

POSITIF

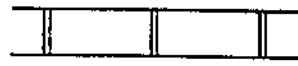
Tracé, situation

NEGATIF

Non rectiligne

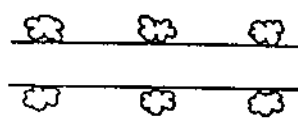


Parties larges et étroites, îles, îlone, bras mort, noue, alternances nombreuses



Rectiligne, canalisé

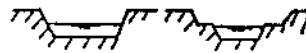
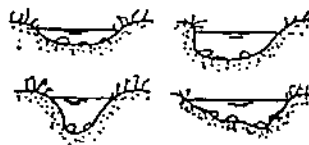
Végétation diversifiée avec abris, le cours d'eau est intégré au paysage



Végétation monotone, avant tout décorative; paraît artificielle

Profil en travers

Inclinaison et profil des talus variables; la profondeur d'eau varie; grande diversité d'organismes



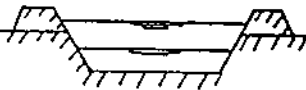
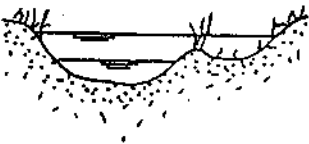
Inclinaison de talus constante, profil monotone avec une profondeur d'eau uniforme; faible diversité d'organismes

Végétation diversifiée, adaptée à la station, offre protection et abris aux espèces les plus différentes, apporte de l'ombre et des opportunités pour la reproduction



Végétation cosmétique, atypique du site, de faible valeur biologique; le manque d'ombrage peut provoquer un envahissement végétal du cours d'eau

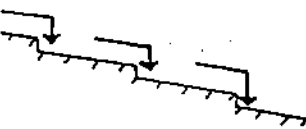
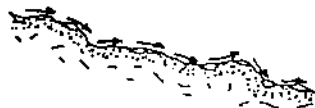
Présence de zones d'inondation précieuses du point de vue biologique



Plus de zone d'inondation

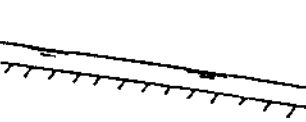
Profil en long

Pentes, profondeurs et écoulements variables; microhabitats nombreux; la libre circulation est assurée dans le cours d'eau



Pentes et profondeur d'eau homogènes; secteurs d'eau vive principalement; la migration de nombreux organismes est bloquée par des seuils trop élevés

Substrat composé de manière très diversifiée, offre des milieux de vie à différents types d'organismes; bon brassage de l'eau avec un apport d'oxygène élevé; potentiel d'autoépuration élevé; implantation possible d'hydrophytes



Fond très monotone, n'offre de milieu de vie qu'aux animaux particulièrement adaptés; faible brassage de l'eau avec apport d'oxygène réduit; faible capacité d'autoépuration; croissance des hydrophytes entravée par la force du courant

Fig. 10: Exemples positifs et négatifs de tronçons court-circuités.

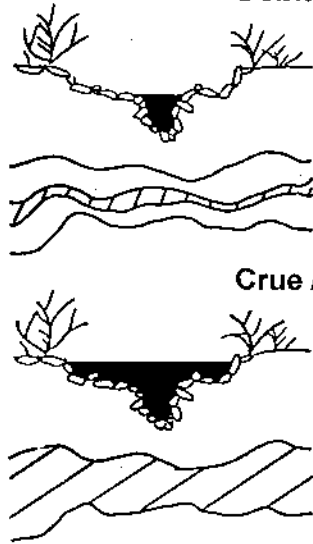
TRONÇONS COURT-CIRCUITES OU A DEBIT RESIDUEL

POSITIF
Lit mineur avec méandres

La profondeur d'eau est suffisamment grande pour garantir une vie diversifiée et permettre la migration des poissons

Le tronçon court-circuité peut être aménagé de façon naturelle et offre un milieu de vie bien structuré

Les blocs de pierre permettent au cours d'eau d'éroder à nouveau lui-même son lit après chaque crue



Débit résiduel

Crue / vidange

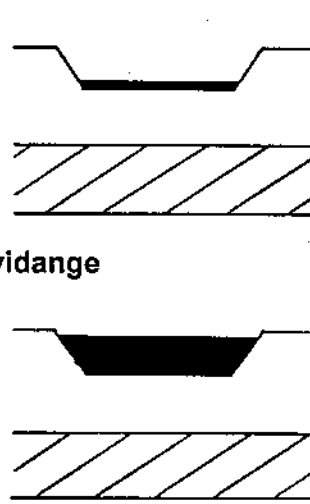
La sécurité en cas de crue est garantie

NEGATIF
Profil en trapèze classique

La faible profondeur d'eau n'autorise pas l'existence de communautés de vie diversifiées; les migrations de poissons sont interrompues

Lorsqu'un tel profil est établi uniquement selon les points de vue techniques du génie civil, sa valeur biologique est faible

Le danger existe, que la faune naturelle de cette région soit remplacée par une faune de substitution



9.5 La situation en Suisse

En Suisse, la plupart des cantons entreprennent aujourd'hui de gros efforts pour ré-aménager ruisseaux et rivières de façon plus naturelle, et le cas échéant remettre à l'air libre les cours d'eau enterrés. C'est justement aussi dans les petites communes, qui s'occupent souvent elles-mêmes de la corvée que représente l'entretien de tels ruisseaux et qui, à fin de démonstration, remettent parfois en service d'anciennes roues à eau, que l'on entreprend ces efforts (exemple: projet Mühlbach, Schnottwil, SO). De même, lors de nouvelles constructions d'installations, on veille aujourd'hui à aménager les cours d'eau de façon plus naturelle au niveau des centrales, ce qui non seulement comporte des avantages pour l'écologie des eaux, mais présente aussi des aspects esthétiques positifs et crée des zones de récréation pour l'homme (exemple: centrale Tiergarten, Burgdorf; centrale Roggwil, BE).

9.6 Littérature

Il existe de très nombreuses publications qui traitent des développements de l'aménagement des eaux, et donc des différentes méthodes. Les cinq publications suivantes offrent une bonne vue d'ensemble à ce sujet:

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVKW), (1984): Oekologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern.- DVKW-Merkblätter 204, Verlag Paul Parey, 188 pages.

Indications générales sur l'écosystème « eaux courantes », descriptions détaillées de différents types de constructions écologiques, ainsi que mesures d'entretien pour les cours d'eau transformés de la sorte. 28 exemples concrets, avec photos, plans et descriptions détaillées des mesures d'aménagement.

Direction des travaux publics du canton de Berne - Office des ponts et chaussées (Editeur), (1988): Mesures de génie biologique dans l'aménagement des rives. Méthodes et exemples dans le canton de Berne. - 44 pages.

Description détaillée et concrète de 17 tronçons de rivières et de ruisseaux du canton de Berne transformés au moyen de méthodes d'aménagement des eaux du génie biologique. Avec commentaires, schémas, plans et photos.

Drobir, H. & Hofer, B. (1988): Mäandrierungen in Restwasserstrecken.- Internationales Symposium Interprävent 1988 in Graz, Tagungspublikation, Band 4, pages: 133-149.

On montre, à l'exemple de la Gail tyrolienne, dont le tronçon à débit résiduel fut aménagé pour l'évacuation des crues, comment il est possible de créer un lit mineur en méandres à l'aide d'une alternance de bancs de gravier. On décrit les conditions hydrauliques conduisant à la formation d'une alternance de bancs de gravier. La représentation descriptive est facilement compréhensible, alors que la seconde partie (calculs concrets) s'adresse aux spécialistes.

Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Hrsg.), (1989): Kanton Zürich: Wiederbelebungsprogramm für die Fließgewässer.- Sonderdruck Nr. 1188 aus Gas - Wasser - Abwasser 89/11.

On décrit par différents côtés la façon de procéder durant ce projet (situation politique et financière, organisation, cartographie et sélection des cours d'eau, conception de la revitalisation, connaissances relatives à la biologie des eaux, protocoles de travail, projets de détail etc.). Avec de nombreux exemples, photos, cartes et schémas.

Lachat, B. (1991): Le cours d'eau. Conservation, entretien et aménagement.- Conseil de l'Europe, Strasbourg, série aménagement et gestion. n° 2, 84 pages.

Description de l'écosystème eaux courantes avec sa faune et sa flore, importance de ces milieux de vie pour l'homme, description des mesures d'aménagement du génie civil et biologique, liste des avantages et inconvénients respectifs, travaux d'entretien. En français.

10. OPTIMISATION ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE GLOBALE

L'examen des projets relatifs aux petites centrales hydrauliques ainsi que l'inspection des lieux ont montré que dans le cadre des mesures écologiques, on examinait rarement la question de savoir s'il ne serait pas possible, avec le même engagement de moyens mais avec d'autres mesures et en d'autres lieux, de réaliser un plus grand bénéfice écologique, comme il est tout à fait d'usage de le faire dans le cadre de la planification des mesures de compensation écologiques des projets de grande envergure.

Les possibilités légales existent, étant donné que les lois laissent suffisamment de marge d'interprétation, ou alors, en cas de restrictions concrètes et sévères, contiennent des règles d'exception qui autorisent le déplacement géographique, ou même matériel dans certains cas, des mesures de protection: p.ex. Loi sur la protection des eaux, art. 32c sur les débits résiduels.

Toute la palette des mesures de protection et de compensation est en principe à disposition pour une telle optimisation globale: renoncement à l'exploitation, renaturalisation en d'autres lieux, établissement de la libre circulation des poissons en d'autres sites, avec des tronçons de cours d'eau de plus grande valeur et de plus longs parcours rendus accessibles etc.

Il manque encore, dans ce domaine, des bases orientées vers la pratique, comme p.ex. la documentation sur des projets et expériences concrets, un listage des possibilités et des aides à l'évaluation. Du fait que la procédure n'est pas simple et que, dans certains cas, des propriétés, droits d'eau etc. se trouvant en dehors de la sphère d'influence des maîtres d'oeuvres et des exploitants sont concernés, il est très important, pour le succès d'une telle planification de mesures écologiques, d'obtenir le **concours actif des autorités.**

De telles recherches peuvent rapidement déborder du cadre des objectifs premiers d'optimisation écologique et énergétique. Les coûts et les objectifs fixés ne doivent, par conséquent, pas être perdus de vue.

ANNEXE 1

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

A) INTRODUCTION/GENERALITES

BILLETER, P. (1991): Strömungsbedingte Schwingungen. Messungen an einer Wehrschütze des Kraftwerks Eglisau.- Wasser, Energie, Luft, 9: 241-250.

BANCHER, E. (Gesamtschriftleitung) (1981): Kleinkraftwerke.- Schriftenreihe der Technischen Universität Wien, Wien/New York.

BODENMANN, H. (1990): Sohlausbaggerung im Oberwasser des Rheinkraftwerks Säkingen.- Wasser, Energie, Luft, 11/12: 332-335.

DIREKTION DER ÖFFENTLICHEN BAUTEN DES KANTONS ZÜRICH (1991): Frühindustrielle Wasserkraftanlagen im Zürcher Oberland.- Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck aus den Heften 3/91, 6/91, 21/91: 1-16.

EIDGENÖSSISCHES VERKEHRS- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT, BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1987): Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil III.- Mitteilung Nr. 2, Bern.

ENVICO, (1992): Gewässerökologische Anforderungen an Wasserfassungen. Berichterstattung über die Voruntersuchung.- Im Auftrag vom BUWAL, Abt. Gewässerschutz und Fischerei, Zürich, 19 pp.

ERZ, W. (Hrsg.)(1975): Naturschutz und Gewässerausbau. Jahresfachtagung 13.-15. Oktober 1975 in Mannheim.- Jb. Natursch. Landschaftspf. 24, Bonn-Bad Godesberg.

FUHRMANN, C. (1991): Ein Beitrag zur Beurteilung über den Revitalisierungsbedarf von alten Wasserkraftanlagen.- Dissertation, Technische Universität Wien, 152 pp.

GILG, B. (1981): Kleinkraftwerke in der Schweiz.- Schriftenreihe der Technischen Universität Wien, Wien/New York: 5-14.

HOFMANN, H. (1990): Unser Wasser - Welche Chance hat es? - Wasser, Energie, Luft, 7/8: 163-166.

JAEGER, P. (1986): Kleinkraftwerke und Fischerei.- Oesterreichische Fischerei, 39: 246-255.

JUNGWIRTH, M. & MUHAR, S. (1991): Gutachten zu möglichen Auswirkungen von Kleinwasser-Kraftanlagen auf Fliessgewässer-Oekosysteme.- Gutachten für den Landesfischereiverband Baden-Württemberg, Wien, 15 pp.

KARL, J. (1979): Oekologische Probleme bei der Nutzung alpiner Gewässer zur Energiegewinnung.- Jb. Ver. Schutz der Bergwelt, 44: 119-135.

KIRCHHOFER, A., ZAUGG, B. & PEDROLI, J.-C. (1990): Liste rouge des poissons et cyclostomes de Suisse.- CSCF, Neuchâtel, 26 pp.

KONOLD, W. (1984): Zur Oekologie kleiner Fliessgewässer. Verschiedene Ausbauarten und ihre Bewertung.- Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, Stuttgart, 262 pp.

LUGMAYR, F. (1983): Fischereiliche Vorstellungen bei der Errichtung von Wasserkraftanlagen (besonders bei Ausleitungskraftwerken) aus der Sicht des Fischereisachverständigen.- Oesterreichs Fischerei, 11/12: 265-268.

MANGELSDORF, J. & SCHEURMANN, K. (1980): Flussmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure.- Oldenbourg.

MARTI, J. (1987): Die Umweltverträglichkeit von Kleinwasserkraftwerken.- Wasser, Energie, Luft, 5/6: 81-84.

OLSON, F.W. et al. (editors): Symposium on small hydropower and fisheries. American fisheries society, Aurora, Colorado: 497 pp.

PECHLANER, R. (1989): Oekologische Auswirkungen von Wasserableitungen auf Gebirgsbäche.- Bayer. Landesamt für WW, München, Inf.-Ber. 1/89.

PEDROLI, J.-C., ZAUGG, B. & KIRCHHOFER, A. (1991): Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse.- CSCF, Neuchâtel, 207 pp.

STROBL, T. (1992): Nutzung der Wasserkraft in Bayern.- Wasserwirtschaft 82(11): 540-547.

V. KÄNEL, A. (1991): Fliessgewässer im Kanton Bern. Lebensräume und Oekologie bernischer Bäche und Flüsse.- Hrsg: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, Bern, 40 pp.

WEBER, G. (1990): Das Umbaupotential der Wasserkraftanlagen in der Schweiz.- Wasser, Energie, Luft, 3/4: 74-75.

B) SITUATION LEGALE

MUELLER, J.P. (1990): Die Beschränkung der Wasserkraftnutzung im Interesse des Landschaftsschutzes.- Gutachten im Auftrag des BUWAL. Bern, BUWAL.

C) DISPOSITIFS DE FRANCHISSEMENT/CANAUX LATERAUX/ CONTINUUM DU COURS D'EAU

DVWK (1996): Fischeaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle.- Merkblätter zur Wasserwirtschaft Nr. 232.

GOSSE, C., LARINIER, M., PORCHER, J.P. & TRAVADE, F. (1994): Passes à poissons. Expertise, conception des ouvrages de franchissement.- Conseil supérieur de la pêche, Paris.

GREGOIRE, A. & TRAVADE, F. (1987): L'expérience EDF dans le domaine des passes à poissons: conception et suivi d'efficacité.- La Houille Blanche no. 1/2: 65-72.

JENS, G. (1971): Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. Richtlinien für die Anlegung von Fischtreppe an Stauanlagen.- Arch. Fisch Wiss., 22(1): 1-30.

JENS, G. (1982): Der Bau von Fischwegen. Fischtreppe, Aalleitern und Fischschleusen.- P. Parey, Hamburg, Berlin, 93 pp.

JUNGWIRTH, M. (1986): Lauf- und Ausleitungskraftwerke aus hydrobiologischer Sicht.- in: KEMMERLING, W., Wien: 71-96.

LAMPERT, W. & LINK, W. (1971): Markierungsversuche und Aufstiegskontrollen an Staustufen des Hochrheins in den Jahren 1947-1952.- Arch. Hydrobiol./Suppl. 38(3): 315-335.

LARINIER, M. (1977): Les passes à poissons.- CTGREF, Etude N° 16, 136 pp.

LARINIER, M. (1978): Les passes à poissons.- La pêche illustrée, numéro hors série, janvier 1978, 550 bis: 5-32.

LARINIER, M. (1983): Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs.- Bull. fr. Piscic., numéro spécial, 39 pp.

LARINIER, M. (1986): Les passes à poissons: méthodes et techniques générales.- Société hydrotechnique de France, Agence de Bassin Loire-Bretagne, Comité technique, Session n° 131: 1-18.

LARINIER, M. & TRIVELLATO, D. (1987): Etude sur modèle réduit de la passe à poissons du barrage de Bergerac sur la Dordogne.- La Houille Blanche, no. 1/2: 135-141.

PELZ, G.R. (1985): Fischbewegungen über verschiedenartige Fischpässe am Beispiel der Mosel.- Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 76: 190 pp.

REISER, D.W. & PEACOCK, R.T. (1985): A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments.- in: OLSON, F.W. et al. (editors): Symposium on small hydropower and fisheries. American fisheries society, Aurora, Colorado: 423-432.

STEINMANN, P. (1937): Die Wanderungen unserer sogenannten Standfische in Fluss und Strom.- Rev. Suisse Zool. 44(28): 405-409.

TRAVADE, F., DARTIGUELONGUE, J. & LARINIER, M. (1987): Dévalaison et franchissement des turbines et ouvrages énergétiques: l'expérience EDF.- La Houille Blanche, no. 1/2: 125-133.

TRAVADE, F. & LARINIER, M. (1990): Migration d'avalaison - problèmes - dispositifs.- Seminar über Fischaufstiegshilfen in Lichtenstein, unveröffentlicht, 8 pp.

TRAVADE, F. et al. (1989): Use of radiotracking in Fance for recent studies concerning the E.D.F. fishway program.- Hydroécol. Appl. 1/2: 33-51.

VISCHER, D. (1991): Sind Fischtrepfen noch aktuell? Ist ihre Entwicklung abgeschlossen?.- Wasser, Energie, Luft, 5/6: 168-172.

WEA (1993): Leitfaden für den Bau von Fischwegen.- Bern, 41 pp.

WILKE, H. (1970): Absturzbauwerke und Fischaufstieg.- Wasser und Boden, 22(12): 352-354.

ZAUGG, C. & PEDROLI, J.-C. (1991): Konzeption und Bau von Fischaufstiegshilfen.- Baublatt, Nr. 25: 2-5.

D) DEBIT RESIDUEL/SURFACE MOUILLEE

AKERET, E. (Vorsitz) (1982): Schlussbericht der interdepartementalen Arbeitsgruppe Restwasser.- Bern, 401 pp.

BLASCHKE, H., MIKSCH, R. & PAMMER, F. (1981): Zum Restwasserproblem bei Kleinkraftwerken.- ÖN-IAD Workshop, Scharfling, Salzburg, 24 pp.

BUNDI, U. et al. (1989): Combien d'eau résiduelle faut-il aux organismes des eaux courantes? - Nouvelles de l'EAWAG 27: 16-20.

BUNDI et al. (1989): Wasserentnahme aus Fliessgewässern: Gewässerökologische Anforderungen an die Restwasserführung. Kurzbericht der Restwassergruppe EAWAG über eine Studie zur Erarbeitung ökologischer Kriterien für die Beurteilung und das Festlegen von Restwassermengen in Fliessgewässern.- Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 110, BUWAL, Bern.

DROBIR, H. & HOFER, B. (1988): Mäandrierung in Restwasserstrecken.- Internationales Symposium Interprävent 1988 (Graz), Tagungspublikation, 4: 133-149.

GORE, J.A. (1977): Reservoir manipulations and benthic macroinvertebrates in a prairie river.- Hydrobiologia, 55(2): 113-123.

HAINARD, P., BRESSOUD, B., GIUGNI, G. & MORET, J.-L. (1987): Incidence de la réduction du débit des cours d'eau sur la flore et la végétation.- Les cahiers de l'environnement, Office fédéral de la protection de l'environnement, No 72, 65 pp.

HEEG, H. & MOOG, O. (1986): Der Einfluss von Wasserleitungen auf das Benthos des Landeckbaches im Osttirol (Oesterreich).- Ber. nat.-med. Verein Innsbruck, 73: 199-214.

INFORMATIONSDOKUMENTE BAYERISCHES LANDESAMT WASSERWIRTSCHAFT (1989): Wasserwirtschaft und Naturhaushalt - Ausleitungsstrecken bei Wasserkraftanlagen.- Int. Symp. 19. und 20.1.1989. Veranstalter: Landesgruppe Bayern im DVWK, 316 pp.

KIEFER, B. & SCHÄLCHLI, U. (1991): Festlegung ökologisch angemessener Restwasserabflüsse. Pilotprojekt der Kraftwerke Brusio AG im oberen Puschlav.- Wasser, Energie, Luft, 9: 261-264.

LEPETIT, J.P. et al. (1988): Retenues et faune piscicole: débits réservés et transit des poissons migrateurs.- Commission internationale des grands barrages, seizième congrès des grands barrages, San Francisco: 719-750.

SCHÄLCHLI, U. (1991): Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: Ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen.- Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. Mitt. der VAW, Nr. 113 (Herausgeber D. VISCHER).

E) VIDANGES

ALABASTER, J.S. & LLOYD, R. (1980): Water quality criteria for freshwater fish.- FAO, 297 pp.

ANDERSON, N.H. & LEHMKUHL, D.M. (1967): Catastrophic drift of insects in a woodland stream.- Ecology, 49(2): 198-206.

AQUARIUS (1992): Wasserqualität der Bünz zwischen Wohlen und der Einmündung in die Aare.- Fischereibiologisches Gutachten im Auftrag des Baudepartementes des Kantons Aargau, 58 pp (unveröffentlicht).

BÄCHTIGER, O. (1981): Auflandungsprobleme in drei Ausgleichsbecken der Kraftwerke Linth-Limmern.- Internationale Fachtagung über Verlandung von Flusstauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum. Mitt. Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich: 149-155.

BUWAL (1994): Oekologische Folgen von Stauraumpülungen. Empfehlungen für die Planung und Durchführung spülungsbegleitender Massnahmen.- Schriftenreihe Umwelt Nr. 219, Fischerei, 47 pp.

EINSELE, W. (1963): Schwere Schädigungen der Fischerei und der biologischen Verhältnisse im Mondsee durch Einbringung von lehmig-tonigem Berg-Abraum. Der spezielle Fall und seine allgemeine Lehren.- Österreichs Fischerei, 1: 1-9.

FANKHAUSER, U. (1991): Abfangen von künstlich erzeugten, übermässigen Schwebstoffbelastungen in Gewässern.- Wasser, Energie, Luft, 7/8: 209-210.

FOUILLOUX, A. (1980-81): Les vidanges du fond du barrage de Gebidem sur la Massa: douze ans d'exploitation.- Bulletin technique Vevey: 57-77.

GARTMANN, R. (1990): Spülungen und Entleerungen von Stauseen und Ausgleichsbecken.- Wasser, Energie, Luft, H.1/2: 33-36.

HEUTSCHY, B. (1992): Verlandungsausräumung Eugenisee 1990. Bericht über die Auswirkungen auf das Kraftwerk Obermatt der EWLE AG.- EWLE AG, 10 pp.

KRUMDIECK, A. & CHAMOT, P. (1981): Spülung von Sedimenten in kleinen und mittleren Speicherbecken.- Internationale Fachtagung über Verlandung von Flussstauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum. Mitt. Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich: 257-270.

LIEPOLT, R. (1961): Biologische Auswirkung der Entschlammung eines Hochgebirgstausees in einem alpinen Fließgewässer.- Wasser und Abwasser: 110-113.

MÜLLER, R. & HUGGENBERGER, P. (1992): Verlandungsausräumung Eugenisee 1990. Bericht über die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Spülung des Eugenisees OW.- EAWAG, Auftrag Nr. 4725, 113 pp.

NEWCOMBE, C.P. & MAC DONALD, D.D. (1991): Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems.- North. Am. J. Fish. Mgmt. 11: 72-82.

TEBO, L.B. (1955): Effects of siltation, resulting from improper logging, on the bottom fauna of small trout stream in the southern Appalachians.- The progressive Fish-Culturist: 64-70.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1976): Quality criteria for water.- Washington, 256 pp.

VISCHER, D. (1981): Verlandungen von Flussstauhaltungen und Speicherseen. Einführung in das Thema.- Internationale Fachtagung über Verlandung von Flussstauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum. Mitt. Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich: 8-25.

F) TURBINAGE AUX HEURES DE POINTE

AMMANN, M. (1993): Das durch Wasserkraftnutzung veränderte Abflussregime eines alpinen Fließgewässers und dessen Auswirkungen auf das Makrobenthos.- Dissertation ETH Zürich.

ANDERSON, N.H. & LEHMKUHL, D.M. (1968): Catastrophic drift of insects in a woodland stream.- *Ecology*, 49(2): 198-206.

BRETSCHKO, G. & MOOG, O. (1990): Downstream effects of intermittent power generation.- *Wat. Sci. Tech.*, 22: 127-135.

BROOKER, M.P. & HEMSWORTH, R.J. (1978): The effects of release of an artificial discharge of water on invertebrate drift in the R. Wye, Wales.- *Hydrobiologia*, 59: 155-163.

JUNGWIRTH, M., MOOG, O. & SCHMUTZ, S.: Auswirkungen der Veränderungen des Abflussregimes auf die Fisch- und Benthosfauna anhand von Fallbeispielen.

MINSHALL, G.W. & WINGER, P.V. (1968): The effect of reduction in stream flow on invertebrate drift.- *Ecology*, 49(3): 580-582.

G) BASSIN DE RETENUE

BINDER, W. (1986): Beispiele zur Stauraumgestaltung aus Bayern.- in: KEMMERLING, W., Wien: 307-341.

GILNREINER, G. (1986): Strukturierung von Stauräumen.- in: KEMMERLING, W., Wien: 271-306.

GMEINHART, W. (1986): Umsetzung von naturnahen Massnahmen bei der Gestaltung der Stauräume der Kraftwerke an der mittleren Salzach.- in: KEMMERLING, W., Wien: 343-371.

KEMMERLING, W. (1986): Naturnahe Gestaltung von Stauhaltungen. 5. Seminar Landschaftswasserbau a. Techn. Universität Wien.- Wien, Inst. für Wassergüte und Landschaftswasserbau, 1986, 4105, Landschaftswasserbau Band 7.

LANSER, O. (1961): Gliederung und Morphologie der Stau- und Speicherseen.- *Wasser und Abwasser*, Bd. 1961: Zur Limnologie der Speicherseen und Flusstäue, 13-34, Wien.

REICHHOLF-RIEHM, H. & REICHHOLF, J.H. (1986): Oekologische Einbindung von Stauräumen in die Landschaft.- in: KEMMERLING, W., Wien: 51-69.

ROGGWILLER, B. (1990): Schutz natürlicher Böschungen von Flusstauhaltungen.- *Wasser, Energie, Luft*, 1/2: 15-16.

SCHACHT, H. (1986): Landschaftsökologische Vernetzung von Stauhaltungen mit dem Umland.- in: KEMMERLING, W., Wien: 207-219.

USRAEL, G. (1986): Wassergüteprobleme in Stauräumen.- in: KEMMERLING, W., Wien: 249-269.

WEBER, E. (1973): Auswirkungen durch Stauhaltungen und sonstiger technischer Einrichtungen auf den Gewässerhaushalt.- Arch. Hydrobiol./Suppl., 44 (Donauforschung 5), 184-198.

H) DETRITUS FLOTTANTS

BRETSCHKO, G. & KLEMENS, W.E. (1985): Erkenntnisse der Fließgewässerlimnologie und ihrer Bedeutung für die Problemkreise Dotationswassermenge und Schwemmgut. Studie der biologischen Station Lunz, Institut für Limnologie der österreichischen Akademie der Wissenschaften.- Schriftenr. Oesterr. Verein Förder. Kleinkraftw.: 1-25.

CHEVALLEY, M.F. et al. (1981): Etude pour l'élimination des débris flottants de la retenue de Verbois. Rapport final du groupe du travail.- Genève, 24 pp.

MORF, J. (1975): Probleme der Geschwemmselbeseitigung bei Wasserkraftanlagen am Beispiel von Aare und Rhein.- Wasser- und Energiewirtschaft, Nr. 1/2.

SCHWÖRBEL, J., PUSCH, M. & PUSCH, M.H.E. (1991): Bedeutung von partikulärem organischem Material (potentiellem Schwemmgut) in Fließgewässern. Limnologisches Fachgutachten.- Universität Konstanz, 32 pp.

I) AMENAGEMENT DES EAUX

ANSELM, R. (1986): Bauweisen und Kosten naturnaher Umgestaltung.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 97-130.

BAUDIREKTION DES KANTONS BERN (1988): Ingenieurbiologische Uferverbauungen. Bauweisen und Beispiele im Kanton Bern.- Bern, 48 pp.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1987): Grundzüge der Gewässerpflege - Fließgewässer.- Schriftenr. Bayer. Landesamt Wasserwirtschaft, H. 21: 112 pp.

BINDER, W. (1979): Grundzüge der Gewässerpflege.- Schriftenr. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, H. 10, München.

BINDER, W. (1989): Planungskonzepte zur Gewässerentwicklung in Ausleitungsstrecken.- Bayer. Landesamt f. WW., München, Inf.-Bericht 1/89.

BÖHLEN, B. (Hrs) (1983): Die Geschichte der Gewässerkorrekturen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz.- 9. Internationale Fachmesse und Fachtagungen für Umweltschutz, Wasser, Abwasser, Abfall, Luft, Lärm, Pro Aqua, Basel.

BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K. & SCHMIDT, M. (HRSG.)(1982): Taschenbuch der Wasserwirtschaft.- P. Parey, Hamburg und Berlin, 951 pp.

BÜRKLE, F. (1986): Morphologische Vorgänge und deren Bedeutung bei ausgebauten Fliessgewässern für die naturnahe Umgestaltung - Beispiele aus Baden-Württemberg.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 35-54.

CHERVET, A. & WEISS, H.W. (1990): Sohlenstabilisierung mit Blockkrampen.- Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 42.

DEPARTEMENT FEDERAL DE L'INTERIEUR (1969): Directives concernant les mesures pour protéger la pêche lors des corrections de cours d'eau.- Bern.

DEUTSCHER RAT FÜR LANDSCHAFTSPFLEGE (1989): Wege zu naturnahen Fliessgewässern. Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse eines Kolloquiums des Deutschen Rates für Landespflege.- Schriftenr. des deutschen Rates für Landespflege, Heft 58.

DIREKTION DER ÖFFENTLICHEN BAUTEN DES KANTONS ZÜRICH, AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ UND WASSERBAU, Hrsg. (1989): Kanton Zürich: Wiederbelebensprogramm für die Fliessgewässer.- Sonderdruck Nr. 1188 aus Gas - Wasser - Abwasser 89/11.

DISTER, E. (1986): Regeneration von Auwäldern im Zuge von Hochwasserschutzmassnahmen am Oberrhein - Möglichkeiten und Grenzen.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 187-194.

DVWK (1984): Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Nr. 204: Oekologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fliessgewässern. DK 627.4: Gewässerausbau. DK 574: Oekologie. Kommissionsvertrieb, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

EIDG. VERKEHRS- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT, BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1982): Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung.- Bern.

GÖLDI, CH., HOFMANN, A. & NIEDERER, H. (1989): Naturnaher Wasserbau - Fliessgewässer als Lebensraum.- Gas-Wasser-Abwasser, 69: 369-380.

GÖTZ, A. (1983): Gewässerkorrekturen im Wandel der Zeit (Ueberblick).- in: BÖHLEN, B. (Hrs), 9. Internationale Fachmesse und Fachtagungen für Umweltschutz, Wasser, Abwasser, Abfall, Luft, Lärm, Pro Aqua, Basel.

HESSISCHES MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN, NATURSCHUTZ (1985): Naturnahe Gewässer in Hessen.- Wiesbaden, 52 S.

JENNI, H.-P. (1990): Problèmes juridiques concernant les biotopes protégés et notamment la végétation des rives selon la LPN et les lois voisines.- Cahier de l'environnement n° 126, OFEFP, Berne, 41 pp.

KAUPA, H. (1986): Natur- und landschaftsbezogener Wasserbau.- in: KEMMERLING, W., Wien: 16-49.

KERN, K. (1986): Ziele, Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Gestaltung.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 1-14.

KNÖLLER, K. (1986): Naturnaher Ausbau des Goldbaches in Sindelfingen.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 195-208.

LACHAT, B. (1991): Le cours d'eau. Conservation, entretien et aménagement.- Conseil de l'Europe, Série aménagement et gestion n° 2, Strasbourg, 84 pp.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1991): Handbuch Wasser 2. Bauweisen des naturnahen Wasserbaus.- Zentraler Fachdienst Wasser - Abfall - Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt.

LANGE, G. & LECHER, K. (1989): Gewässerregelung, Gewässerpflege. Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern.- Verlag Paul Parey, 301 pp.

LARSEN, P. (HRSG.)(1986): Naturnahe Umgestaltung ausgebauter Fließgewässer. Beiträge zum wasserbaulichen Kolloquium am 14. Februar 1986 in Karlsruhe.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174.

LARSEN, P. (1986): Probleme und Lösungsansätze der Wasserspiegelberechnung von naturnahen Fließgewässern.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 131-148.

MAAG, C. (1989): Gesundes Wasser in gesundem Bett.- Gas, Wasser, Abwasser, 11: 668-669.

NEUMANN, H. (1979): Auswirkungen wasserbaulicher Massnahmen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften und das Selbstreinigungsvermögen von Fließgewässern.- Osnabr. Naturwiss. Mitt., 6: 123-161.

NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.), (1992): Das Niedersächsische Fließgewässerprogramm.- Hannover, 23 pp.

NIEMEYER-LÜLLWITZ, A. & ZUCCHI, H. (1985): Fließgewässerkunde. Ökologie fließender Gewässer unter besonderer Berücksichtigung wasserbaulicher Eingriffe.- Studienbücher Biologie, Diesterweg, Sauerländer, 224 pp.

OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN (Hrsg.), (1989): Flüsse und Bäche erhalten - entwickeln - gestalten.- Wasserwirtschaft in Bayern, Heft 21.

PECHLANER, R. (1982): Limnologie und naturnaher Schutzwasserbau.- Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 127/4: 319-336.

RADLER, S. (1986): Wasserbau im Wandel.- in: KEMMERLING, W., Wien: 3-15.

SCHEURMANN, K. (1986): Störungen des morphologischen Gleichgewichtes von Flüssen durch menschliche Eingriffe.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 15-34.

SCHLÜTER, U. (1977): Ueberlegungen zum naturnahen Ausbau von Wasserläufen.- Landschaft und Stadt, 9, H. 2: 72-83.

SCHÖBERL, F. (1989): Hydraulisch-technische Entwurfsprinzipien von Wasserfassungen im alpinen Wasserkraftbau.- Oesterreichische Wasserwirtschaft 41: 56-73.

SERVICE FEDERAL DES ROUTES ET DES DIGUES (1973): Stabilisation végétale des cours d'eau.- Berne, 39 pp.

STATZNER, B. (1986): Fliesswasserökologische Aspekte bei naturnaher Umgestaltung.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 55-96.

TÖNSMANN, F. (1986): Naturnahe Umgestaltung des Holzbaches/Westerwald.- Mitt. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, H. 174: 149-186.

TRIER, H. (1972): Vom technischen zum ökologischen Wasserbau.- Blätter f. Natur- und Umweltschutz, H. 1, 24, München.

VISCHER, D. & HUBER, A. (1982): Wasserbau. Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaues, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern.- Berlin, Heidelberg, New York.

WERDER, R. (1989): Ausgewählte Beispiele von wiederbelebten Fließgewässern. Dorfbach Hauptikon - Gemeinde Kappel am Albis.- Gas, Wasser, Abwasser, 11: 687-689.

WILLI, H.P., GÖLDI, C. & KELLER, G. (1989): Kanton Zürich: Wiederbelebungsprogramm für die Fließgewässer.- Gas, Wasser, Abwasser, 11: 670-686.

WOLF, H. (1977): Naturgemässer Gewässerbau, Erfahrungen und Beispiele Baden-Württemberg.- Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege Band 46, Stuttgart.

ANNEXE 2

Publications DIANE

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques

PUBLIKATIONEN / PUBLICATIONS

- **Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen / L'eau potable génératrice d'électricité**
Inventar und Potentialerhebung / Inventaire et étude du potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.752 d+f Preis / Prix: Fr. 10.20
- **Nutzen statt Aufgeben**
Modernisieren und reaktivieren von Klein-Wasserkraftwerken, Beurteilungskriterien.
Bestellnummer EDMZ : 805.173 d Preis: Fr. 17.35
- **Rénover au lieu d'abandonner**
Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques.
Numéro de commande OCFIM : 805.173 f Prix: Fr. 17.35
- **Pico-Kraftwerke / Pico-centrales**
Kleinste Wasserkraftwerke mit Eigenleistungen bauen. / Les toutes petites centrales à installer soi-même. 8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.196 d+f Preis / Prix: Fr. 31.60
- **Elektrizität aus Abwasser-Systemen / L'eau usée génératrice d'électricité**
Konzept, Realisation, Potential / Concept, réalisation, potentiel.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.209 d+f Preis / Prix: Fr. 16.20
- **L'eau usée génératrice d'électricité**
Dossier technique et étude du potentiel.
Numéro de commande OCFIM : 805.211 f Prix: Fr. 22.--
- **Energiebilanzen von Kleinwasserkraftwerken**
Energierückzahldauer und Energieerntefaktor.
Bestellnummer EDMZ : 805.630 d (alte Nummer: 805.760) Preis: Fr. 6.75
- **Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie**
Situationsanalyse; Bestellnummer EDMZ : 805.631 d (alte Nummer: 805.761 d) Preis: Fr. 10.90
- **Petites centrales hydrauliques et écologie des eaux**
Analyse de la situation.
Numéro de commande OCFIM : 805.631 f Prix: Fr. 10.90
- **Trinkwasser-Kraftwerke / Petites centrales hydroélectriques sur l'eau potable**
Technische Anlagendokumentation / Documentation technique.
8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.632 d+f im Druck/sous presse
- **Handbuch 1997, Kleinwasserkraftwerke**
Informationen für Planung, Bau und Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.633 d im Druck/sous presse
- **Manuel 1997, Petites centrales hydrauliques**
Informations sur la planification, la construction et l'exploitation.
No. de commande OCFIM : 805.633 f im Druck/sous presse
- **Gesamtschau Kleinwasserkraftwerke**
Ökonomische und ökologische Aspekte.
Bestellnummer EDMZ : 805.634 d im Druck/sous presse
- **Aperçu général sur les petites centrales hydrauliques**
Aspects économiques et écologiques.
Numéro de commande OCFIM: 805.634 f im Druck/sous presse
- **Fische und Kleinwasserkraftwerke / Poissons et petites centrales hydrauliques**
Kostengünstige Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen / Solutions avantageuses de franchissement pour les poissons et la microfaune aquatique.
Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM : 805.635 d+f im Druck/sous presse

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE Petites centrales hydrauliques GRUNDLAGENBERICHTE / RAPPORTS

- **Geschwemmsel bei Kleinwasserkraftwerken**
Optimierung der Wasserfassung
Wasserbauliche Massnahmen zur Verminderung des Schwemmguteintrages und Informationen für die Planung, Optimierung und den Betrieb.
Bestellnummer EDMZ : 805.636 d
- **Vernetzung bei Kleinwasserkraftwerken**
Biologisches Kontinuum der Gewässer erhalten
Untersuchungen über das Gewässerkontinuum für Fische und Kleinlebewesen.
Bestellnummer EDMZ : 805.637 d

PROSPEKTE / PLAQUETTES

- Faltpapier "Ökonomie und Ökologie bei Erneuerung": (gratis)
- "Schriftenreihe DIANE Projekt Klein-Wasserkraftwerke , Information & Beratung DIANE" /
"Publications DIANE Projet petites centrales hydrauliques,
information & conseils DIANE" (gratis / gratuit)
ab Herbst 97/dès automne 97: Bestellnummer EDMZ / Numéro de commande OCFIM: 805.638 d+f

ANFERTIGUNG AUF BESTELLUNG / PRODUCTION SUR DEMANDE

- Folienset für Hellraumprojektor "Ökologie und Kleinwasserkraftwerke" (Fr. 130.--)
- **Portrait DIANE Klein-Wasserkraftwerke /**
Portrait Projet DIANE petites centrales hydrauliques /
Ritratto Progetto DIANE piccole centrali idrauliche /
Portrait DIANE Project Small Hydro (gratis / gratuit / gratuitement / free)
- **Gesamtkonzept DIANE Klein-Wasserkraftwerke (*)** (Fr. 50.--)
- **Diverse Informationsunterlagen betreffend Kleinwasserkraftwerke / Information concernant les petites centrales hydrauliques:**
(Schweiz: Bezug bei Infoenergie. Ausland: Auskunft bei SKAT
Suisse: Commande auprès de Infoenergie. Etranger: Information auprès de SKAT)

Bezug / Commande:

Infoenergie Nordwestschweiz,
c/o Nova Energie GmbH, Schachenallee 29, 5000 Aarau

Tel. 062 / 834 03 03
Fax 062 / 834 03 23

SKAT; Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit
für Technologie-Management, Vadianstrasse 42, CH - 9000 St. Gallen

Tel. 071 / 228 54 54
Fax 071 / 228 54 55

(Preise inkl. MWSt, exkl. Versandkosten / Prix incl. TVA, excl. emballage et port)

Bezug der mit (*) markierten Publikation / Commande de la publication marquée avec (*) :

DIANE Klein-Wasserkraftwerke / DIANE petites centrales hydrauliques
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG, Postfach / Boîte postale
CH - 8910 Affoltern a/A

Tel. +41-(0)1-7621818
Fax +41-(0)1-7621815

(Selbstkostenpreise inkl. MWSt und Versandkosten / Prix de production incl. TVA et frais d'emballage et port)