

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 109 (1983)

Heft: 12

Artikel: Constructions hydrauliques

Autor: Biedermann, Rudolf

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74965>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Constructions hydrauliques

par Rudolf Biedermann, Berne

1. L'homme et l'eau

Depuis près de 10 000 ans, l'eau représente pour l'homme bien davantage qu'un simple élément vital. En effet, dès le moment où il a maîtrisé la technique de l'irrigation, l'homme a vu le rendement de ses champs s'accroître considérablement. Il en est résulté le passage de la famille autarcique à la société fondée sur la répartition du travail, avec pour conséquence la création de villes le long des rivières, d'une part parce que l'eau y était à disposition et d'autre part parce que les transports de marchandises pouvaient y être assurés le plus facilement par bateau. Plus tard les cours d'eau naturels n'ont plus suffi et l'homme a construit des canaux navigables comportant quelquefois même des écluses pour franchir les dénivellations. Les villes grandissant, il fallut bientôt les approvisionner en eau potable et organiser l'évacuation des eaux usées. Avec le temps, les installations d'alimentation en eau sont devenues toujours plus ingénieries. Comme les villes étaient bâties le long des fleuves et rivières, elles étaient soumises périodiquement aux effets dévastateurs des crues. L'homme a construit alors des digues de protection. Lorsqu'on considère ces 10 000 ans d'histoire, on constate que les points culminants des civilisations ont toujours coïncidé avec des périodes au cours desquelles l'art des constructions hydrauliques était parfaitement maîtrisé. On peut en déduire que l'aptitude de l'homme à utiliser l'eau à son profit tout en se protégeant de son action détructrice est liée intimement au développement des civilisations.

L'examen de la situation actuelle montre que l'intérêt pour l'eau s'est diversifié considérablement et que la consommation s'est accrue dans des proportions extraordinaires.

Dans les pays industrialisés, il n'y a guère de domaine ou d'activité qui ne dépende d'une manière ou d'une autre de l'eau. Ainsi, la plupart des procédés industriels ne se conçoivent pas sans eau, que ce soit pour le procédé lui-même ou pour un quelconque refroidissement. En outre l'eau est utilisée dans une large mesure pour la production d'énergie électrique: en Suisse, actuellement, 70% des besoins sont encore couverts par les centrales hydroélectriques. A l'avenir, l'utilisation de l'eau dans d'autres domaines de l'économie énergétique va même s'accroître. On mentionnera en particulier l'extraction de

chaleur des eaux souterraines ou de surface (associée à l'emploi de pompes à chaleur), le transport de chaleur récupérée (chauffage à distance), la transformation d'énergie de base excédentaire de faible valeur en énergie de pointe (au moyen d'aménagements pompage-turbine), l'extraction d'énergie géothermique ainsi que le stockage saisonnier éventuel de chaleur dans des formations rocheuses adéquates.

En Suisse, la *consommation journalière moyenne d'eau potable s'élève à près de 500 litres par habitant, alors que celle d'eau industrielle atteint 950 litres*. Lorsqu'on sait que l'homme a besoin d'environ 10 litres par jour pour vivre, hygiène élémentaire comprise, on mesure mieux l'importance qu'a prise l'eau dans la société industrielle moderne. On notera en outre que la quantité d'eau utilisée quotidiennement pour la production d'énergie électrique n'est même pas incluse dans les chiffres précédents. Ainsi, pour conserver le niveau de vie actuel et ne pas porter préjudice à l'économie, il convient d'entretenir, de renouveler et même si nécessaire de développer les installations d'exploitation des eaux, les réseaux de distribution et les centrales hydroélectriques. De nombreux ingénieurs en génie civil seront donc toujours nécessaires à l'accomplissement de ces tâches.

2. Les constructions hydrauliques — un défi à l'ingénieur

Les interventions de l'homme visant à satisfaire des besoins en eau toujours croissants entraînent forcément des modifications importantes du régime naturel des eaux. L'utilisation de ces dernières se heurte donc toujours plus souvent à des conflits d'intérêts, en particulier avec la protection de l'environnement. Une réduction sensible du régime d'une rivière se répercute négativement sur le biotope, que ce soit dans le lit lui-même ou sur les rives, de même que se perd l'influence favorable du cours d'eau sur le modèle du paysage. En outre, le pouvoir d'autoépuration du cours d'eau vis-à-vis d'impuretés naturelles ou artificielles s'en trouve réduit. La construction de barrages ou de seuils empêche la migration des poissons et modifie, qu'on le veuille ou non, le transport des sédiments. L'ingénieur spécialisé en constructions hydrauliques se doit donc d'être davantage qu'un «technicien». A chaque étape de la planification ou du projet, il doit apprécier



Rudolf Biedermann, ingénieur civil dipl. EPFZ, Dr ès sc. techn.

Bernois, 51 ans. Maturité (type C) à Berne, diplôme d'ingénieur civil à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich. De 1956 à 1964, collaborateur du Laboratoire de recherches hydrauliques et de mécanique des sols annexé à l'EPFZ. Dès 1964, entrée à l'Office fédéral de l'économie des eaux (1968: chef de la section «Problèmes d'économie hydraulique générale»; 1980: chargé de la sécurité des grands barrages). Dès 1968: chargé de cours de constructions hydrauliques à l'Ecole d'ingénieurs ETS de Berne.

de manière critique les suites des interventions prévues sur le régime des eaux. Comme il ne dispose pas toujours de toutes les connaissances nécessaires, il veillera à collaborer étroitement avec des spécialistes en la matière.

Le fait que les projets doivent être élaborés en tenant compte d'intérêts multiples et contraires, n'est pas la seule raison pour laquelle la construction hydraulique peut être qualifiée de discipline particulièrement exigeante. L'ingénieur se voit confronté avec un élément naturel dont la disponibilité dépend du hasard des conditions météorologiques, des caractéristiques particulières du bassin versant comme par exemple de la végétation, des glaciers et également des conditions climatiques actuelles. C'est ainsi que les débits résultant de précipitations comparables peuvent être très différents suivant que ces dernières tombent essentiellement sous forme de pluie ou de neige. Compte tenu des nombreuses influences en jeu, l'estimation des débits ne peut être effectuée à partir de formules générales mais doit être basée sur les résultats de mesures effectuées en des endroits donnés. Inutile de préciser que ces derniers ne coïncident que rarement avec les endroits pour lesquels les estimations doivent être faites et que les périodes de mesure sont bien souvent trop courtes pour donner une image précise des conditions locales. Force est donc de recourir le plus souvent à des extrapolations qui se révèlent d'autant plus compliquées que les sta-

tions de mesure sont situées plus défavorablement.

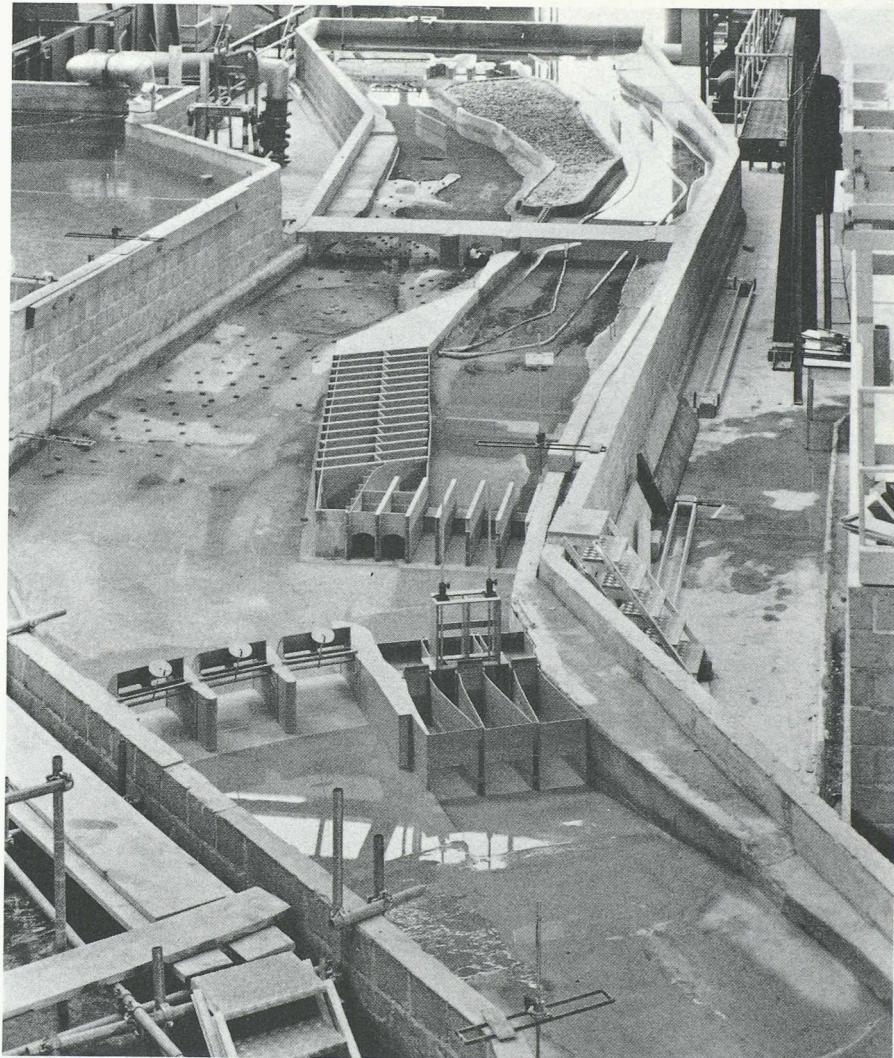
Particulièrement difficile s'avère l'estimation des débits de crues tant pour le dimensionnement des ouvrages de protection contre les crues que pour la sécurité des ouvrages à construire sur les cours d'eau eux-mêmes. Comme les crues sont des événements fortuits qui, à l'avenir, peuvent se manifester plus fréquemment que pendant la période d'observation, deux problèmes se posent, d'une part le choix de la crue de dimensionnement et d'autre part son estimation numérique. Une erreur grossière pourrait avoir des suites catastrophiques.

La conception de l'ouvrage lui-même est presque aussi difficile que l'élaboration des données hydrologiques. Ceci est dû au fait que les phénomènes d'écoulement sont loin d'être simples et les formules ne permettent que des approximations grossières. L'évolution considérable enregistrée dans le domaine du traitement électronique des données n'a apporté que peu d'aide et les essais hydrauliques sur modèles réduits demeurent aujourd'hui encore l'outil le plus précieux. Ils ne permettent cependant pas non plus de répondre à toutes les questions.

Il ressort des considérations précédentes que l'ingénieur spécialisé en constructions hydrauliques se trouve confronté à des problèmes qui sortent quelque peu du cadre de ceux attribués généralement à l'ingénieur civil. Ce n'est pas le dimensionnement statique des structures qui prédomine, mais la maîtrise d'un élément naturel capricieux. Cependant, ce contact avec la nature ne constitue pas le seul défi jeté à l'ingénieur. Les dimensions des constructions hydrauliques comptent aussi parmi les plus importantes: barrages jusqu'à 300 m de hauteur, canaux pour la navigation franchissant des dénivellations considérables pour relier des cours d'eau (comme par exemple le canal du Rhin-Main-Danube actuellement en construction), conduites d'alimentation en eau de plusieurs centaines de kilomètres, etc. En outre, des problèmes particuliers de sécurité se posent. Lorsque des masses d'eau importantes sont accumulées derrière des barrages ou circulent dans des conduites, les conséquences d'une rupture peuvent être redoutables.

3. Tâches de l'ingénieur de l'administration

L'ingénieur en génie civil est connu couramment comme projeteur et constructeur, ce qui s'applique effectivement à la plupart d'entre eux. Le grand nombre de constructions en est la preuve. Cependant des tâches importantes attendent aussi l'ingénieur dans l'enseigne-



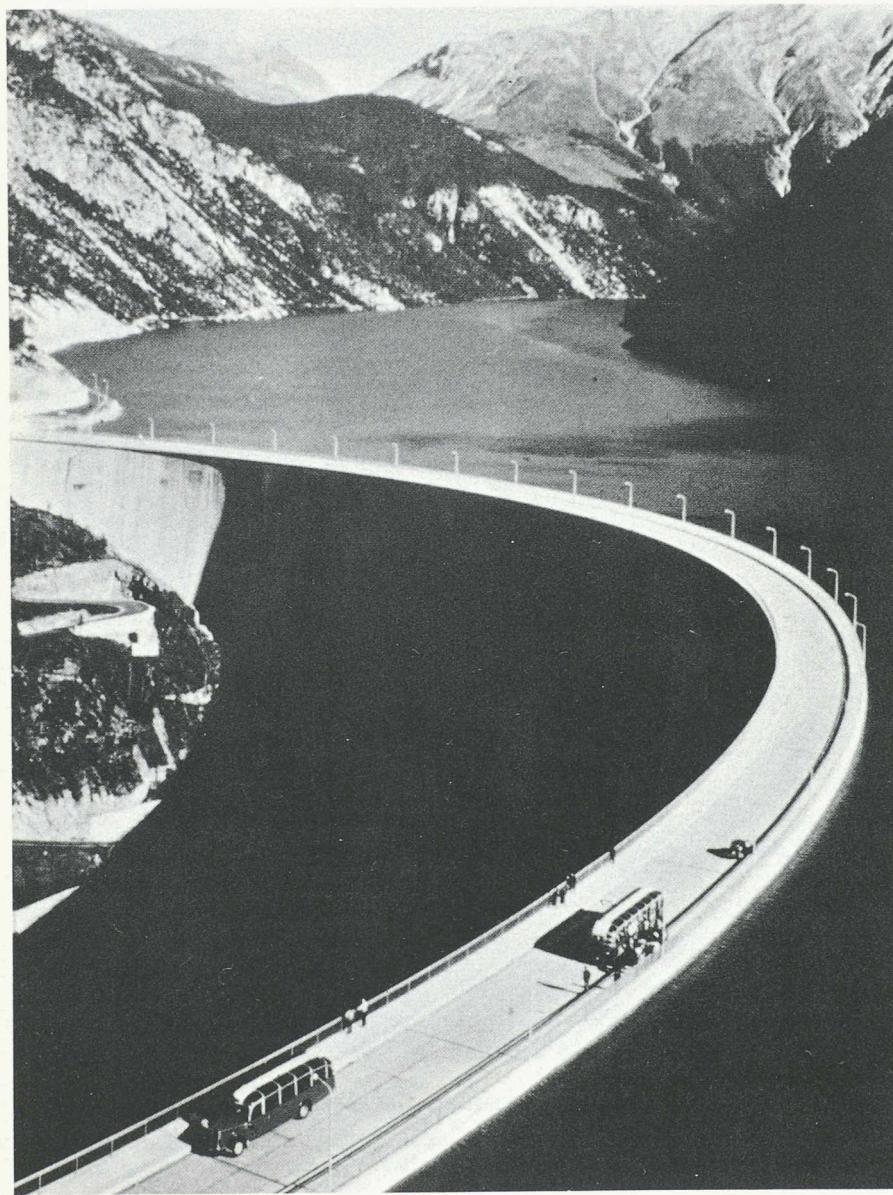
De la recherche...

(Essais sur modèle pour le futur barrage de régulation du Léman, à Genève; variante comportant une centrale électrique, EPFL.)

ment, dans la recherche, dans la direction de sociétés privées et finalement dans les services publics, dans tous les domaines relatifs à l'eau. Des exemples tirés de la carrière de l'auteur, lui-même fonctionnaire fédéral, permettront d'illustrer quelques-unes de ces autres activités. On constatera que dans l'administration les tâches actuelles et également futures de l'ingénieur sont non seulement particulièrement exigeantes du point de vue professionnel mais présentent un caractère innovateur marqué. Ceci résulte du fait que les tâches de gestion qui incombent à l'Etat ne peuvent être exercées de manière efficace au moment opportun que si les développements futurs et les problèmes connexes sont perçus à temps.

Avant d'entrer en matière il faut préciser qu'enfant déjà l'eau me fascinait, si bien que ma formation s'est orientée tout droit vers la profession d'ingénieur en génie civil. Au cours de mes études j'ai bientôt réalisé que les lois régissant le cycle de l'eau et l'écoulement naturel des cours d'eau étaient si complexes qu'elles ne pouvaient être saisies qu'approximativement par les formules à disposition. Il m'est apparu par conséquent

absolument nécessaire d'approfondir mes connaissances, dans le domaine des écoulements naturels tout au moins, avant de passer à la pratique. C'est ainsi que j'ai sollicité un poste d'assistant aux Laboratoires de recherches hydrauliques et de mécanique des terres annexé à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (aujourd'hui Laboratoires de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques) où s'offrait la possibilité de glaner quelque expérience dans le domaine des essais hydrauliques sur modèle. Ce type d'essais me paraissait particulièrement approprié au but envisagé parce que l'échelle réduite d'un tronçon de cours d'eau (1:25 à 1:100 en général), le déroulement relativement rapide d'une séquence d'écoulement et la facilité de remanier la construction analysée permettent une excellente appréciation des conditions d'écoulement. Par suite de la décision de travailler aux Laboratoires et à mon engagement, le 1^{er} janvier 1956, mon avenir professionnel s'est trouvé influencé de manière imprévue: au lieu, après peut-être deux ans de formation post-universitaire, de poursuivre mon activité d'ingénieur dans le domaine des constructions hy-



... à la réalité.

(Barrage de Punt dal Gall.)

drauliques dans un bureau privé comme projeteur puis éventuellement comme chef de travaux, je suis resté 8 ans fidèle aux modèles hydrauliques, à la fois chercheur et fonctionnaire. La principale raison en est qu'on m'avait offert la direction de la station extérieure de recherche de Würenlos après 6 mois d'activité en tant qu'assistant.

3.1 La recherche

Dans le cadre de ma nouvelle activité il m'incombait de poursuivre des travaux de recherche dont l'Office fédéral de l'économie hydraulique (aujourd'hui Office fédéral de l'économie des eaux) avait chargé le laboratoire. Il s'agissait d'améliorer les bases de calcul des ondes engendrées par une éventuelle rupture de barrage. Il était en effet nécessaire de connaître la vitesse de propagation du front d'onde et l'étendue des zones inondées pour pouvoir mettre sur pied un système d'alarme-eau en cas de rupture de barrage, système aujourd'hui réalisé. Le bombardement

partiellement réussi de plusieurs barrages de la Ruhr, pendant la seconde guerre mondiale, en était la raison.

Pour commencer les recherches, on disposait d'un modèle de 130 m de long environ, reproduisant la vallée de la Reuss du Saint-Gothard jusqu'au lac des Quatre-Cantons, modèle sur lequel figuraient également les deux retenues de Lucendro et de Göschenenalp. Mais il s'est avéré très tôt que des essais tridimensionnels proches des conditions réelles ne permettraient pas de mettre en évidence les lois complexes qui régissent soit le processus de vidange de la retenue, soit l'écoulement dans la vallée en aval du barrage. C'est la raison pour laquelle on a commencé par étudier ces phénomènes sur des modèles simples, tout d'abord bi-, ensuite tridimensionnels, sur lesquels il était aisément de faire varier systématiquement les paramètres déterminants. Ces essais ont permis de dégager les principes généraux et d'obtenir les données nécessaires à la représentation mathématique des conditions d'écoulement.

Comme dans le cas décrit ici, il se présentera toujours en pratique des problèmes qui ne peuvent être résolus de manière suffisamment sûre en se basant sur les seules connaissances disponibles. La recherche sera toujours nécessaire et ceci d'autant plus que la complexité des constructions hydrauliques croît sans cesse parallèlement d'ailleurs aux exigences en matière de sécurité concernant soit l'exploitation, soit les risques créés par les ouvrages eux-mêmes. Ainsi par exemple, dans le domaine de la sécurité des ouvrages vis-à-vis des crues, on se demande aujourd'hui si l'augmentation sensible de la fréquence des grandes crues au sud des Alpes est le résultat du hasard ou d'une modification des conditions météorologiques et hydrologiques.

La recherche a le pouvoir d'enthousiasmer le chercheur; chaque résultat obtenu l'aiguille et le pousse à faire un nouvel effort. D'un autre côté il tend à s'isoler. Du fait que son domaine de travail est très étroit, le chercheur ne trouve bientôt plus d'interlocuteur dans son entourage. Alors, selon ses prédispositions et si la recherche constitue sa seule activité, le manque de variété lui pèsera. C'est ce qui m'est arrivé et j'ai renoncé à la recherche en 1964.

3.2 L'économie des eaux

Entré au service de l'Office fédéral de l'économie des eaux je me suis vu confronté à des tâches complètement différentes, principalement du domaine de l'économie des eaux. Ce terme englobe la gestion de toutes les interventions de l'homme qui touchent à l'eau, que celle-ci soit souterraine, de surface ou météorique. L'économie des eaux comprend donc l'ensemble des activités relatives à une exploitation dirigée des ressources en eau tant sur le plan de la législation que sur ceux de l'administration et de la planification. Comme les intérêts de l'homme relatifs à l'eau sont des plus divers, les ressources en eau limitées et revêtant une importance particulière pour l'équilibre naturel, doivent être gérées de façon globale, c'est-à-dire en considérant équitablement tous les intérêts en jeu. C'est le but de l'économie des eaux, tel qu'il est prescrit par la Constitution fédérale (art. 24bis, révisé en 1975).

Dès le début, mais plus particulièrement dès 1968 lorsque j'ai été placé à la tête de la section «Problèmes d'économie hydraulique générale», je me suis trouvé confronté aux problèmes posés par l'utilisation rationnelle des ressources en eau et notamment à celui du maintien de débits minimaux convenables (débits résiduels) en aval des dérivations. À part les tâches particulières afférentes à cette époque, l'activité de la section concernait principalement la planification, avec pour but de reconnaître les conflits d'intérêts possibles

et si nécessaire de déterminer les mesures à prendre pour les éviter. Ce travail consistait à analyser l'évolution passée de la demande en eau dans les différents domaines et à estimer l'évolution probable. Les besoins en eau futurs étaient ensuite comparés aux ressources régionales disponibles. Pour ce faire, de vastes études étaient parfois nécessaires. C'est ainsi, par exemple, qu'il fallut examiner si, et dans quelles conditions, les aménagements de pompage-turbinage pouvaient contribuer économiquement à l'accroissement de la production d'énergie électrique de pointe. Il convenait en outre de déterminer les sites les plus appropriés et d'inventorier les problèmes relatifs à l'économie des eaux que l'exploitation de ces aménagements pouvait entraîner. Dans un autre domaine, il s'agissait d'étudier si le transport d'eau à longue distance pouvait apporter une solution économique intéressante au problème de la compensation des manques d'eau potable d'une région. Afin de pouvoir juger les débits résiduels, une carte des débits des cours d'eau suisses modifiés suite aux dérivations a été dressée.

L'économie des eaux est une tâche relativement récente. Mais, sans gestion globale des ressources, il ne sera plus possible dans le futur de trouver un dénominateur commun aux intérêts divergents de l'utilisation et de la protection des eaux, afin d'éviter tout effet nuisible. Comme les tâches des autorités sont par nature limitées à la planification et à la coordination, il incombe donc à l'ingénieur projeteur d'entreprendre, dans chaque cas concret, les études nécessaires souvent étendues et toujours marquées par leur caractère interdisciplinaire. L'activité de l'ingénieur spécialisé en constructions hydrauliques et qui aura encore à l'avenir à satisfaire les besoins en eau importants et partiellement nouveaux des communautés, s'en trouve ainsi considérablement élargie tandis que les exigences, elles, sont accrues. Cette phase de ma carrière s'achèvera à fin 1979 suite à une redistribution des tâches de la Confédération en ce qui concerne le domaine de l'eau.

3.3 La sécurité des barrages

En tant que chargé de la sécurité des grands barrages, j'ai maintenant à surveiller l'application de la législation en la matière. L'article 3 bis de la loi fédérale sur la police des eaux, qui en constitue la base, établit la Confédération en tant qu'autorité de haute surveillance pour ce qui touche la sécurité. Au 1^{er} paragraphe en particulier, cet article précise le mandat comme suit: «Le Conseil fédéral veille à ce que, pour les ouvrages de retenue actuels ou futurs, les mesures nécessaires soient prises pour prévenir le plus possible les dangers et les dommages qui pourraient résulter de leur mode de construction, de

leur entretien insuffisant ou de faits de guerre.»

Conformément au règlement d'exécution relatif à l'article précédent, dit règlement concernant les barrages, tous les ouvrages dont la hauteur dépasse 10 m ou ceux de plus de 5 m dont la retenue est supérieure à 50 000 m³ sont soumis aux prescriptions légales. Les barrages dont les dimensions sont inférieures à ces limites peuvent également être soumis au dit règlement lorsque la sécurité publique est en jeu. Actuellement la surveillance englobe 180 ouvrages dont, entre autres, le barrage de la Grande Dixence qui, par ses 285 m de hauteur, est le plus haut barrage poids du monde. Vingt-quatre autres ouvrages présentent également une hauteur de plus de 100 m.

En bref, les tâches de l'autorité de haute surveillance peuvent être résumées comme suit:

- définition du degré de soumission d'un nouveau barrage, ou d'un ouvrage transformé, aux dispositions particulières du règlement concernant les barrages;
- examen et approbation du projet d'ouvrages nouveaux ou de transformation;
- contrôle de l'exécution des travaux ainsi qu'approbation du programme de première mise en eau et de surveillance tout au long de cette dernière;
- réception des ouvrages;
- haute surveillance pour ce qui concerne le contrôle régulier du comportement et de l'état de l'ouvrage ainsi que de ses organes mobiles.

Comme les connaissances particulières à la construction des barrages et aux exigences de la sécurité en la matière s'améliorent sans cesse, il convient d'examiner périodiquement si un barrage, ses ouvrages annexes et son installation d'auscultation satisfont encore aux exigences de l'heure. Si tel n'est pas le cas, des améliorations seront demandées. Outre le contrôle des ouvrages, il convient d'effectuer tous les préparatifs nécessaires des points de vue matériel et organisation, pour qu'en cas d'événement extraordinaire les mesures utiles à la sécurité de la population en aval d'un barrage puissent être prises à temps. Par événement extraordinaire on entend le comportement anormal du barrage ou de sa fondation, ou une menace de chute d'une masse rocheuse, de rupture de glacier ou de glissement de terrain pouvant toucher l'ouvrage ou la retenue. Le système d'alarme-eau constitue l'ultime mesure de sécurité que l'on puisse envisager, permettant en dernier ressort d'évacuer sans heurt la population menacée.

La conception de la sécurité doit bien sûr être développée de manière à éviter

de recourir à l'évacuation, pour autant qu'on en puisse juger. Aussi convient-il d'examiner plus en détail les différents types de menace pour l'ouvrage. Si l'on excepte les dangers dus à des faits de guerre, on peut distinguer les menaces soudaines de celles qui ne se développent que lentement. Des événements naturels tels que crues, avalanches, tremblements de terre, se rangent parmi les premières. Ces événements se produisant subitement, il est indispensable que les mesures de sécurité correspondantes aient été prises antérieurement. Cela signifie que les barrages et leurs évacuateurs de crues doivent être dimensionnés en conséquence. Si une avalanche devait provoquer un déversement pardessus le couronnement du barrage, le niveau de la retenue devra être maintenu suffisamment bas pendant la période critique pour écarter tout danger. Si la surveillance d'un barrage est organisée de manière satisfaisante, les menaces autres que celles mentionnées précédemment peuvent au contraire être détectées à temps. Comme la surveillance englobe également le voisinage du barrage ainsi que les rives de la retenue, de façon à détecter éboulements, glissements de terrain et ruptures de glacier, il devrait toujours rester suffisamment de temps disponible pour prendre les mesures nécessaires dès qu'une menace est constatée. Ces mesures comprennent en particulier celles d'ordre technique, visant à enrayer le phénomène en cours mais également un abaissement partiel de la retenue ou, si nécessaire, une vidange préventive.

Ce dernier exemple d'activité ainsi que les précédents sont destinés à montrer que l'ingénieur en génie civil peut être également amené à exercer des tâches exigeantes au sein de l'administration, tâches qui ne sont pas seulement variées et intéressantes mais qui revêtent une importance particulière pour la société. Par ses connaissances professionnelles particulières, l'ingénieur en génie civil doit contribuer à minimiser les conflits entre intérêts privés et publics et à assurer une protection suffisante de certains biens essentiels.

Comme ces tâches sont permanentes, l'administration devra toujours s'assurer l'appui d'ingénieurs en génie civil disposant de vastes connaissances professionnelles et entraînés à la pensée et au travail interdisciplinaires.

Adresse de l'auteur:

Rudolf Biedermann,

Dr ès sc. techn.

Office fédéral de l'économie des eaux

Case postale 2743

3001 Berne