Constructions hydrauliques: facteur clé de la prospérité économique et du développment durable au XXe siècle

Autor(en): **Schleiss, Anton**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **125 (1999)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79627

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Constructions hydrauliques

Facteur clé de la prospérité économique et du développement durable au XXIe siècle

Par Anton Schleiss, prof., Dr
Laboratoire des constructions hydrauliques (LCH), Département de génie civil, EPFL 1015 Lausanne

Version écrite abrégée de la leçon inaugurale donnée le 25 novembre 1998 à l'EPFL

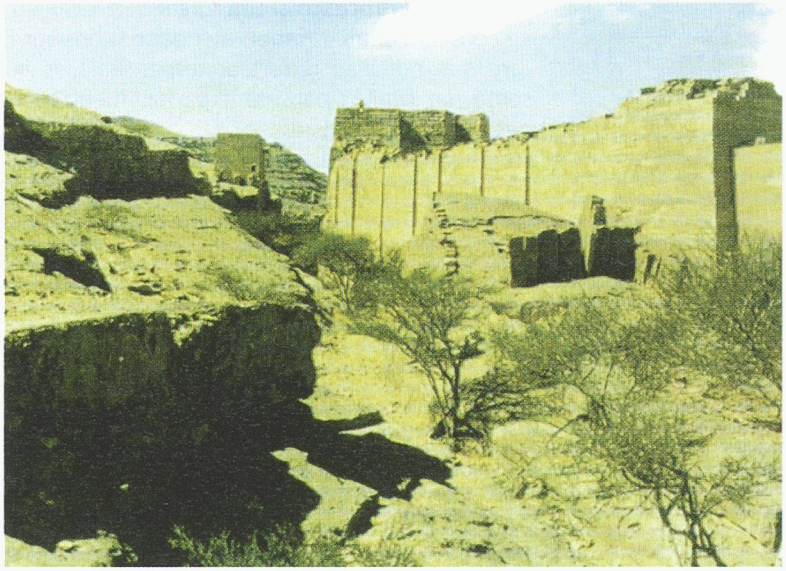


Fig. 1.– Barrage Marib au Yémen, dont la construction remonte à l'époque de la reine de Saba (VIIIe siècle av. J.C.)

Introduction

Si les flux économiques actuels peuvent donner l'impression de se nourrir de spéculation financière et de fusions d'entreprises, il ne faut pas oublier que la santé de l'économie mondiale est en réalité fondée sur des investissements et, en particulier, sur la création d'infrastructures. Parmi ces dernières, les constructions hydrauliques jouent un rôle essentiel: depuis des milliers d'années, en effet, l'homme développe des techniques d'utilisation de l'eau et de protection contre les eaux (fig. 1) et l'Histoire montre que la prospérité économique et la richesse culturelle d'une société ont toujours été étroitement liées au niveau de perfectionnement des constructions hydrauliques. L'objectif du présent article est de démontrer que les constructions hydrauliques constituent un facteur clé de la prospérité économique et du développement durable au XXIe siècle. Les diverses applications des constructions hydrauliques, puis la situation actuelle dans le monde et en Suisse ainsi que les perspectives qui en résultent sont brièvement présentées, complétées par quelques notions relatives au développement durable. Pour conclure, on rappelle le rôle capital que la Suisse peut jouer dans ce contexte, ainsi que les défis lancés à tous les acteurs travaillant dans le domaine des constructions hydrauliques.

Domaine d'application des constructions hydrauliques

L'appellation «constructions hydrauliques» englobe toutes les réalisations et interventions humaines orientées vers la maîtrise du cycle de l'eau. Elément vital de notre environnement, l'eau représente également un important potentiel destructeur, si bien que les constructions hydrauliques visent deux objectifs principaux (fig. 2):

– l'utilisation de l'eau,
– la protection contre les eaux.

Les constructions hydrauliques utilisant l'eau assurent l'approvisionnement en eau potable ou industrielle, l'irrigation, l'exploitation de l'énergie hydraulique et la navigation, tandis que les installations de protection garantissent le traitement des eaux usées, le drainage, la protection contre les crues et la protection contre l'érosion.

Situation actuelle en Suisse et dans le monde

Barrages

Les ouvrages les plus importants du domaine des constructions hydrauliques, les barrages – souvent appelés pyramides utiles – constituent un indicateur de la situation actuelle des constructions hydrauliques en Suisse et dans le monde. La figure 3 présente l'évolution du nombre total des barrages: si une forte croissance du nombre des barrages a été enregistrée après la Deuxième Guerre mondiale, depuis les années soixante-dix en revanche, un ralentissement dû à la récession économique globale a été noté. Il convient également de remarquer que dans les pays industrialisés, le nombre de sites potentiels pour l'implantation de nouveaux barrages est presque épuisé, comme c'est le cas en Suisse par exemple. Quant à l'augmentation marquante apparaissant dans les années 90, elle n'est

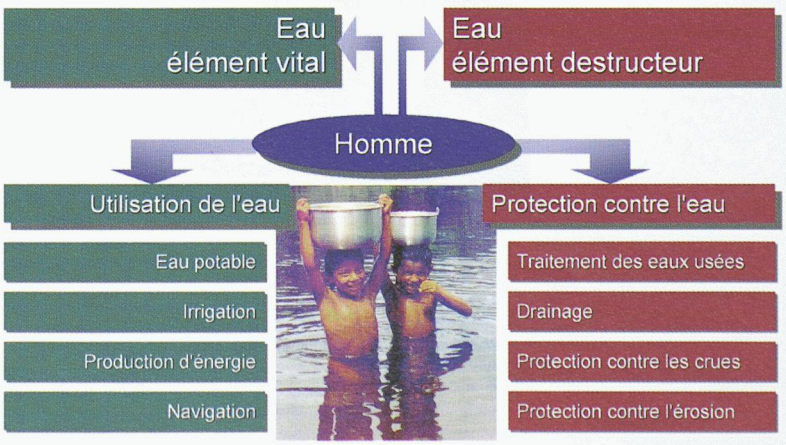


Fig. 2.– Applications des constructions hydrauliques

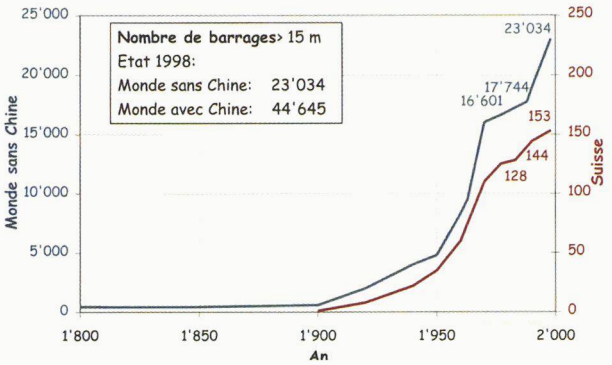


Fig. 3.– Nombre total des barrages

pas due à de nouvelles réalisations, mais résulte de la correction des statistiques après l'ouverture des pays communistes.

La figure 4 présente une rétrospective de l'évolution de la hauteur maximale des barrages en Suisse. Deux types de barrages peuvent être distingués: les barrages en béton et les barrages en remblai, c'est-à-dire les digues, dont la hauteur maximale dépasse aujourd'hui les 300 mètres (Nurek, Tadjikistan). En ce qui concerne les barrages en béton, la Suisse a occupé plusieurs fois le premier rang et le record mondial dans cette catégorie est toujours détenu par la Grande Dixence (fig. 5).

Où se construisent actuellement les grands barrages? La réponse à cette question est donnée par la figure 6 qui contient la liste des dix pays totalisant le plus grand nombre de barrages en construction. Au total, 289 barrages supérieurs à 60 m et 35 supérieurs à 150 m sont actuellement en cours de réalisation dans le monde, la tête du classement revenant à la Chine, la Turquie, l'Iran et l'Inde. En Europe occidentale, c'est l'Espagne qui est à la pointe, avec treize barrages actuellement en construction [1][1].



Fig. 5.– Barrage de la Grande-Dixence (285 m)

[1]Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article

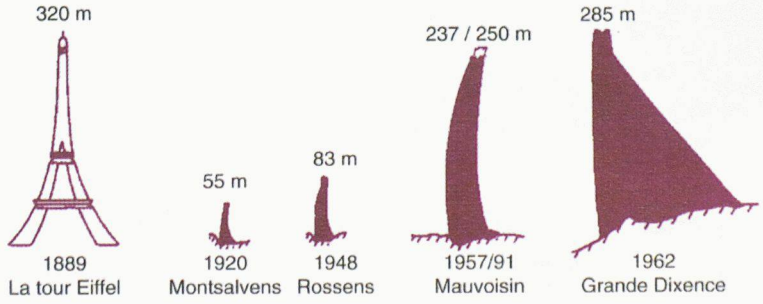


Fig. 4.– Evolution de la hauteur maximale des barrages en Suisse

Aménagements hydroélectriques

Outre les barrages, il est intéressant de se demander où l'on peut encore réaliser des aménagements hydroélectriques. Au niveau mondial, seuls 28 % du potentiel économique et 18 % du potentiel technique sont actuellement exploités. En Asie et en Amérique du Sud, moins d'un cinquième du potentiel est utilisé, tandis qu'en Afrique, l'exploitation se limite à une infime partie de l'ordre de 7 % (fig. 7). En revanche, en Europe du Nord, le développement des forces hydrauliques touche à son terme. La Suisse par exemple exploite

Hauteur > 60 m		Hauteur > 150 m	
1. Chine	88	1. Chine	6
2. Turquie	58	Iran	6
3. Japon	48	3. Inde	5
4. Iran	37	4. Japon	3
5. Inde	18	5. Turquie	2
6. Espagne	13	Ouzbékistan	2
7. Roumanie	8	7. Chili, Brésil, Philippines, Tadjikistan, Kirghizistan, Canada, Colombie, Roumanie, Suisse (Luzzone), USA, Venezuela,	11 x 1 = 11
8. Algérie	7		
9. Brésil	6		
Corée du Sud	6		
Total monde	*289*	*Total monde*	*35*

Fig. 6.– Grands barrages en construction en 1998

90 % du potentiel économique et 80 % du potentiel technique disponible.

La figure 8 illustre l'augmentation de la production électrique annuelle obtenue grâce aux aménagements hydroélectriques dans le monde. On voit que dès les années cinquante, la croissance s'est fortement accélérée et cette tendance est encore appelée à se poursuivre. Actuellement, des aménagements pouvant produire 500 TWh/a sont en construction et les prévisions données par le Conseil mondial de l'énergie indiquent que la production annuelle devrait augmenter de 2600 TWh/a aujourd'hui jusqu'à 4200 à 5000 TWh/a en 2050, selon un rythme à peu près égal à celui des cinquante dernières années [2].

Irrigation

Examinons enfin une autre importante application essentielle des constructions hydrauliques: l'irrigation. Au niveau mondial, celle-ci contribue désormais à 40 % de la production alimentaire globale sur quelque 16 % des surfaces cultivées. Depuis 1950, l'augmentation de la production alimentaire imputable à l'irrigation dépasse ainsi 80 % et ce progrès, avec la fourniture de nourriture à des prix acceptables, a considérablement réduit la pauvreté et amélioré la santé publique [3, 4].

Perspectives d'avenir pour les constructions hydrauliques

Les problèmes majeurs de l'homme au siècle prochain seront sans doute l'approvisionnement en énergie écophile et renouvelable, de même que l'approvisionnement en eau de bonne qualité et en quantité suffisante pour lutter contre la faim, la pauvreté et les maladies dans le monde.

Ces problèmes ne sauraient être résolus au seul niveau politique, par le biais de discussions et la prise de décisions: les intentions

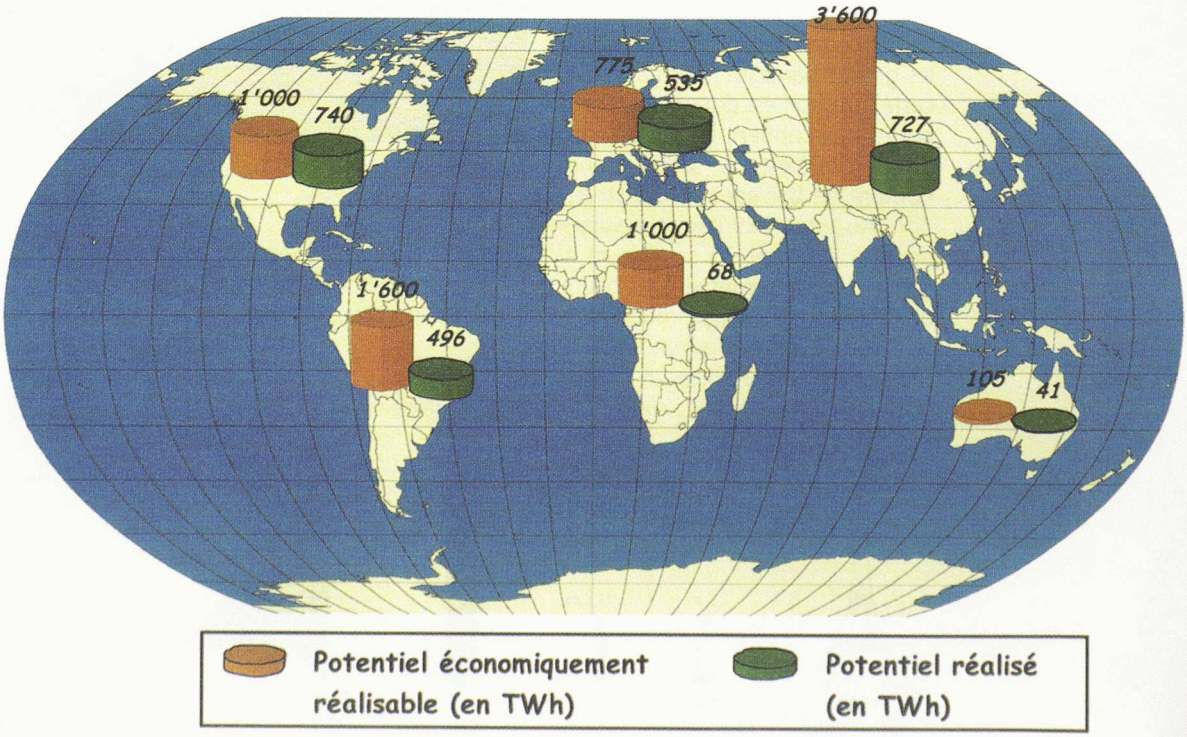


Fig. 7.– Potentiel hydroélectrique économiquement réalisable et déjà exploité dans le monde

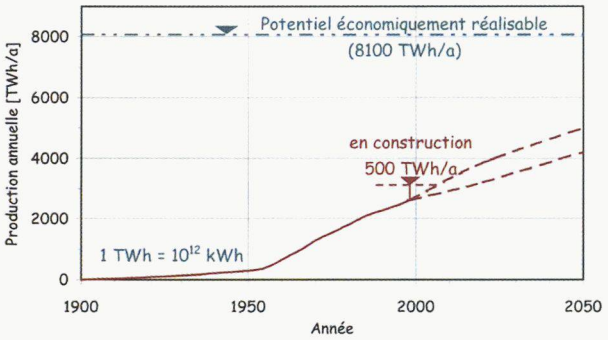


Fig. 8.– Développement de la production électrique annuelle obtenue grâce à la construction d'aménagements hydroélectriques depuis 1900

doivent forcément déboucher sur des actes, soit de nouvelles réalisations hydrauliques conçues par l'ingénieur. Analysons brièvement quelques applications des constructions hydrauliques, qui constituent un facteur clé de la prospérité économique au XXIe siècle.

Eau potable et industrielle

A l'heure actuelle, les deux tiers de la population mondiale souffrent de pénurie d'eau ou doivent se contenter de ressources dont la qualité n'est pas adéquate. Si l'on divise le volume des précipitations annuelles par la population mondiale, on obtient 21 000 m³ d'eau issus de ressources renouvelables qui sont théoriquement disponibles. Toutefois, seuls 10 %, soit environ 2000 m³/an, sont pratiquement utilisables, car comme chacun sait, il ne pleut pas nécessairement quand il devrait et il pleut souvent quand ce n'est pas souhaitable. Or pour sa survie, l'homme a besoin de 1000 m³ d'eau par an au minimum, dont la plus grande part est destinée à la production de nourriture. Il faut en effet savoir que la production de la quantité de blé permettant la fabrication d'un kilo de pain nécessite environ 1 m³ d'eau. Dans les pays industrialisés, chaque personne consomme aujourd'hui de 4000 à 5000 m³/an, mais si tous les habitants du globe atteignent ce niveau de vie ou, ce qui est encore plus vraisemblable, si la population mondiale double, la pénurie d'eau sera inévitable. Cette situation critique peut être améliorée localement par des constructions hydrauliques pour le stockage, le transfert et le traitement de l'eau.

Irrigation

Pour une grande partie de la population mondiale menacée de famine, le risque pourrait être sensiblement diminué par l'irrigation des terres arides aujourd'hui non cultivables. Pour une irrigation efficace, la création de réservoirs et de structures tels que barrages, systèmes d'adduction et de restitution de l'eau est absolument nécessaire (fig. 9).

De plus, les changements climatiques, et notamment la pollution et le réchauffement du globe, contribueront à la diminution des cultures. Il n'est donc pas exagéré de dire qu'au XXIe siècle, la pénurie d'eau pourrait être à l'origine de conflits armés.

Energie hydraulique et réserves de gisement

Comme nous l'avons déjà mentionné, le potentiel hydroélectrique n'est que partiellement exploité dans le monde. Actuellement, 20 % de la consommation totale d'électricité proviennent d'aménagements hydroélectriques, 63 % de centrales à combustibles fossiles et 17 % de centrales nucléaires.

Les besoins en énergie et surtout en électricité, énergie clé, augmentent très vite dans les pays en phase de développement économique. Une situation qui s'avère particulièrement préoccupante dans des pays émergents tels la Chine, l'Inde ou les « tigres » de l'Asie du Sud-Est, bien que ces derniers aient été récemment touchés par une crise économique sans précédent.

Au rythme de la consommation actuelle, les réserves de pétrole connues aujourd'hui seront épuisées au milieu du siècle prochain (réserves pour 60 ans) et les réserves en gaz un peu plus tard (réserves pour 70 ans). Quant aux gisements de charbon, s'ils paraissent considérables (réserves pour 270 ans), il y a lieu de remettre en question l'opportunité de les exploiter pour produire de l'électricité, compte tenu de l'effet négatif que la pollution aura sur notre environnement et le climat général [5].

Or le potentiel économique de la force hydraulique est suffisant pour remplacer une grande partie de l'électricité produite par les combustibles fossiles et plusieurs pays d'Asie et d'Amérique du Sud sont en train de développer l'exploitation d'énergie hydroélectrique avec des programmes ambitieux comme par

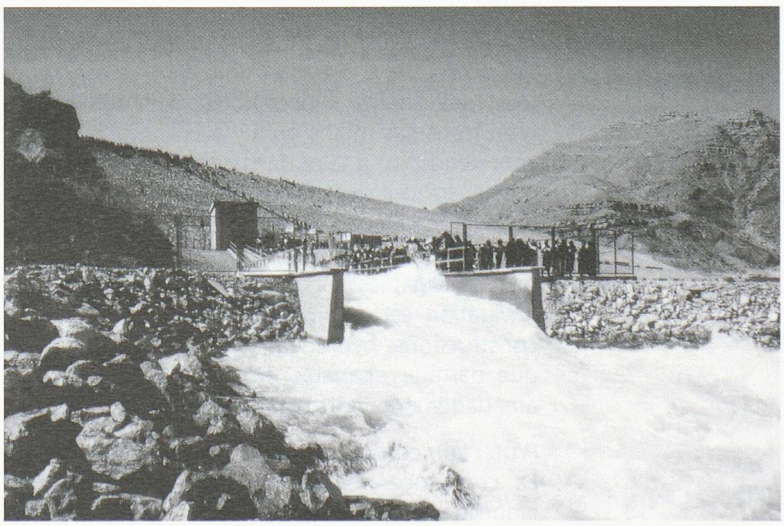


Fig. 9.– Nouveau barrage de Marib au Yémen construit dans les années 80 (Photo EWE Zurich)

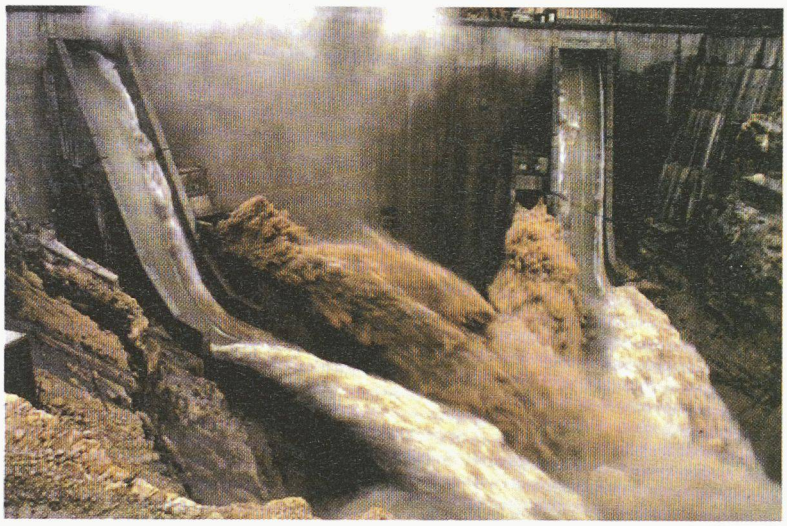


Fig. 10.– Barrage de Jiroft en Iran lors d'une crue d'environ 5000 m³/s (photo: Stucky Ingénieurs-Conseils SA)

exemple le Brésil, la Chine, l'Inde et l'Iran. Ce dernier pays, bien qu'il soit un des grands producteurs de pétrole, consent en effet des investissements étonnants dans l'hydroélectricité. Des aménagements d'une puissance totale de 7500 MW incluant 37 grands barrages sont actuellement en construction en Iran (fig. 10) et, si l'on en croit la planification, le potentiel utilisé sera augmenté de 15 % aujourd'hui à 80 % en 2020 [1].

Navigation

Le transport de la majeure partie des marchandises circulant dans le monde est assuré par les voies fluviales et maritimes et cela demeurera la règle, car le transport routier de masse a d'ores et déjà atteint ses limites supportables. Il n'en reste pas moins qu'il y a encore beaucoup à faire dans ce domaine, surtout dans les régions en développement où les réseaux fluviaux ne sont pas encore entièrement navigables. Or l'essor de la navigation est aussi tributaire de constructions hydrauliques telles que barrages, canaux, écluses et aménagements portuaires.

Protection contre les crues

La croissance démographique, à laquelle s'ajoute l'effet de serre, augmente considérablement le danger des crues avec les risques de dégâts catastrophiques qu'elles entraînent, comme on l'a vu récemment lors de l'ouragan Mitch en Amérique centrale. Les ouvrages de protection contre les inondations et l'érosion gagnent donc en importance, surtout dans les régions à forte densité de population. Suite à la crue de 1987 dans le canton d'Uri par exemple, des investissements de 320 millions de francs ont été nécessaires pour réaliser des mesures de protection et pour réparer les dommages subis par les infrastructures. Et ce montant n'inclut pas les dégâts dont les privés ont eu à pâtir.

Pour clore cette liste d'applications des constructions hydrauliques, il n'est pas exagéré de dire que l'ingénierie hydraulique conservera une importance capitale pour l'homme car ses réalisations lui permettent de satisfaire les besoins vitaux en eau – énergie – nourriture, tout en respectant l'environnement et la gestion durable des ressources.

Contribution des constructions hydrauliques au développement durable

Il existe plusieurs définitions de la notion de « développement durable », dont celle du comité interdépartemental de Rio :

Un développement est durable s'il garantit que les besoins de la génération actuelle de tous les pays et groupes de population sont satisfaits, sans porter préjudice à la faculté des générations futures de satisfaire leurs besoins, et en maintenant la biodiversité (faune et flore).

Plus concrètement, dans le cas des divers aménagements de production d'électricité par exemple, ce sont les bilans énergétiques qui peuvent donner une indication de la « durabilité » d'un développement.

Ainsi, le bilan énergétique d'un aménagement peut être exprimé par le facteur de gain, que l'on obtient en divisant l'électricité produite par la dépense énergétique totale (directe et indirecte) non renouvelable, nécessaire au fonctionnement de l'installation [6].

$$FG = \frac{E_{produite}}{E_{directe} + E_{indirecte}}$$

FG : facteur de gain
$E_{produite}$: énergie électrique produite
$E_{directe}$: énergie directe
$E_{indirecte}$: énergie indirecte

Nom	Facteur de gain d'énergie primaire	Durée de vie de l'ouvrage [ans]
Centrale d'accumulation de Marmorera / Tinzen	280	80
Centrale au fil de l'eau à haute pression	221	80
Centrale au fil de l'eau d'Aarberg	179	80
Centrale au fil de l'eau de Bannwil	170	80
Petite installation éolienne	30	15
Petite installation photovoltaïque	6	30
Centrale photovoltaïque du Mont Soleil	3	30

Fig. 11.– Facteurs de gain d'énergie primaire des aménagements alimentés par des énergies renouvelables

L'énergie directe est assez facile à déterminer. Il s'agit de l'énergie non renouvelable injectée dans l'installation pendant son opération, c'est-à-dire les combustibles. Le calcul de l'énergie indirecte est, en revanche, beaucoup plus complexe. Il s'agit de faire un inventaire de toute l'énergie cachée qui est fournie à l'ouvrage, notamment lors de sa construction, pour l'acquisition du combustible, durant l'exploitation et au moment de sa démolition en fin de vie.

Pour divers ouvrages de production d'électricité existants en Suisse les facteurs de gain d'énergie primaire ont été déterminés (fig. 11 et 12) [6]. Ce qui frappe, c'est la supériorité des centrales hydrauliques, dont les facteurs de gain, situés entre 170 et 280, sont imbattables (fig. 11). Ces chiffres sont en effet bien supérieurs à ceux atteints par les nouvelles énergies renouvelables, telle l'énergie solaire par exemple, dont les facteurs de gain sont actuellement assez faibles, bien que d'importants progrès sur le plan technique demeurent possibles.

En revanche, les installations produisant du courant électrique à partir d'agents énergétiques non renouvelables présentent des facteurs de gain tous proches de 1 et même au-dessous (fig. 12).

On constate donc que dans la perspective d'un développement durable, les aménagements hydroélectriques sont les ouvrages les plus efficaces.

Pourquoi, dès lors, le potentiel hydraulique est-il aujourd'hui si peu utilisé ? La réponse réside dans le volume des capitaux nécessaires à la réalisation d'aménagements hydroélectriques, ainsi que dans la distance souvent très grande entre les aménagements potentiels et les sites de consommation. De plus, les grands projets, surtout ceux caractérisés par des retenues importantes, sont souvent controversés en raison de leurs impacts sur l'environnement. Les stratégies pour pallier ces inconvénients sont de trois sortes :

- nouveaux types de contrats et modes de financement des projets comme par exemple BOO-BOT (*Build – Operate – Own / Build – Operate - Transfer*)
- développement de technologies révolutionnaires, basées sur la supraconductivité, pour le transport d'électricité
- prise en considération des aspects environnementaux dès les premières études d'un aménagement hydroélectrique et intégration des organisations écologistes déjà dans les phases préparatoires du projet.

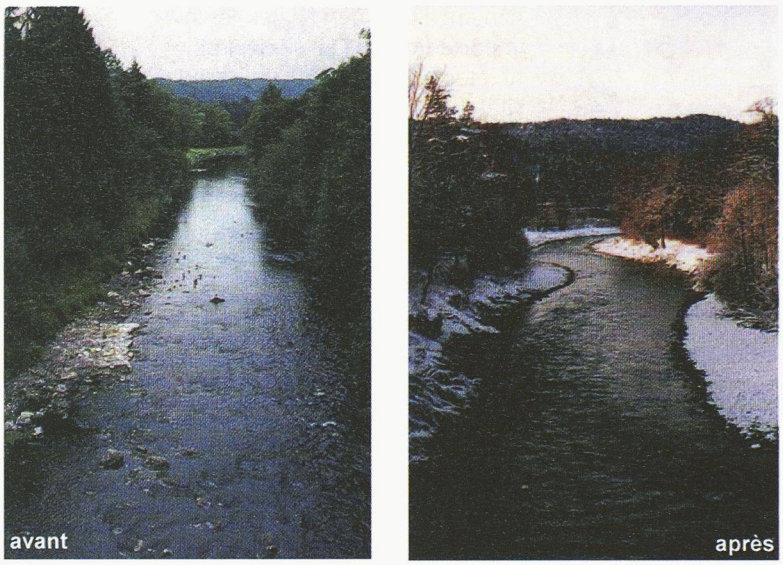


Fig. 13.– Renaturalisation des cours d'eau – la Töss dans le canton de Zurich

Nom	Facteur de gain d'énergie primaire	Durée de vie de l'ouvrage [ans]
Centrale de chauffage d'Îlot de Hardau	1.46	30
Centrale à turbine à gaz et à vapeur	1.23	20
Centrale oléothermique	0.92	30
Centrale à charbon	0.87	37.5
Réacteur à eau bouillante de Leibstadt	0.81	40

Fig. 12.– Facteurs de gain d'énergie primaire des aménagements alimentés par des ressources non renouvelables

Tâches futures dans le domaine des constructions hydrauliques en Suisse

Quelles sont les tâches futures de l'ingénieur dans le domaine des constructions hydrauliques en Suisse ? Tandis que le nombre de nouvelles réalisations dans le monde ne cesse de croître, la Suisse doit se concentrer à moyen terme sur la conservation, le renouvellement et l'optimisation des ouvrages existants. Examinons brièvement trois domaines des constructions hydrauliques en Suisse et leurs perspectives.

Protection contre les crues et renaturalisation des cours d'eau

Etant donné que le risque des dangers naturels devient de plus en plus préoccupant, la conception et la réalisation des ouvrages de protection contre les crues par exemple se situent parmi les plus importants défis lancés à nos ingénieurs. D'ores et déjà, de 200 à 300 millions de francs sont chaque année investis dans des aménagements de cours d'eau, un montant qui a fortement augmenté depuis les années huitante.

Quant à la renaturalisation des cours d'eau, elle deviendra certai-

nement l'une des tâches les plus importantes du XXIe siècle, l'objectif étant de reconstituer l'espace vital nécessaire aux cours d'eau, qui a été fortement restreint par des corrections très techniques (fig. 13). Pour ce faire, il convient de trouver le juste milieu entre le respect de la nature et les exigences de la sécurité.
Si les quarante dernières années ont été marquées par la construction des autoroutes, on peut donc, avec un brin de provocation, affirmer que les quarante prochaines années seront l'époque de la reconstruction de nos cours d'eau.

Traitement des eaux usées
La plupart des réseaux de canalisations en Suisse datant du début de ce siècle, des rénovations substantielles devront impérativement être entreprises au cours des prochaines décennies. Aujourd'hui déjà, les investissements consacrés au traitement des eaux usées en Suisse se montent à 1,1 milliard de francs par an.

Hydroélectricité
Quel est l'avenir d'une de nos principales richesses, à savoir l'hydroélectricité ? 90 % de notre potentiel hydroélectrique économiquement viable est déjà exploité. Actuellement, presque 500 centrales hydroélectriques sont en service, produisant 60 % de notre consommation d'électricité. Avec les autres 40 % encore assurés par les centrales nucléaires, la Suisse est l'un de rares pays dont la production d'électricité est exempte de rejets de CO_2. Or cet atout écologique unique ne devra pas être sacrifié après l'arrêt des centrales nucléaires existantes.
La plupart de nos grands aménagements d'accumulation avec leurs barrages datent d'il y a quarante ou cinquante ans (fig. 14). Grâce aux retenues, ces ouvrages permettent de produire de l'énergie de pointe, soit de fournir un surplus d'électricité au moment précis où la demande du réseau est la plus élevée, ce qui constitue un important facteur de compétitivité pour les échanges d'électricité au niveau international. Afin de préserver cette énergie renouvelable et précieuse, la modernisation des aménagements est indispensable au cours des prochaines décennies. Il s'agit notamment d'optimiser ces ouvrages en augmentant leur puissance et en agrandissant leurs retenues par la surélévation des barrages existants, partout où c'est encore possible. Le but de ces extensions est d'atteindre une meilleure rentabilité, argument de taille dans un marché libéralisé et privatisé. A cette fin, des investissements de 10 à 20 milliards de francs devront être consentis jusqu'en 2020.
Malgré ces besoins à moyen terme, les investissements actuels dans le domaine de l'hydroélectricité demeurent faibles. La raison principale réside dans le surplus d'électricité aujourd'hui disponible en Europe, qui est en partie dû à la récession économique, mais surtout aux exportations d'énergie par les pays de l'Europe de l'Est à des prix couvrant à peine les coûts de production. De plus, le processus de privatisation et de libéralisation du marché électrique a complètement désorienté nombre de sociétés.
La conséquence de ce sous-investissement se traduit avant tout par une perte de compétences et de savoir-faire. La restructuration, la rationalisation et la fusion d'entreprises entraînent en effet l'abandon de secteurs clés, faisant souvent partie du noyau des compétences fondamentales. Or cette politique à courte vue ne tient pas compte de nos besoins à moyen terme, et notamment de la nécessité d'entretenir, de renouveler et d'optimiser notre parc de centrales hydroélectriques.

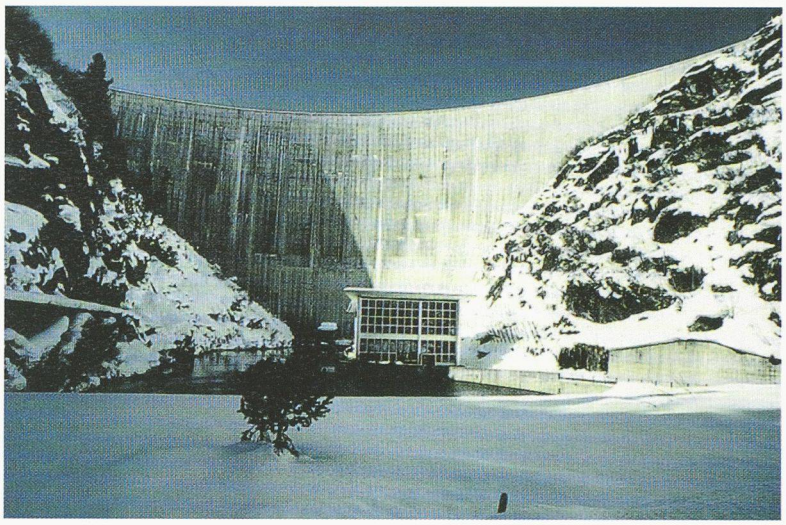


Fig. 14.– Barrage et centrale hydroélectrique d'Hinterrhein

Vision commune des principaux intéressés
Contrairement à la situation prévalant en Suisse, la demande pour la construction d'ouvrages hydrauliques est et sera très forte au niveau mondial. Logiquement donc, la stratégie qui s'impose est celle d'une expansion renforcée vers l'étranger [7].
Pour qu'elle puisse maintenir ses compétences, la Suisse a l'obligation d'aspirer à la vision suivante : *« Au siècle prochain, la Suisse assumera un rôle prédominant dans la réalisation mondiale des aménagements hydrauliques à buts multiples respectueux de l'environnement »*.
L'industrie et l'ingénierie suisses ont certainement les capacités de réaliser cette vision grâce à :

– une expérience plus que centenaire des constructions hydrauliques dans notre pays, dont les réalisations sont mondialement reconnues
– la renommée mondiale de notre industrie et de notre ingénierie travaillant avec succès dans de nombreux pays depuis les années soixante; quelque 120 grands barrages ont ainsi été conçus et réalisés par des spécialistes suisses.

Mais la réalisation de cette vision ne sera possible qu'en réunissant les compétences de tous les participants à ce marché dans un groupement d'intérêt de type « pool ». Le but d'un tel « pool » est de créer un réservoir à l'intérieur duquel on pourrait former des entreprises générales pour des aménagements hydrauliques à buts multiples.
Au niveau mondial, de nombreux projets sont de plus en plus souvent réalisés sur la base de contrats BOO/BOT (*Build - Operate - Own / Build - Operate - Transfer*) par des entreprises générales alliées à des investisseurs privés. La livraison d'aménagements et systèmes complets est devenue un modèle d'investissement important en Asie, en Amérique latine et en Afrique. Par rapport aux prestations traditionnelles que sont les études et la réalisation, les prestations d'exploitation, d'entretien et de surveillance gagnent en importance. En outre, un projet BOT inclut également le financement (fig. 15). Le « pool » pourrait faciliter la formation de grands consortiums suisses qui seraient très compétitifs et efficaces.
Où chercher les participants au « pool » ? Il s'agit de réunir les compétences de l'industrie, des entreprises de construction, des bureaux d'ingénieurs, des sociétés

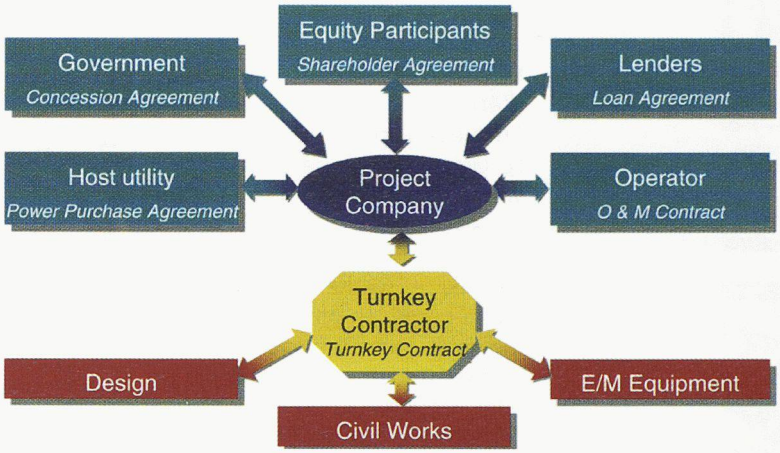


Fig. 15.– Structure typique d'un projet BOT (Build - Operate - Transfer)

de production et de distribution d'électricité, des milieux financiers et, bien évidemment, des écoles polytechniques.
Ces dernières ont un rôle particulièrement important à jouer, le défi global ne pouvant être relevé qu'à condition que la formation et la recherche soient non seulement maintenues à leur niveau d'excellence, mais également considérablement renforcées.
La formation doit permettre aux ingénieurs d'acquérir les compétences requises d'un « global player », à savoir la maîtrise des problèmes par une approche globale et multidisciplinaire, fondée sur des acquis techniques et scientifiques. Autrement dit, les programmes de formation des ingénieurs civils doivent obliga- toirement inclure les problèmes environnementaux et socio-économiques.

Conclusions

Historiquement, le bien-être de l'homme a toujours été fortement lié aux constructions hydrauliques. Pour l'avenir, il n'est pas exagéré de dire que l'ingénierie hydraulique revêt une importance capitale pour l'humanité car ses réalisations lui permettront de satisfaire des besoins vitaux et de préserver la survie de l'espèce. Parmi les autres infrastructures, les constructions hydrauliques restent certainement un facteur clé de la prospérité économique et du développement durable au XXIe siècle.
Il y a environ 2500 ans, le poète grec Pindare de Thèbes constatait déjà que :
« Le premier des biens est l'eau. »

Références

[1] *Hydropower & Dams;* 1998 World Atlas and Industry Guide, Aqua Media International 1998
[2] World Energy Council / International Institute for Applied System Analysis : « Global perspectives to 2050 and beyond », 1995
[3] Conseil Mondial de l'Eau : « L'eau au XXIe siècle », Paris, mars 1998
[4] World Water Council : « Long term vision for water life and the environment – a proposed framework », Paris, March 1998
[5] BP Statistical Review of World Energy 1998
[6] « De l'énergie naît l'électricité ; Bilans énergétiques des aménagements de production », Office fédéral de l'économie des eaux, 1997
[7] Schleiss A. : « Perspektiven der Schweiz in weltweiten Ausbau der Wasserkraft », *Bulletin SEV/VSE* 23, 1998