

- COLLEGE SAINTE-CROIX -

TRAVAIL DE MATURITE 2007-2008

---

Mel Décrevel

Classe 3F4

**La gestion de l'énergie en Suisse**

# **Les Centrales Hydroélectriques : Une ressource d'énergie à 100% fiable ?**



*Barrage d'Emosson, VS / Markus FETTE*

Fribourg, le 24 février 2008

## Sommaire

1	Introduction .....	1
2	Fonctionnement des centrales .....	2
2.1	Comment produire du courant ?.....	2
2.2	Quels types de barrages ?.....	3
2.2.1	Le barrage-voûte .....	4
2.2.2	Le barrage-poids.....	4
2.2.3	Le barrage à contreforts .....	5
2.2.4	La digue.....	5
2.2.5	La centrale « au fil de l'eau ».....	6
2.3	Quels types de turbines ?.....	6
2.3.1	La turbine Pelton .....	6
2.3.2	La turbine Francis .....	7
2.3.3	La turbine Kaplan.....	7
2.3.4	La pompe-turbine.....	7
3	L'histoire du barrage en Suisse .....	8
4	Vue sur la situation actuelle en Suisse du barrage .....	9
5	Les problèmes auxquels sont confrontés les barrages en Suisse.....	11
5.1	Les problèmes environnementaux.....	11
5.2	Les problèmes relatifs à la technique.....	12
5.3	Les problèmes relatifs à l'économie.....	15
5.4	Les problèmes relatifs à la politique .....	16
6	L'avenir du barrage en Suisse.....	16
7	Apport personnel .....	18
8	Conclusion.....	23
9	Bibliographie.....	24

## 1 Introduction

Pourquoi parler des centrales hydroélectriques à l'heure actuelle alors qu'à priori, tout le système hydraulique de notre pays, semble prêt à nous livrer le courant électrique qu'il nous faut dans les plus brefs délais ?



En effet, en Suisse, l'électricité, bien dont la demande ne cesse de croître, provient, à près de 60%, des barrages (le terme incluant les centrales « au fil de l'eau »). Il est donc très intéressant d'analyser cette filière de production de courant, la plus écologique de toutes, pour prendre conscience des problèmes auxquels elle doit faire face en traversant les décennies, mais aussi pour découvrir ce qu'elle adviendra dans un futur plus ou moins proche.

Et puis, le principe du barrage est unique et présente des tas d'avantages, notamment dans notre pays où il est simple à mettre en place grâce à nos paysages montagneux et notre capital hydraulique élevé. Comme indiqué plus haut, le barrage est aussi le moyen le plus écologique de produire du courant, ce qui est aujourd'hui très important à cause de la pollution, et de plus, son potentiel énergétique est stockable et peut alors être libéré selon la demande, ce qui le rend très souple. Le barrage assure donc évidemment une part d'indépendance énergétique à la Suisse pour le bien de ses citoyens et c'est pour toutes ces diverses raisons qu'il est par conséquent nécessaire d'y prêter attention car il ne faut pas oublier que la source d'électricité certaine, plus généralement d'énergie, n'existe pas, du moins en quantités illimitées. Il y a effectivement, comme pour toute énergie, plusieurs défis à relever pour assurer cette manière, si facile d'apparence, de produire du courant, à commencer par l'approvisionnement en eau dans le futur, en passant par le vieillissement des ouvrages, sans oublier les impacts sur l'environnement, et autres inconvénients divers encore...

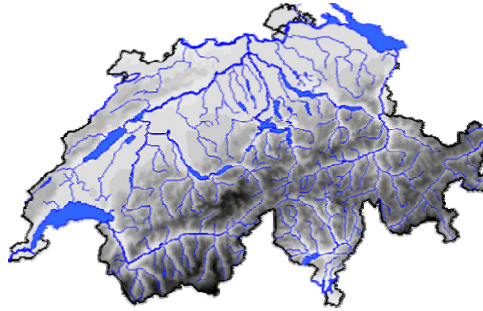


Figure 1 - Le réseau hydrologique suisse

Voilà, qui explique l'intérêt que je porte au sujet, sans oublier tout le côté technique, très intéressant lui aussi.

## 2 Fonctionnement des centrales

### 2.1 Comment produire du courant ?

Un des buts majeurs des barrages, est de produire du courant électrique et de le redistribuer à un format adapté dans les différentes lignes qui conduisent cette énergie où elle est demandée. Mais comment produire cette électricité à partir d'eau accumulée ? Voici une brève explication illustrée :

L'eau accumulée est prête à être exploitée car *son énergie potentielle de pesanteur* a atteint une valeur suffisante pour exploiter l'ouvrage.

$$E [J] = \text{masse de l'eau [kg]} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} \times \text{altitude [m]} \quad (1)$$

On ouvre donc la vanne qui mène à la turbine lorsqu'on décide de fabriquer du courant. L'eau y descend souvent en pente à travers des conduites forcées pour améliorer le rendement du barrage.

*L'énergie cinétique* accumulée par l'eau lors de sa libération vient heurter les pales de la turbine avec une force considérable, ce qui a pour effet de mettre cette dernière en mouvement

La turbine maintenant tourne, elle fournit de *l'énergie mécanique* qui va entraîner un générateur électrique, plus précisément un alternateur.

$$P [W] = \text{masse d'eau utilisée [kg]} / \text{temps [s]} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times \text{dénivelé de la chute [m]} \quad (2)$$

L'aimant est la partie mobile de l'installation. En tournant à l'intérieur d'un bobinage, il fait varier le champ magnétique et c'est ce qui produit la tension recherchée. Elle varie de 6000 volts à 20000 volts.

Finalement, pour couvrir les pertes des lignes de distribution et être régulée, elle est remaniée par un transformateur qui va l'élever, à par exemple 380000 volts. C'est maintenant de l'électricité disponible pour notre consommation !

**Remarques :**

- Certains barrages, pompent de l'eau pour remplir leurs réservoirs.
- Les centrales « au fil de l'eau » utilisent le même principe mais emploient le courant d'un cours d'eau pour entraîner leurs turbines.

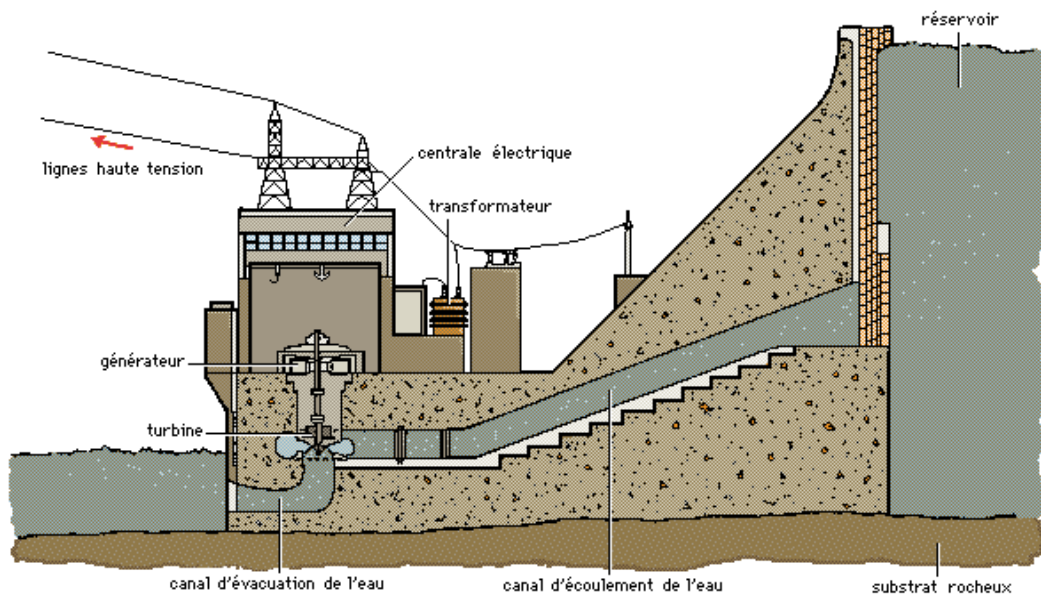


Figure 2 - Fonctionnement d'une centrale

## 2.2 Quels types de barrages ?

Il existe 5 types principaux de barrages, tous exploités en Suisse. C'est le relief du lieu, la nature du sol, les matériaux à disposition à proximité de la région ou la disponibilité de l'eau qui vont influencer le choix d'un type de barrage particulier. Cela peut aussi dépendre de leur utilité future. Il existe beaucoup de causes à la construction d'un tel ouvrage, qui vont de la simple nécessité d'avoir de l'eau à disposition à la demande d'électricité, en passant par la rétention de crues ou par l'élevage d'animaux marins. Voici ces 5 modèles :

### 2.2.1 Le barrage-voûte

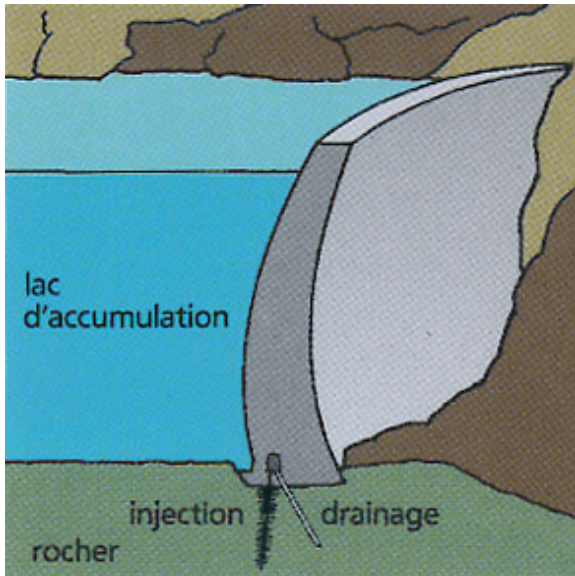


Figure 3 - Principe

C'est le plus perfectionné de tous et le plus impressionnant, avec sa double-courbure. Sa résistance tient dans le fait que les forces de poussée exercées sur sa paroi se voient retransmises sur les roches latérales qui le bordent.



Figure 4 - Barrage de Rossens, FR

### 2.2.2 Le barrage-poids

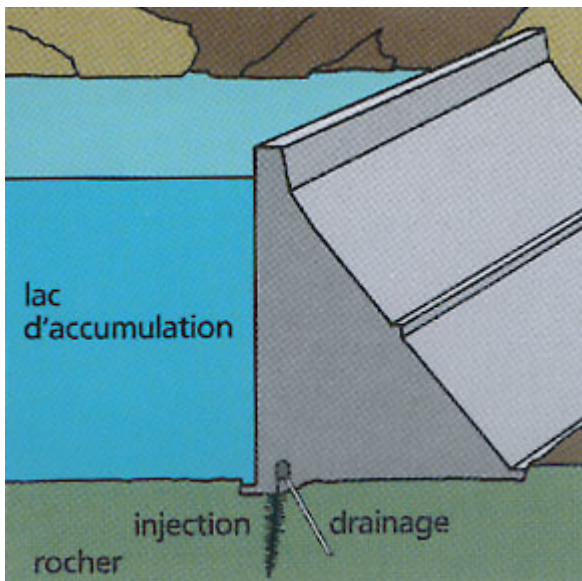


Figure 5 - Principe

Le barrage-poids est une construction très massive. Sa seule masse est capable de retenir l'eau de son lac d'accumulation. Parfois, cet ouvrage est mixé avec un barrage-voûte pour combiner la répartition des forces de poussée.



Figure 6 - Le barrage de Oberaarsee, BE

### 2.2.3 Le barrage à contreforts

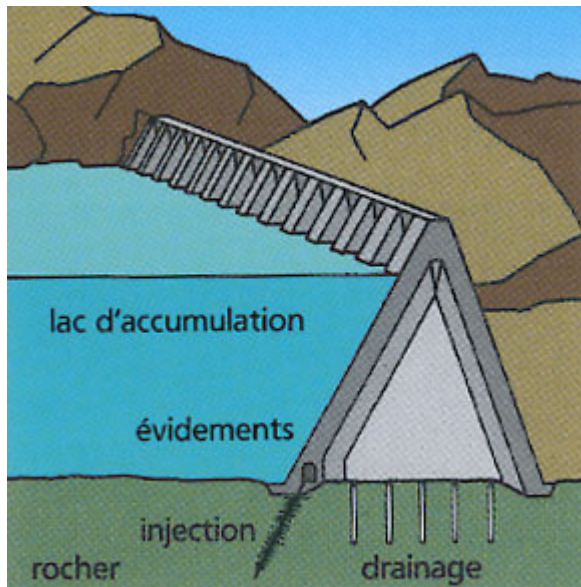


Figure 7 - Principe

Ce type de barrage est constitué d'un mur en béton au profil triangulaire qui assure sa robustesse grâce à des contreforts solides qui reconduisent l'effort du barrage sur le sol. Le but des contreforts est d'économiser du béton.



Figure 8 - Le barrage de Lucendo, TI

### 2.2.4 La digue

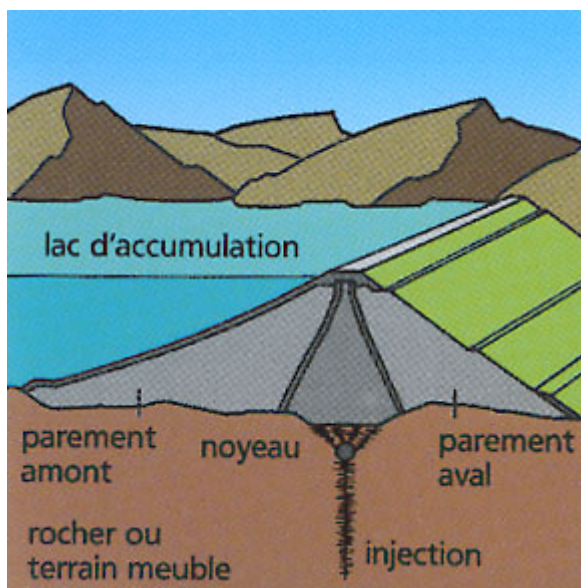


Figure 9 - Principe

Ce type de barrage est beaucoup plus large que les autres. C'est son centre qui est étanche alors que ses remblais de terre ou de roche lui servent à retenir les forces que l'eau exerce.

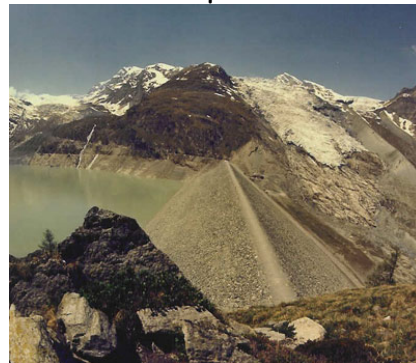


Figure 10 - La digue de Mattmark, VS

## 2.2.5 La centrale « au fil de l'eau »

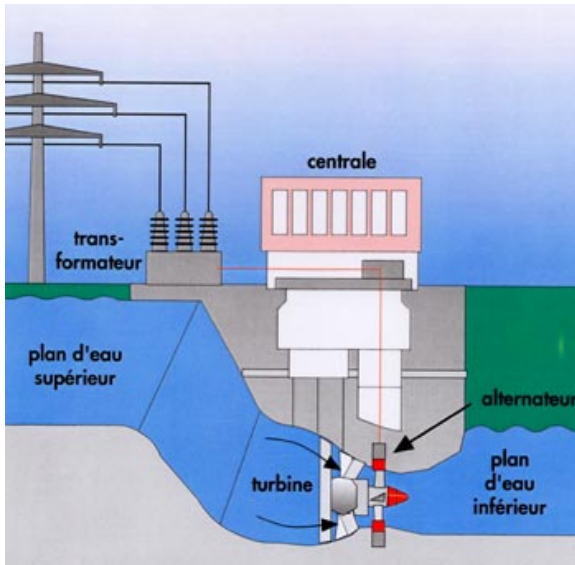


Figure 11 - Principe

C'est un type particulier de barrage, mais non des moins importants dans notre pays. Installée le long d'un cours d'eau, la turbine tourne toujours grâce à l'énergie cinétique de l'eau, comme dans les barrages plus classiques. Parfois, avant que l'eau n'arrive vers la turbine, on lui fait gagner de la pression grâce à un léger dénivelé, comme sur l'illustration ci-contre.



Figure 12 - Centrale de Birsfelden, BS

## 2.3 Quels types de turbines ?

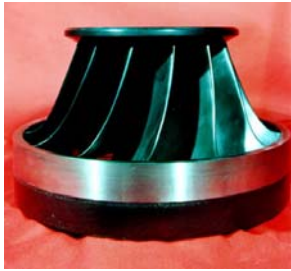
On distingue 4 types de turbines principaux, plus un système de pompage-turbinage utilisé par certains barrages. On choisit une turbine principalement par rapport à la hauteur de chute de l'eau ou encore selon la productivité qu'on attend de cette dernière une fois en place.

### 2.3.1 La turbine Pelton



Ce type de turbine, permet d'exploiter des chutes très hautes (jusqu'à 1800 mètres) et de récupérer 90% de l'énergie cinétique de l'eau. La turbine est placée soit verticalement, soit horizontalement et l'eau frappe ses pales avec un angle de  $180^\circ$ , souvent à plusieurs endroits en même temps !

### 2.3.2 La turbine Francis



C'est le type de turbine le plus répandu mais aussi le plus étudié. Elle a été conçue pour traiter plusieurs hauteurs de chute. L'eau y accède de côté par un conduit permettant d'augmenter sa pression et en sort à vive allure en retransmettant également environ 90% de son énergie cinétique aux pales.

### 2.3.3 La turbine Kaplan



Comparable à l'hélice d'un bateau, cette turbine présente un avantage non négligeable. Grâce à des pales orientables, on peut jouer sur son rendement (aussi de l'ordre de 90% au maximum) et ainsi diminuer les machineries pour une même quantité d'eau exploitée. Elle est utilisée sur des chutes plus petites, principalement sur les cours d'eau. *Le groupe bulbe* est une évolution de cette turbine qui est destinée aux grands débits à faible chute. Sa spécialité réside dans le fait que l'eau la traverse plus rapidement.

### 2.3.4 La pompe-turbine

Il s'agit d'une pompe à gros volumes d'eau pouvant utiliser son moteur comme alternateur et ainsi produire du courant si l'eau la traverse dans le sens inverse du pompage.

### 3 L'historique du barrage en Suisse

Voici quelques dates clés relatives à la progression du barrage moderne en Suisse :

-1695 : À Roche, dans le canton de Vaud est construit un barrage arqué haut de 8 mètres destiné au flottage du bois.

-1872 : À Fribourg, le premier barrage en béton de Suisse voit le jour. Il s'agit d'un barrage-poids, encore aujourd'hui en exploitation après quelques rénovations, le barrage de la Maigrauge, qui est haut de 24 mètres, long de 195 mètres et qui forme le lac de Pérolles.



*Figure 13 - Le barrage de la Maigrauge*

-1894 : Les 40 plus grandes communes de Suisse sont déjà chacune en possession de petites centrales hydroélectriques locales.

-1920 : À Montsalvens, une fois de plus dans le canton de Fribourg, on met au point le premier barrage-voûte d'Europe à courbure non seulement horizontale mais aussi verticale.

-1928 : Heinrich Gruner fonde la Commission Suisse des Barrages avec 5 autres personnages. Elle a pour but de résoudre les problèmes de parcours et récolte des informations sur les ouvrages.

Durant les années 30 et la seconde guerre mondiale, on a préféré construire des barrages à contreforts pour économiser des matériaux.

-1948 : La Commission Suisse des Barrages prend plus d'importance et devient le Comité Suisse des Barrages.

-1950 à 1970 : La forte reprise économique booste la construction des barrages - on en construit près de 80 avec une hauteur supérieure à 15 mètres. C'est

notamment dans cette période (en 1961) que naît le plus grand barrage-poids du monde : la Grande-Dixence avec ses 285 mètres de hauteur.

Depuis, la construction de barrages a fortement freiné.

## 4 Vue sur la situation actuelle en Suisse du barrage

L'office fédéral de l'énergie chiffre la consommation suisse de l'année 2006 à *57,8 milliards* de kilowattheures d'électricité. À titre représentatif, c'est l'énergie nécessaire pour allumer une ampoule de 60W plus de 114 millions d'heures. Mais la production totale de courant dans notre pays, elle, se monte à *62.1 milliards* de kilowattheures. Notons que *2720 GWh* ont été utilisés pour le pompage d'accumulation, ce qui nous mène à une production nette de *59,4 milliards* de kilowattheures d'énergie électrique.

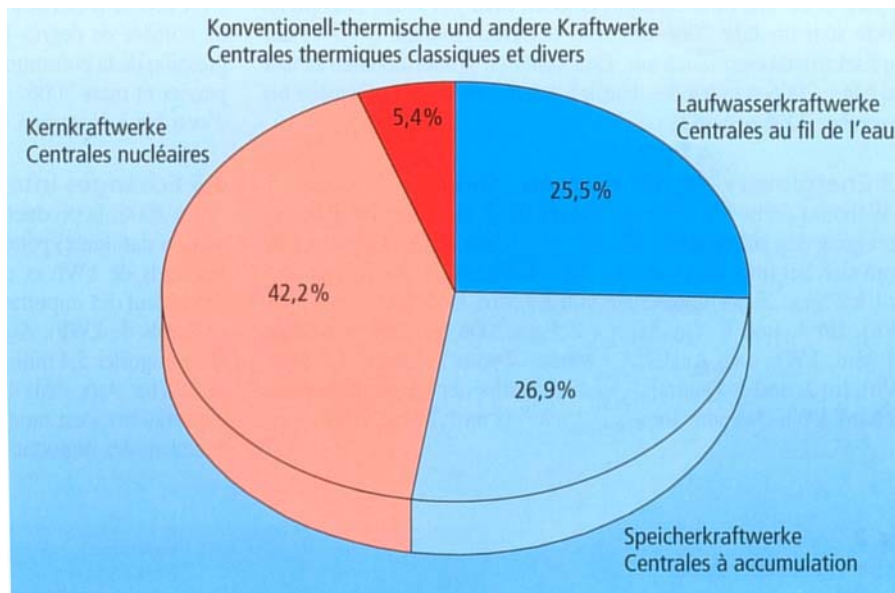


Figure 14 - Répartition des types de centrale

Les centrales hydroélectriques ont produit 52,4% de cette énergie totale, c'est-à-dire 32557 GWh, toujours selon la même source.

- 25.5% provient des centrales au fil de l'eau
- 26,9% des centrales à accumulation

On dénombre en Suisse 527 centrales hydroélectriques d'une puissance égale ou supérieure à 300 kW. Elles constituent les 99,5% de la production hydroélectrique suisse.

A titre anecdotique, il est aussi intéressant de remarquer qu'en 1975, les usines hydroélectriques de notre pays ont produit plus de 1000 GWh que durant l'année 2006, preuve de notre spécialisation dans le domaine depuis longtemps. Pour ce, voici un graphique, aussi fait par cet office, qui illustre très bien la place importante de l'énergie d'origine hydraulique en Suisse au fil des décennies :

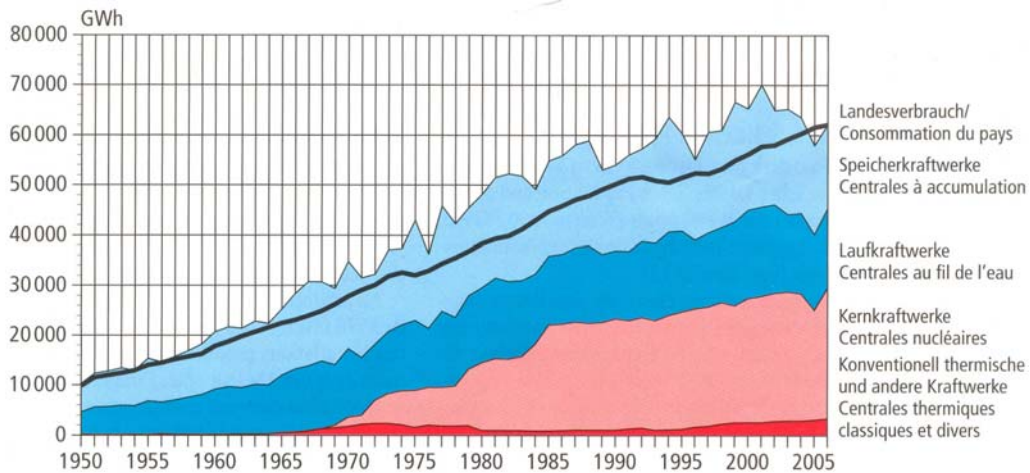


Figure 15 - Evolution de la répartition des provenances

Ici, grâce à cette autre illustration créée par l'association des entreprises électriques suisses, l'AES, on devine facilement les rôles des différentes centrales hydroélectriques :

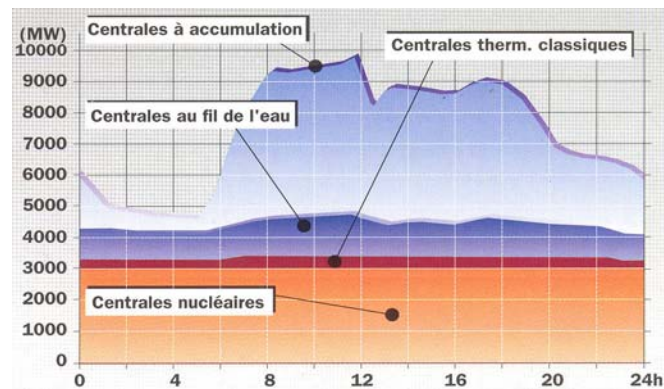


Figure 16 - Exploitation des divers types de centrale

Les centrales à accumulation sont exploitées pour répondre aux pics de la demande (de 8h à 12h environ).

Les centrales au fil de l'eau, elles, complètent la production linéaire des centrales nucléaires.

Et pour conclure dans la série des données chiffrées, un graphique qui montre en moyenne le taux de remplissage des bassins d'accumulation durant une année complète (à nouveau créé par l'AES) :

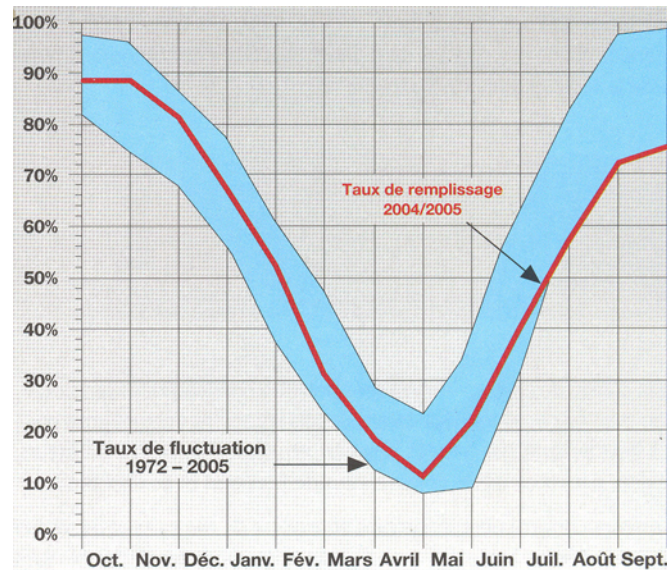


Figure 17 - Taux de remplissage

Les bassins sont pleins peu avant le début de l'hiver. C'est la chaleur de l'été qui a fait fondre neige et glace. On turbine les réserves d'eau durant l'hiver car c'est la période de l'année où nous consommons le plus de courant. Aussitôt les bassins vides, la chaleur de l'été leur permet de se remplir à nouveau.

## 5 Les problèmes auxquels sont confrontés les barrages en Suisse

### 5.1 Les problèmes environnementaux

1. D'abord, inutile de le rappeler, un barrage a besoin d'eau pour fonctionner. C'est donc un des points sur lesquels il faut particulièrement veiller lorsqu'on exploite un tel ouvrage, puisque la productivité de ce dernier va dépendre directement du volume d'eau à disposition pour les turbines donc du cycle de celle-ci !

Si les précipitations d'une région sont trop faibles pour alimenter le réseau d'eau qui remplit un bassin de retenue, la production du barrage se verra alors diminuer. Il va de soi que les spécialistes font tout pour maximiser le rendement des installations mais si la météo n'y met pas du sien, rien n'est possible.

De plus, nous devons et devons, de plus en plus faire face au réchauffement climatique général. Dans une futur proche, il peut entraîner une fonte rapide de nos glaciers et sommets enneigés, ce qui serait formidable pour l'alimentation des bassins de retenue mais lorsque il n'y aurait plus rien à faire fondre, il ne resterait plus beaucoup de cours d'eau capables de remplir le réservoir d'un barrage... Voilà pourquoi il vaudrait mieux pour nous ne pas provoquer de gros changements climatiques capables d'avoir de l'influence sur le cycle actuel de l'eau.

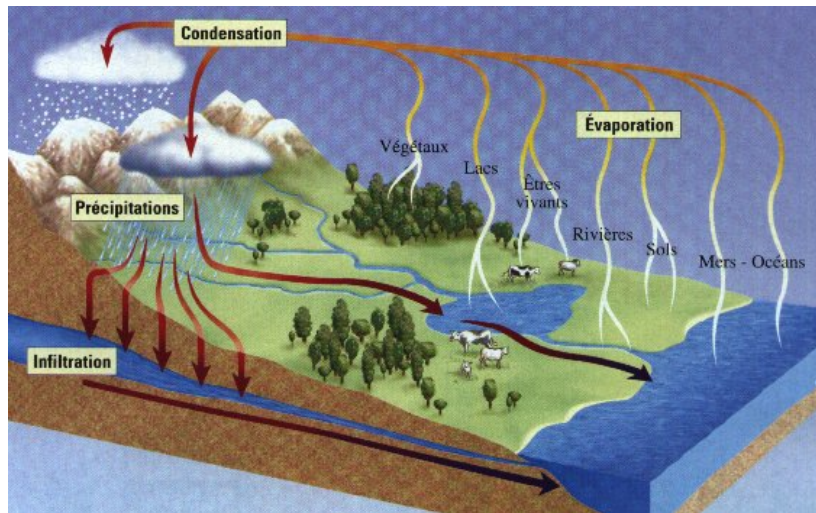


Figure 18 - Petit rappel sur le fonctionnement du cycle de l'eau

2. Les lacs artificiels et bassins de retenue des barrages ont une certaine influence sur quelques facteurs de l'écologie locale. En premier lieu sur l'eau. Avec un barrage elle s'expose principalement à des changements de température, de teneur en minéraux et de propreté. Toutes ces modifications sur son caractère peuvent avoir des répercussions sur la faune et la flore d'une région donnée.

Puis, ensuite, un lac de retenue a tout comme un lac naturel, des impacts sur le climat.

On étudie encore en Suisse les multiples influences des barrages sur l'environnement à l'heure actuelle et on tente de comparer les conclusions obtenue avec le confort que l'électricité offre...

## 5.2 Les problèmes relatifs à la technique

Dans un pays évolué comme le notre, il va de soi que la sécurité ne passe pas au dernier rang des priorités. Les barrages font ainsi constamment l'objet d'une

surveillance professionnelle. On doit veiller à ce qu'ils soient toujours prêts à affronter les nombreuses sollicitations qu'ils connaissent. Les voici :

**Le poids propre de l'ouvrage :** Les matériaux utilisés lors de la construction de barrages ne sont pas des plus légers. Il faut donc que la construction ait la capacité à les maintenir debout solidement.

**La pression de l'eau :** Les retenues pleines, suivant leur profondeur, la pression s'exerçant sur les parois des barrages devient énorme (elle équivaut à plusieurs milliers de tonnes !). Il faut surveiller que l'ouvrage ne se déforme pas plus que ce que les ingénieurs préconisent pour que l'ouvrage ne risque pas de céder. De plus, il arrive parfois que lors de crues le niveau limite de la retenue soit dépassé. C'est aussi une sollicitation à anticiper. Notons qu'en Suisse les barrages sont équipés d'un vidangeur de fond pour vider la retenue à volonté et d'un évacuateur de crue qui permet à l'eau de se déverser de l'autre côté de la retenue lorsqu'elle atteint un niveau limite.



*Figure 19 - Evacuateur de crue*

**Les sous-pressions :** Il y a toujours de l'eau qui s'infiltré sous le barrage. Suivant à quelle échelle, elle exerce une pression supplémentaire à l'ouvrage.

**La température :** Pour beaucoup de structures et de matériaux, la température joue un rôle dans leur « élasticité ». Sur un barrage, c'est aussi quelque chose qu'il faut contrôler et prévoir au stade de la construction. Les matériaux utilisés

doivent résister aux températures élevées comme aux plus basses sans pour autant se déformer plus que ce qu'il ne faudrait.

Elle peut aussi entraîner la formation de glace à la surface des retenues et ainsi augmenter indirectement la pression que l'ouvrage doit retenir.

**Les sédiments :** La plupart du temps, l'eau qui sert à remplir les bassins de retenue est fortement chargée en sédiments car elle provient des cours d'eau des alentours et n'est pas filtrée lorsqu'elle arrive à l'ouvrage... Ils s'accumulent donc au fond du bassin et il va de soi qu'ils ajoutent, une fois en forte quantité, de la pression sur l'ouvrage. Remarquons qu'on peut les évacuer par le vidangeur de fond.

**Les séismes :** En vivant dans un pays montagneux, on s'expose naturellement aux phénomènes des tremblements de terre. Certes, en Suisse ils ne sont pas de forte amplitude mais les forces alternées rapidement qu'ils imposent aux barrages ne sont pas négligeables et doivent être prises en compte lors du calcul de la résistance nécessaire de l'ouvrage pour éviter tout accident.

Toutes ces agressions ci-dessus fondent la difficulté de la construction des barrages. Il faut toujours lors de la construction d'un barrage prévoir un terrain, une zone qui sera capable de supporter l'ouvrage avec les pressions qu'il entraîne et une fois en place, le surveiller pour que rien de grave ne puisse se produire. Ces agressions contribuent aussi au vieillissement, à l'usure du barrage. Les sédiments usent les turbines, aussi attaquées par un phénomène nommé la cavitation (effet destructeur des bulles de vapeur d'eau lors de leur implosion suite aux différences de pression lors de la phase de turbinage) et le béton vieillit progressivement.



*Figure 20 - Turbine usée*

La durée de vie d'un barrage est difficile à prévoir car tout dépend de la qualité des matériaux et de l'emploi de ce dernier mais les spécialistes s'entendent pour dire que tout ouvrage tient plus de 80 ans.

### 5.3 Les problèmes relatifs à l'économie

Un barrage doit aussi affronter diverses réalités économiques comme tout producteur. Lorsqu'on veut construire un tel ouvrage, il faut être « sûr de son coup ». Suivant sa grandeur, il engendre un coût énorme - plusieurs dizaines de millions - qu'il faudra pouvoir amortir raisonnablement. Il faut alors être convaincu qu'à l'endroit où il se situera, sa rentabilité sera assurée et que sa production permettra de couvrir tous les frais qu'engendrera son entretien (main d'œuvre, matériaux, installations de surveillance...). Le coût moyen de production de 1 kWh est estimé en Suisse à 6 centimes. Son prix de vente dépend naturellement de la demande, qui, rappelons-le, a tendance à augmenter sur le long terme, et de la disponibilité des barrages.

Un second problème, lié cette fois-ci à l'économie touristique fait aussi surface : La beauté de l'environnement.

Certains écologistes prétendent que les modifications de tracées de cours d'eau pour l'alimentation des bassins de retenue nous mène vers une disparition des cours d'eau sauvages d'autrefois et que nos régions perdent du charme. C'est un argument valable mais il faut savoir que dans notre pays seul environ 5% du réseau des cours d'eau est exploité à des fins énergétiques.

Et il y a aussi les façades des bassins de retenue. Grandes, imposantes dans le paysage, grises, menaçantes... Elles ne sont pas un atout pour la beauté locale. Il existe néanmoins des régions astucieuses qui ont développé un commerce touristique en utilisant les lacs de retenue comme curiosité, comme par exemple à Emosson en Valais, où on a utilisé l'ancien funiculaire des ouvriers pour en faire une attraction qui mène au barrage. On peut s'y promener, se restaurer et acheter des souvenirs.



Enfin, les divers ouvrages que l'on construit sur les cours d'eau peuvent poser des problèmes de circulation à la navigation et avoir des répercussions sur l'économie locale. Ce dernier problème n'est que mineur dans notre pays.

#### **5.4 Les problèmes relatifs à la politique**

La politique s'intègre en quelque sorte dans tous les problèmes cités ci-dessus : Ce sont les politiciens qui donnent leur feu vert à l'exploitation d'un barrage et il faut donc s'attendre à ce que les décisions à prendre ne soient pas rapides. Ils doivent vérifier que l'exploitant du barrage respecte les lois en vigueur, régulièrement mise à jour, qui existent pour garantir la sécurité de la population et de l'environnement. Il faut aussi qu'ils analysent les impacts sur l'ensemble de l'économie publique. Si un désaccord survient, tout peut alors être retardé, tant lors de chantiers de constructions, de rénovations ou simplement à la suite de contrôles de routine effectués par des experts.

### **6 L'avenir du barrage en Suisse**

Comme nous l'avons vu au travers des chapitres précédents, l'énergie d'origine hydraulique a une situation importante en Suisse de part sa grande contribution à la satisfaction de notre demande interne en courant électrique et donc à l'indépendance qu'elle nous assure.

Le but étant de privilégier des systèmes écologiques pour garantir notre « confort énergétique » en évitant de souiller notre planète, on peut d'avance mettre de côté l'hypothèse d'une éviction de ce moyen de production de courant dans notre pays, en tout cas dans le court et moyen terme. On va peut-être construire d'autres barrages, surtout des centrales « au fil de l'eau », mais ce qui est certain c'est que les ouvrages actuels vont continuer à être entretenus, révisés et agrandis pendant plusieurs décennies encore. On améliore aussi constamment le rendement de nos installations, grâce à une gestion toujours plus pointue et aux progrès techniques. Par conséquent, sur le long terme, à condition d'avoir encore de tels quantités d'eau à disposition, si on arrive à stabiliser voir à diminuer la consommation des ménages et entreprises et qu'on cherche toujours à diminuer nos rejets de gaz et de déchets toxiques, le barrage pourrait prendre un place encore plus importante que celle qu'il détient aujourd'hui.

Au passage, remarquons que l'objectif de la Confédération, pour 2030 déjà, est d'augmenter la production moyenne de l'hydroélectrique d'au moins 2'400 GWh, ce qui représente environ une augmentation de 7% par rapport aux valeurs de l'année 2006. Par quels moyens ? En développant la « mini-hydraulique » (les centrales au fil de l'eau) et en améliorant la rentabilité des installations.

Toutefois, ces chiffres sont contredits sur le site d'Axpo, une grande entreprise suisse d'approvisionnement en électricité, qui prévoit une augmentation de la production moyenne annuelle de courant d'origine hydraulique ne dépassant pas les 700 millions de kWh par année jusqu'en 2025, soit de 2%, à cause des futures lois sur l'eau. Aucune mentions ne sont faites sur ces dernières.



## 7 Apport personnel

Dans le cadre de ce travail, un entretien avec le responsable technique des barrages du Groupe E, Monsieur Jean-Claude Kolly, à été réalisé. Merci à ce dernier pour sa disponibilité et son engagement !

La discussion s'est tenue à Broc, au bureau de l'entreprise. Elle était divisée en 13 parties ; chacune traitant une question précise relative au domaine de l'hydroélectricité en Suisse.



Figure 21 - Electrobroc

Ci-dessous, les questions avec leurs réponses (points clés relevés et reformulés) :

*1. Sait-on combien d'énergie potentielle représente l'ensemble des barrages en Suisse ?*

Non, les barrages sont exploités par plusieurs sociétés et il n'existe pas de chiffres communs répondant à cette question. Cependant, on pourrait calculer ceci approximativement en connaissant la hauteur de chute moyenne des barrages suisses et la superficie totale de leurs bassins versants. (Un chiffre à cependant été trouvé dans une brochure éditée par «Electricité Romande » ; il s'élève à 8 milliards de kWh.

*2. L'exploitation des barrages, pourrait-elle être plus poussée sans apporter de modifications à nos installations ?*

En théorie, on cherche à exploiter le plus justement possible les centrales hydroélectriques suisses par rapport aux pics de la demande et aux réserves des bassins de retenue (la Suisse à un rôle de « stockeuse » en Europe), donc à priori il serait difficile de faire mieux. De plus, la loi fédérale sur la protection des eaux exige de plus en plus grands débits continus à la sortie des barrages (débits résiduels) pour mieux préserver l'environnement.

Contradictoirement, le Groupe E prévoit une augmentation de sa production de courant de plus de 500 GWh d'ici à 5 ans, dont 10% de ce chiffre, produit de manière « propre », avec par exemple de nouvelles petites centrales hydroélectriques.

*3. Arrive-t-il que l'approvisionnement en eau d'une retenue soit parfois plus difficile ?*

Oui, nous avons déjà entamé la phase de fonte rapide des glaciers et il arrive qu'à certains endroits, l'eau se fasse moins abondante qu'auparavant. Cette forte fonte entraîne par ailleurs plus d'alluvions et de boue dans les turbines, ce qui n'est pas forcément bon pour les installations de montagne. Par contre, les pluies restent très suffisantes en Suisse.

*4. Avons-nous déjà du revoir certains plans d'exploitation de centrales depuis les récentes modifications du climat lors des dix dernières années ?*

C'est en cours. Chaque année, la rentabilité des ouvrages d'accumulation est examinée, discutée et le statut de certains barrages peut être changé s'il le faut. On entend par statut, son usage : soit pour répondre aux pics de la demande ou soit pour produire du courant continuellement si la retenue a une capacité de plus en plus faible.

*5. Est-ce que le fait d'exploiter des barrages apporte réellement des modifications sur l'écologie locale ?*

Oui, cela modifie le régime des eaux et leurs compositions. On doit veiller à l'aide de stations d'épuration à garder une eau saine et secondement, l'humidité de l'air est changée localement. Les petites retenues ont cependant moins de telles incidences.

*6. Sur un plan plus technique, on sait que les barrages sont soumis à de rudes contraintes comme les pressions qui s'exercent sur leurs parois, les variations de températures, les crues, etc. ... Peut-on réellement garantir la sécurité de ces ouvrages et si oui pour combien de temps ?*

Oui, pour chaque barrage un rapport annuel qui se base sur plus de 100 mesures différentes vérifiées par quatre offices est édité et on prend les mesures nécessaires en cas d'incompatibilité avec les normes imposées. Il faut être particulièrement vigilant avec les barrages construits avant les années 60, car on ne prenait pas en compte les risques sismiques dans les calculs de résistance. On estime que la durée de vie d'un barrage varie de 60

à 250 ans selon la contenance en métaux dans le mur de retenue de ce dernier (plus il y en a, moins la durée est importante). En ce qui concerne les parties mécaniques plus précisément, le Groupe E possède un manuel technique qui estime l'âge qu'elles peuvent atteindre. Une turbine a, par exemple, une espérance de vie d'environ 30 à 40 ans selon ce dernier.

### 7. De quelle manière est surveillé l'ouvrage ?

En complément de la réponse à la question 7 : Une coûteuse mesure de surveillance, complémentaire à de nombreuses mesures plus aisées comme celle des pendules fixes, est la mesure géodésique. Elle s'effectue électroniquement tous les 5 ans et mesure à l'aide de bornes fixées sur la couronne du barrage et devant ce dernier le déplacement précis du mur de la retenue. Ci-dessous, le plan de surveillance du barrage de Schiffenen :

DPE Technique Production	Barrage de Schiffenen Rapport annuel 2005	N°	R.31.53.702
		Date	11.09.2005
		Visa	gth

#### 4.2 Programme des mesures

Grandeur mesurée	Genre de mesure	Fréquences	
		programmées	effectuées
Niveau de la retenue	Sonde de pression Vega	en continu	en continu
Déplacements horizontaux	Pendules normaux et inversés	2 x par mois	2 x par mois
Déplacements horizontaux et verticaux	Mesures géodésiques, y.c. nivellement du couronnement, réseau GPS et polygonale en galerie	tous les 5 ans, dernière campagne en 2000	-
Rotations	Mesures clinométriques dans la galerie de base	4 x par an	4 x par an
Température du béton	Téléthermomètres et téléformètres électriques	2 x par mois	2 x par mois
Température de l'eau	Téléthermomètres électriques	2 x par mois	2 x par mois
Température de l'air	Thermomètre enregistreur	en continu	en continu
Déplacements relatifs	Ecartement des joints entre le couronnement et les prises d'eau Micromètre mécanique sur fissures dans la galerie de base et celle d'accès à la vanne de fond no 1 ainsi que dans la centrale	2 x par mois	2 x par mois (manque mesures de la fissure du 2 <sup>ème</sup> sous-sol, du 16 avril et du 3 mai)
Infiltrations	Débit des infiltrations des galeries en rocher	2 x par mois	2 x par mois
Sous-pression	Niveau d'eau dans les forages de drainage au pied aval du barrage	2 x par an	2 x par an

Dès le 1<sup>er</sup> juin 2005, la fréquence des mesures de 2 x par mois est passée à 1 x par mois, date correspondant à l'utilisation du nouveau coordiscope, décision prise lors de la séance d'échange d'informations de 2003, concernant l'inspection quinquennale de 2001.

Figure 22 - Plan de surveillance barrage de Schiffenen

*8. Sur le plan économique, à quoi ressemble les comptes de gestion d'une centrale hydroélectrique ?*

Le seul produit dépend directement de sa rentabilité, puisque il s'agit du courant électrique produit. Il y a par contre de nombreuses charges comme celles d'exploitation (main d'œuvre, maintenance, entretien classique, réparations), comme son amortissement ou encore comme les redevances que la société exploitante doit verser aux cantons pour l'exploitation des eaux. Sur Fribourg, elles s'élèvent à 80.- par mégawatts de courant produits. Selon l'installation, on atteint un coût de 3 à 10 centimes par kilowattheures de courant.

*9. Y a-t-il réellement des impacts économiques pour une région qui accueille un barrage ?*

Oui, mise à part la main d'œuvre que peut engendrer un barrage, cela est bon pour le tourisme. On peut prendre comme exemple, le lac artificiel de Gruyère. On peut y faire du bateau, pêcher et l'étendue d'eau contribue à la beauté du paysage.

*10. À l'avenir, sera-t-il toujours possible de trouver l'eau nécessaire à l'exploitation des ouvrages ?*

Cela sera encore possible en Suisse mais sur le plan européen, il y aura certainement quelques mésententes. Notre pays jouera un rôle de régulateur de part son fort capital hydrologique.

*11. Si oui, quel sera selon vous la place réservée aux installations hydroélectriques ?*

Elle sera plus faible, non pas à cause d'une réduction de leur production mais de part le développement des autres moyens modernes de fabrication de courant électrique, comme par exemple l'éolienne, déjà très exploitée en Allemagne. On va encore plus développer le système du pompage-turbinage et construire de petites centrales hydroélectriques en ce qui concerne ce moyen de production.

*12. Pourra-t-on encore améliorer le rendement des installations ou avons-nous atteint un niveau de performance difficile à dépasser ?*

Le rendement actuel des centrales hydroélectriques est d'environ 80%. Techniquement, on peut encore l'améliorer grâce à l'évolution de la mécanique.

Dernièrement, la centrale d'Hauterive a été révisée et son rendement s'élève à 85% mais on peut faire mieux déjà.

*13. Il faudra certainement réviser beaucoup de barrages pour leur faire profiter du meilleur matériel possible mais aussi pour garantir leur sécurité face au vieillissement du béton. Cela-vous paraît-il possible ou est-ce une sorte de chantier pharaonique ?*

Oui, on révisé déjà les ouvrages moins sûrs. Pour éviter de devoir tout détruire et reconstruire, on crée de forts points d'encrages dans la roche qui traversent le mur de retenue, on colmate simplement les fissures et on ajuste les évacuateurs de crues. C'est ce qui a par exemple été fait lors de la remise en état du barrage de la Maigrauge. Il respecte maintenant toutes les normes demandées. Actuellement, c'est la révision du barrage de Toules qui est étudiée car il s'approche des normes limites contre les séismes. Le problème le plus dérangeant reste celui des alluvions et des coulées de boue auquel doivent et devons faire face les barrages qui s'approvisionnent grâce aux glaciers, qui lors de fortes fontes rejettent cela. Les multiples révisions des barrages n'auront pas de grande incidence sur le prix du courant mais une diminution de leur rentabilité pourrait avoir des répercussions sur ce dernier.



Figure 23 - Barrage de Toules

## 8 Conclusion

Nous voilà arrivés au terme de ce travail qui a pour titre « Les barrages, une ressource énergie à 100% fiable ? ». Son intérêt est donc de tenter d'apporter une réponse à cette question... Personnellement, je pense que l'utilisation des barrages en Suisse offre et offrira, de manière fiable, pour le moment et pour encore longtemps, une quantité d'énergie, et donc d'indépendance énergétique, dont il est impossible de se priver à l'heure actuelle de part son importance et sa propriété. C'est précisément pour cela que nous continuons à relever les défis auxquels nous devons faire face pour exploiter ces grands ouvrages.

De plus, la technique et la technologie n'étant pas des sciences figées, on devrait se diriger vers une diminution des problèmes qui y sont liés. On peut par exemple se pencher sur la fabrication de bétons qui gagnent en longévité de vie ou encore mieux gérer les ouvrages et ainsi gagner en rentabilité grâce à l'informatique moderne.

Si l'on revient sur un point de vue économique, il est certain qu'un barrage coûtera toujours autant cher tant qu'aujourd'hui à construire ou à entretenir. Cependant, il faut reconnaître que 6 centimes, le coût de production moyen d'un kWh avec une centrale hydroélectrique, est une somme encore relativement peu élevée face à non seulement à tout ce qu'il est nécessaire de faire pour exploiter ces ouvrages mais aussi à tout ce qu'ils présentent comme avantages, comme le bon respect en général de l'environnement ou la souplesse d'adaptation aux pics de la demande comme nous l'avons vu. Et puis, il va de soi que de faire d'un barrage un atout touristique n'est pas possible partout mais je pense qu'il faut dédramatiser le mal qu'ils causent soi-disant à la beauté des paysages ! Ils ne sont de loin pas encore partout et les décisions politiques actuelles ne vont pas favoriser un nouveau « boom » de la construction des centrales hydroélectriques comme dans années 60.

La seule vraie ombre au tableau, c'est le manque d'eau nécessaire à l'alimentation des installations qui pourrait mettre en péril, au long terme, rappelons-le, la rentabilité de certains barrages. C'est peut-être un problème qui deviendra plus important à l'avenir mais aujourd'hui on arrive en principe à remplir nos retenues sans trop de difficulté. Seules de plus amples précisions sur le futur du climat pourraient mieux nous renseigner sur ce point-là.

## 9 Bibliographie

Sur papier :

*Electricité 2006, « Des chiffres et des faits » / VSE-AES*

*Statistique suisse de l'électricité 2006 / Office fédéral de l'énergie*

*Statistique globale suisse de l'énergie 2006 / Office fédéral de l'énergie*

*Les barrages et les digues / Electricité romande*

*L'électricité d'origine hydraulique / Electricité romande*

Sur internet :

<[www.strom.ch](http://www.strom.ch)>

<[www.bkw-fmb.ch/fr/energie/energiequellen/wasserkraft.html](http://www.bkw-fmb.ch/fr/energie/energiequellen/wasserkraft.html)>

<[mct.sbb.ch/mct/fr/umwelt/umwelt-umweltbereiche/umwelt-umweltbereiche-energie.htm](http://mct.sbb.ch/mct/fr/umwelt/umwelt-umweltbereiche/umwelt-umweltbereiche-energie.htm)>

<[www.uvek.admin.ch/themen/energie/00672/00884/index.html?lang=fr&print\\_style=yes](http://www.uvek.admin.ch/themen/energie/00672/00884/index.html?lang=fr&print_style=yes)>

<<http://www.smallhydro.ch/web/francais/pch-intro/turbines.html>>

<[http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine\\_Kaplan](http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Kaplan)>

<[http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine\\_Pelton](http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Pelton)>

<[fr.wikipedia.org/wiki/Énergie\\_hydroélectrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_hydroélectrique)>

<[fr.wikipedia.org/wiki/Énergie\\_renouvelable](http://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_renouvelable)>

<[http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_lacs\\_de\\_barrage\\_de\\_Suisse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_lacs_de_barrage_de_Suisse)>

<[www.groupe-e.ch](http://www.groupe-e.ch)>

<[users.skynet.be/gresea/Rapport%20%20Barrages%20final.pdf](http://users.skynet.be/gresea/Rapport%20%20Barrages%20final.pdf)> (dossier pdf)

<[www.ader.ch/energieaufutur/energies/hydro/](http://www.ader.ch/energieaufutur/energies/hydro/)>

<[www.eosholding.ch/home/energie/energie\\_hydraulique.htm](http://www.eosholding.ch/home/energie/energie_hydraulique.htm)>

<[www.ac-orleans-tours.fr/hist-geo/conferences/st-die01/grands-barrages.htm](http://www.ac-orleans-tours.fr/hist-geo/conferences/st-die01/grands-barrages.htm)>

<[www.inti.be/ecotopie/hydro.html](http://www.inti.be/ecotopie/hydro.html)>

<[www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=fr)>

<[www.sig-ge.ch/particuliers/electricite/connaitre-l-electricite/les-nouvelles-energies-electriques/l-energie-hydraulique/index.lbl](http://www.sig-ge.ch/particuliers/electricite/connaitre-l-electricite/les-nouvelles-energies-electriques/l-energie-hydraulique/index.lbl)>

<[www.sses.ch/fr/solarium/approvisionnement.html](http://www.sses.ch/fr/solarium/approvisionnement.html)>

<[www.wwf.ch/fr/lewwf/notremission/climat/energies/energiehydraulique/index.cfm](http://www.wwf.ch/fr/lewwf/notremission/climat/energies/energiehydraulique/index.cfm)>

<[www.swissdams.ch/Dams/damtext/barragesuisses.asp](http://www.swissdams.ch/Dams/damtext/barragesuisses.asp)>

<[http://w3.jura.ch/plan-directeur/pdf/Indication\\_corrections/5.10\\_corrections.pdf](http://w3.jura.ch/plan-directeur/pdf/Indication_corrections/5.10_corrections.pdf)> (dossier pdf)

<[www.term.ucl.ac.be/recherche/YAOUNDE/EREC2002\\_lecon.pdf](http://www.term.ucl.ac.be/recherche/YAOUNDE/EREC2002_lecon.pdf)>

<[www.academie-technologies.fr/publication/rapports/energieEnvironnement/EnergieHydrauliqueEolienne%20Nov2005.pdf](http://www.academie-technologies.fr/publication/rapports/energieEnvironnement/EnergieHydrauliqueEolienne%20Nov2005.pdf)> (dossier pdf)

<<http://www.swv.ch/f/index.cfm>>

<[http://www.swissdams.ch/default\\_f.asp](http://www.swissdams.ch/default_f.asp)>

<<http://www.planete-energies.com/contenu/energies-renouvelables/energie-hydraulique/avenir.html>>

<<http://www.bfe.admin.ch/themen/index.html?lang=fr>>

<<http://www.swissdams.ch/Committee/history/default.asp>>

<<http://membres.lycos.fr/alexis779/fonctionnement.htm>>

<[www.axpo.ch/internet/axpo/fr/medien/perspektiven/stromerzeugung/wasserkraftwerk.html](http://www.axpo.ch/internet/axpo/fr/medien/perspektiven/stromerzeugung/wasserkraftwerk.html)>

## Table des illustrations et liens

Figure 1 - Le réseau hydrologique suisse.....	2
Figure 2 - Fonctionnement d'une centrale.....	3
Figure 3 - Principe.....	4
Figure 4 - Barrage de Rossens, FR.....	4
Figure 5 - Principe.....	4
Figure 6 - Le barrage de Oberaarsee, BE.....	4
Figure 7 - Principe.....	5
Figure 8 - Le barrage de Lucendo, TI.....	5
Figure 9 - Principe.....	5
Figure 10 - La digue de Mattmark, VS.....	5
Figure 11 - Principe.....	6
Figure 12 - Centrale de Birsfelden, BS.....	6
Figure 13 - Le barrage de la Maigrauge.....	8
Figure 14 - Répartition des types de centrale.....	9
Figure 15 - Evolution de la répartition des provenances.....	10
Figure 16 - Exploitation des divers types de centrale.....	10
Figure 17 - Taux de remplissage.....	11
Figure 18 - Petit rappel sur le fonctionnement du cycle de l'eau.....	12
Figure 19 - Evacuateur de crue.....	13
Figure 20 - Turbine usée.....	14
Figure 21 - Electrobroc.....	18
Figure 22 - Plan de surveillance barrage de Schiffenen.....	20
Figure 23 - Barrage de Toules.....	22

- Figure 1 - <http://www.swissdams.ch/Dams/images/Suisse.gif>  
 Figure 2 - <http://membres.lycos.fr/alexis779/images/schema.gif>  
 Figure 3 - "Les barrages et les digues" Electricité Romande  
 Figure 4 - <http://www.bernasconisa.ch/d2wfiles/image/57/5040/200/BRO1.jpg>  
 Figure 5 - "Les barrages et les digues" Electricité Romande  
 Figure 6 - <http://www.biologie.de/w/images/a/a0/Oberaarsee2.jpg>  
 Figure 7 - "Les barrages et les digues" Electricité Romande  
 Figure 8 - <http://www.poweron.ch/upload/cms/user/1-3-2-Lucendo-Sella-gr.jpg>  
 Figure 9 - "Les barrages et les digues" Electricité Romande  
 Figure 10 - <http://www.poweron.ch/upload/cms/user/3-1-2-1-Staudamm-Mattmark-g.jpg>  
 Figure 11 - [http://www.websud.ch/medias/photo-dessin/elec/schema\\_fil\\_eau.jpg](http://www.websud.ch/medias/photo-dessin/elec/schema_fil_eau.jpg)  
 Figure 12 - <http://www.poweron.ch/upload/cms/user/3132BirsfeldenKWspz.jpg>  
 Turbine Pelton - [http://www.o-concept.ch/mediac/400\\_0/media/Lingenhoele\\$20Web\\$2001a.jpg](http://www.o-concept.ch/mediac/400_0/media/Lingenhoele$20Web$2001a.jpg)  
 Turbine Francis - [http://www.tenerrdis.fr/phototheque/photos/hires/turbines\\_francis\\_719884.jpg](http://www.tenerrdis.fr/phototheque/photos/hires/turbines_francis_719884.jpg)  
 Turbine Kaplan - [http://www.tenerrdis.fr/phototheque/photos/hires/turbine\\_kaplan\\_188668.jpg](http://www.tenerrdis.fr/phototheque/photos/hires/turbine_kaplan_188668.jpg)  
 Figure 13 - [http://www.swissdams.ch/Dams/damPicts/large/Maigrauge\\_01.jpg](http://www.swissdams.ch/Dams/damPicts/large/Maigrauge_01.jpg)  
 Figure 14 - "Statistique suisse de l'électricité 2006" Confédération suisse  
 Figure 15 - "Statistique suisse de l'électricité 2006" Confédération suisse  
 Figure 16 - "Electricité 2006, des chiffres et des faits" - VSE AES, [www.strom.ch](http://www.strom.ch)  
 Figure 17 - "Electricité 2006, des chiffres et des faits" - VSE AES, [www.strom.ch](http://www.strom.ch)  
 Figure 18 - <http://dpsp.chez-alice.fr/webmeteo/images/Notions/CycleEau.jpg>  
 Figure 19 - "Les barrages et les digues" Electricité Romande  
 Figure 20 - [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Turbine\\_Francis\\_Worn.JPG/800px-Turbine\\_Francis\\_Worn.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Turbine_Francis_Worn.JPG/800px-Turbine_Francis_Worn.JPG)  
 Figure 21 - [http://www.groupe-e.ch/upload/images/3\\_ElectrobrocBig.jpg](http://www.groupe-e.ch/upload/images/3_ElectrobrocBig.jpg)  
 Figure 22 - Le plan de surveillance du barrage de Schiffenen : "Barrage de Schiffenen, rapport annuel 2005", Groupe E  
 Figure 23 - Barrage de Toules - [http://www.swissdams.ch/dams/damPicts/large/Les%20Toules\\_01.jpg](http://www.swissdams.ch/dams/damPicts/large/Les%20Toules_01.jpg)

- FIN -