

LES BARRAGES

1 GENERALITES

1.1 Fonctions d'un barrage

Les barrages sont construits dans le monde entier pour différents usages :

- **Irrigation** des cultures, en particulier dans les régions arides ou semi-arides
- **Alimentation en eau** des hommes et des animaux, ainsi que des entreprises et de l'industrie
- **Nivellement des crues**
- **Production d'énergie électrique**
- **Régularisation des rivières navigables et alimentation des canaux** (eau de consommation des écluses)
- **Flottage** du bois coupé (Canada)
- Alimentation des industries en **eau de refroidissement** (centrales thermiques par exemple)
- **Pisciculture** ou élevage d'autres espèces animales ou végétales aquatiques
- Création de paysages, de zones de repos ou de centres sportifs

1.2 Evolution du nombre de grands barrages

	1900	1919	1998	
			Enregistré	Dont < 14m
Allemagne	15	43	311	39
Australie	33	68	486	54
Brésil	77 (6)	106	594	4
Canada	4	56	793	212
Espagne	52 (7)	108	1.187	273
Etats-Unis	95 (8)	473	6.375	0
France	35	61	569 (9)	24 (10)
Les Indes	37 (11)	158	4.010	1.529
Italie	6	26	524	11
Japon	6 (12)	15	1.077	273
Royaume Uni	188	266	517	70
Suisse	6	16	156	0

Chine : 20 000 barrages actuellement

(6) Aucun chiffre ne figurait jusqu'alors dans les statistiques

(7) 26 puis 29, dans les relevés de 1984 et 1988

(8) 13 en 1984

(9) Corse et départements et territoires d'outre mer inclus

(10) Il est certain que dans le cas de la France que tous les barrages de moins de 15 mètres de hauteurs et répondant à la norme de grand barrage, n'ont pas été inclus dans ce dénombrement

(11) 6 en 1984

(12) valeur ayant culminé à 475 en 1984 et revue à la baisse depuis

1.3 Barrages en France

LES PLUS HAUTS BARRAGES

Nom du barrage	Hauteur (en mètres)
TIGNES	180
GRAND'MAISON	160
MONTEYNARD	155
ROSELEND	150
CHAMBON	136
SAUTET	130
VOUGLANS	130
SERRE PONÇON	129
BORT	121
MONT CENIS	120
SARRANS	113
LAPARAN	106
GENESSIAT	104
CAP DE LONG	101
CASTILLON	101

LES HAUTEURS

Hauteur	Pourcentage
Entre 100 m et 180 m	2 %
Entre 80 m et 100 m	1 %
Entre 60 m et 80 m	6 %
Entre 40 m et 60 m	15 %
Entre 20 m et 40 m	47 %
Entre 15 m et 20 m	29 %

LES PLUS GRANDES RETENUES

Nom du barrage	Capacité de la retenue (1000 m ³)
PETIT SAUT	3.500.000
SERRE PONÇON	1.270.000
SAINT CROIX	767.000
VOUGLANS	605.000
BORT	477.000
GIFFAUMONT	350.000
MONT CENIS	332.000
YATE	313.000
SARRANS	296.300
GRANDVAL	292.000
MONTEYNARD	240.000

LES DIFFÉRENTS TYPES

Type de barrage	Nombre	Pourcentage
Terre	166	30 %
Poids	145	26 %
Voûtes	85	14%
Enrochement	59	11 %
Barrage mobile	28	4 %
Voûtes multiples	22	6 %
Enrochement / Terre	17	3 %
Contreforts	13	2 %
Poids / Voûtes	9	2 %
Poids / Barrage mobile	8	1 %
Poids / Terre	6	1 %
Total	558	100 %

1.4 Hydroélectricité française

L'énergie hydraulique constitue la seconde source de production d'électricité en France. Elle représente près de **15% de la production totale**, avec une capacité de 70 TWh en année moyenne.

■ Les dix aménagements hydroélectriques français les plus puissants

NOM	Type	Puissance installée MW	Production 1997 GWh	Département
Grand'Maison	Lac	1224	921	Isère
Montézic	Pompage	910	1404	Aveyron
Super-Bissorte	Pompage	612	910	Savoie
La Bathie (Roselend)	Lac	500	1132	Savoie
Le Cheylas	Pompage	491,4	792	Isère
Génissiat	Eclusée	417,4	1612	Ain
Serre-Ponçon	Lac	380	902	Alpes de Haute Provence
Le Pouget	Lac	365	400	Aveyron
Villarodin	Lac	362	671	Savoie
Monteynard	Lac	360	480	Isère

2 LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES

2.1 Critères de choix du barrage

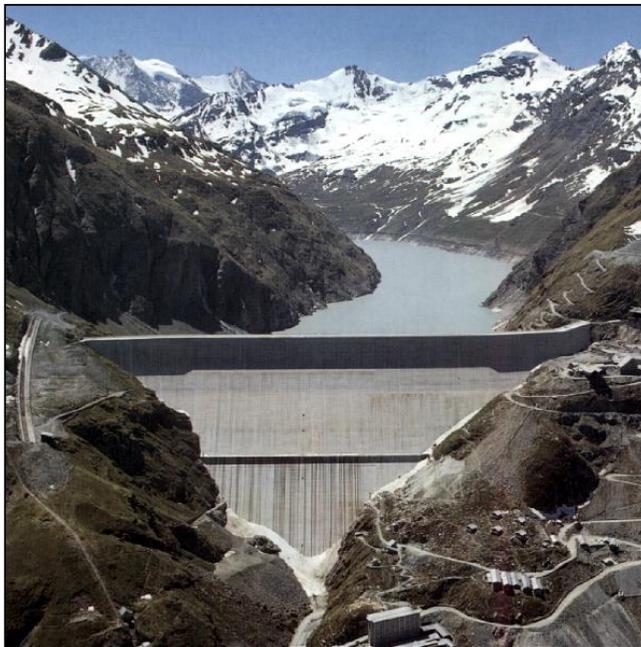
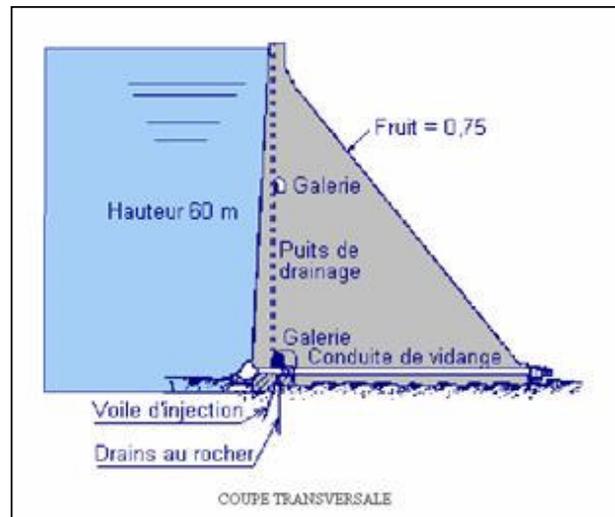
La forme de la vallée, la nature du sol, les matériaux à disposition sur le site déterminent le type de barrage. Les barrages sont construits en béton ou en maçonnerie; les digues sont en terre ou en enrochement.

Poids propre	Le poids des matériaux de construction eux-mêmes induit des contraintes dans le barrage.
Pression de l'eau	La pression de l'eau croît proportionnellement avec la profondeur.
Sous-pressions	Les infiltrations d'eau, minimales mais inévitables, à travers le corps du barrage et ses fondations, créent des forces de sous-pression.
Température	Les variations de température dans le matériau, dues au dégagement de chaleur lors de la prise du béton, ou aux températures extérieures, créent des contraintes dans l'ouvrage (notamment dans les barrages-voûtes).
Crues	Le dépassement du niveau d'exploitation normale dans la retenue apporte une sollicitation supplémentaire.
Gel	La couche de glace, qui peut apparaître durant l'hiver à la surface du lac, crée, dans certaines conditions, une force sur le barrage.
Sédiments	Des sollicitations supplémentaires du barrage peuvent résulter de l'accumulation de sable et de gravier dans la retenue.
Séismes	Les secousses créées par des tremblements de terre imposent au barrage des forces alternées rapides.

2.2 Barrage en béton ou en maçonnerie

2.2.1 Barrage poids

Ils ont une section triangulaire ou trapézoïdale. Leur poids propre suffit à contenir la poussée amont de l'eau.



*Barrage-poids de la Grande-Dixence
(SUISSE h=285m)
(plus haut barrage poids du monde)*

*Barrage des 3 gorges
(CHINE h=185m ; L=2300m)*



Barrage d'Itaipu (BRESIL h=196m) (plus grand barrage du monde)

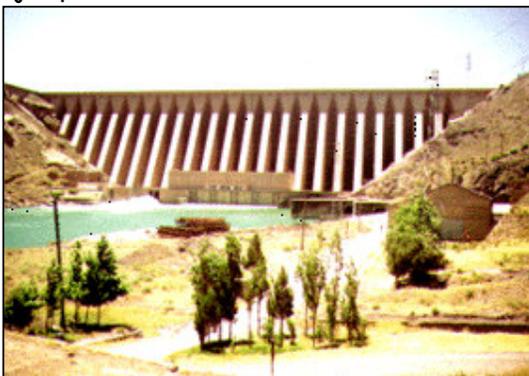
Méthode de construction du barrage poids	Avantages/Inconvénients
<p>La technique prédominante est celle du béton compacté au rouleau, ou BCR. Le béton n'est plus coulé entre des coffrages puis vibré avec des aiguilles, comme du béton traditionnel, mais répandu horizontalement au bulldozer et compacté avec des compacteurs vibrants.</p>	<p>Grâce à un tel compactage, le béton peut être mis en place plus sec, avec juste la quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment. Les points délicats sont : la résistance mécanique et l'étanchéité. Les barrages poids en BCR doivent être équipés d'un drainage très efficace.</p>



Barrage de Petit Saut (Guyane française h=45m) réalisé en BCR

2.2.2 Barrage à contreforts (barrage poids évidé)

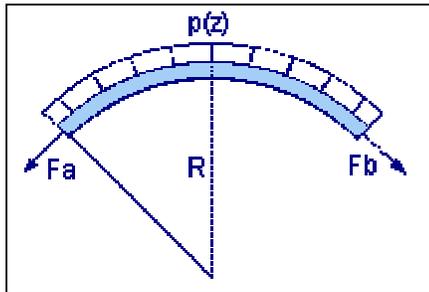
C'est un grand mur en béton qui s'appuie sur des contreforts en laissant des évidements, économisant ainsi du béton. Les contreforts, relativement minces, conduisent les efforts jusqu'aux fondations.



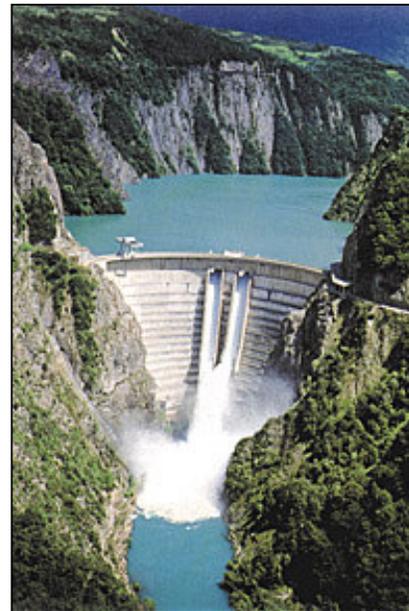
Les barrages à contreforts sont bien adaptés aux vallées larges avec une fondation rocheuse de bonne qualité.

2.2.3 Barrage voûte

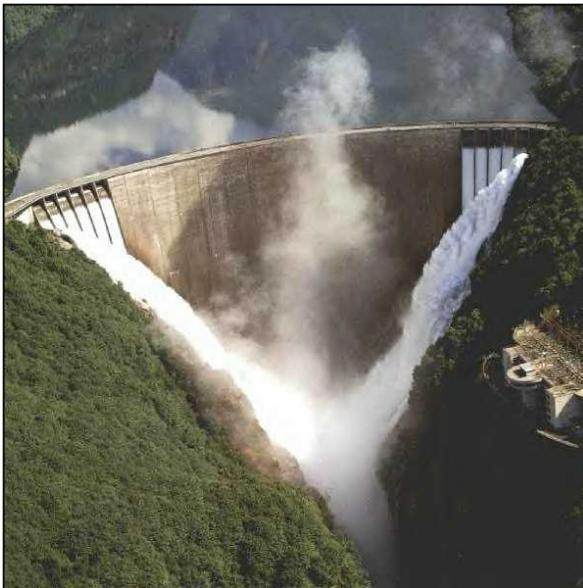
C'est le type de barrage le plus « intelligent » de part sa forme. Le béton ne travaille qu'en compression. Ses progrès sont allés de pair avec l'amélioration de la qualité des ciments et la maîtrise de la fabrication et de la mise en place des bétons. Comme son nom l'indique il résiste à la pression de l'eau par l'effet voûte, c'est à dire en s'arc-boutant sur les flancs de la vallée. Son mode de résistance est donc très différent de celui d'un barrage-poids et met en jeu, non plus l'équilibre statique de tranches verticales parallèles, mais l'équilibre élastique de l'ensemble de l'ouvrage. Par contre, il sollicite fortement ses appuis et exige donc un rocher de bonne qualité pour rester dans le domaine élastique.



Barrage de CONTRA (Tessin SUISSE h=220m)



Barrage de Monteynard (Isère h=153m)



Barrage de Tignes (h=180m)



Barrage à voûtes multiples et contreforts de Manic 5 (CANADA h=214m)



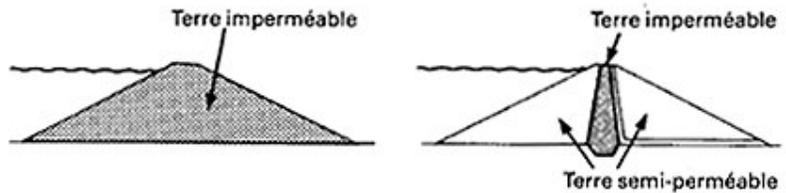
Barrage à double voûte de l'Hongrin (SUISSE h=90 et 125m)

Méthode de construction :

Problème principal	Solutions apportées	Particularités	Exemple : <i>Barrage de Mauvoisin SUISSE</i>
<p>une exothermie se produit lors de la prise du ciment pour le bétonnage des fortes masses (jusqu'à 50 m d'épaisseur) des barrages voûtes, elle ne peut se dissiper naturellement que très lentement dans des blocs de telles dimensions et peut engendrer des fissurations sur la structure si elle n'est pas contrôlée.</p>	<p>- on utilise des ciments à faible exothermie (CLK ou CHF en France, type II aux États-Unis)</p> <p>- on remplace une partie du ciment par des liants moins rapides</p> <p>- on limite le dosage en ciment (emploi de gros granulats : jusqu'à 150 mm de Ø)</p>	<p>Les équipements de concassage et de malaxage sont conçus pour accepter les gros granulats.</p> <p>Le transport est réalisé par des grues (petits chantiers) / blondins (30 t)</p> <p>le barrage est découpé en plots (10 à 20 m)</p> <p>les coffrages utilisés sont souvent autogrimpants</p> <p>Le béton est dosé très sec</p> <p>Pour des ouvrages épais, il faut rajouter à ses précautions les dispositions suivantes :</p> <p>Pré-réfrigération du béton frais, obtenue par refroidissement artificiel des granulats et/ou de l'eau</p> <p>Post-réfrigération du béton au moyen de réseaux de serpentins noyés dans la masse, dans lesquels on fait circuler de l'eau</p> <p>En fin de construction des plots d'un barrage voûte, on remplit les joints au moyen d'un coulis de ciment : clavage</p>	

2.3 Barrage en terre

Le barrage oppose sa masse à la poussée de l'eau comme un barrage poids en béton.

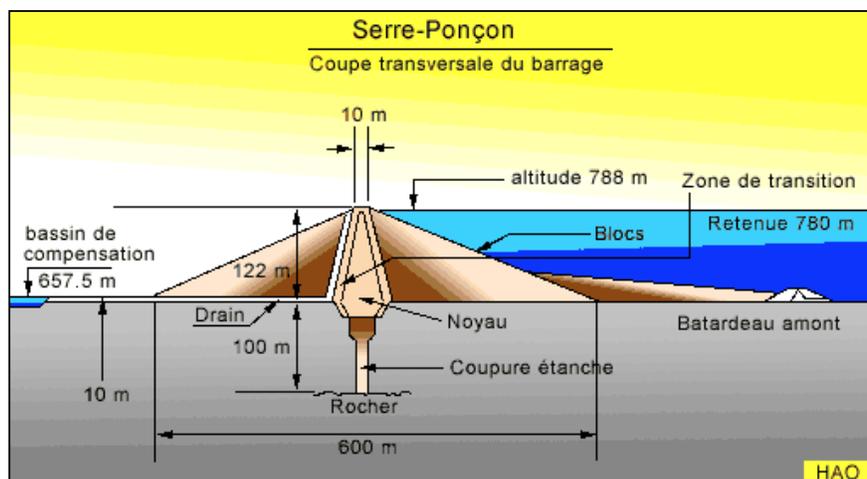


2.3.1 Barrage en terre homogène

Les barrages en terre homogène sont des digues en remblai compacté. Le corps du remblai est constitué d'un sol homogène suffisamment imperméable pour limiter le débit de fuite. La plupart des barrages français très anciens, dont beaucoup servent à l'alimentation en eau des canaux, sont de ce type.

2.3.2 Barrage zoné avec un noyau argileux central

Les barrages zonés, comme le barrage de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes h=124m), sont des barrages en remblai constitués de plusieurs types des matériaux disposés de façon à assurer séparément les fonctions de stabilité du barrage et



d'étanchéité. Le découpage du corps du barrage en matériaux différents est appelé zonage. Il permet de faire de grandes économies dans les volumes mis en oeuvre et d'utiliser au mieux les matériaux disponibles sur le site.

Le noyau imperméable constitué de terres argileuses, d'argile, de terres caillouteuses ou tout autre matériau terreux comportant une forte proportion de matériaux fins lui conférant une faible perméabilité. Lorsque ce matériau est introuvable sur le site, on peut avoir recours à des matériaux de substitution tels qu'une paroi moulée ou bien une superposition de couches de béton bitumineux ou d'asphalte

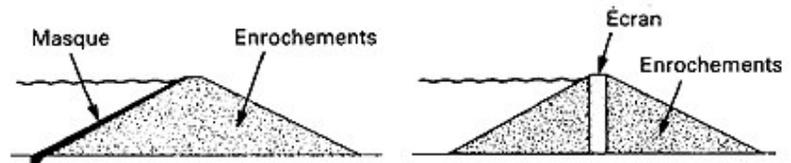
Les zones encadrant le noyau imperméable sont en tout venant compacté. Elles assurent la résistance et la stabilité du barrage, en particulier pour le talus amont en cas de vidange rapide.

*Barrage de Grand-Maison
(Isère h=140m)*



2.4 Barrage en enrochements

Soit à **masque amont étanche**, soit à **noyau argileux étanche**



Les barrages à **masque amont étanche** sont constitués d'un remblai plus ou moins perméable assurant la stabilité d'ensemble. Un écran imperméable, appelé masque, est mis en place sur le parement amont de façon à rendre le barrage étanche et lui permettre de retenir l'eau du réservoir. Il est complété en pied par une paroi moulée d'étanchéité pour limiter le débit de fuite.

Le masque est réalisé en béton, avec des produits bitumineux ou encore au moyen d'une géomembrane. Son épaisseur est limitée, ce qui lui permet de s'adapter aux déformations faibles mais inévitables du massif support (les géomembranes peuvent même accepter des déformations importantes). La présence du masque en parement présente le double avantage de permettre des réparations en cas de dégradation du masque, mais aussi d'autoriser des vidanges de retenue très rapides sans risque de glissement du talus amont.



Barrage du Vernet (Isère h=44m) couplé au barrage de Grand-Maison

2.5 Barrages mixtes

*Barrage de Roselend :
barrage voûte et
contreforts (Savoie
h=150m)*



Barrage de Yaté (Nouvelle-Calédonie h=60m) barrage voûte, poids, contreforts et terre



3 ORGANES ET OUVRAGES ANNEXES

Évacuateur de crue : pour évacuer le trop-plein dans lac de retenue en cas de crue. Il est dimensionner pour évacuer la crue décennalénale de pointe.

Pour les digues l'évacuateur de crues en béton armé est séparé du barrage et placé latéralement. Le corps peu résistant d'un barrage en terre ou en enrochements serait rapidement emporté par une crue.

Pour les barrages en béton, les crues sont évacuées par un déversoir situé sur le couronnement de l'ouvrage, ou encore par des ouvertures dans le corps du barrage munies de vannes

Un évacuateur de crue en saut à ski permet une dissipation aérienne de l'énergie transportée par l'eau. Ceci réduit l'érosion et l'affouillement en aval du barrage



2 évacuateurs à saut à ski et 2 évacuateurs en charge lors de la crue des 500 ans au barrage de Jiroft (IRAN h=134m)

Hauteur de chute :

Différence de niveau entre le bief amont et le bief aval, déterminant avec le débit la puissance électrique produite par les turbines de la centrale.

Prise d'eau :

La prise d'eau constitue l'entrée de la galerie d'amenée de l'eau du réservoir jusqu'à la centrale.

Pertuis de fond : pour vidanger ou abaisser le niveau du lac de retenue. Il peut également être utilisé pour purger les sédiments qui se déposent dans la retenue. Le pertuis de fond se trouve près du fond de la retenue.

Passes fonctionnelles à animaux :

Sur un côté d'un barrage, on peut voir une échelle à poissons : c'est une sorte d'escalier qui permet aux truites de remonter la rivière pour aller frayer (déposer leurs oeufs). Il facilite leur passage de l'autre côté du barrage, au moment de leur migration.

4 REFERENCES DIVERSES (de Michel Le Brazidec)

4.1 Les sites internet utiles

➤ **Rupture de barrages**

<URL : <http://www.aude.pref.gouv.fr/ddrm/risque-barr/bar2.html>>

Ce site présente des exemples de rupture de barrage et présente les risques de rupture de barrage dans l'aude.

➤ **Construction d'un barrage**

<URL : http://www.barrages-cfgb.org/Info/pr_barC4.html>

Ce site présente les raisons de la construction d'un barrage et présente les premiers barrages construits par des civilisations.

➤ **Centrales hydrauliques**

<URL : http://rascol.free.fr/2A_99_2000/hydro/les_centrales_hydro.htm#barrage>

Ce site présente les barrages dans le contexte de son utilisation pour les centrales hydroélectriques.

➤ **Structure d'un barrage**

<URL : <http://www.lac-raviege.com/auscult.htm>> Ce site présente les méthodes de surveillance et de maintenance de la structure d'un barrage.

➤ **Entreprise STUCKY**

<URL : <http://www.stucky.ch/>> Ce site présente les missions sur barrage de l'entreprise STUCKY- ingénieurs- conseil qui s'accompagne d'une petite présentation des barrages et des équipements annexes.

➤ **Barrages suisses**

<URL : <http://www.swissdams.ch/>> Ce site présente tous les barrages suisses et leurs caractéristiques.

➤ **Ruptures de barrages**

<URL : <http://www.ulg.ac.be/>> Ce site présente les ruptures de barrages dans le monde.

➤ **E.D.F.**

<URL : <http://www.edf.fr/>> Ce site d'E.D.F présente les barrages et leurs fonctionnements.

4.2 Textes de référence, analyses

4.2.1 Textes législatifs et réglementaires de référence

Les principaux textes législatifs et réglementaires relatifs à l'hydroélectricité et aux barrages sont les suivants, classés par objet :

bases légales et réglementaires de l'autorisation et du contrôle des ouvrages

-loi du 16 octobre 1919 (modifiée) relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique

-loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 (modifiée par la loi n° 95-101 du 2 février 1995) sur l'eau

-[décret n° 94-894 du 13 octobre 1994 \(modifié\)](#) relatif à la concession et à la déclaration d'utilité publique des ouvrages utilisant l'énergie hydraulique

rôle et compétences du Comité technique permanent des barrages

-décret du 13 juin 1966 relatif au Comité technique permanent des barrages

-arrêté du 30 décembre 1966 relatif aux conditions de fonctionnement du Comité technique permanent des barrages

modalités de contrôle et de surveillance des barrages en exploitation

- [circulaire interministérielle n° 70-15 du 14 août 1970](#) (modifiée) relative à l'inspection et à la surveillance des barrages intéressant la sécurité publique
- circulaire S/70 du 19 mars 1983 relative à l'organisation du contrôle des barrages hydroélectriques intéressant la sécurité publique
- [circulaire du 23 mai 1997](#) relative à la surveillance des barrages de moyenne importance, faisant partie de concessions de forces hydrauliques
- [circulaire du 13 juillet 1999](#) relative à la sécurité des zones situées à proximité ainsi qu'à l'aval des barrages et aménagements hydrauliques, face aux risques liés à l'exploitation des ouvrages

protection et information des populations

- [décret n°92-997 du 15 septembre 1992](#) relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques
- [arrêté du 22 février 2002](#) pris en application du décret n° 92-997 du 15 septembre 1992
- [décret n°99-853 du 28 septembre 1999](#) modifiant l'article 9 du décret n° 92-997 du 15 septembre 1992 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains aménagements hydrauliques..

4.2.2 Analyses

[Les nouvelles conditions d'achat de l'électricité produite par des centrales hydrauliques](#)

(communiqué de presse relatif au contrat approuvé le 21 octobre 1997)

[L'amélioration de la sécurité à l'aval des barrages](#) (extrait du rapport annuel 1997 Energies et matières premières)

Sécurité des barrages : [barrages et évaluation des risques](#) (extrait de la revue barrages du 4ème trimestre 1998 - 91 ko au format PDF).

4.2.3 Publications

[Barrages](#), revue du Service technique de l'énergie électrique et des grands barrages : activité dans le domaine des barrages contrôlés par les services du Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

4.2.4 Administrations

Les exploitants assurent l'entretien et la surveillance des barrages pendant les phases d'exploitation normale ou exceptionnelle (par exemple lors des crues).

Les services du Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie assurent un contrôle particulier de l'action des exploitants pour les barrages faisant partie d'aménagements concédés. Ce contrôle concerne l'ensemble des ouvrages et, plus particulièrement, 156 barrages relevant de la [circulaire 70-15 du 14 août 1970](#) et 116 barrages au titre de la [circulaire du 23 mai 1997](#).

Organisation :

Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

Le contrôle des concessions en général et, plus particulièrement, des barrages est assuré au niveau des régions par les [DRIRE](#) pour le compte de la direction de la demande et des marchés énergétiques ([DIDEME](#)). Ce contrôle se fonde sur les textes généraux, notamment en

matière de sécurité publique, et sur le cahier des charges de concession spécifique à chaque aménagement.

Service Technique de l'Energie Electrique et des Grands Barrages

Contact :

Télédoc 121 - 61 Bld Vincent Auriol - 75703 Paris Cedex 13

Télécopie : 01 44 97 09 92

Téléphone : 01 44 97 09 91

Chef du service : Philippe Cruchon

Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages

Fonctionnellement rattaché à la DRIRE Rhône Alpes, le BETCGB assure des missions d'assistance à la fois auprès des DRIRE (avis sur dossier, participation aux visites de barrages, ...) et auprès du STEEGB (méthodologie, formation, avis de synthèse sur le comportement des barrages,...).

Contact :

44, avenue Marcelin Berthelot - 38030 Grenoble Cedex 2

Télécopie : 04 38 49 91 99

Téléphone : 04 76 69 34 76

Mél : betcgb@industrie.gouv.fr

Chef du bureau : Patrick Le Delliou

Comité Technique Permanent des Barrages

Le CTPB est un comité interministériel chargé d'émettre des avis sur les dossiers relatifs aux barrages qui lui sont soumis par des ministres ou par des préfets (cas particuliers des plans particuliers d'intervention). Le STEEGB est chargé du secrétariat administratif du CTPB.

Contact :

Télédoc 121 - 61 Bld Vincent Auriol - 75703 Paris Cedex 13

Télécopie : 01 44 97 09 92

Téléphone : 01 44 97 08 64

Président : Jean-Claude Ferrand

4.3 Quelques références bibliographiques

Histoire de l'électricité chez Fayard

1991, tome1, sous la direction de F.Cardot et F.Caron Espoirs et conquêtes,

1881-1916 1994, tome 2, sous la direction de M. Lévy-Leboyer et de H. Morsel

L'interconnection et le marché, 1919-1946

1996, tome 3, sous la direction de H. Morsel Une oeuvre nationale, l'équipement, la croissance de la demande, le nucléaire, 1947-1990

BARJOT D., "Travaux publics de France, un siècle d'entrepreneurs et d'entreprises, 1883-1993", Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1993.

BORDES Jean-Louis, 1999, Aperçu historique sur la notion de la pression de l'eau dans les sols et les milieux fissurés du XVIII^e au début du XX^e siècles en France, Revue Française de Géotechnique, n°87, 2^e trimestre 1999.

BORDES Jean-Louis, 2000, Mobilisation et régularisation des ressources en eau et les barrages réservoirs du milieu du XVIII^e siècle au début du XX^e en France. Thèse à l'Université Paris 1. Sorbonne (publication prévue en 2000).

CALVET Yves et GEYER, 1992, Bernard, Barrages antiques de Syrie, collection de la maison de l'orient méditerranéen N° 21. Série archéologique 12

CARRERE Alain, 1996, Barrages, Techniques e l'Ingénieur, C5-555 pages 1-25

GERARD Pierre, 1996, L'épopée hydroélectrique de Electricité de France, publié en 1996 par l' Association pour l'histoire de l'électricité en France.

MARY Marcel. Les barrages Presses Universitaires de France. Collection Que Sais-je. N°1183

SCHNITTER N.J., 1994, A history of dams, the useful pyramids, Balkema, Rotterdam.

SMITH, N., 1971, A history of dams, Peter Davies, Londres. c'est aussi Smith, professeur d'histoire des techniques à l'Imperial college, qui a rédigé l'ouvrage : The heritage of spanish dams, Collegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, 1992.