

LES EVACUATEURS DE CRUES DES BARRAGES HYDROELECTRIQUES CONCEDES FRANÇAIS VUE SYNTHETIQUE DU PARC

Spillways of Dams under hydroelectric concessions ; Portfolio Overview

Loïc Cottin

Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages

44 avenue Marcellin Berthelot

38030 GRENOBLE cedex 02

Tél: +33 (0)4 76 69 34 71, Fax: +33 (0)4 38 49 91 99, e-mail: loic.cottin@industrie.gouv.fr

Résumé

Les barrages relevant du régime de la concession hydroélectrique connaissent des modes d'exploitation différents selon qu'il s'agit d'ouvrages de retenue à marnage saisonnier ou d'ouvrages de prise d'eau à cote de retenue constante. Ce parc se distingue par une forte proportion d'ouvrages en béton ou en maçonnerie. Les seuils libres équipent une forte proportion de ces ouvrages, notamment lorsque les conditions d'accès ne sont pas garanties. Des vannes, le plus souvent de type segment, équipent également de nombreux ouvrages car elles permettent le maintien d'une cote maximale tout en transitant sans surélévation notable des débits des crues importants.

Les progrès constatés dans la détermination des crues de projet, le souci des exploitants comme des administrations de contrôle de renforcer la sécurité des ouvrages vis à vis des crues ont conduit au cours des dernières décennies à modifier nombre d'évacuateurs en recourant parfois à des techniques nouvelles mises au point par l'ingénierie hydraulique. Le renforcement de la nouvelle réglementation avec l'obligation de réaliser des études de danger, le recours à des visites d'experts et les revues périodiques de sûreté devraient conduire à la poursuite et à la généralisation de cette amélioration à l'ensemble du parc des barrages français.

Dams coming within hydroelectric concessions have different operating modes depending on whether they have a reservoir with annual variations or simple outflow with a permanent level of the reservoir. These dams are mainly masonry or concrete dams. A large percentage of them have free spillways, especially when the access to the site can't be guaranteed. Gate, frequently of radial type can be found on many dams because this allows a high normal water level and important flood flows without a significant raising of the reservoir.

Progress in the determination of design floods and the permanent will of operators as well as of authorities to reinforce the safety in case of floods explain the improvement of many spillways during past decades, sometimes using new technologies. New regulations with mandatory risk assessment, inspections by confirmed engineers, periodical safety check will allow to wide and intensify this improvement for all French dams.

I Introduction

Le rapport ci-après porte sur le parc français des barrages hydroélectriques concédés. Il vient donc en complément de celui de Mr Paul ROYET relatif aux autres ouvrages autorisés au titre de la Loi sur l'Eau. N'ont été pris en compte que les ouvrages de plus de 20 m de hauteur relevant de la classe A de la nouvelle réglementation. Il ne prend pas en compte la multitude de barrages de catégorie B, C ou D dont un certain nombre ne sont que de simples prises d'eau de dérivation. Il sera fait cependant mention particulière pour les ouvrages de retenue implantés sur nos grands fleuves comme le Rhône ou le Rhin.

II Description du parc de barrages

Ce parc d'ouvrages ainsi défini a pour vocation commune l'exploitation d'une chute d'eau à des fins de production hydroélectrique. Il en découle la présence à une distance généralement faible des ouvrages de retenue d'une usine de production d'électricité avec du personnel d'exploitation compétent soumis à astreinte. Toutefois, on peut distinguer de manière schématique plusieurs modes d'exploitation liés à la nature de l'aménagement hydroélectrique :

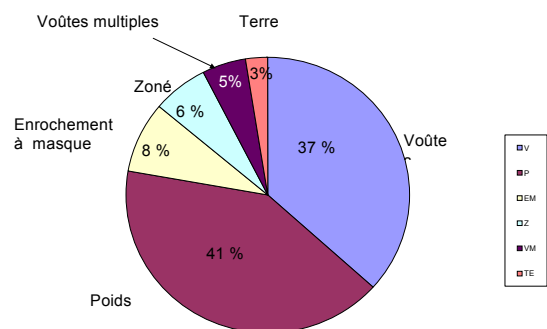
- des ouvrages à marnage saisonnier. Il s'agit en général des ouvrages de tête de vallée, donc généralement implantés en sites montagneux, pas toujours faciles d'accès, notamment en période hivernale ;
- des ouvrages à cote de retenue sensiblement constante. Il s'agit là des barrages en rivière pour lesquels le barrage crée la hauteur de chute ;
- des ouvrages à marnage rapide et forte amplitude. On retrouve dans cette catégorie, les barrages de démodulation, les bassins de compensation, les bassins inférieur ou supérieur des stations de transfert d'énergie par pompage, les aménagements fonctionnant en éclusées pour la valorisation de l'énergie mise sur le réseau électrique.

Les modes d'exploitation ainsi mis en évidence jouent forcément un rôle déterminant sur le choix du projeteur sur l'évacuateur de crues. Certains ouvrages associent bien sûr plusieurs modes d'exploitation.

Le type de barrage qui en général résulte d'un choix économique prenant en compte les caractéristiques hydrologiques et géologiques du site, la disponibilité des matériaux est également dépendant de l'usage envisagé pour la retenue : pour un aménagement soumis à marnage journalier, on évitera généralement de réaliser un barrage en terre homogène.

La répartition des barrages selon les grands types est la suivante :

- 58 voûtes soit 37 %
- 65 barrages poids soit 41 %
- 13 barrages en enrochements avec masque amont soit 8 %
- 10 barrages zonés soit 6 %
- 8 barrages à voûtes multiples soit 5 %
- 4 barrages en terre soit 3 %



Il ressort de ces données une grande différence avec le parc des barrages autorisés au titre de la Loi sur l'Eau : 80 % des barrages hydroélectriques concédés sont des barrages en béton contre 35 % pour les barrages autorisés.

III Types d'évacuateur

Le choix du type d'évacuateur de crue et son dimensionnement intègrent également de nombreux éléments dont un des premiers est la sensibilité de la structure choisie à un exhaussement de la retenue mais interviennent également les caractéristiques hydrologiques du site, les possibilités topographiques, les caractéristiques du bassin versant en termes de corps flottants ou de transports de sédiment. De ces différents éléments, il résulte une grande variabilité dans le choix du type d'évacuateur. Un examen sur les mêmes données de 158 barrages hydroélectriques concédés de plus de 20 m de hauteur conduit aux données chiffrées suivantes :

- 80 barrages comportent un déversoir de sécurité à seuil libre
- 59 barrages comportent des vannes de surface le plus souvent du type secteur ou segment
- 24 barrages comportent des clapets
- 22 barrages utilisent les vidanges de fond pour l'évacuation des crues. Parmi eux, il faut noter un certain nombre de barrages en rivière de hauteur modeste et de faible capacité mais devant transiter de forts débits
- 5 barrages comportent un ou plusieurs siphons
- 1 barrage a été équipé de hausses fusibles



Certains barrages disposent parfois de plusieurs évacuateurs de types différents. Les barrages ne comportant pas d'ouvrage d'évacuation des crues demeurent l'exception : il s'agit des bassins supérieurs de station de transfert d'énergie par pompage dont le BV propre est nul. A noter deux des plus grands barrages Roselend et Tignes qui ne comportent pas d'évacuateur de crue spécifique mais dont les ouvrages de vidange de forte capacité sont conçus pour remplir cette fonction.

Dans des sites où les gradients de crue sont élevés ou ne permettent pas de garantir une intervention rapide sur place du personnel d'exploitation, des automatismes ou des asservissements à la cote de retenue ont été prévus : une vingtaine d'ouvrages sont équipés d'automatisme permettant l'ouverture partielle des évacuateurs dans l'attente d'une intervention humaine pour le parachèvement des manœuvres.

IV Cas particulier des barrages en rivière

Les barrages en rivière méritent une mention particulière : exploités en permanence à leur cote nominale, ils doivent assurer le passage des crues sans aggravation des niveaux d'eau sur les terrains riverains. De plus, pour certains d'entre eux, comme les barrages sur le Rhône navigable ou sur le Rhin, ils doivent tenir compte en début de crue des conditions de navigation et tout au long de la crue du libre passage des corps flottants. Implantés en général à l'aval de grands bassins versants, ils bénéficient le plus souvent de possibilités d'anticipation du fait du caractère prévisible de la crue. Par ailleurs, ces ouvrages sont intégrés au sein d'une chaîne d'ouvrages dont les gestions sont interdépendantes.

Les évacuateurs de crue de leurs ouvrages comportent donc de multiples pertuis de grande taille qui occupent souvent la plus grande partie de la structure. Ces pertuis sont généralement équipés de vannes segments, de clapets, de volets mais on trouve aussi sur les aménagements les plus anciens des vannes Stony, des vannes wagon ou même des hausses Auber (barrage de Seyssel). Ces ouvrages vannés doivent permettre l'évacuation en temps réel des débits entrants, leur capacité de laminage étant très limitée, et permettre le basculement progressif de la retenue afin de respecter les lignes d'eau naturelles et ne pas provoquer d'exhaussement dans la partie amont de la retenue.



Les principales évolutions de ces dernières années concernent les dispositifs de contrôle commande, le regroupement des centres de gestion notamment lors des crues. Dans cette catégorie des ouvrages en rivière, on ne saurait oublier les barrages plus anciens et de taille plus modeste, construits au début du siècle dernier essentiellement dans un but énergétique et qui vieillissent bon an mal an. L'accident sans conséquence humaine heureusement du barrage de Tuillières avec la perte d'une vanne et la vidange instantanée de sa retenue, devrait nous rappeler que même ces ouvrages de taille moyenne méritent des expertises périodiques et un minimum d'entretien.

Plus que les statistiques sur les types de vannes ou le mode d'évacuation, il est important d'évoquer l'évolution constante qu'a connue ce parc de barrages au cours des dernières décennies.

V Evolution du parc des évacuateurs de crue

Tout d'abord, il faut rappeler que de nombreux ouvrages avaient été dimensionnés initialement sans véritable étude hydrologique. On retrouve dans de nombreux dossiers d'archive les notions de crue de projet égale à deux voire trois fois la plus grande crue connue. La méthode du gradex n'est apparue qu'en 1969 et sa généralisation n'a été que très progressive. Aujourd'hui, certains ouvrages n'ont toujours pas de véritable étude hydrologique propre mais cela devient cependant l'exception pour les ouvrages concédés.

Le développement constant des études hydrologiques selon une méthodologie acceptée, le souci des concessionnaires de pouvoir garantir la sécurité de leurs ouvrages face au risque de crue, la pression exercée par les services du contrôle avec l'appui des experts du Comité Technique Permanent des Barrages ou du Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages ainsi que le rappel à l'ordre de quelques événements pluviométriques majeurs ont contribué à faire évoluer le parc en corrigeant un certain nombre d'insuffisances détectées. Les concessionnaires ont su trouver des solutions pour adapter leurs ouvrages ou pour justifier de leur bon dimensionnement. Plusieurs cas de figures ont été rencontrés :

1. L'ajout d'un évacuateur complémentaire : Cas des barrages de Chaudanne, des Bouillouses, de Goulours, de Saint Marc (travaux en cours), de Malarce (projet) ou des Gloriettes (projet)

Barrage de Chaudanne : un nouvel évacuateur a été mis en service en 2003 en complément de l'évacuateur existant. Il s'agit d'un seuil déversant équipé d'une vanne segment de 11 m x 8,7 m manœuvrée par deux vérins hydrauliques, déversant dans une galerie existante allésée pour l'occasion et permettant de délivrer à l'aval 400 m³/s.

Barrage des Bouillouses : un deuxième clapet de dimension 4 m x 1 m a été mis en place en 2004 dans un pertuis réalisé sur un tronçon du seuil déversant en parallèle du clapet existant.

Barrage de Goulours : la réévaluation de la crue de projet de 88 m³/s à 162 m³/s a conduit le concessionnaire à réaliser un nouvel évacuateur de crue en complément de l'évacuateur initial de type vanne wagon à fonctionnement automatique par flotteur. Le nouvel évacuateur réalisé en 2006 est du type seuil déversant en touches de piano (PK Weir) (Piano Key Weir).

Barrage de Saint Marc : La réévaluation de la crue de projet du barrage poids de Saint Marc sur le Taurion a montré un déficit d'environ 20 % de la capacité d'évacuation du barrage. La solution adoptée, dont les travaux sont en cours et devraient s'achever en octobre 2008, est la mise en œuvre d'un seuil déversant de type labyrinthe (PK Weir) en crête d'un plot rive droite. Une solution comparable devrait être mise en œuvre sur le barrage de l'Etroit en 2009 dans la même vallée du Taurion.

Barrage des Gloriettes : la réévaluation de la crue de projet du barrage voûte des Gloriettes dans les Hautes Pyrénées avec un débit de pointe de la crue millénale estimée à 150 m³/s alors que le déversoir de surface permet le transit de 70 m³/s au maximum, a conduit le concessionnaire à envisager la réalisation d'un nouvel évacuateur en complément de l'initial. La solution adoptée devrait utiliser un seuil déversant de type labyrinthe (PK Weir) implanté sur un mur de fermeture en rive droite.

Barrage de Malarce : un évacuateur complémentaire est envisagé sur le barrage de Malarce en rive droite après arasement du barrage poids. Il devrait s'agir d'un seuil déversant équipé de PK Weir

2. La reconstruction d'un nouvel évacuateur : Cas du barrage du Chambon, de Vezins, de Guerlédan, de Pinet

Barrage de Guerlédan : les multiples vannes plates de petite section ont été remplacées par deux vannes segment de grande dimension

Barrage de Vezins : les huit petits pertuis équipés de vannes plates ont été remplacés par deux vannes segment manœuvrées par vérins hydrauliques

Barrage du Chambon : l'évacuateur de crue situé en rive gauche et comportant quatre pertuis équipés de vannes segment, débitant dans un coursier métallique suspendu s'est révélé dans un état dégradé sous les effets des poussées latérales consécutives au gonflement des bétons et son dimensionnement insuffisant. Dans le cadre des travaux de réhabilitation engagés en 1992, un nouvel évacuateur permettant un abaissement de la cote d'exploitation, a été réalisé en rive gauche. Son originalité repose sur le fait que cet ouvrage est compatible avec un projet de reconstruction complète de ce barrage : Il s'agit de deux vannes secteurs en charge disposées à l'extrémité aval de deux galeries d'évacuation dont la prise d'eau est immergée à une vingtaine de mètres de profondeur.

Barrage de Pinet : le barrage poids de Pinet, équipé en crête de 18 vannes de type secteur, a connu lors d'une crue en 1982 une obstruction quasi totale des pertuis par des corps flottants mettant en péril la structure. Entre 1987 et 1990, les multiples vannes ont été remplacées par trois clapets de grande dimension assurant une meilleure débitance et une forte sécurisation du fonctionnement.

3. La modification de l'évacuateur de crues existant : cas du barrage des Mesce, de Maison du Roy, de Bage (travaux en cours), de Motz (projet),

Barrage des Mesce : l'évacuateur de crues était composé initialement de deux vannes segment frontales débitant dans un long coursier. 13 pertuis dans un des bajoyers, équipés de volets fusibles, manoeuvrables à l'aide d'une masse percutant la béquille, qui complétaient l'évacuateur principal ont été remplacés en 1998 par un seuil libre de 45 m de longueur avec profil Creager.

Barrage de Maison du Roy : le clapet automatique, perdu au cours d'une crue violente en 2000, a été remplacé par un clapet de même dimension manoeuvrable par vérin hydraulique.

Barrage de Bage : Une étude hydrologique effectuée en 1997 a montré que le débit de la crue de projet Q_{1000} était de $73 \text{ m}^3/\text{s}$, bien supérieur à la capacité d'évacuation offerte par le seuil déversant de la tulipe ($40 \text{ m}^3/\text{s}$). La solution retenue par abaissement du seuil de 0,50 m et reprofilage permet de ne pas modifier la cote des plus hautes eaux.

Barrage de Motz : le remplacement des vannes de surface du barrage de Motz, qui se révèlent insuffisantes au regard des critères actuels, est programmé et les travaux préparatoires sont en cours. Le choix s'est porté sur un abaissement du seuil en crête du barrage poids et sur la mise en place de trois clapets. Le système de manœuvre de la vanne Stoney en rive droite sera remplacé par un treuil.

4. La prise en compte en complément des ouvrages dédiés à l'évacuation des crues, des ouvrages de vidange de fond, au prix d'une adaptation de ces ouvrages pour garantir leur accessibilité ou leur maniabilité.

Barrage de Puyvalador : la vanne de vidange de fond a été modernisée et adaptée pour respecter les critères d'un organe d'évacuation des crues

5. L'élaboration de consignes de crue adaptée : Barrage de Yate, de Petit Saut, du Mont Cenis

Barrage de Yate : Le passage du cyclone Anne en 1992 a conduit à reconsidérer l'estimation de la crue de projet de cet ouvrage situé en Nouvelle Calédonie. Le débit d'équipement des trois vannes segment totalisant 4500 m³/s s'est révélé bien faible par rapport aux 8000 m³/s observés lors du cyclone Anne et par rapport aux 12000 m³/s désormais envisagés pour la crue millennale. Les deux vidanges de fond totalisant 1000 m³/s ne permettaient pas l'apport supplémentaire requis. Le problème est provisoirement réglé par l'adoption d'une consigne de crue prenant en compte les alertes cycloniques et prévoyant un abaissement préventif du plan d'eau.

Barrage de Petit Saut : La dimension de la retenue de Petit Saut (350 km²), l'impossibilité d'implanter des stations de mesure hydrométrique sur les tributaires principaux et les conditions particulières du site en région équatoriale avait conduit à baser la consigne de crue sur le suivi de la cote de retenue pour la détermination des débits entrants. Quelques épisodes pluviométriques soutenus, centrés sur la retenue, ont conduit à surestimer les crues correspondantes et à procéder à des lâchures pénalisantes pour les avalisants. La consigne de crue a été revue en prenant en compte des données de pluviométrie télétransmises et en temporisant les variations de cote.

Barrage du Mont Cenis : La prise en compte des difficultés d'écoulement dans la vallée de Suze en Italie ou dans la vallée de l'Ambin en France, en aval des ouvrages de restitution des évacuateurs de crue du barrage du Mont Cenis ont conduit à revoir les consignes de crue en prévoyant notamment de désactiver les dérivations d'eau en direction de la retenue dès lors que la cote dépassait une valeur limite inférieure de plusieurs mètres à la cote du seuil du déversoir.

Cette liste ne se veut pas exhaustive.

On peut également signaler les difficultés rencontrées pour garantir la pérennité de la précontrainte mise en place pour la reprise des efforts des pivots des vannes segment de grands barrages . Un chantier important a été conduit sur le barrage de Grangent. Un autre n'est pas à exclure sur le barrage de Yate en Nouvelle Calédonie.

Evolution dans la gestion des ouvrages et leur contrôle

A l'occasion des visites annuelles d'inspection des services du contrôle, l'attention portée aux ouvrages d'évacuation des crues n'a cessé de se renforcer : essais périodiques en charge, présence de matériels de manœuvre de secours en cas de perte d'alimentation en énergie, redondance des circuits d'alimentation....

Les rapports d'expertise établis par le Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages dits "rapport décennaux" ont participé dans de nombreux cas à mettre en évidence des insuffisances de dimensionnement.

Parallèlement, les exploitants ont veillé à la formation du personnel, au respect de certaines règles internes de sécurité. La modernisation des installations : mise en place des astreintes, renvoi d'alarmes, automates programmables, s'est généralisée.

Une mention spéciale doit être faite de la généralisation progressive des consignes de crue selon un formalisme imposé par l'administration qui intègre désormais la prise en compte du risque aval, la prise en compte de la cinétique de la crue par une simulation systématique de la crue prenant en compte un hydrogramme probable, les temps d'intervention du personnel, les temps de manœuvre des organes et les défaillances éventuelles.

La mise en place des Plans Particuliers d'Intervention PPI en lieu et place des plans d'alerte a été l'occasion de quantifier pour les plus gros ouvrages (plus de 20 m de hauteur et d'une capacité supérieure à 15 hm³) leur marge de sécurité vis à vis de crues. L'analyse de risque devait désormais porter sur le risque de crues en définissant pour chacun des ouvrages une cote de danger (cote au delà de laquelle l'exploitant ne peut garantir la sécurité de son ouvrage) et la marge existant entre la crue de danger correspondante et la crue de projet (crue millennale ou déca millennale). L'examen des PPI a été également l'occasion pour le Comité Technique Permanent des Barrages de demander de manière systématique l'éclairage des ouvrages d'évacuation des crues.

Evolution récente de la réglementation

L'évolution actuelle de la réglementation renforce encore ce souci d'améliorer la sécurité de nos ouvrages vis à vis des crues et permettra désormais la généralisation des pratiques à l'ensemble du parc des barrages. Désormais une étude de danger devra être établie, elle devra être mise à jour et validée tous les dix ans par l'administration. Un recensement des incidents et accidents permettra de valoriser le retour d'expérience.

La généralisation des consignes de crue est en cours ; elles doivent désormais être approuvées comme les autres consignes de manière systématique. Si les consignes de crue pour les barrages isolés sont en place, il reste encore en chantier l'établissement de consignes intelligentes pour les chaînes d'ouvrages plus difficiles à gérer. On s'interroge actuellement sur les conséquences de l'ouverture des concessions hydroélectriques à la concurrence qui pourrait conduire dans le futur à voir des industriels différents gérer des ouvrages interdépendants dans un même bassin versant.

La modernisation des ouvrages a vu se généraliser la mise en place d'automates programmables et certains incidents ont mis en évidence des défaillances dans ce domaine. Désormais une visite technique approfondie sera exigée chaque année auprès des exploitants, incluant vantellerie, contrôle commande et automatisme. Cela devrait se traduire pour les évacuateurs de crue par un contrôle annuel des structures métalliques et par un contrôle annuel du bon fonctionnement de la partie automatisme par des experts dans ces deux domaines spécifiques.