

18 octobre 2005 à Roanne (42)

Travaux de réhabilitation et de modernisation d'un barrage sur la Loire

De nombreux barrages ont été construits milieu et fin XIX^e siècle. Ces barrages doivent aujourd'hui faire l'objet de réhabilitations, ce qui permet de redécouvrir les techniques employées à l'époque (barrages à pelles, barrages à aiguilles manuelles, hausses Aubert...). Dans ce contexte, la délégation Rhône-Alpes de l'Association Française de Génie Civil a organisé le 18 octobre 2005 une journée consacrée aux travaux de réhabilitation et de modernisation du barrage de Roanne sur la Loire.

Rappel du programme

9h15 Accueil des participants

10h00 Mots d'accueil

par Jacques MARTIN (Président de l'AFGC Rhône-Alpes) et Patrick BOURVEN (Directeur Adjoint de la DDE de la Loire)

10h30 **Fonction et intérêt du barrage**

par Benoît DUFUMIER (DDE de la Nièvre)

10h50 **Le projet final**

par Edouard BRODHAG (DDE de la Loire)

11h20 Pause

11h45 **Les études d'exécution**

par M. SCOUARNEC (Pétriassans)

12h15 **L'organisation générale et le déroulement du chantier**

par M. GAGACHIAN (Pétriassans)

12h40 **La fabrication des éléments métalliques de structure**

par Henri BOUSQUIE (Baudin-Chateauneuf)



L'assistance pendant les conférences

13h00 **Le suivi et le contrôle du chantier**

par Bernard JACQUIER (CETE de Lyon) et Christian RUBIS (LRPC de Lyon)

13h15 Discussion animée par Jacques MARTIN (AFGC-RA)

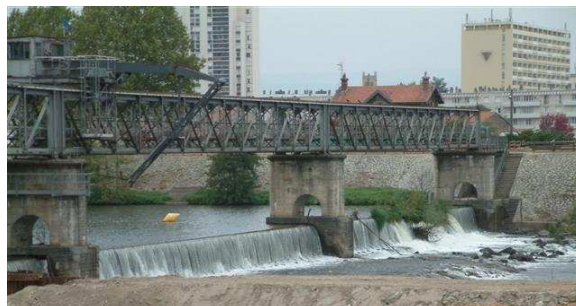
13h30 Repas pris sur place à l'hôtel restaurant Campanile

15h00 **Visite du chantier du barrage de Roanne**

16h30 Fin de la journée

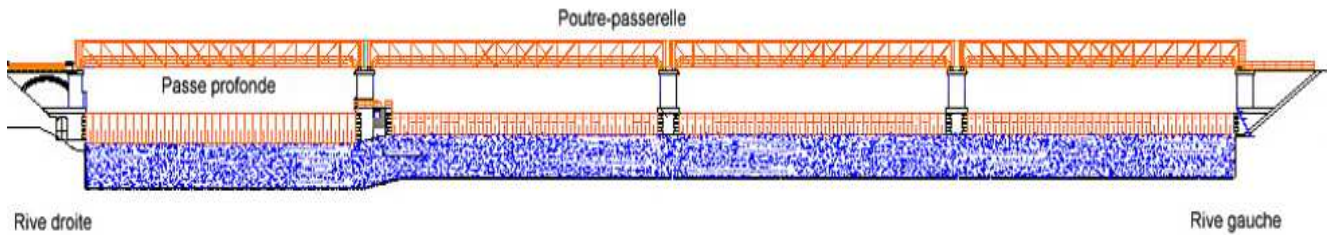
Présentation du barrage

Au XIX^e siècle, un barrage à aiguilles et en terre fusible était en place sur la Loire. Ce barrage à quatre passes (trois passes hautes et une passe profonde) va fonctionner jusqu'en 1939. En 1939, on décide de mécaniser le système en remplaçant les aiguilles par des hausses Aubert. Ce système a également l'avantage de pouvoir s'abaisser en cas de crue. Une quarantaine de hausses est alors mise en place sur les quatre passes. Un chariot de manœuvre circulant sur une poutre treillis au-dessus du barrage permet la manipulation des hausses. Ce système est celui en place depuis 1939, bien qu'il fût l'objet d'une rénovation en 1992.



Le barrage de Roanne : vue des passes 1 et 2

Le barrage de Roanne a pour fonction de maintenir le niveau d'eau à une cote constante de 268,42 NGF. Outre un attrait paysager pour la commune, ce niveau permet d'alimenter le port de Roanne et d'y maintenir une hauteur d'eau constante nécessaire à l'amarrage des bateaux. Le rôle du barrage dépasse également le cadre de la commune puisqu'il est l'alimentation principale du canal de Roanne à Nevers c'est à dire que 150 km de canaux dépendent directement du barrage de Roanne. On voit ainsi la nécessité d'avoir un système fiable.



Coupe longitudinale du barrage

En cas de crue, le personnel dispose d'une demi-heure de délai pour ouvrir les hausses suite à un lâcher d'eau au niveau du barrage de Villereest situé en amont sur la Loire. Ce faible délai demande une organisation importante et rend, compte tenu du système, quasiment impossible l'ouverture des hausses en temps suffisant. En outre, les manœuvres sont dangereuses pour les opérateurs, d'autant plus qu'ils doivent intervenir pendant les crues.

En 1999, on relève des problèmes de fuites sur les hausses. Il est alors difficile de maintenir un niveau d'eau suffisant, surtout en été où le débit d'étiage est faible (12m³/s). Les passes 1 et 4 ne sont plus manœuvrables depuis plusieurs années, en cas de crue majeure où il serait nécessaire de les baisser, on ne pourrait plus les remonter. Il faut ajouter à ces désordres les passes à poissons qui ne sont plus efficaces, la dégradation des maçonneries et le vieillissement des structures métalliques.

Pour des raisons de sécurité (au niveau de la solidité du barrage mais également au niveau des opérateurs) et de fiabilité, il était alors nécessaire de moderniser le barrage avec un système moins dangereux, plus fiable et automatiser à 80% les manœuvres.

Le projet

Le maître d'ouvrage est VNF (Voies Navigables de France) qui gère l'ensemble des canaux de France exceptés le Rhône et les canaux bretons, représenté localement par la DDE de la Nièvre qui est l'exploitant. A l'époque de la commande, la maîtrise d'ouvrage était assurée par la DDE de la Loire.

Deux premiers appels d'offre se sont révélés infructueux (en 2003), l'enveloppe ne correspondant pas au marché. De plus, peu d'entreprises ont les capacités techniques pour répondre à un tel projet.

Un troisième appel d'offre a été lancé avec différentes options étant donné les incertitudes financières. Une option consistait à moderniser l'ensemble du barrage en supprimant les hausses Aubert et donc la poutre treillis (remplacée alors par une passerelle pour piétons). Une deuxième option proposait la modernisation d'une passe et la réhabilitation des hausses des trois autres passes. Une incertitude concernait également l'avenir de la passe 1. L'option retenue a été la modernisation de la passe 4 (la passe profonde), la réhabilitation des passes 2 et 3, des abords et d'une passe à poissons. La passe 1 a été exclue du marché étant donné qu'une micro centrale va occuper

prochainement la moitié de cette passe et que le concessionnaire s'engage à installer un clapet sur l'autre moitié, ainsi qu'une passe à poissons.

Compte tenu de la diversité des travaux, seul un groupement d'entreprises pouvait répondre. Le groupe Pétrissans / Baudin-Chateauneuf / Mazza BTP a été retenu. Mazza BTP ayant dû quitter le groupement, Pétrissans a repris les travaux de terrassement. En effet, les entreprises étaient engagées en groupement solidaire.

Le coût du projet est de 5,2 millions d'euros. Le financement est assuré essentiellement par l'Etat (à travers des subventions versées à VNF) (41%) mais également par l'Europe, les régions Bourgogne et Rhône-Alpes, les départements Saône-et-Loire et Loire, l'établissement public Loire et le Grand Roanne.

La modernisation de la passe 4

- Le batardeau

Le chantier a débuté par la mise en place d'un batardeau en terre pour mettre à sec la zone mais également pour permettre un accès aux véhicules de chantier par l'intermédiaire d'une piste. Au préalable, il a fallu purger les matériaux posés sur le lit du fleuve, notamment en aval. Ce batardeau de 25000m³ (6 mètres de hauteur pour 200 mètres linéaires environ) a été mis en place pendant la période d'étiage par poussée des matériaux au fur et à mesure de leur arrivée. Une carapace en enrochement et la mise en place de glaise devaient compléter l'étanchéité. Mais il a fallu rajouter des palplanches pour améliorer l'étanchéité de certaines zones, pour protéger l'interface entre le batardeau et le lit naturel du fleuve et pour raidir le talus afin de protéger les hausses au niveau de la passe 3. Cependant, des fuites persistant, un système de pompage fonctionne en permanence (3000 m³/h).



Le batardeau en aval

A la fin du chantier, le batardeau sera quasiment entièrement évacué, seule une petite partie restera dans la fosse naturelle de la Loire.

- Démantèlement partiel du radier

Pour éviter tout problème de vibration au niveau de la pile P3 et de la culée C4 (rive droite), des trous parallèles à chaque appui ont été effectués. Il était prévu de démolir le radier à la fraise hydraulique mais le rendement s'est avéré très faible à cause de la présence de blocs de granit. Le radier a donc été démantelé au brise roches hydraulique.

Le radier a été refait sur une épaisseur de 60 mm. Il est ancré dans l'existant par 190 clous. Le ferrailage est de l'ordre de 65 kg/m³.



Le radier de la passe 4

- Les clapets métalliques

Deux clapets métalliques de 25 tonnes chacun (21 m de long pour une hauteur de 3,4 m) occuperont la passe 4.

Un unique vérin hydraulique équipe chaque clapet. L'attache du vérin est excentrée par rapport au clapet, ce qui pose des problèmes de flexion déviée. Pour reprendre ces efforts, le palier à cette extrémité du clapet est en forme de caisson. Une modélisation éléments finis du clapet a été effectuée.

Un séparateur de flots est situé entre les deux clapets. Il permet d'assurer l'étanchéité et joue le rôle de déflecteur hydraulique. Les bajoyers assurant la liaison et l'étanchéité entre les clapets et la pile ou la culées sont en acier recouverts d'une tôle inox. Dans la zone de débattement des clapets.

Un clapet permet de contrôler 600 m³/s alors qu'une hausse contrôle 10 m³/s. La passe 4 devrait donc permettre de réguler le niveau à 80% du temps uniquement en manipulant ces clapets. La mise en place d'un clapet par le concessionnaire de la micro centrale sur la passe 1 a pour but de réguler uniquement les désordres apportés par la centrale.



Le séparateur de flots

- Etaisement de la poutre treillis

Les travaux de démolition de la pile P3 et de la culée ont au préalable nécessité l'étaisement de la poutre treillis (de 56 tonnes) qui reposait dessus. Une première étape a consisté à élayer la poutre au niveau de P3 tout en la laissant reposer sur la culée. Une fois P3 achevée, la poutre sera reposée sur la pile et élayer au niveau de la culée pour permettre sa démolition. Les tour d'étaisement supportant la passerelle au niveau de P3 ou de la culée reposent à l'amont sur des caissons de palplanches et à l'aval sur les avant bec des appuis. Le levage de la poutre treillis s'est effectué avec des vérins sur une hauteur de 5 à 6 cm. Le contreventement de la structure métallique est assuré par un haubannage.

- Remplacement partiel de la pile P3 et de la culée rive droite

La pile et la culée encadrant la passe 4 ont dû être en partie démolies. En effet, avec le système des hausses Aubert, elles étaient soumises uniquement à des efforts de poussée dus à l'eau alors qu'à l'issue des travaux elles vont devoir reprendre un tiers des efforts ramenés par chaque clapet. La base de la pile P3 sera conservée alors que la partie supérieure a été démolie (aucun ferrailage n'était présent). La partie supérieure refaite sera plaquée sur la base conservée à l'aide de tirants précontraints forés. Ceci a pour but d'éviter toute décompression de la partie inférieure en maçonnerie. Les platines d'appui de la poutre sont conservées.



La base de la pile P3 et la poutre treillis étayée

L'aspect extérieur des piles et des culées sera conservé. Une voûte en maçonnerie accolée à la culée rive droite doit également être conservée. Afin de ne pas altérer sa stabilité, la culée et la pilette seront arasées en escalier et un étaieement ainsi que des tirants métalliques ont été mis en place au niveau de la voûte.



La voûte, rive droite, étayée et munie de tirants métalliques

La réhabilitation des passes 2 et 3

- Le système à hausses Aubert

Sur les passes 2 et 3, il a été choisi de conserver le système des hausses Aubert.

Une hausse est une tôle munie de raidisseurs. Elle mesure 2,6 m de hauteur pour 1,35 m de largeur. Une hausse s'appuie sur une béquille (ou arc-boutant) qui est fixée sur un cran de la crémaillère. Le joint entre deux hausses est assuré par un U métallique qui est comprimé et assure l'étanchéité lorsque deux hausses accolées sont fermées.



Hausses Aubert avec le système béquille-crémaillère

Pour abaisser une hausse, un chariot roulant sur la poutre treillis (muni d'un bras avec crochet à l'extrémité) décroche la béquille du cran et la laisse glisser dans la rainure de la crémaillère prévue à cet effet. Il peut arriver que la béquille ne tombe pas parfaitement dans la glissière de la crémaillère et il faut alors l'intervention d'un opérateur lorsque l'on veut redresser la hausse. C'est l'inconvénient majeur du système. Le chariot pose également problème pour le franchissement des piles. En effet, il faut enlever le câble reliant le bras à l'arrière du chariot à chaque passage de pile.



L'ancien chariot avec son bras

- Le remplacement des hausses et du chariot

37 hausses seront remplacées (entièrement ou partiellement) et 46 seront réhabilitées (démontées, sablées et repeintes). Pour remplacer une hausse, un batardeau vient s'appuyer sur les hausses voisines ou sur la pile pour les hausses accolées aux piles. Cette opération doit s'effectuer en période d'étiage. Elle a déjà été mise en œuvre en 1992 lors de la rénovation de certaines hausses. Il aurait pu être intéressant d'apporter des améliorations techniques au système des hausses Aubert. Cependant, le fait de ne changer que partiellement les hausses laissait peu de liberté aux innovations étant donné qu'il faut adapter les éléments les uns aux autres.

Le chariot de manœuvre va également être remplacé, notamment à cause du problème de passage des piles. Deux solutions étaient proposées : mettre un chariot

sur chacune des passes ou installer un nouveau type de chariot à bras télescopique à système hydraulique, bras qui peut se replier entièrement lors du passage des piles. La deuxième solution a été retenue. Le bras télescopique permet d'avoir une plus grande précision et donc des efforts plus faibles au niveau des hausses tout en ayant un chariot qui amène des efforts identiques sur la poutre treillis. Une nacelle amovible équippée également le chariot, elle sera utilisée pour aller récupérer une béquille qui aurait déraillée.

- Conception de la poutre batardeau

Pour l'entretien des clapets (changement de joints, peinture...), une poutre batardeau de 42,6 m de long sera amenée en flottaison jusqu'au niveau du barrage puis fixée sur des potences au niveau des piles et culées. Une partie de la poutre sera remplie d'eau pour sa mise en place. Elle a été dimensionnée pour être suspendue entièrement remplie d'eau. La poutre étant en place, des aiguilles, stockées dans sa partie supérieure et facilement maniables, seront positionnées en amont de la poutre pour assurer la mise à sec des hausses Aubert.

La grande longueur de la poutre la rend peu maniable et difficile à stocker mais son utilisation va rester relativement rare.

- La rénovation de la poutre treillis

La poutre métallique sera renforcée, sablée et repeinte. Les opérations seront effectuées sous bâche afin de protéger le fleuve, notamment de la présence éventuelle de plomb. La passerelle piétons, actuellement peu sécurisante, sera remplacée.



La passerelle de la poutre treillis

Prise en compte de l'environnement

L'environnement a été pris en compte dès l'amorce du projet pour protéger la faune et la flore.

Suite à la mise en place du batardeau en terre, une pêche électrique a été effectuée afin de remettre les poissons prisonniers dans le fleuve.

Des études concernant la population de poissons et le nouveau système hydraulique du barrage ont été effectuées par un bureau d'études spécialisé (SIEE). Elles ont conduit à une modification de la localisation des passes à poissons : les deux anciennes passes se trouvaient au niveau de la passe 4 (passe profonde) alors que les futures passes vont être installées au niveau de chaque rive. Une passe va donc être comblée, la passe rive droite rénovée et le concessionnaire de la micro centrale s'est engagé à créer une autre passe à poissons rive gauche.

Un chantier complexe

Ce chantier s'est révélé complexe à plusieurs niveaux. Les difficultés relèvent plus du choix des hypothèses (par exemple au niveau du choix de la cohésion à prendre pour le batardeau) ou des méthodes à mettre en œuvre sur le chantier que des études techniques.

La présence de la passerelle métallique a posé quelques problèmes : la manutention, notamment l'intervention d'une grue, est limitée et son étalement a également nécessité réflexion.

Le chantier dispose de très peu de place de stockage et a donc dû fonctionner en flux tendus en faisant venir les différents matériaux (enrochement, béton, coffrages, ferrailage...) au fur et à mesure avec tous les inconvénients liés : organisation exigeante, dépendance par rapport aux carrières et aux transporteurs.

La complexité du chantier nécessite l'intervention de multiples intervenants avec des métiers transversaux, des techniques différentes (métal, géotechnique, béton armé et béton précontraint, peinture, chariot de manœuvre, vérins hydrauliques, étalement, enrochement et travaux fluviaux), des localisations géographiques diverses. Le chantier est donc plus exactement un ensemble de chantiers imbriqués. Le nombre de pièces échangées est de ce fait très important (plus de 1000 pièces). Le marché manquait également de précision. Le CCTP, se référant au fascicule 66, impose des règlements du génie civil pas toujours adaptés à ce type de chantier. Il est donc nécessaire d'établir un CCTP adapté au chantier avec un assouplissement de certaines exigences. De plus, le fascicule 66 ne traite pas de toutes les pièces qui ont pu être utilisées sur ce chantier. Il est donc nécessaire d'avoir des documents de référence pour ce type de travaux.

Enfin, des conceptions et des choix techniques sont à privilégier. Ainsi, il aurait été préférable de reconstruire l'ensemble des structures servant d'appui (piles et culées) plutôt que de choisir une démolition partielle.

Les travaux de réhabilitation et de modernisation du barrage de Roanne ont permis de mesurer la complexité d'un tel chantier. A un milieu hostile s'ajoutent des problèmes liés à la rénovation d'un ouvrage ancien, à la

multiplicité des intervenants, ainsi qu'à l'absence de textes de référence pour ce type de travaux. Ce chantier prototype est toutefois un bon exemple des travaux de réhabilitation qui vont devoir être effectués sur les divers barrages construits au XIX^e.

L'après-midi a été consacrée à une visite du site.

Tous les participants ont remercié chaleureusement les organisateurs de cette manifestation et notamment les différents intervenants qui n'ont pas économisé sur

Les manifestations régionales

l'enseignement de leur savoir-faire et de leur expérience acquise sur ce type de réhabilitation particulière, qui pourra être mise à profit sur des futurs projets de cette nature.

*Compte-rendu rédigé par Amandine CHAMBOSSE
élève de 4^{ème} année à l'INSA GCU de Lyon.*