REPUBLIC OF LEBANON COUNCIL FOR DEVELOPMENT AND RECONSTRUCTION





# MISE A JOUR DES ETUDES ET ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE BISRI

**BARRAGE BISRI** 



## AVANT PROJET DETAILLE

# PIECE 7 : CALCULS HYDRAULIQUES 7.2 : ETUDE SUR MODELE REDUIT HYDRAULIQUE

Avril 2014





## ETUDE SUR MODELE REDUIT HYDRAULIQUE DU BARRAGE BISRI LIBAN



## RAPPORT DEFINITF

Version avril 2014

## Table des matières

#### Page

| 1. INTRODUCTION  | 3  |
|--|--|
| 2. FICHE SYNOPTIQUE  | 4  |
| 2.1 DONNEES GENERALES  | 4  |
| 2.2 CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES   | 4  |
| 2.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE  | 4  |
| 2.4. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES   | 4  |
| 2.5. DOCUMENTS   | 5  |
| 3. DESCRIPTION DES OUVRAGES  | 6  |
| 3.1 EVACUATEUR DE CRUE   | 6  |
| 3.2 VIDANGE DE FOND  | 6  |
| 4 SIMILITUDES D'ECOULEMENT ET APPAREILLAGES DE MESURE  | 7  |
| 4-1 SIMILITUDE D'ECOULEMENT  | 7  |
| 4-2 APPAREILLAGES DE MESURES   | 8  |
| 5. ESSAIS DE LA VARIANTE APD DE L'EVACUATEUR DE CRUES  | 9  |
| 5.1 ETUDE DE L'ENTONNEMENT DE L'EVACUATEUR DE CRUE   | 9  |
| 5.2 CAPACITE D'EVACUATION  | 9  |
| 5.3 ECOULEMENT DANS LE COURSIER DE L'EVACUATEUR DE CRUE (VARIANTE APD)   | 10   |
|  |  |
| 6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)  | 15   |
| 6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)     6.1 ESSAIS DE LA VIDANGE DE FOND (VARIANTE APD)  | 15<br>15   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li> <li>6.1 ESSAIS DE LA VIDANGE DE FOND (VARIANTE APD)</li> <li>6.2 ESSAIS DE L'EVACUATEUR DE CRUES (VARIANTE APD)</li> </ul> | 15<br>15<br>15   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li> <li>6.1 ESSAIS DE LA VIDANGE DE FOND (VARIANTE APD)</li></ul>  | 15<br>15<br>15<br>16   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li> <li>6.1 ESSAIS DE LA VIDANGE DE FOND (VARIANTE APD)</li></ul>  | 15<br>15<br>15<br>16<br>16   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>15<br>16<br>16<br>16   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>16<br>17   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>16<br>17<br>17   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>16<br>17<br>17   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>16<br>17<br>17<br>17   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>17<br>17<br>17<br>17   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | 15<br>15<br>16<br>16<br>16<br>17<br>17<br>17<br>17<br>21   |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | <ol> <li>15</li> <li>15</li> <li>16</li> <li>16</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>21</li> <li>21</li> </ol>                         |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | <ol> <li>15</li> <li>15</li> <li>16</li> <li>16</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>21</li> <li>21</li> <li>21</li> </ol>             |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | <ol> <li>15</li> <li>15</li> <li>16</li> <li>16</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>21</li> <li>21</li> <li>22</li> </ol>             |
| <ul> <li>6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)</li></ul>   | <ol> <li>15</li> <li>15</li> <li>16</li> <li>16</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>17</li> <li>21</li> <li>21</li> <li>21</li> <li>22</li> <li>23</li> </ol> |

-

## **1. INTRODUCTION**

La présente note technique donne les résultats de l'étude sur modèle réduit hydraulique de l'évacuateur de crue et de la vidange de fond du barrage BISRI.

Le barrage BISRI est de type digue zonée à noyau central argileux, la cote de crête du barrage fixée à 469 NGL.

L'étude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI a été menée sur un modèle d'ensemble à l'échelle 1/50 (voir plan n°1) comportant :

- Le modèle de la vidange de fond (étude de la restitution),
- Le modèle de l'évacuateur de crue (étude complète).

L'évacuateur de crue du barrage est conçu pour faire passer dans des conditions acceptables la crue de projet (CMP) ayant avec un débit de pointe non laminé de 2300 m<sup>3</sup>/s.

Le tableau suivant donne les échelles des principales grandeurs intervenant dans les essais sont alors, conformément aux lois de la similitude de Froude :

| Longueur           | 1/50                             |
|--------------------|----------------------------------|
| Vitesse, Temps     | 1/7.071 (1/50 <sup>1/2</sup> )   |
| Pression (m d'eau) | 1/50                             |
| Surface            | 1/2500 (1:50 <sup>2</sup> )      |
| Débit              | 1/17677.7 (1/50 <sup>5/2</sup> ) |

## **2. FICHE SYNOPTIQUE**

### **2.1 DONNEES GENERALES**

| Maître de l'ouvrage               | : CDR (Council for Development and Reconstruction) Liban          |  |  |  |
|-----------------------------------|---|--|--|--|
| Ingénieur Conseil                 | : NOVÈC (Maroc) / DAHNT (Liban)                                   |  |  |  |
| Cours d'eau                       | : Nahr Bisri  |  |  |  |
| Ville la plus proche              | : Saida   |  |  |  |
| Destination principale du barrage | : Alimentation en eau potable de Bayreuth et production d'énergie |  |  |  |

#### 2.2 CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

| Surface du BV    |      | :  | : 215 km²                                     |     |      |     |
|------------------|------|----|---|-----|------|-----|
| Module inter-ann | nuel | :  | : 4.2 m <sup>3</sup> /s (période 1952 - 2010) |     |      |     |
| Apport annuel m  | oyen | :  | 131 Mm <sup>3</sup> ;                         |     |      |     |
| Maximum          |      | :  | : 488 Mm <sup>3</sup> année 2002 ;            |     |      |     |
| Minimum          |      | :  | : 55 Mm <sup>3</sup> année 1959.              |     |      |     |
| Crue             |      |    |   |     |      |     |
| Т                | 10   | 20 | 50  | 100 | 1000 | 1   |
|                  |      |    |   |     |      | 1 - |

| Т          | 10  | 20  | 50   | 100  | 1000 | 10000 | CMP  |
|------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|
| Qp(Projet) | 350 | 450 | 550  | 600  | 850  | 1100  | 2300 |
| VP         | 6.5 | 8.3 | 10.2 | 11.1 | 15.7 | 20.3  | 42.5 |

#### **2.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE**

| Niveau de retenue normal            | : | 461 NGL               |
|-------------------------------------|---|-----------------------|
| Aire de la retenue au niveau normal | : | 3.98 km <sup>2</sup>  |
| Capacité à retenue normale          | : | 124.8 Mm <sup>3</sup> |

### **2.4. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES**

#### <u>Barrage</u>

| Type                  | : Digue zonée à noyau central argileux |
|-----------------------|--|
| Fondation :           | : Calcaires et dépôts quaternaires     |
| Hauteur maxi sur TN : | : 70m                                  |
| Longueur en crête     | : ~ 720 m                              |
| Largeur en crête      | : 12 m                                 |
| Cote de la crête :    | : 469 NGL                              |
| Volume de remblai     | : 7 Mm <sup>3</sup>                    |

\_

#### Evacuateurs de crue

| Type et | implantatior | ۱ |
|---------|--------------|---|
|---------|--------------|---|

: Seuil libre latéral en rive gauche

| Cote seuil<br>Crue de projet<br>Longueur déversante<br>Longueur du coursier<br>Mode de restitution<br>Débit maximum évacué :<br>Charge d'eau max. sur le seuil :<br>Cote PHE : | : 461 NGL<br>: CMP (2 300 m³/s)<br>: 45 m<br>: 430 m<br>: Cuillère (éventuellement à redans)<br>: 1262 m³/s<br>: 5.7 m<br>: 466.7 NGL   |
|--|---|
| Vidange de fond  |   |
| Implantation<br>Nombre de pertuis<br>Cote du seuil<br>Section galerie amont<br>Section galerie aval  | : Souterrain en rive gauche<br>: 01 pertuis<br>: 400.5 NGL<br>: Circulaire Ø5m<br>: Piédroits verticaux et calotte circulaire de 5m de<br>largeur et 5m de hauteur en clef de voûte |
| Longueur du tunnel<br>Vanne de garde<br>Vanne de réglage<br>Capacité de la vidange sous RN<br>Temps de vidange totale  | : ~ 715m<br>: 2.50 x 3.80<br>: 2.50 x 3.00<br>: 204 m³/s<br>: 9 jours (apport nul)<br>: 11 jours (apport de 20 m³/s)  |

## **2.5. DOCUMENTS**

Les documents mis à la disposition du Laboratoire, ayant servi à l'étude sur modèle hydraulique du barrage Bisri sont inventoriés ci-dessous.

- Note de Calculs Hydrauliques APD
- Plans :
  - Fond topographique du site
  - Vue en plan générale du barrage,
  - Définition générale des ouvrages
  - Evacuateur de crue, vue en plan et coupes
  - Vidange de fond vue en plan et coupes

## 3. DESCRIPTION DES OUVRAGES

## **3.1 EVACUATEUR DE CRUE**

L'évacuateur de crue est à seuil libre implanté en rive gauche. Sa longueur déversante est de 45 mètres. Le seuil circulaire est suivi d'un convergent et d'un coursier de 30 m de largeur et de 430m de longueur.

Le coursier marque un coude imposé par les conditions topographiques et géologiques du site. Pour éviter la concentration des écoulements côté extérieur du coude, un voile en béton est disposé le long de celui-ci dans l'axe du coursier. La restitution se fait à l'aide d'une cuillère après une légère divergence du coursier amenant sa largeur à 43.50m.

#### **3.2 VIDANGE DE FOND**

La vidange de fond est un tunnel souterrain de 715m de longueur et de section circulaire à l'amont et en piédroits verticaux et calotte circulaire à l'aval.

La tête aval de la vidange est disposée au-dessous de la cuillère de l'évacuateur dans un massif calcaire rigide.

L'accès à la chambre des vannes est assuré par un puits vertical adossé au bajoyer rive droite de l'entonnement de l'évacuateur. Le puits comporte un compartiment dédié à l'amenée de l'air nécessaire à l'aération de l'écoulement dans le tronçon aval/

La vidange de fond du barrage Bisri comporte les ouvrages suivants :

- Un chenal amont à ciel ouvert calé à la cote 400.00
- Un ouvrage d'entonnement dont le seuil est calé à la cote 400.50
- Un tronçon de galerie de faible pente (0.1%) de section circulaire de diamètre intérieur fini de 5m, sur une longueur d'environ 300m et qui présente un coude de 80m de rayon à l'amont du puits de vannage.
- Un tronçon comportant les transitions et la base du puits de vannage, d'une longueur d'environ 47.5m, équipé de deux vannes :
  - Vanne de réglage aval de L2.50m x H3.0m
  - Vanne de garde amont de L2.50m x H3.80m
- Un tronçon de galerie, de section à piédroits verticaux et calotte de 5m de largeur et 5m de hauteur en clef de voûte ayant une pente uniforme de 0.92%. Ce tronçon aval, comporte également un coude de 120m de rayon et se termine par une cuillère de restitution disposée sous le seuil de l'évacuateur de crue.

## **4** SIMILITUDES D'ECOULEMENT ET APPAREILLAGES DE MESURE

## **4-1 SIMILITUDE D'ECOULEMENT**

#### 4-1-1 La similitude de Froude

Les écoulements dans l'évacuateur de crue et dans le tronçon aval de la vanne de réglage de la vidange de fond sont le siège d'un écoulement à surface libre. Les forces de gravité sont donc prépondérantes et il devient nécessaire de conserver le rapport entre les forces d'inertie et les forces de gravité auxquelles les particules fluides sont soumises. Aussi, la similitude de Froude qui impose d'obtenir la même valeur du nombre Froude sur le modèle et sur le prototype a-t-elle été adoptée. Dans ces conditions les échelles sont :

- L'échelle des vitesses sera  $\lambda v = \lambda 1/2$ ;
- L'échelle du temps sera  $\lambda t = \lambda 1/2$ ;
- L'échelle de l'accélération λa = 1.

#### 4-1-2 La distorsion de la similitude de Reynolds

L'adoption de la similitude de Froude implique de renoncer à la similitude de Reynolds qui exprime la conservation du rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité auxquelles les particules du fluide sont soumises. Le nombre de Reynolds n'est donc pas conservé. A 20°C, la viscosité de l'eau douce est de v=1.00 10-6 m<sup>2</sup>/s, conduisant à une distorsion du nombre de Reynolds d'un coefficient  $\lambda^{3/2}$ . En d'autres termes, les efforts de viscosité seront surestimés d'un coefficient  $\lambda^{3/2}$ .

Les efforts visqueux se manifestent essentiellement par les pertes de charges dues aux frottements pariétaux et aux pertes de charges singulières. Il suffit donc, pour qu'elles soient représentatives, d'obtenir sur le modèle le même régime d'écoulement que sur le prototype.

Lorsque ce régime est laminaire sur le prototype, il l'est évidemment aussi sur le modèle. Lorsque ce régime est turbulent sur le prototype, il est pratiquement toujours possible de l'obtenir turbulent sur le modèle si le nombre de Reynolds n'est pas trop réduit. Dans le cas du barrage Bisri, ce nombre est réduit par un facteur de 350. Dans le prototype, le nombre de Reynolds est de l'ordre de 10<sup>7</sup> à 10<sup>8</sup>, et dans le modèle, il est de 10<sup>5</sup> à 10<sup>6</sup>.

#### 4-1-3 La distorsion de la similitude de Weber

La similitude de Weber traduit la conservation du rapport entre les efforts de tension superficielle et les efforts d'inertie. Le nombre de Weber s'écrit :

We = (<u>ρ V2L)</u>/σ

Où :  $\sigma$  est la tension superficielle de l'interface air-eau.

A 20°C,  $\sigma$  = 7.28 10<sup>-2</sup> N/m pour l'eau douce. La similitude de Weber sera distordue d'un coefficient  $\lambda^2$ , ce qui est négligeable. En d'autres termes, les efforts de tension superficielle seront surestimés d'un coefficient  $\lambda^2$ . Dans le prototype We est de l'ordre de 10<sup>7</sup>, en modèle We est de l'ordre de 10<sup>4</sup>, l'influence du nombre de Weber est faible. Par conséquent, l'écoulement est turbulent dans le modèle.

#### 4-1-4 La distorsion de la similitude d'Euler

La similitude d'Euler traduit la conservation du rapport entre les efforts de pression et les efforts d'inertie. Pour un débit de masse d'air entraîné à l'échelle des masses, le débit volumique d'air du prototype évoluera dans une plus large proportion que celui du modèle. La seule façon d'assurer la similitude d'Euler est de réaliser les essais en atmosphère dépressurisée à l'échelle des pressions. Ce qui est d'autant plus difficile que l'échelle du modèle diminue.

Il convient de noter qu'en dehors des problèmes liés à la cavitation, le problème posé par la distorsion de la similitude d'Euler est souvent ignoré.

Dans le cas présent les vitesses d'écoulement en présence ne sont pas de nature à générer le développement d'une cavitation significative. De plus, la fréquence de fonctionnement des ouvrages hydrauliques restera faible et de courte durée.

#### **4-2 APPAREILLAGES DE MESURES**

- **Débit** : les débits seront mesurés en amont du modèle au moyen d'un débitmètre électromagnétique, sa précision est de 0.5%.
- Niveau d'eau : on emploie des limnimètres à pointe, précision 0.2 à 0.3mm.
- **Pressions statiques** : les prises de pressions statiques sont reliées à une batterie de piézomètres, précision 1mm.
- **Pressions dynamiques** : capteur de pression type membrane encastrée, précision 1cm d'eau.
- Vitesse : les vitesses seront mesurées par micro-moulinet qui permet une bonne précision, on utilisera aussi le tube de Pitot si la mesure au micro-moulinet se révèle incommode (surtout pour les grandes vitesses) ou encore des flotteurs.
- Lignes de courant : les lignes de courant sont visualisées au moyen de flotteurs.
- Débits d'air : le débit d'air sera mesuré si possible par un tube de venturi.

## 5. ESSAIS DE LA VARIANTE APD DE L'EVACUATEUR DE CRUES

#### **5.1 ETUDE DE L'ENTONNEMENT DE L'EVACUATEUR DE CRUE**

L'entonnement de l'évacuateur de crue a été étudié pour des débits variant entre 75 et 1260 m<sup>3</sup>/s. Ce dernier correspond au débit maximum au passage de la crue de projet, laminée par la retenue.

Les photos n° A1, A2 et A3 visualisent l'aspect de l'entonnement de l'évacuateur de crue au cours du passage du débit de l'ordre de 1260 m<sup>3</sup>/s. On constate que l'entonnement de l'évacuateur de crue est satisfaisant sauf du côté droit où l'écoulement sur le seuil n'est pas stable avec une forte contraction, il est dû à la forme de l'extrémité du mur bajoyer droit.

#### **5.2 CAPACITE D'EVACUATION**

L'évacuateur de surface est constitué par un seuil libre, le débit évacué par cet ouvrage est donné par la relation suivante :

Q = Débit évacué ;

C = Coefficient de débit variant avec la charge d'eau sur le seuil déversoir ;

H = Charge d'eau au-dessus du seuil déversoir ;

L = Longueur effective de l'évacuateur (45m).

La figure ci-dessous donne l'évolution de la courbe hauteur débit de l'évacuateur de crues.



La capacité maximale de l'évacuateur de crues, égale à 1260m<sup>3</sup>/s, est atteinte pour une cote de la retenue égale à 466.50 NGM, correspondant à un coefficient de débit de l'ordre de 2,17.

| Le tableau ci- | dessous dor | ine les valeu | rs des | coefficients | du débit | en fonction | de la c | ote de la | retenue du |
|----------------|-------------|---------------|--------|--------------|----------|-------------|---------|-----------|------------|
| barrage.       |             |               |        |              |          |             |         |           |            |

| Débit (m <sup>3</sup> /s) | Cote (NGM) | Coefficient du Débit |
|---------------------------|------------|----------------------|
| 75                        | 461,89     | 1,99                 |
| 225                       | 462,84     | 2,01                 |
| 525                       | 464,13     | 2,11                 |
| 825                       | 465,28     | 2,07                 |
| 1260                      | 466,50     | 2,17                 |

La figure ci-dessous donne l'évolution du coefficient du débit de l'évacuateur de crue



## **5.3 ECOULEMENT DANS LE COURSIER DE L'EVACUATEUR DE CRUE (VARIANTE APD)**

L'étude de l'écoulement dans le coursier de l'évacuateur de crue a été réalisée pour les débits 200, 600 et 1260 m<sup>3</sup>/s.

Des mesures de la vitesse moyenne ont été réalisées sur le coursier à l'aide d'un tube de Pitot, le tableau ci-dessous montre les valeurs des vitesses moyennes en partant de l'extrémité de la cuillère jusqu'au pied du seuil de l'évacuateur de crues pour le débit de l'ordre de 1260 m<sup>3</sup>/s. Les essais ont été effectués avec et sans le voile séparateur.

| Distance à partir de l | V en m/s |       |
|------------------------|----------|-------|
|                        | gauche   | 24,86 |
| 0                      | milieu   | 24,86 |
|                        | droit    | 25,64 |
|                        | gauche   | 20,06 |
| 50                     | milieu   | -     |
|                        | droit    | -     |
|                        | gauche   | 21,92 |
| 100                    | milieu   | 26,02 |
|                        | droit    | 19,05 |
|                        | gauche   | 19,31 |
| 150                    | milieu   | 19,56 |
|                        | droit    | 21,92 |
|                        | gauche   | 20,30 |
| 200                    | milieu   | 21,01 |
|                        | droit    | 20,54 |
|                        | gauche   | 19,56 |
| 250                    | milieu   | 20,30 |
|                        | droit    | 20,06 |
|                        | gauche   | 18,79 |
| 300                    | milieu   | 18,26 |
|                        | droit    | 18,26 |
|                        | gauche   | 14,69 |
| 350                    | milieu   | 15,97 |
|                        | droit    | 15,34 |
|                        | gauche   | 8,29  |
| 400                    | milieu   | 11,72 |
|                        | droit    | 7,67  |

Mesure de la vitesse moyenne sans le voile séparateur

-

| Distance à partir de | l'extrémité aval de la cuillère (m) | V en m/s |
|----------------------|-------------------------------------|----------|
|                      | gauche                              | 24,26    |
| 0                    | milieu                              | 24,26    |
|                      | droit                               | 24,26    |
|                      | gauche                              | 23,44    |
| 50                   | milieu                              | -        |
|                      | droit                               | 25,64    |
|                      | gauche                              | 20,78    |
| 100                  | milieu                              | -        |
|                      | droit                               | 17,16    |
|                      | gauche                              | 22,15    |
| 150                  | milieu                              | -        |
|                      | droit                               | 21,47    |
|                      | gauche                              | 20,30    |
| 200                  | milieu                              | 21,01    |
|                      | droit                               | 20,54    |
|                      | gauche                              | 19,56    |
| 250                  | milieu                              | 20,30    |
|                      | droit                               | 20,06    |
|                      | gauche                              | 18,79    |
| 300                  | milieu                              | 18,26    |
|                      | droit                               | 18,26    |
| 350                  | gauche                              | 14,69    |
|                      | milieu                              | 15,97    |
|                      | droit                               | 15,34    |
|                      | gauche                              | 8,29     |
| 400                  | milieu                              | 11,72    |
|                      | droit                               | 7,67     |

Mesure de la vitesse moyenne avec un seul voile séparateur

Les photos n° A4, A5 et A6 montrent l'aspect de l'écoulement le long du coursier de l'évacuateur de crue pour les débits de 1260 et 600 m<sup>3</sup>/s. les photos montrent qu'au droit de la courbure il y a une surélévation du plan d'eau à l'extrados de la courbure imputable à la force centrifuge. le niveau d'eau peut atteindre une hauteur de 12m à une distance de 350 m du seuil de l'évacuateur de crues.

La photo n° A7 visualise l'aspect de l'écoulement dans le coursier de l'évacuateur de crue au cours du passage du débit de 1260 m<sup>3</sup>/s avec présence d'un mur séparateur dans l'axe du coursier le long de la courbure.

L'introduction de ce mur permet de répartir l'écoulement dans deux chenaux séparés et conduit par conséquent à une diminution de la surélévation du plan d'eau à l'extrados de la courbure, laquelle surélévation passe de 12m sans voile central à 7.85m avec voile.

Le tableau ci-dessous donne, en fonction de la distance par rapport au seuil, les valeurs des hauteurs d'eau contre les murs bajoyers droit et gauche de l'évacuateur de crue au cours du passage d'un débit de l'ordre de 1260 m<sup>3</sup>/s. le tableau montre que la hauteur d'eau dépasse la hauteur du mur bajoyer gauche entre 300

et 410m pour le cas du coursier sans le voile séparateur et entre 300 et 360 m pour le cas du coursier avec le voile central.

|             | mur bai            | over droit         | Mur baiover o            | auche            |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------|
|             | Hauteur d'eau en m | Hauteur d'eau en m |                          | Hauteur d'eau en |
| Distance en | sans le voile      | avec le voile      | Hauteur d'eau en m       | m avec le voile  |
| m           | séparateur         | séparateur         | sans le volle separateur | séparateur       |
| 0           | 4                  | 4                  | 4                        | 4                |
| 2           | 3,5                | 3,5                | 3,5                      | 3,5              |
| 5           | 3,25               | 3,25               | 3,5                      | 3,5              |
| 7,5         | 4                  | 4                  | 4                        | 4                |
| 10          | 3,5                | 3,5                | 3                        | 3                |
| 20          | 3                  | 3                  | 2,5                      | 2,5              |
| 30          | 2,5                | 2,5                | 2                        | 2                |
| 40          | 2,5                | 2,5                | 2                        | 2                |
| 50          | 3,5                | 3,5                | 3                        | 3                |
| 60          | 3,5                | 3,5                | 3,5                      | 3,5              |
| 70          | 3,5                | 3,5                | 3,25                     | 3,25             |
| 80          | 3,25               | 3,25               | 3,25                     | 3,25             |
| 90          | 3,25               | 3,25               | 3,25                     | 3,25             |
| 100         | 2,5                | 2,5                | 3                        | 3                |
| 110         | 2,25               | 2,25               | 2,5                      | 2,5              |
| 120         | 2,25               | 2,25               | 2,5                      | 2,5              |
| 130         | 2                  | 2                  | 2,25                     | 2,25             |
| 140         | 1,75               | 1,75               | 2                        | 2                |
| 150         | 1,75               | 1,75               | 2,25                     | 2,25             |
| 160         | 1,75               | 1,75               | 2,25                     | 2,25             |
| 170         | 1,75               | 1,75               | 2,25                     | 2,25             |
| 180         | 1,75               | 1,75               | 2,75                     | 2,75             |
| 190         | 1,75               | 1,75               | 3                        | 3                |
| 200         | 2,75               | 2,75               | 2,75                     | 2,75             |
| 210         | 3,5                | 3,5                | 2,25                     | 2,25             |
| 220         | 3,25               | 3,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 230         | 3,25               | 3,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 240         | 2,25               | 2,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 250         | 2,25               | 2,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 260         | 2,25               | 2,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 270         | 2,25               | 2,25               | 1,75                     | 1,75             |
| 280         | 1,5                | 1,5                | 2,5                      | 2,5              |
| 290         | 1                  | 1                  | 3,5                      | 3,5              |
| 300         | 0,5                | 0,5                | 4                        | 4                |
| 310         | 0,25               | 0,25               | 5,75                     | 5,75             |
| 320         | 0,25               | 0,25               | 7,5                      | 7                |
| 330         | 0,25               | 0,25               | 10                       | 7,85             |
| 340         | 0,25               | 0,25               | 11,5                     | 7,5              |
| 350         | 0,25               | 0,25               | 12                       | 7                |
| 360         | 0,25               | 2,25               | 11,75                    | 5                |
| 370         | 0,25               | 3,5                | 10                       | 2,75             |
| 380         | 0,5                | 3,25               | 7,25                     | 1,25             |

Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes - AVRIL 2014 Centre Expérimental d'Hydraulique

| 390 | 1 | 3,25 | 5,75 | 1   |
|-----|---|------|------|-----|
| 400 | 3 | 3    | 5    | 1   |
| 410 | 4 | 2,25 | 2,25 | 1   |
| 420 | 3 | 2,5  | 2    | 0,5 |
| 430 |   |      | 1    | 0   |

Les figures n° 1 et 2 donnent les lignes d'eaux respectivement contre les murs bajoyers droit et gauche, pour le débit de 1260 m<sup>3</sup>/s sans le voile séparateur.

Les figures n° 3 et 4 donnent les lignes d'eaux respectivement contre les murs bajoyers droit et gauche, pour le débit de 1260 m<sup>3</sup>/s avec un seul voile séparateur.

## 6. ETUDE DE LA RESTITUTION (AFFOUILLEMENTS)

#### 6.1 ESSAIS DE LA VIDANGE DE FOND (VARIANTE APD)

Les essais d'affouillement dans le bassin aval ont été réalisés avec un sable de mer fin.

Les photos n° A11 et A12 visualisent l'aspect du jet de la vidange de fond, pour une ouverture totale des vannes sous la cote de la retenue normale. Il apparaît que le jet de la vidange de fond ne décolle pas d'une façon satisfaisante, la lame d'eau sur la cuillère reste très épaisse. Etant donné la vitesse d'écoulement à la sortie du tunnel de la vidange de fond, l'efficacité de la cuillère est peu satisfaisante et il conviendra de tester un redan à même de donner de meilleurs résultats.

La hauteur d'eau à l'extrémité aval de la galerie, après 380m de trajet est de l'ordre de 3.25 m, soit un taux de remplissage de l'ordre de 70.34%. Ce taux de remplissage est jugé satisfaisant sachant que le gonflement de la lame d'eau au modèle est nettement plus atténué que sur le prototype.

La vitesse moyenne a été mesurée à l'extrémité aval de la vidange de fond, elle est de l'ordre de 14 m/s pour l'ouverture total des vannes sous la cote de la retenue normale.

Les photos n° A14 et A15 donnent la fosse d'affouillement après fonctionnement de la vidange de fond avec ouverture totale des vannes sous la cote de retenue normale. Le point le plus profond se trouve à une cote de 383.50 NGL juste à l'aval de la dalle en béton recouvrant le rocher du substratum formant l'assise de a structure de restitution (voir figure n°5).

#### 6.2 ESSAIS DE L'EVACUATEUR DE CRUES (VARIANTE APD)

Les essais d'affouillement dans le bassin aval ont été réalisés avec un sable de mer fin et sans le voile séparateur au droit de la courbure du coursier de l'évacuateur de crue. Après chaque essai de il a été procédé à la reconstitution du fond de la zone de restitution.

Les photos n° A8 jusqu'au n° A11 montrent l'aspect du jet de l'évacuateur de crue pour les débits de 200, 600 et 1260 m<sup>3</sup>/s , la portée du jet est entre 30 et 60 mètres au passage d'un débit de 600m<sup>3</sup>/s et entre 58 et 80 mètres au passage d'un débit de 1260 m<sup>3</sup>/s.

La photo n° A16 visualise la fosse d'affouillement de l'évacuateur de crue après passage du débit de 200m<sup>3</sup>/s pour une durée de 3 heures en prototype, le point le plus profond se trouve à une cote de 385 NGL juste à l'aval de la dalle de protection du rocher d'assise de la cuillère de l'évacuateur de crue (voir figure n°6).

Les photos n° A17 et A18 visualisent la fosse d'affouillement de l'évacuateur de crue après passage du débit de 600 m<sup>3</sup>/s pour une durée de 3 heures en prototype, le point le plus profond se trouve à une cote de 384 NGL (voir figure n°7).

Les photos n° A19, A20 et A21 visualisent la fosse d'affouillement de l'évacuateur de crue après passage du débit de 1 260 m<sup>3</sup>/s pour une durée de 3 heures en prototype, le point le plus profond se trouve à une cote de 384 NGL à une distance de l'ordre de 60m juste de la limite aval de la cuillère de l'évacuateur de crue ( voir figure n°8).

## 7. ETUDE DES MODIFICATIONS DE LA VIDANGE DE FOND

Afin d'améliorer la dispersion du jet de la vidange de fond, il a été procédé à l'essai d'un redan disposé successivement à l'extérieur et à l'intérieur du souterrain.

## 7.1 ESSAIS DU REDAN PLACE A L'EXTERIEUR DU SOUTERRAIN

Les photos n°A22 et A23 montrent la modification n°1 de l'extrémité aval de la vidange de fond.

Les photos n°A24 et A25 visualisent l'aspect du jet de la vidange de fond pour l'ouverture totale des vannes sous la cote de la retenue normale. La zone d'impact du jet de la vidange de fond se trouve à 25m de l'extrémité du redent.

L'étude de la fosse d'affouillement pour le débit maximal de la vidange de fond a été menée avec un sable de mer fin de diamètre moyen D50 proche de 0.4mm.

La photo n°A26 visualise l'état du bassin aval après passage du débit maximal de la vidange de fond pendant une durée de 3 heures en modèle.

La fosse a atteint le niveau 387.50 NGL (voir figure n°9), après une durée de 3 heures en modèle (environ 22 heures en prototype).

#### 7.2 ESSAIS DU REDAN PLACE A L'INTERIEUR DU SOUTERRAIN

La figure n°10 montre l'aspect de la modification n°2 du redan placé à l'intérieur du tronçon aval de la vidange de fond.

Les photos n°41 jusqu'au n° 43 montrent l'état du bassin aval avant l'essai de la vidange de fond.

Les photos n°44 jusqu'au n° 46 visualisent l'aspect du jet de la vidange de fond avec des ouvertures totales des vannes et la cote du plan d'eau de la retenue normale, la portée moyenne du jet est de l'ordre de 24 mètres.

Les photos n°A47 et A48 montrent l'état du bassin aval après fonctionnement de la vidange de fond pendant une durée de 2 heures en modèle, la cote maximale de la fosse d'affouillement est de l'ordre de 389 NGL au pied des ouvrages de restitution et des érosions au niveau des deux rives à l'aval de la vidange de fond (voir figure n° 9bis).

La mise en place d'un redent a donc eu un effet très bénéfique sur la dispersion du jet ce qui a eu pour conséquence de réduire notablement les affouillements. La profondeur de la fosse qui s'est développée après 3 heures en modèle (22 heures environ en prototype) a diminué de 4m (point plus profond est passé de 383,50 NGL à 387.50 NGL).

#### **8.** ETUDE DES MODIFICATIONS DE L'EVACUATEUR DE CRUES

#### 8.1. MODIFICATION DU MUR BAJOYER DROIT

La forme du mur bajoyer droit de l'évacuateur de crue est curviligne de rayon de courbure égale à 14m sur une longueur de 12m avec disposition à son extrémité amont d'un cylindre de 1m de rayon.

Les photos n°A27 et A28 visualisent l'aspect de l'entonnement de l'évacuateur de crue au cours du passage des débits successivement de 600 et 1260m<sup>3</sup>/s. La modification apportée améliore notablement l'écoulement avec une diminution sensible la contraction des lignes d'eau.

# **8.2.** ESSAIS DE L'EVACUATEUR DE CRUE AVEC UN SEUL MUR SEPARATEUR MUNI D'UN DEFLECTEUR

Le plan n°20-000 montre les caractéristiques du mur séparateur avec un déflecteur de rayon de courbure égale à 115 mètre, et le même déflecteur a été placé sur le mur bajoyer gauche au niveau de la courbure du coursier.

Les photos n°A29, A30 et A31 montrent l'aspect du mur séparateur muni d'un déflecteur.

Les photos n°A32 et A33 visualisent l'aspect de l'écoulement dans le coursier de l'évacuateur de crue au cours du passage de débit de 600 m<sup>3</sup>/s. On constate que le plan d'eau ne dépasse pas le mur bajoyer gauche de l'évacuateur de crue le long de la courbure. A partir d'un débit 700m<sup>3</sup>/s, un débordement est observé. Les photos n°A34 et A35 sont relatives au passage du débit de 1260m<sup>3</sup>/s.

La photo n°A35 visualise l'aspect du jet de l'évacuateur de crue pour un débit de 1260 m<sup>3</sup>/s.

#### **8.3 ESSAIS DE L'EVACUATEUR DE CRUE AVEC DEVERS AU DROIT DE LA COURBURE**

Devant les débordements observés, il a été décidé de tester un dévers du radier dans la courbure du coursier. La photo n° A36 montre la géométrie correspondante.

Les photos n° A37 jusqu'au n° A40 visualisent l'aspect de l'écoulement dans l'évacuateur de crues au passage d'un débit de 800 m<sup>3</sup>/s. On constate une surélévation du plan d'eau au droit de la courbure de l'ordre de 12 mètres. La solution « dévers » s'est finalement révélée peu efficace et a en conséquence été abandonnée.

#### 8.4 ESSAIS DE L'EVACUATEUR DE CRUE AVEC DEUX MURS SEPARATEUR MUNIS DE DEFLECTEURS

Le plan n°2 montre l'évacuateur de crues avec deux murs séparateur muni des déflecteurs :

- Les murs séparateurs sont disposés chacun au tiers de la largeur, à égale distance entre eux et entre chaque mur et le bajoyer adjacent.
- Le mur séparateur droit est de 59m de longueur, dont la limite aval est à une distance de 113.50 mètres de l'extrémité aval de la cuillère. Son extrémité amont a une forme elliptique.

- Le mur séparateur gauche est de 63.69m de longueur, dont la limite aval est à une distance de106.36 mètres de l'extrémité aval de la cuillère. Son extrémité amont a également une forme elliptique.
- Mise en place d'un déflecteur le long de la courbure à la crête du mur bajoyer gauche.

Les photos n° A49 et n° A50 visualisent l'aspect de l'écoulement de l'évacuateur de crue au cours du passage du débit de 200m<sup>3</sup>/s.

Les photos n° A51 et A52 montrent l'état du bassin aval après fonctionnement de l'évacuateur de crues avec deux murs séparateurs pour un débit de 200 m<sup>3</sup>/s. La cote du fond de la fosse d'affouillement est de l'ordre de 387 NGL (voir figure n°11).

Les photos n° A53 et n° A54 visualisent l'aspect de l'écoulement au passage d'un débit de 600m<sup>3</sup>/s. A partir de ce débit le déflecteur du mur séparateur droit commence à fonctionner.

Les photos n° A5, n°A56 et A57 montrent l'état du bassin aval après fonctionnement de l'évacuateur avec deux murs séparateurs pour un débit de 600 m<sup>3</sup>/s, la cote minimale de la fosse d'affouillement est de l'ordre de 384 NGL à une distance 60 mètres du pied des ouvrages de restitutions (voir figure n°12).

Les photos n° A58 et n° A59 visualisent l'aspect de l'écoulement de l'évacuateur de crues au cours du passage du débit de 1260 m<sup>3</sup>/s.

Le tableau ci-dessous donne, à partir du seuil de l'évacuateur de crues, les valeurs des hauteurs d'eau verticalement contre les murs bajoyers droit et gauche, au cours du passage du débit de l'ordre de 1260 m<sup>3</sup>/s.

|                   | mur bajoyer droit                                 |   | mur bajoyer gauche                                |   |  |
|-------------------|---|---|---|---|--|
| Distance<br>en cm | Hauteur d'eau en m<br>sans le voile<br>séparateur | Hauteur d'eau en m<br>avec le voile<br>séparateur | Hauteur d'eau en m<br>sans le voile<br>séparateur | Hauteur d'eau en m<br>avec le voile<br>séparateur |  |
| 0                 | 4   | 4   | 4   | 4   |  |
| 2                 | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |  |
| 5                 | 3,25  | 3,25  | 3,5   | 3,5   |  |
| 7,5               | 4   | 4   | 4   | 4   |  |
| 10                | 3,5   | 3,5   | 3   | 3   |  |
| 20                | 3   | 3   | 2,5   | 2,5   |  |
| 30                | 2,5   | 2,5   | 2   | 2   |  |
| 40                | 2,5   | 2,5   | 2   | 2   |  |
| 50                | 3,5   | 3,5   | 3   | 3   |  |
| 60                | 3,5   | 3,5   | 3,5   | 3,5   |  |
| 70                | 3,5   | 3,5   | 3,25  | 3,25  |  |
| 80                | 3,25  | 3,25  | 3,25  | 3,25  |  |
| 90                | 3,25  | 3,25  | 3,25  | 3,25  |  |
| 100               | 2,5   | 2,5   | 3   | 3   |  |
| 110               | 2,25  | 2,25  | 2,5   | 2,5   |  |
| 120               | 2,25  | 2,25  | 2,5   | 2,5   |  |
| 130               | 2   | 2   | 2,25  | 2,25  |  |
| 140               | 1,75  | 1,75  | 2   | 2   |  |
| 150               | 1,75  | 1,75  | 2,25  | 2,25  |  |
| 160               | 1,75  | 1,75  | 2,25  | 2,25  |  |
| 170               | 1,75  | 1,75  | 2,25  | 2,25  |  |
| 180               | 1,75  | 1,75  | 2,75  | 2,75  |  |
| 190               | 1,75  | 1,75  | 3   | 3   |  |
| 200               | 2,75  | 2,75  | 2,75  | 2,75  |  |

Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes - AVRIL 2014 Centre Expérimental d'Hydraulique

| 210 | 35   | 35   | 2 25  | 2 25 |
|-----|------|------|-------|------|
| 220 | 3.25 | 3.25 | 1.75  | 1.75 |
| 230 | 3.25 | 3,25 | 1,75  | 1,75 |
| 240 | 2,25 | 2,25 | 1,75  | 1,75 |
| 250 | 2,25 | 2,25 | 1,75  | 1,75 |
| 260 | 2,25 | 2,25 | 1,75  | 1,75 |
| 270 | 2,25 | 2,25 | 1,75  | 1,75 |
| 280 | 1,5  | 1,5  | 2,5   | 2,5  |
| 290 | 1    | 1    | 3,5   | 3,5  |
| 300 | 0,5  | 0,5  | 4     | 4    |
| 310 | 0,25 | 0,25 | 5,75  | 5,75 |
| 320 | 0,25 | 0,25 | 7,5   | 7    |
| 330 | 0,25 | 0,25 | 10    | 7,85 |
| 340 | 0,25 | 0,25 | 11,5  | 7,5  |
| 350 | 0,25 | 0,25 | 12    | 7    |
| 360 | 0,25 | 2,25 | 11,75 | 5    |
| 370 | 0,25 | 3,5  | 10    | 2,75 |
| 380 | 0,5  | 3,25 | 7,25  | 1,25 |
| 390 | 1    | 3,25 | 5,75  | 1    |
| 400 | 3    | 3    | 5     | 1    |
| 410 | 4    | 2,25 | 2,25  | 1    |
| 420 | 3    | 2,5  | 2     | 0,5  |
| 430 |      |      | 1     | 0    |

Les figures n° 13 et n°14 donnent les lignes respectivement contre les murs bajoyers droit et gauche pour le débit de 1260 m<sup>3</sup>/s.

La figure n° 15 montre la position de 19 prises de pression statiques dans l'évacuateur de crues avec deux murs séparateurs.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des pressions statiques au cours du passage de débit 1260 m<sup>3</sup>/s, dans l'évacuateur de crues avec deux murs séparateurs muni des déflecteurs.

| point de<br>mesure | cote de prise de<br>pression (NGL) | cote pression<br>(NGL) | Pression<br>(m d'eau) |
|--------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| P1                 | 461,00                             | 460,73                 | -0,27                 |
| P2                 | 460,60                             | 460,73                 | 0,13                  |
| P3                 | 459,70                             | 461,73                 | 2,03                  |
| P4                 | 458,80                             | 462,48                 | 3,68                  |
| P5                 | 457,90                             | 462,98                 | 5,08                  |
| P6                 | 456,85                             | 464,23                 | 7,38                  |
| P7                 | 456,15                             | 464,48                 | 8,33                  |
| P8                 | 454,90                             | 458,23                 | 3,32                  |
| P9                 | 448,60                             | 450,23                 | 1,63                  |
| P10                | 442,65                             | 444,98                 | 2,33                  |
| P11                | 436,95                             | 437,48                 | 0,53                  |
| P12                | 431,35                             | 432,98                 | 1,63                  |
| P13                | 426,55                             | 428,98                 | 2,43                  |
| P14                | 423,40                             | 426,73                 | 3,33                  |
| P15                | 420,35                             | 423,98                 | 3,63                  |
| P16                | 414,80                             | 418,73                 | 3,93                  |
| P17                | 410,40                             | 410,98                 | 0,58                  |
| P18                | 410,25                             | 413,73                 | 3,48                  |
| P19                | 410,05                             | 411,23                 | 1,18                  |

Les pressions statiques le long de la courbure et contre le mur bajoyer gauche varient entre 2 et 4 mètres d'eau (voir P13, P14 et P15).

Les photos n° A60 jusqu'au n° A62 montrent l'état du bassin aval après fonctionnement de l'évacuateur de crue avec les deux murs séparateurs sur une durée 3 heures prototype pour un débit de 1260 m<sup>3</sup>/s. La cote du fond de la fosse d'affouillement est de l'ordre de 378 NGL à une distance 80 mètres du pied des ouvrages de restitutions (voir figure n°16). Des courants de retour relativement faibles occasionnent des érosions aux extrémités de l'assise de la structure dont la limite est considérée verticale. Ce point est à examiner à l'exécution des travaux en fonction de la qualité et de l'étendue réelle du rocher formant cette assise.

## 9. CONCLUSION

#### 9.1 ETUDE DE LA VIDANGE DE FOND

Le taux de remplissage à l'extrémité aval de la vidange de fond est de l'ordre de 70.37% au passage du débit maximale sous la cote de la retenue normale.

Le remplacement de la cuillère prévue initialement par un redent a permis d'avoir un bon étalement du jet restitué. La portée du jet est de l'ordre de 24 mètres, avec nettement moins d'affouillements que la solution initiale.

La cote du fond de la fosse d'affouillement est de l'ordre de 388 NGM, soit une profondeur de 7 mètres par rapport à la dalle de protection du rocher de fondation. Il a par ailleurs été relevé l'apparition d'érosions aux limites de cette dalle après fonctionnement prolongé au débit maximum.

#### **9.2 ETUDE DE L'EVACUATEUR DE CRUE**

La modification du mur bajoyer rive droite a notablement amélioré les conditions d'entonnement en éliminant pratiquement le décollement observé avec la configuration initiale..

La capacité du seuil de l'évacuateur de crue est de l'ordre de 1 260 m<sup>3</sup>/s sous une cote du plan d'eau amont égale à 466.50 NGL, soit 20cm plus bas que la cote déterminée dans la note de calculs hydrauliques de l'avant projet.

Le coefficient de débit du seuil de l'évacuateur de crue est de l'ordre de 2.17 pour le débit de 1 260 m<sup>3</sup>/s.

Les essais de l'évacuateur de crues avec deux murs séparateurs munis de déflecteurs assurent une meilleure répartition de l'écoulement le long du coude avec notamment une réduction notable de la montée du niveau le long du bajoyer rive gauche.

La modification de l'évacuateur de crue avec deux murs séparateurs est décrite comme suit :

- Les murs séparateurs divisent le coursier en trois chenaux d'égale largeur.
- Le mur séparateur droit a une longueur de 59m. Son extrémité aval s'arrête à une distance de 113.50 mètres de l'extrémité aval de la cuillère.
- Le mur séparateur gauche a une longueur de 63.69m. Son extrémité aval est à distance de106.36 mètres de l'extrémité aval de la cuillère.
- Mise en place d'un déflecteur en tête des murs et sur le bajoyer rive gauche.

Moyennant ces disposition, l'écoulement est relativement bien réparti sur la cuillère sauf pour les très petits débits. La fosse qui se forme après fonctionnement prolongé au débit maximal a un point bas situé à à 378 NGL, soit une profondeur de 17 mètres. Il est situé à une distance de 80 mètres du pied des ouvrages de restitution. Comme pour la vidange de fond, des érosions se faible ampleur se produisent au pied de la cuillère de l'évacuateur de crue.

ANNEXE 1 : PHOTOS







Photo A1,A2,A3 Entonnement de loévacuateur de crues



Laboratoire Public dd Essais et dd Etudes / Centre Expérimental dd Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI







Photo A7, Essai de lœ́vacuateur de crue avec le voile séparateur pour le débit de 1260 m<sup>3</sup>/s



Laboratoire Public dd Essais et dd Etudes / Centre Expérimental dd Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI



Photo A8 ,A9, A10,A11 Aspect du jet de loévacuateur de crues





Photo A12 ,A13 . Aspect du jet de la vidange de fond , ouverture totale des vannes avec cote de la retenue normale





Photo A14, A15 - Fosse dopfouillement après fonctionnement de la vidange de fond avec ouverture totale des vannes, cote de la retenue normale





Photo A16 fosse dqaffouillement après passage du débit de 200 m<sup>3</sup>/s par de lœ́vacuateur de crue sans le voile séparateur





Photo A 17 ,A18 fosse dqaffouillement après passage du débit de 600 m<sup>3</sup>/s

par loévacuateur de crue sans le voile séparateur



Laboratoire Public dd Essais et dd Etudes / Centre Expérimental dd Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI







Photo A19, A20, A21 fosses dqaffouillement après passage du débit de 1260m<sup>3</sup>/s par lœvacuateur de crues sans le voile séparateur





Photo A22, A23

Modification 1 de la cuillère de vidange de fond

Etat avant essais





Photo A24, A25

Modification 1 de la cuillère de la vidange de fond

Essais de restitution . Cote RN au cours essai





Photo A26 Modification 1 de la cuillère de la vidange de fond Essais de restitution. Cote RN Après essai



Laboratoire Public de Essais et de Etudes / Centre Expérimental de Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI



Photo A27, A28

Modification 1 de la culée de loévacuateur de crue








Photo A29, A30, A31

Lapspect du mur séparateur avec déflecteur





## Photo A32, A33

Lœpspect de lœcoulement dans le coursier de lœvacuateur de crue pour un débit de 600m3/s

Avec mur séparateur + déflecteur







Photo A34, A35

Lœpspect de loécoulement dans le coursier de loévacuateur de crue pour un débit de 1260m3/s

Avec mur séparateur + déflecteur





Photo A36

Lopspect du coursier de loévacuateur de crues avec devers au niveau de la courbure















Photo A40

Loaspect de loécoulement dans le coursier de loévacuateur de crue avec devers pour un débit de 800m3/s



Laboratoire Public dd Essais et dd Etudes / Centre Expérimental dd Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI







Photo A41, A42, A43 -Modification n°2 de lœxtrémité aval de la vidange de fond



Laboratoire Public dd Essais et dd Etudes / Centre Expérimental dd Hydraulique Etude sur modèle réduit hydraulique du barrage BISRI







Photo A44 , A45 ,A46 Aspect du jet avec ouverture totale des vannes (RN)

-Modification n°2 de læxtrémité aval de la vidange de fond





Photos A47, A48, Etat du bassin aval après fonctionnement de la vidange de fond avec ouverture totale des vannes (RN)

-Modification n°2 de læxtrémité aval de la vidange de fond





Photos A49, A50 - Aspect du jet de loévacuateur de crues au cours du passage du débit de 200m3/s





Photos A51 , A52 - Etat du bassin aval après le fonctionnement de l\u00c6vacuateur de crue avec le d\u00e6bit de 200m3/s





Photos A53, A54 - Aspect du jet de lœ́vacuateur de crues au cours du passage du débit de 600m3/s Mise en place de deux murs séparateurs au niveau de la courbure du coursier







Photos A55 , A56 - Etat du bassin aval après le fonctionnement de loévacuateur de crue avec le débit de 600m3/s





Photos A57 - Etat du bassin aval après le fonctionnement de loévacuateur de crue avec le débit de 600m3/s





Photos A58, A59 - Aspect du jet de loévacuateur de crues au cours du passage du débit de 1260m3/s





Photo A60 - Etat du bassin aval après le fonctionnement de loévacuateur de crue avec le débit de 1260 m3/s





Photos A61 , A62 - Etat du bassin aval après le fonctionnement de lœ́vacuateur de crue avec le débit de 1260 m3/s

ANNEXE 2 : FIGURES

\_

















![](_page_61_Picture_0.jpeg)

![](_page_62_Picture_0.jpeg)

![](_page_63_Picture_0.jpeg)

![](_page_64_Figure_0.jpeg)

![](_page_65_Picture_0.jpeg)

![](_page_66_Picture_0.jpeg)

| VAL<br>415.25<br>410.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00±<br>10.00± | y the second sec | 9.00 |                                |                 | BAJOYER EVACUATEUR   |
|--|--|------|--------------------------------|-----------------|--|
|  |  |      | FIG: 1<br>Echelles<br>Dess.: ( |                 | Barrage E<br>Lignes d'eau c<br>avec deux mu<br>Q = 1260 m3/s |
|  |  | 1    | <u>~ 4.2</u>                   | ə 《프레이 · 《프레이 · | VENTINE EAP  |

![](_page_67_Figure_1.jpeg)

![](_page_68_Figure_0.jpeg)

![](_page_69_Figure_0.jpeg)

![](_page_70_Figure_0.jpeg)

ANNEXE 3 : PLAN

\_


|  | <section-header><section-header></section-header></section-header>   |  |
|--|--|--|
| L.P.E.E.   |  |  |
| Échelles <sup>M/N: 1/50</sup><br><sup>P/N: 1/100</sup><br>Injenieur : <b>Chahine</b> | Limites du modèle  |  |
| Dessinateur : Chakir   | Plan N° 1  |  |
| Date : Janvier 2014  | CENTRE EXPERIMENTAL D'HYDRAULIQUE<br>Km 7 Route d'Eljadida. Tel: 23.07.28/ 23.07.30/ 23.07.32. Casablanca (02) |  |



|   | BARRAGE   |
|---|---|
|   | BISRI   |
|   | AU LIBAN  |
|   |   |
|   |   |
|   |   |
|   |   |
|   |   |
|   |   |
| L.P.E.                                  | E.  |
| <b>Échelles</b> M/N: 1/50<br>P/N: 1/100 | Modifications de l'évacuateur de crues  |
| Injenieur : Chahine                     |   |
| Dessinateur : Chakir                    | Plan N° 2   |
| Date : avril 2014                       | <b>CENTRE EXPERIMENTAL D'HYDRAULIQUE</b><br>Km 7 Route d'Eljadida. Tel: 23.07.28/ 23.07.30/ 23.07.32. Casablanca (02) |