

RIVIERE DE L' AISNE BARRAGE DE VILLENEUVE-SAINT- GERMAIN

Rapport de diagnostic du génie civil Rapport de synthèse

Maître d'ouvrage :



RAPPORT TECHNIQUE

Référence : Rapport Diag GC & Synthèse light.doc

BUREAUX D'ETUDES		
 MANDATAIRE		
BET Hydraulique Département aménagements hydrauliques 1105 av Pierre Mendès France BP 4001 30001 NIMES cedex 5 Tél : 04 66 87 50 00 Fax : 04 66 87 50 59 E-Mail : nom.prénom@brl.fr	BET MECANIQUE ET STRUCTURE Z.A. de Lanserre – 15 rue de la Fuye 49610 JUIGNE SUR LOIRE Tél. : +33 (0)2 41 45 70 00 Fax : +33 (0)2 41 45 71 45 Email : isming@ism- engineering.com	

Juin 2011

DIAGNOSTIC DETAILLE DU BARRAGE DE VILLENEUVE-SAINT-GERMAIN

Rapport de diagnostic du génie civil

Rapport de synthèse

0	23/05/11	Ph. Schalkwijk		Diagnostic et synthèse
IND	Date	Établi par :	Approuvé par :	Observations

DIAGNOSTIC DETAILLE DU BARRAGE DE VILLENEUVE-SAINT-GERMAIN

Rapport de diagnostic du génie civil

Rapport de synthèse

PREAMBULE.....	5
1. INTRODUCTION.....	7
1.1 Cadre de la mission	7
1.2 Documents de référence	8
2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE	9
2.1 Généralités	9
2.2 Le déversoir	11
2.2.1 La partie en maçonneries datant de 1840	11
2.2.2 La partie en béton armé datant de 1968	12
2.3 Le pertuis	14
2.4 La pile du pertuis	15
2.5 La culée de rive droite	16
2.6 Ouvrages connexes	17
2.6.1 Appuis de l'escalier en berge	17
2.6.2 La passerelle inférieure	17
2.7 Les équipements	17
3. VISITE D'INSPECTION	18

3.1 Généralités	18
3.2 Déroulement	18
3.3 Particularités	19
4. DIAGNOSTIC – RELEVÉ DES DÉFAUTS	19
4.1 Généralités	19
4.2 Radier en aval du grand clapet (RG)	20
4.3 Radier en aval du petit clapet (RD)	21
4.4 Radier du Pertuis	21
4.5 Culée en rive gauche	22
4.6 Pile entre clapets	22
4.7 Pile du Pertuis	23
4.7.1 Culée en rive droite	23
4.8 Première évaluation	24
5. SYNTHÈSE DES CONSTATS RELATIFS À LA PARTIE VANTELLERIE ET CONTRÔLE-COMMANDE	26
6. SYNTHÈSE DES CONSTATS RELATIFS AU GÉNIE CIVIL	26
6.1 Synthèse des constats	26
6.2 Vérifications complémentaires	27
6.2.1 Circulations d'eau sous la fondation	27
6.2.2 Stabilité des radiers	28
6.3 Avis sur l'état du génie civil	29
7. PRÉCONISATIONS DE CONFORTEMENT	30
7.1 Pertuis	30
7.2 Passe de déversoir de rive droite	30
7.3 Passe de déversoir de rive gauche	31
8. CONCLUSION	31

PREAMBULE

*Le présent document fait partie des prestations de la mission « Diagnostic du barrage de Villeneuve St-Germain » confiée au groupement **BRL ingénierie/ISM** par la **subdivision d'Etudes et Techniques** de l'arrondissement Picardie de la Direction Interrégionale du bassin de la Seine, qui assure la conduite d'opération. Elle entre dans le cadre du marché cadre N°09 21 I 023 0. Elle lui a été notifiée par OS N°4339 du 22 avril 2011. L'étude consiste en l'évaluation de l'état du déversoir à clapets et du génie civil existant du barrage de navigation de Villeneuve-Saint-Germain (02200) sur l'Aisne. Le but de l'étude est l'évaluation de l'opportunité d'une réhabilitation/reconstruction plus ou moins étendue du barrage.*

PARTIE 1 : EXPERTISE GENIE CIVIL

En mars 2007, lors d'une manœuvre de barrage, la crémaillère gauche de la vanne amont s'est rompue rendant impossible toute manœuvre de pertuis. Après intervention de l'équipe maintenance de Saint-Quentin et remplacement de la crémaillère et d'un pignon d'entraînement, il a été constaté que la vanne n'avait pas repris sa position initiale horizontale. Une déformation de la tôle de bardage supérieure de la vanne aval où sont soudées les attaches de crémaillère a été détectée.

Le pertuis « âgé » à l'époque de 45 ans n'avait jamais fait l'objet de chômage, ni d'entretien spécifiques des parties immergées. L'état de corrosion avancé des parties métalliques constituant la vantellerie, ainsi que l'évènement précité laissait supposer une « fatigue » générale de l'ouvrage.

C'est pourquoi VNF a demandé au groupement BRLi/ISM par lettre de commande du 25/02/08 d'effectuer un diagnostic concernant l'état de la vantellerie et du génie civil du Pertuis. Des inspections ont été faites début 2008. Elles ont donné lieu au rapport VSG809-3800-B du 02 juin 2008. Ce diagnostic a conclu à la nécessité de remplacer les deux parties de la vanne. Le montant des travaux s'élevait à 740 000 €.

1.2 DOCUMENTS DE REFERENCE

Notre diagnostic s'est appuyé sur les documents de référence suivants :

- Barrage de Villeneuve Saint Germain – Rapport de diagnostic génie civil – Mission DIA – Mission n°89 – Commande A75 – BRL – 02/06/08
- Barrage de Villeneuve Saint Germain – DIA - Rapport de diagnostic – VSG808-3800-A1-rapport de DIA.doc – ISM – 21/03/08
- Guide Méthodologique – Réutilisation du génie civil lors de la reconstruction des barrages – VNF – CETMEF – ISL – Octobre 2007 – § 5 – Exemples - §5.4 – Barrage de Villeneuve-Saint-Germain
- Visite d'ouvrages par scaphandriers – Année 2005 – Fiche signalétique de l'ouvrage.
- Barrage de Villeneuve-Saint-Germain – Vue en plan et coupes d'après inspection des 14 et 16 juin 2005 - TECH SUB – 20/10/2005
- Commune de Villeneuve Saint Germain - Plan topographique – Dossier GE109033-36 – FIT Conseil – Agence de Gennevilliers – 20/12/2010
- 4B – Navigation intérieure – Modernisation de la bouchure du Pertuis du Barrage de Villeneuve Saint-Germain – Vanne métallique – Dispositions générales de l'ouvrage projeté – Ponts et Chaussées – 29/09/1961
- 317 – Dossier 3453 – Ponts et chaussées de Reims – Service spécial de la navigation Belgique – Paris Est – Bouchure du pertuis de Villeneuve Saint-Germain – Coupe verticale des vannes – SCMD-BRUNETON-MORIN – 24/03/1962
- Plan minute – Cinématique du clapet – Coupe transversale

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

2.1 GENERALITES

La hauteur de retenue est de l'ordre de 1,35 m.

Tous les niveaux donnés dans les paragraphes qui suivent sont donnés en IGN 69. Ils se fondent sur le plan topographique de FIT Conseil du 20/12/2010, sur les plans ou parties de plans de l'ouvrage en notre possession et sur les relevés effectués lors de l'inspection. La précision est de +/- 5 cm.

Le barrage est constitué d'un déversoir à deux passes et d'un pertuis situé en rive droite.



Figure 2 - Plan général du barrage



Photo 1 - Vue générale de l'amont du barrage depuis la RD

Le déversoir, vu de dessus, a une disposition dite en chevron qui allonge la longueur du déversement et concentre le courant selon le tracé général de la rivière. Son développement mesuré en crête est de 59,90 mètres.

Il se compose de deux bouchures :

- Un clapet de 24,375 mètres de longueur utile inclinée de 81 degrés par rapport à l'axe de la rivière.
- Un clapet de 35,525 mètres de longueur utile inclinée de 60 degrés par rapport à l'axe de la rivière.

A l'origine, le déversoir est constitué d'un mur en maçonnerie, d'un massif en enrochements revêtu d'un parement en pierres maçonnées étayé de deux files de pieux reliés par des moises. Les fermettes ont une hauteur de 1,15m et sont espacées entre elles de 1,5m.

Le pertuis a une largeur hydraulique de 12 m. Il est encadré par la culée rive droite et une pile massive que nous appellerons « pile du pertuis ».

2.2 LE DEVERSOIR



Photo 2 - Vue du déversoir depuis l'aval



Photo 3 - Vue du déversoir depuis la RD

2.2.1 La partie en maçonneries datant de 1840

Le génie civil du déversoir est fondé sur l'ouvrage en maçonneries datant de la construction en 1840.

Nous ne savons pas de quoi sont constituées les fondations. On peut cependant supposer, par analogie avec les barrages ¹construits à cette époque, qu'il s'agit de fondations superficielles constituées de maçonneries à pierres sèche encadrées par deux rideaux de palplanches bois.

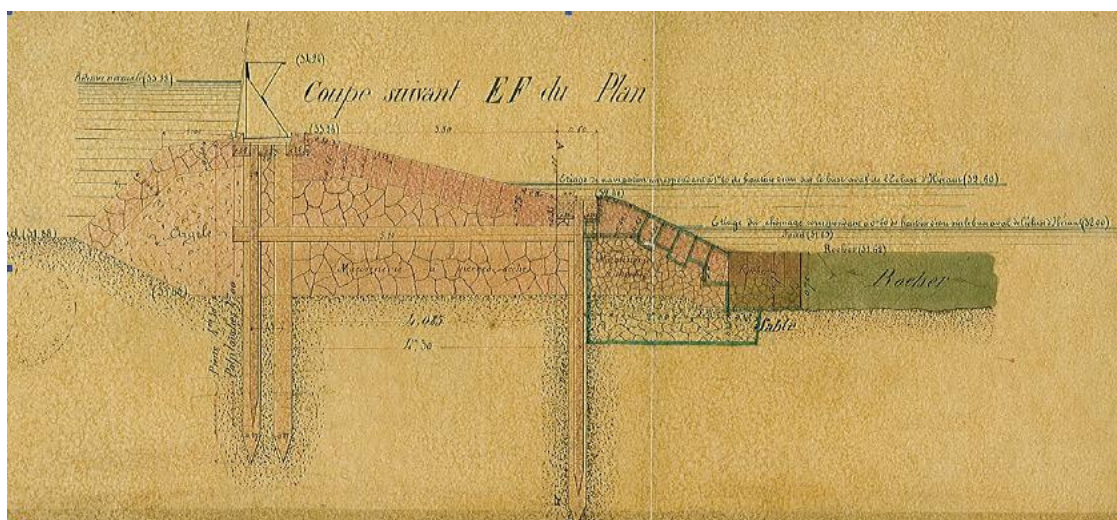


Figure 3 - Document d'analogie - Coupe d'un déversoir sur l'Aisne

Le radier originel est construit sur cette fondation. Il est constitué, d'après l'inspection de 1961, de blocs de calcaire taillés de très bonne qualité. Sa largeur est de l'ordre de 13 m. D'après les plans réalisés au moment des travaux de construction des passes à clapets, vers 1968, le radier maçonné se décompose comme suit, de l'amont vers l'aval :

¹ Ainsi que par le descriptif donné dans le Guide méthodologique pour la réalisation du génie civil lors de la reconstruction des barrages – VNF – CETMEF – ISL – Octobre 2007.

- Mur de front incliné à 45° sur 1,5 m
- Seuil amont de 3,5 m de large, niveau moyen 39,7 IGN69, comprenant en partie aval l'épaulement d'appui des aiguilles (largeur 0,25 m) suivi de la rainure de logement des fermettes. Les dimensions de cette rainure sont $b \times p = 0,9 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$. L'arête aval du seuil se situe 0,5 m en aval de la rainure : le seuil se termine sur un décroché vertical de 1,10 m de profondeur qui a probablement été réalisé lors de la mise en œuvre des clapets.
- Vraisemblablement, coursier en pierres de tailles incliné de 10 à 20° sur l'horizontale, de longueur 6 à 7 m. Si tel est le cas, les pierres ont dû être enlevées lors de la construction des clapets pour permettre la construction du radier en béton armé. Le niveau sur fondation en pied de seuil, après travaux de génie civil des clapets, est d'environ 38,6 IGN69. Le radier s'abaisse ensuite graduellement au moyens de deux risbermes jusqu'à une cote indicative de 37,5 IGN69.

Le radier a été surmonté d'une culée en rive gauche et d'une pile du côté du pertuis, vers la rive droite.



Photo 4 - Culée RG



Photo 5 - Pile côté pertuis

La culée de RG est construite en pierres de tailles. Elle comprend probablement à l'intérieur un amalgame de pierres et de terre. Elle a une forme en plan rectangulaire de dimensions 10 m (direction AM-AV) x 7 m (direction RG-RD). Les deux angles côté rivière présentent des arrondis de rayon 1,5 m. La culée forme une plateforme arasée au niveau 42,35 IGN69. Sa hauteur par rapport au niveau supérieur du radier aval est donc d'environ 3,8 m.

La pile côté pertuis est constituée d'un massif en pierres de taille de longueur 10m (selon la direction amont – aval), et de largeur 3m (selon la direction RG – RD). Le massif comporte des arrondis de rayon 1,5 m à l'amont et à l'aval. Sa section en plan est ainsi de forme oblong. La pile forme une plateforme arasée au niveau 41,49 IGN69. Elle a ainsi une hauteur de 2,9 m compté à partir du niveau supérieur du radier du déversoir. Côté pertuis, la passe étant plus profonde, sa hauteur est de l'ordre de 4,45 m.

La pile comporte un escalier latéral coté déversoir descendant vers le bief amont. Il comporte en amont de cet escalier une échelle métallique d'accès au radier. Cette échelle est logée dans une rainure.

2.2.2 La partie en béton armé datant de 1968

Au moment des travaux de construction des passes à clapets, les entités en béton armé suivantes ont été construites :

- Massif support du vérin de commande du clapet RG contre la culée RG
- Radier en béton armé construit sur le radier aval existant
- Pile entre clapets
- Massif support de vérin de commande du clapet RD contre la pile du Pertuis

Les massifs supports de vérins ont une base rectangulaire de dimensions approximatives 5,1 m (selon le sens du courant) x 1 m. Leur hauteur depuis la face supérieure du radier maçonné du déversoir est de l'ordre de 5,4 m. Les parement aval est incliné de 30° par rapport à la verticale. Le parement amont est vertical pour sa moitié inférieure et incliné de 30° par rapport à la verticale pour sa moitié supérieure. La face supérieure, sur laquelle est scellée le châssis support de vérin, est en angle droit par rapport au parement aval. Son inclinaison est ainsi de 30° par rapport à l'horizontale.

Les massifs sont ancrés dans les maçonneries des massifs de pile/culée existants au moyens de 2 files de barres verticales Ø16 espacement 200 mm. Disposées en quinconce. Toutes les surfaces coffrées comportent par ailleurs des armatures de peau. Il s'agit de barres Ø10 ou Ø12 espacées de 250 à 300 mm, disposées selon les deux directions.

Le radier a été construit en aval du décroché du seuil en maçonneries, sur le radier existant. Il a donc à peu près la même longueur de 8 m. Le radier en béton armé se décompose comme suit, de l'amont vers l'aval :

- Massif d'épaisseur 1,2 m sur 0,7 m. Ce massif est situé à l'amont des clapets installés en 1968. Il s'arrête à l'aval sur la poutre métallique (I de hauteur 300 mm) qui supporte le joint d'étanchéité. Niveau face supérieure : ~39,7 IGN 69
- Massif d'ancrage des paliers de clapets sur 0,8 m. Ce béton a vraisemblablement été coulé en 2^{ème} phase.
- Coursier de forme arrondie, convexe, de pente descendante vers l'aval, sur environ 6m. L'épaisseur est variable. Elle se situe entre 0,3 et 0,9 m. Le niveau s'abaisse régulièrement de l'amont vers l'aval : Il varie de 39,1 IGN69 près des paliers de clapets à 38,1 IGN69 en extrémité aval.
- Bande plate en extrémité aval de 0,8 m. Cette bande comporte des dents de dissipation de l'énergie de la chute : Il s'agit de plots de dimensions bxl(selon sens du courant)xh = 0,5m x 0,4m x 0,2 m disposés tous les 1 m.

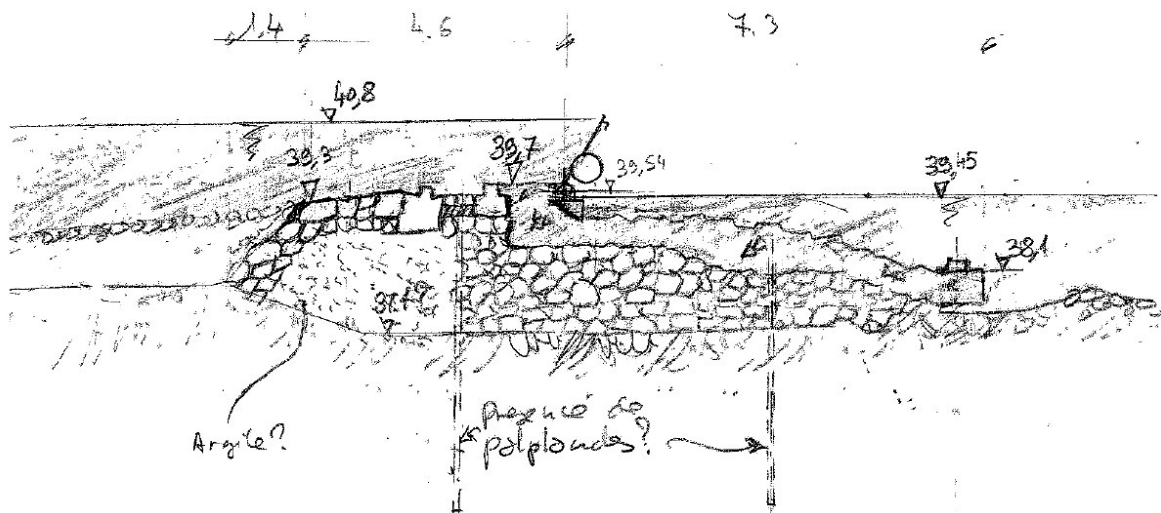


Figure 4 - Coupe transversale probable du déversoir

La pile entre clapets a grossièrement la forme d'un triangle isocèle de base 2,08 m (situé du côté amont) et de hauteur (selon le sens du courant) 2,72 m. Les angles sont en arrondis de rayon 0,3 m et la base en arrondi de rayon 3,2m. Elle est à deux niveaux : le niveau principal de 41,49 IGN69

et un deuxième niveau à l'aval sur 0,64 m (sens du courant) de 40,91 IGN 69. La hauteur de la cette pile, par rapport au radier en maçonnerie à l'aval du seuil, est de 2,9 m. Les faces correspondant aux deux côté égaux du triangle jouent le rôle de joues d'étanchéité des clapets. Elles sont équipées chacune d'une grille et d'un conduit d'aération de la lame d'eau. Ces conduits débouchent sur le parement vertical situé entre les deux plateformes de niveaux différents. Il n'y a aucun plan disponible sur le ferrailage de cette pile.



Photo 6 - Pile entre clapets vue de l'aval



Photo 7 - Pile entre clapets vue de la RG

2.3 LE PERTUIS



Photo 8 - Vue amont du pertuis



Photo 9 - Vue aval du pertuis

Il est encadré par une pile en rivière (décrite plus bas) qui le sépare du déversoir et d'une culée en rive droite. Il repose sur un radier en maçonnerie.

Le radier

Il a une largeur de 11,5m (entre amont et aval). Son niveau d'arase est 37,04 IGN69. Il est constitué d'une couche supérieure en pierres de tailles d'épaisseur 0,50m environ qui reposent sur un remblai de caractéristiques inconnues et d'épaisseur 0,5m. Ce remblai repose sur un massif de 0,60m d'épaisseur courante qui semble être en gros béton.

Le radier est encadré à l'amont et à l'aval par des lignes de palplanches en bois. Les pieux de chaque ligne sont reliés en tête par un moisage en bois enrobé de béton.

Deux rideaux provisoires de batardage semblent de plus avoir été réalisés à 0,60m à l'amont de la ligne amont de pieux bois et à 0,60m à l'aval de la ligne aval de pieux bois à l'occasion de l'installation de la vanne levante. Leur cote de pied était prévue à 32,52 (soit 4m en dessous du radier) pour le rideau amont et 32,72 pour le rideau aval. Après travaux ces rideaux ont été recépés à des niveaux compris entre 10 et 30 cm au-dessus du radier.

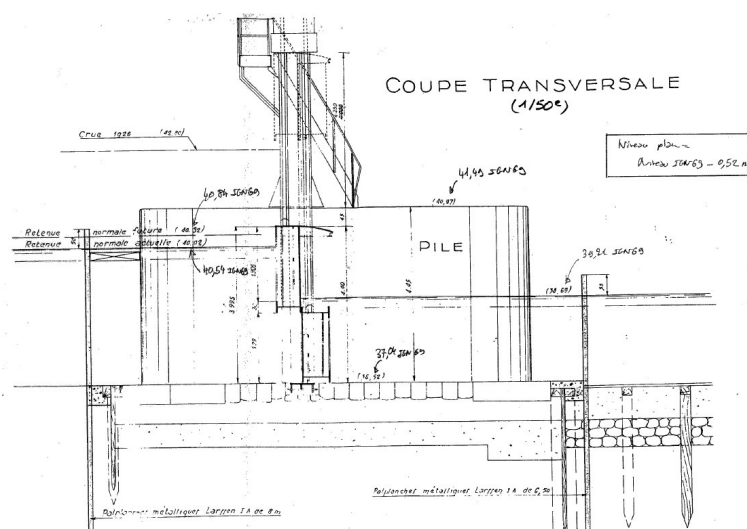


Figure 5 - Coupe transversale dans le pertuis (plan de 1961)

2.4 LA PILE DU PERTUIS

Le corps en maçonnerie est décrit plus avant.

La pile est surmontée d'un massif en béton armé de section en plan 3m x 1,10m et de hauteur 2,5m environ. Ce massif est situé en bordure RG de la pile. Il supporte le système de commande du clapet de 24m.

Elle comporte également une cabine de commande à ossature métallique construite sur une dalle en béton de dimension indicatives 2,5m (direction RG – RD) x 4m (direction amont – aval) x 0,15m (épaisseur). La cote d'arase de cette dalle est d'environ 43,90 IGN69. Elle repose sur 4 poteaux en béton Ø200.

Les équipements visibles de la pile sont :

- Le vérin du clapet et son support métallique (Côté RG);

- La double rainure de guidage de la vanne (coté RD) ;
- Le poteau du portique de la vanne (Coté RD);
- L'escalier d'accès à la passerelle du portique de la vanne (le long du massif béton);
- Des garde-corps métalliques chevillés sur toute la périphérie du massif ;
- Un bollard en partie amont ;
- Un support de bouée en partie aval.

2.5 LA CULEE DE RIVE DROITE

Elle délimite la passe du pertuis.



Photo 10 - Culée RD vue de la pile du pertuis



Photo 11 - Culée RD vue de l'amont

La culée est un massif en maçonneries de longueur 10 m (selon le sens du courant), de largeur 2m (tout au moins pour ce qui est de la partie supérieure visible) et de hauteur identique à la pile en rivière, à savoir 4,45m (niveau d'arase : 41,51 IGN69). Le massif est complété par deux murs en retour, arasés au même niveau, qui entrent dans la berge : 1 mur de dimensions en plan 3m x1m à l'amont et 1 mur de dimensions en plan 2,5m x 1m à l'aval. L'espace délimité par le massif de culée et ses deux murs en retour est remblayé et recouvert de pavés jointoyés au mortier de ciment sur ses 2/3 aval et d'une chape en béton sur son 1/3 amont.

Il n'y a pas de protection de berge visible à l'amont immédiat de la culée. Une dizaine de mètres en amont, la berge est maintenue par un rideau de palplanches. A l'aval, la berge est protégée par un perré maçonné de pente 1/1.

Les équipements visibles de la pile sont :

- La double rainure de guidage de la vanne (coté pertuis) ;
- Le poteau du portique de la vanne (Coté pertuis);
- Des garde-corps métalliques chevillés sur les 3 côtés de la culée ;

- Un puits en béton équipé d'une sonde de niveau d'eau. Ce puits est situé hors de la culée, à l'angle aval de celle-ci. Cette sonde est utilisée pour le fonctionnement automatique des clapets du barrage.

2.6 OUVRAGES CONNEXES

2.6.1 Appuis de l'escalier en berge

Un escalier métallique permet de relier la passerelle supérieure (située au niveau de la poutre du portique de la vanne) avec la berge. Le pied d'escalier repose sur une longrine béton de dimensions indicatives en plan 0,75m x 0,90m. L'escalier repose également sur un poteau métallique qui repose sur une longrine en béton, de dimensions indicatives 0,40m x 1,0m.

Il est à noter que la circulation entre le pied d'escalier métallique est facilitée par un petit ouvrage en béton. Il s'agit d'un escalier à 5 marches intégré au talus.



Photo 12 - Pied d'escalier passerelle supérieure en RD (photo 2008)



Photo 13 - Passerelle inférieure sur pertuis

2.6.2 La passerelle inférieure

Une passerelle métallique inférieure située à l'amont de la vanne levante relie la pile en rivière à la culée. La structure métallique est rivetée. Le platelage est constitué de dalles en béton. Cette passerelle servait de poutre d'appui pour les aiguilles de la bouchure avant l'installation de la vanne levante abaissante. Elle peut encore servir pour un batardage de maintenance. Elle a une largeur de 1,20m environ.

2.7 LES EQUIPEMENTS

Ils sont décrits dans le rapport spécifique aux équipements.

3. VISITE D'INSPECTION

3.1 GENERALITES

Une visite d'inspection a eu lieu les mercredi 18 et jeudi 19 mai 2011.

Durant les deux jours le temps est resté beau et chaud. La température avoisinait les 10°C en début de matinée et les 30°C dans l'après-midi.

La rivière était à l'étiage avec un débit compris entre 10 et 20 m3/s.

Nous avons observé les niveaux d'eau suivants :

	Retenue amont (IGN69)	Retenue aval (IGN69)	Chute (m)
18/05/2011	40,75	39,49	1,26
19/05/2011	40,82	39,42	1,40

L'équipe chargée de l'inspection étaient constituée comme suit :

- Philippe Schalkwijk de la société BRL, chargé du diagnostic du génie civil
- Jérôme Marchenoir de la société ISM, chargé du diagnostic de la partie équipements
- Marco Cavallini de la société Torpille, chargé de la plongée.

M. Cavallini était assisté de deux plongeurs intérimaires.

L'équipe a retrouvé sur le site M. Lebreton de la Subdivision VNF de Compiègne, basé à Soissons, exploitant. Il s'est chargé des manœuvres des clapets et du pertuis pour les besoins de l'inspection.

3.2 DEROULEMENT

L'inspection des équipements a été faite par Jérôme Marchenoir. Le déroulement est décrit dans le rapport relatif aux équipements.

L'inspection du génie civil a été effectuée par Ph. Schalkwijk. Elle s'est déroulée de la façon suivante :

Mercredi

- **De 8h30 à 10h** : Arrivée sur site. Prise de contact avec M. Lebreton. Ouverture du pertuis de manière à y faire passer tout le débit. Relevage des deux clapets. Equipement des plongeurs.
- **De 10h à 13h30** : Inspection par plongeur et canot suiveur avec contact radio de, successivement, la partie immergée aval de la culée RG, le radier en aval du clapet RG, la partie aval de la pile entre clapets, le radier en aval du clapet RD, la partie aval RG de la pile du pertuis.

- **De 15h à 17h30** : Inspection de la partie émergée de la culée RG.

Jeudi

- **De 8h30 à 9h** : Equipement des plongeurs
- **De 10 à 11h30** : Inspection de la pile entre clapets
- **Vers 11h30** : Abaissement des clapets et fermeture du pertuis
- **De 11h30 à 12h30** : Inspection par plongeur de successivement, la partie immergée aval de la culée RD, du radier en aval de la vanne du pertuis, de la partie immergée aval coté RD de la pile du pertuis.
- **De 15h à 16h30** : Inspection des parties émergées de la pile du pertuis et de la culée RD.
- **16h30** : Fin de l'inspection.

3.3 PARTICULARITES

Nous avons notés les points particuliers et incidents suivants :

- Nous n'avons pas reçu l'autorisation d'inspecter les parties immergées du barrage en amont du radier pour des raisons de sécurité. L'inspection des parties immergées s'est donc limitée aux parties en aval des vannes. Quelques sondages à la gaffe nous ont toutefois permis de reconnaître la rainure de logement des anciens chevalets et de contrôler le niveau du seuil maçonné en amont des clapets.
- Il y avait un tronc d'arbre appuyé sur le clapet RG et sur le radier aval. Il y en avait un autre flottant dans le bief amont et écoué contre le clapet RD, au voisinage de la pile du pertuis.
- Lors du relevage des clapets le mercredi, ces derniers ont été mis en chômage au moyen de verrous actionnés par des vérins hydraulique. Le mercredi, au moment d'abaisser les clapets le vérin du verrou du clapet RG n'a pas fonctionné. Une intervention d'une équipe de dépannage a été nécessaire.

4. DIAGNOSTIC – RELEVÉ DES DEFAUTS

4.1 GENERALITES

- Le béton du radier en aval des clapets est extrêmement irrégulier. On trouve parfois des variations brusques de niveau de 10, 20, voire 30 cm dans des directions variées. Cela s'explique en partie par le fait que ce béton a été coulé sous l'eau par plots.

- Présence d'une sorte de « béton de propreté » en aval du radier en béton armé de la passe RG. Il s'étend sur 1 ou 2 mètres. Ce béton semble non armé. Il correspond vraisemblablement aux travaux d'injections réalisés pour le comblement des fosses d'affouillement en partie aval du radier du déversoir de RG lors des travaux de construction des passes à clapets. Une galette de béton a également été trouvée en partie aval du radier du Pertuis, ce qui corrobore la mention de travaux d'injections effectués sous le radier².
- Le radier est recouvert de mousse, ce qui rend difficile la différenciation entre béton et maçonneries.
- L'horizontalité des arases d'appuis ainsi que la verticalité des parements ont fait l'objet de vérifications ponctuelles. Aucun défaut n'a été décelé.
- Les défauts des listes qui suivent sont repérés sur la vue en plan jointe en annexe.

4.2 RADIER EN AVAL DU GRAND CLAPET (RG)

Les défauts suivants ont été relevés :

1. DIV - Pieux bois Ø 300
2. AFF – Affouillement sous le «béton de propreté» en aval du radier BA, profondeur 0,40 m
3. ERR – Surface érodée. Ferrailage apparent
4. ERR – Surface érodée. Ferrailage apparent
5. FER – Rail vertical fiché dans le radier
6. FER – Ferrailage apparent sur 1 m x 0,5 m – béton érodé
7. FER – Ferrailage apparent sur 0,5 m x 0,4 m – béton érodé
8. CAV – Dent enlevée
9. DIV – Grosse pierre émergeant du radier – Radier en mauvais état général
10. FER – Fer à béton apparent
11. CAV – Erosion du béton juste derrière le pallier du clapet
12. PAL – Axe de palier de clapet usé : nette inclinaison
13. CAV – Cavité Ø400 – Profondeur 0.15 m
14. ERR - Surface érodée. Ferrailage apparent
15. RUG – Surface béton mouvementée
16. FER – armature apparente

² Guide méthodologique pour la réutilisation du génie civil lors de la reconstruction des barrages VNF – CETMEF – ISL – Octobre 2007.

- 17. ERR – Béton dégradé
- 18. CAV – Fissure importante entre radier et gousset des paliers
- 19. PAL – Axe de palier de clapet usé : nette inclinaison
- 20. FER – Armatures apparentes
- 21. CAV – Dent enlevée – Ferrailage apparent

4.3 RADIER EN AVAL DU PETIT CLAPET (RD)

Les défauts suivants ont été relevés :

- 22. FER – Armature apparente – Cavité de profondeur 0,15m
- 23. EPP – Plot épaufré
- 24. AFF – Affouillement sous le radier BA h=0,15m ; profondeur jusqu'à 1m. A cet endroit la hauteur de la marche en aval du radier est de 0,70m environ.
- 25. CAV – Absence de dents dans cette zone
- 26. PAL – Béton manquant sous la semelle du palier
- 27. PAL – Axe de palier de clapet usé : nette inclinaison
- 28. CAV – Erosion sur une profondeur de 7cm environ
- 29. RUG – Marche de 0.20 à 0.30m descendante de la RD vers la RG
- 30. RUG – Marche de 0.30m avec ferrailage apparent
- 31. CAV – Cuvette dans le béton
- 32. ERR – Surface érodée sur une bande de 1 m de large située 5 m environ en l'aval de l'axe du clapet. Cette bande érodée est observable sur presque toute la longueur du radier. Ferrailage apparent.

4.4 RADIER DU PERTUIS

Les défauts suivants ont été relevés :

- 101. FER – Profilé métallique en U fiché verticalement dans le radier
- 102. DIV - Présence d'une poutre en bois en bord de radier
- 103. [numéro non utilisé]
- 104. ERR – Forte érosion du radier, jusqu'à 10 cm de profondeur
- 105. [numéro non utilisé]

106. [numéro non utilisé]
107. CAV – Cavité de 5cm de profondeur et joints dégarnis sur 1 à 2 cm de profondeur
108. ERR – Cavité de faible profondeur dans le sens AM-AV
109. ERR – Forte érosion du radier. Une saignée s'est creusée dans les maçonneries du radier : Sa profondeur atteint 8 à 10 cm
110. DIV - Coulée de béton : galette de 70 cm de diamètre environ
111. CAV - Cavité de 70cm de profondeur en aval du rideau de palplanches
112. AFF - Marche (en béton ?) de hauteur 1,5m avec affouillement allant jusqu'à 60 cm de profondeur sous la marche
113. ERR – Le radier du Pertuis présente une usure générale et des joints dégarnis.
114. CAV – Béton enlevé sur 20 cm de profondeur et 3 m de longueur, le long du rideau de palplanches métalliques.
115. DIV – Sur toute leur longueur les palplanches ont été recépées à 5 à 20 cm au-dessus du radier. Elles présentent une hauteur visible côté aval de 50 à 100 cm. On n'observe pas de décollement entre le béton du radier et le rideau de palplanches métalliques.

4.5 CULEE EN RIVE GAUCHE

Les défauts suivants ont été relevés :

201. FIS – Fissures verticales sur murs agglos de la cabine de commande. Les fissures sont situées à la limite entre partie en pierres de couronnement et la partie en pavé (problème de tassement différentiel sans conséquences)
202. CAV – Pierre de parement manquante dans l'angle amont de la culée, au niveau de la ligne d'eau. (entre 1,5m et 2m sous le niveau de plateforme) (photos 2.11 et 2.12)
203. FIS – Fissure à l'angle supérieur RG du massif BA de support vérin (photo 2.7)
204. EPP – Angle supérieur RD du massif BE de support vérin éclaté (photo 2.8)
205. ERR – Pierre de parement érodée, juste au dessus de la ligne d'eau, à l'aval immédiat du massif BA de support vérin. L'érosion est notable, dans une moindre mesure, sur tout le parement maçonné à l'aval de cette pierre. (photo 2.6)

On peut également noter que les parements en maçonneries ont été confortés au béton, probablement lors de la construction des passes à clapets. On distingue en particulier nettement les planches de coffrage courbe à l'angle aval de la culée. Cela signifie que les pierres devaient être en mauvais état à l'époque de travaux des clapets.

4.6 PILE ENTRE CLAPETS

Cette pile a été construite lors des travaux d'aménagement des passes à clapets, ses parements verticaux servant à réaliser l'étanchéité des clapets. Elle est en béton armé.

Les défauts suivants ont été relevés :

- 301. Epaufrure profondeur 8cm, largeur 30cm, sur l'arête supérieure amont rive droite
- 302. Epaufrure à l'angle supérieur rive gauche du redan aval
- 303. Faïençage avec dépôts de calcite sur tous les parements, principalement sur le parement amont (photos 3.7 à 3.10)

4.7 PILE DU PERTUIS

Les défauts suivants ont été relevés :

- 401. DEC - Parement décollé à la base du clapet (photo 4.14)
- 402. JOI - joint vertical dégarni sur parement amont (circulations d'eau) (photo 4.13)
- 403. ECL – Béton éclaté à la base du poteau du portique de vanne (photo 4.5)
- 404. EPP – Nez de marche d'escalier en pierre côté RG cassée (photo 4.9)
- 405. EPP – Epaufrure sur arête pierre de couronnement en amont de l'escalier en pierre.
- 406. FER – Arête inférieure côté RD de la dalle support cabine épaufree avec fer apparent (photo 4.8)
- 407. FIS – Fissure sur parement vertical du massif BA porte vérin, tout le long du pan incliné amont sur lequel est fixé le châssis métallique. (photo 4.6)
- 408. EPP – Eclat du béton du parement vertical RD du massif BA porte vérin avec coulure de rouille. (photo 4.12)
- 409. FER – Vestiges dans le béton de l'arase de la pile de divers profilés
- 410. FISS – Fissures avec coulées de calcite sur le parement vertical côté RG du massif support vérin (voir photo 4.7)
- 411. JOI – Les joints du parement vertical aval côté RD sont dégarnis (photo 4.13)
- 412. ECL – Eclat sur la joue d'étanchéité du clapet. Fuite importante.

4.7.1 Culée en rive droite

Les défauts suivants ont été relevés :

- 501. ERR - Parement amont érodé sur sa partie émergée : le confortement béton (probablement mis en œuvre lors des travaux de la vanne du Pertuis) a disparu sur 2 m de largeur (photo 5.2)
- 502. CAV – Cavité dans le parement vertical côté RG, à 1,5m au dessus du radier, en aval immédiat de la vanne.

503. ERR – Pierre très érodée ou épaufré sur parement vertical côté pertuis environ 2 m en aval de la vanne et 1,5 m en dessous de l'arase de la culée (3^{ème} rangée de pierre depuis le haut). (photo 5.5)

4.8 PREMIERE EVALUATION

Il n'y a pas de gros défauts relevés sur le génie civil, simplement des dégradations dues au temps.

Les relevés géométriques effectués sur les piles et culées n'ont pas non plus permis de déceler de mouvements des constructions. Les fondations semblent donc correctes.

On note néanmoins que le radier en béton armé des passes déversoir a un mauvais aspect. Cela est dû au fait que le radier a été réalisé sous l'eau. Cet état de fait explique la multiplicité des dégradations constatées à ce jour telles que des cavités, de larges zones avec les armatures apparentes, des dents de dissipation d'énergie cassée.

PARTIE 2 : SYNTHESE

5. SYNTHESE DES CONSTATS RELATIFS A LA PARTIE VANTELLERIE ET CONTROLE-COMMANDE

Nous rappelons ci-après les conclusions du rapport de diagnostic des équipements.

Globalement, l'ouvrage n'est pas en mauvais état, mais un gros entretien s'impose.

Les travaux issus du diagnostic à réaliser sont les suivants :

- Remise en peinture complète (clapet, pièce fixe, passerelles, ...)
- Réparation des articulations et du montant
- Remplacement des flexibles et de la centrale hydraulique
- Remplacement des ancrages et réparation des châssis

En complément et dans le souci de pérenniser l'ouvrage, d'autres travaux sont à prévoir :

- Remplacement des joints
- Entretien des vérins
- Amélioration des dispositifs de capteur

6. SYNTHESE DES CONSTATS RELATIFS AU GENIE CIVIL

6.1 SYNTHESE DES CONSTATS

Les radiers des clapets ont un aspect extrêmement irrégulier. Ces irrégularités favorisent les phénomènes d'érosion et de corrosion des armatures que l'on retrouve partout sur le radier.

L'aspect des autres parties d'ouvrage est généralement bon. Qu'elles soient en maçonneries ou en béton armé, elles comportent néanmoins des petits défauts tel qu'épaufrures, érosion, joints dégarnis pour les maçonneries, et fissures, écailles, épaufrures, fers apparents pour le béton armé. Ces défauts nécessiteront des réparations à court terme.

D'autres défauts, plus importants, ont été relevés. Nous les rappelons ci-après :

Radier du clapet RG

- Plusieurs dents de dissipation d'énergie sont cassées.

Radier du clapet RD

- Le premier palier courant du clapet à partir de la pile du pertuis est mal calé (mortier de calage dégarni - défaut n°26). Ceci s'ajoute au défaut du 2^e palier suivant (axe incliné – défaut n° 27). Il y a peut-être un problème de détérioration avancé des articulations du clapet.

- Les affouillements détectés par l'équipe TECH SUB en 2005 sous la partie aval du radier, près de la pile du puits, se sont accentués. Les affouillements ont maintenant une profondeur qui atteint 1 m (Défaut n°25). Ce problème doit être traité très rapidement.
- Il y a toute une bande érodée de 1 m de large, avec ferrailage apparent, 5 m en aval de l'axe du clapet. Le monolithisme du radier pourrait être menacé à terme.

Radier du puits

- Une forte érosion des pierres du radier a été observée sur les 2/3 aval du radier (nous rappelons que seule la partie en aval de la vanne a été inspectée). Sur le 1/3 amont, près de la vanne, il y a moins de défauts d'érosion mais ils sont plus marqués.
- Une saignée, de profondeur atteignant 8 à 10 cm, chemine tout le long de la pile. Cette saignée est à colmater. En effet la fondation de la pile pourrait être attaquée à terme.
- La longrine béton qui faisait la jonction entre le radier en maçonneries et le rideau parafouille aval en palplanches métalliques a disparue sur 3 m environ en milieu de passe. Cette longrine est à reconstituer rapidement.

Culée de rive gauche

- Le parement en maçonnerie est fortement dégradé localement : Une pierre est manquante sur l'arrondi amont (défaut n°2) et une pierre est très érodée à l'aval du massif de support de vérin, juste au-dessus de la ligne d'eau (défaut n°5).
- Il semble qu'il y ait un début d'affouillement à l'aval (cavité de 30 cm de profondeur - défaut n°6)

Pile du puits

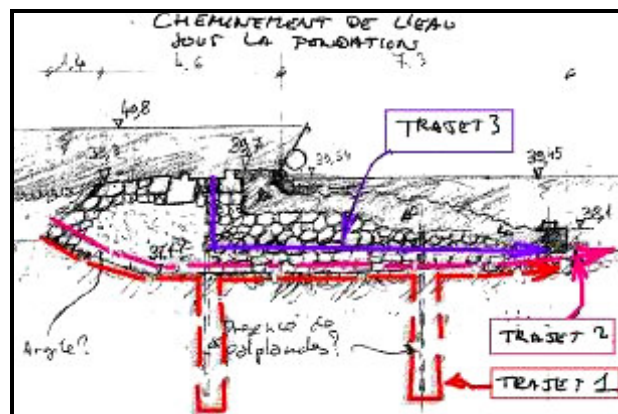
- Eclat sur la joue d'étanchéité du clapet. Fuite importante (défaut n°412). La réparation de ce défaut est urgente.

6.2 VERIFICATIONS COMPLEMENTAIRES

6.2.1 Circulations d'eau sous la fondation

Des circulations d'eau excessives sous la fondation peuvent entraîner les particules les plus fines et déstructurer ainsi le sol de fondation. Ce phénomène peut entraîner la formation de cavités et provoquer des affaissements.

On vérifie la bonne protection de la fondation au moyen de la règle de Lane suivant 3 cheminements possibles.



- 1^{er} cas : Les palplanches d'origine sont toujours présentes et étanches. Dans ce cas il n'y a pas de problème.

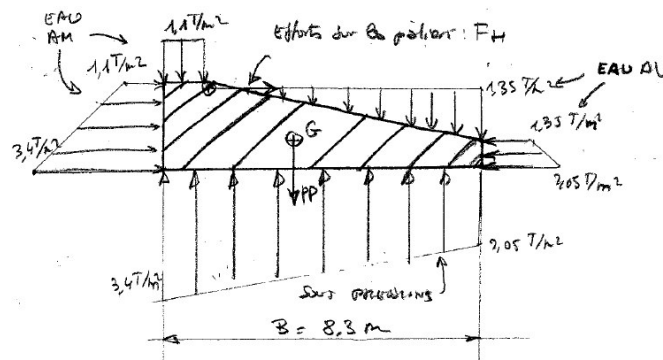
- 2^{ème} cas : Parafouille inefficace. Cependant un massif argileux avec carapace en maçonneries est présent en amont des rainures à fermettes et il est étanche.
 - La longueur du chemin de l'eau est $l = h_1 + L/3 = 1 + 12,5 / 3 = 5,2$
 - La différence de niveaux d'eau est : $\Delta H = 40,8 - 39,45 = 1,35 \text{ m}$
 - Le gradient hydraulique vaut donc $i = \Delta H/l = \mathbf{0,26}$, ce qui correspond au gradient limite pour des graves fines. Si le sol est sableux il y a des risques d'érosion (gradient limite pour du sable moyen : 0,17)
- 3^{ème} cas : Seuls le radier en béton armé et le massif empierré en dessous font obstacle à la circulation de l'eau.
 - La longueur du chemin de l'eau est $l = h_1 + L/3 = 2,4 + 9 / 3 = 5,4$
 - La différence de niveaux d'eau est : $\Delta H = 40,8 - 39,45 = 1,35 \text{ m}$
 - Le gradient hydraulique vaut donc $i = \Delta H/l = \mathbf{0,25}$, ce qui correspond au gradient limite pour des graves fines. Si le sol est sableux il y a des risques d'érosion (gradient limite pour du sable moyen : 0,17)

On constate qu'au moins un rideau parafouille en bon état est nécessaire pour protéger la fondation. Il conviendrait de s'assurer que tel est bien le cas. Sinon ce rideau sera à réaliser au moyen, par exemple, d'injections au coulis de ciment.

6.2.2 Stabilité des radiers

Le radier du puits est peu sollicité du fait que la bouchure est une vanne levante-abaisante qui n'exerce pas d'autre effort sur le radier que son propre poids. On ne vérifie donc que la stabilité du radier des passes du déversoir.

On considère que la largeur du radier en béton armé est $B = 8,3 \text{ m}$.



Les efforts appliqués au centre de la fondation sont donnés dans le tableau suivant :

	FH	FV	d	M
	(t/ml)	(t/ml)	(m)	(t.m/ml)
Poids propre		26.5	-0.8	-21.2
Paliers clapets	0.53		1.15	0.6
Eau sur radier AM		1.375	-3.53	-4.9

Eau sur radier AV		5.6	1.72	9.6
Sous-pressions		-22.62	-0.34	7.7
Poussée eau AM sur radier	5.18		0.95	4.9
Poussée eau AV sur radier	-1.19		0.33	-0.4
TOTAL	4.52	10.86		-3.6
			Exc. (m) =	-0.33

- On vérifie que l'excentrement se trouve dans le tiers central de la fondation, ce qui signifie que celle-ci est entièrement comprimée :

$$\text{On a : } e/B = 0,33 \text{ m} < B/6 = 1,38 \text{ m. OK.}$$

- On vérifie la contrainte de référence sur le sol de fondation :

$$\sigma_{\text{ref}} = (\sigma_{\text{min}} + 3 \sigma_{\text{max}}) / 4 = (0,1 + 3 \times 0,162) / 4 = 0,15 \text{ bar} \Rightarrow \text{Très faible.}$$

- On vérifie le nom glissement de la fondation :

$$F_h/F_v = 4,52 \text{ t} / 10,86 \text{ t} = 0,416 = \arctan(22,6^\circ) \Rightarrow \varphi' = 22,6^\circ$$

Cet angle est faible. Il y a peu de risque de glissement.

Ces vérifications montrent, qu'à moins que le sol soit particulièrement mauvais, la fondation du radier est correcte. La longue existence du barrage (170 ans) nous conforte dans l'idée que l'ouvrage est bien fondé. En fait, la hauteur de retenue étant faible, les efforts hydrauliques exercés sur le barrage sont également faibles. L'ouvrage est donc peu sollicité.

6.3 AVIS SUR L'ETAT DU GENIE CIVIL

La structure du barrage apparaît globalement saine.

Quelques défauts sont néanmoins à traiter de façon urgente :

- Affouillements sous l'aval du radier du clapet RD à combler ;
- Longrine béton entre l'aval du radier du pertuis et le rideau de palplanches métalliques aval à reconstituer ;
- Vide dans l'arrondi amont de la culée RG (partie émergée) du fait d'une pierre manquante à remplacer par du béton ;
- Joint vertical sur l'arrondi amont de la pile du pertuis à combler (partie émergée) ;

Les autres défauts devront être traités sous quelques années.

Une incertitude demeure quand à l'efficacité du para fouille amont du déversoir. En cas de réhabilitation générale il faudra prévoir des investigations complémentaires (par exemple : reconnaissances géotechniques du sol de fondation, installation de piézomètres, auscultation radar sous le radier, inspection visuelle de l'écran après dégarnissage des maçonneries, etc.) et, le cas échéant, reconstituer un para fouille au moyen d'injections au coulis de béton ou d'un rideau de palplanches métalliques.

Enfin, une fosse est en train de se former dans le lit de la rivière, 30 m environ en aval de la passe déversoir de RD. Sa profondeur est de l'ordre de 5 m. Elle ne menace pas pour l'instant la stabilité du barrage mais devra être surveillée.

7. PRECONISATIONS DE CONFORTEMENT

7.1 PERTUIS

Nous préconisons les confortements suivants :

- Mise à sec ;
- Remplacement de la vanne ;
- Ragréage du radier et des parements mis à sec de la culée RG et de la pile du pertuis ;
- Traitements des défauts observés sur les parties émergées de la culée RG et de la pile.

7.2 PASSE DE DEVERSOIR DE RIVE DROITE

Nous préconisons les confortements suivants :

- Mise à sec ;
- Remplacement des paliers de clapet ;
- Comblement des affouillements sous l'aval du radier ;
- Réalisation d'un écran para fouille à l'amont de 4 m de profondeur environ (dans le cas où les investigations complémentaires en confirmeraient la nécessité) au moyen de deux lignes d'injections au coulis de ciment réalisée dans la partie en béton armé à l'amont immédiat du clapet ;
- Ragréage de tout le radier par adjonction d'une couche de béton fibré d'épaisseur indicative 10 cm ;
- Ragréage des parements mis à sec de la pile entre clapets et de la pile du pertuis ;
- Reconstitution des dents de dissipation d'énergie manquantes.

7.3 PASSE DE DEVERSOIR DE RIVE GAUCHE

Nous préconisons les confortements suivants :

- Mise à sec ;
- Remplacement des paliers de clapet ;
- Ragréage de tout le radier par adjonction d'une couche de béton fibré d'épaisseur indicative 10 cm ;
- Ragréage des parements mis à sec de la culée RG et de la pile entre clapets ;
- Reconstitution des dents de dissipation d'énergie manquantes.

8. CONCLUSION

L'inspection réalisée en 2008 par le groupement ISM/BRLi avait conduit à préconiser le remplacement complet de la chaîne cinématique de la vanne du Pertuis.

L'inspection de l'ouvrage réalisée les 18 et 19 mai 2011 a permis d'inspecter les parties immergées aval du génie civil de tout l'ouvrage ainsi que les clapets du déversoir. Elle a révélé un nombre important de défauts mineurs ainsi qu'un petit nombre de défauts plus importants devant être traités sans délais.

Elle n'a en revanche pas révélé de défauts structurels majeurs.

Ces constats nous conduisent à préconiser une opération de réhabilitation globale du barrage comprenant la remise à neuf des bouchures et le ragréage du génie civil, particulièrement du radier du déversoir.

Des investigations complémentaires devront permettre de vérifier la présence et l'efficacité du parafoille existant en partie amont du déversoir. Si cela s'avère nécessaire il devra être reconstitué, soit par injections, soit par battage d'un rideau de palplanches métalliques.

ANNEXES

Annexe 1 : Album photographique

Annexe 2 : Vue en plan du barrage avec les défauts

Annexe 3 : Coupe sur radier du pertuis – (Extrait plan 4B de 1961)