

Barrage de Quipolly : Les hausses fusibles (Fusegates ®) adaptées aux conditions extrêmes de l'évacuateur de crues

Quipolly dam: a case study on customizing fusegates® design for adverse spillway conditions

Mauro Beretta, Hydroplus, 5 cours Ferdinand de Lesseps, 92851 Rueil-Malmaison Cedex, France
Téléphone : +33 (1) 47 16 39 84, Fax : +33 (1) 47 16 33 00, Courriel : mauro.beretta@hydroplus.com

Alberto Gonzalez-Merino, Hydroplus, 5 cours Ferdinand de Lesseps, 92851 Rueil-Malmaison Cedex, France
Téléphone : +33 (1) 47 16 39 84, Fax : +33 (1) 47 16 33 00, Courriel :
alberto.gonzalezmerino@hydroplus.com

Olivier Cazaillet, Artelia Eau & Environnement, BP 218, 38432 Echirolles Cedex, France

MOTS CLÉS

Conditions hydrauliques aval, amont, modèle réduit, optimisation, seuil labyrinthe fixe, coûts

RÉSUMÉ

La faisabilité et les performances du système de hausses fusibles (Fusegate®) ont été testées sur le barrage de Quipolly du LPSC; il s'agit d'un barrage en remblai de 21 m de haut, situé à Werris Creek dans l'Etat de Nouvelle-Galles du Sud en Australie. Les travaux ont permis d'augmenter de 55% la capacité de stockage de la retenue et d'améliorer la capacité de l'évacuateur pour faire face aux nouvelles prévisions de crue (période de retour de 10 000 ans). Les contraintes du projet, caractérisées par un niveau d'eau aval élevé et par des turbulences très importantes dans le couloir d'arrivée dans le déversoir, ont exigé une analyse détaillée pour optimiser la conception, réduire les coûts des travaux et minimiser les risques. Des modèles mathématiques et des essais sur modèle physique à grande échelle ont été réalisés en collaboration avec les laboratoires d'Artelia Environnement (France) pour trouver une solution adaptée au système non mécanique de contrôle de l'évacuateur. Les études mathématiques sur les modèles ont permis d'optimiser et de paramétrer les données d'entrée ayant servi aux essais sur les modèles réduits. Ces études, complétées d'une analyse coûts-bénéfices, ont permis de faire progresser les recherches en cours sur les hausses fusibles (système Fusegate®) et ont contribué à améliorer les connaissances scientifiques sur les hausses fusibles de type labyrinthe, leur comportement hydraulique et les avantages économiques qu'elles procurent. Cet article expose les éléments techniques de ces études, l'adaptation des hausses fusibles (Fusegate®) ainsi que l'analyse coûts/bénéfices.

ABSTRACT

The feasibility and performance of the Fusegate® System was put through a test at LPSC's Quipolly dam; a 21 m high earthfill dam located on the Werris Creek in the State of New South Wales, Australia. The primary purpose of the rehabilitation works included increasing the water storage capacity of the reservoir by 55% and improving spillway discharge potential to meet the new 1:100,000 AEP flood. The challenges of the project, mainly due to the presence of high tailwater levels and highly perturbed approach channel conditions at the spillway, required a more detailed analysis in order to optimize the design, reduce the cost of rehabilitation and minimize the risks. Both mathematical modelling and large scale physical model tests were performed in collaboration with Artelia Environnement laboratories (France) to find a customized solution with a non-mechanical spillway control system. The mathematical model studies helped to optimize and calibrate the input for the physical model tests. These studies, accompanied by a complementary cost-benefit analysis not only benefited the current research and development of the Fusegate® System but also supported the scientific understanding of labyrinth crested weirs including their hydraulic behaviour and economic advantages. This paper discusses the details of these studies including the cost benefit analysis, and the tailored Fusegate® design adopted to minimize risks and costs.

1. INTRODUCTION

Le barrage de Quipolly est un barrage en remblai de 21 m de haut et 200 m de long, comprenant un déversoir de 35 m de large sur le côté gauche. Achievé en 1955, ce barrage se situe en Australie (Nouvelle-Galles du Sud), à environ 300 km de Sydney et 11 km du village de Quirindi.

Propriété du LPSC (Liverpool Plains Shire Council), il a pour principal objectif d'assurer l'irrigation et l'approvisionnement en eau. Pour répondre aux normes australiennes sur les barrages, le déversoir nécessitait une importante mise en sécurité pour faire face à la crue de projet révisée (1617 m³/s).

A la demande du LPSC et en collaboration avec leurs ingénieurs-conseils (GHD Pty Ltd), Hydroplus a mis au point une solution qui, grâce au système Fusegate®, en plus de la mise en conformité de l'évacuateur, permet d'augmenter la capacité d'évacuation des crues et la capacité de stockage du barrage de Quipolly. La solution adoptée a consisté à dégrader le seuil du déversoir de 60 cm, impliquant la démolition du parapet existant sur le déversoir, et à installer huit hausses fusibles de type labyrinthe de 2,60 m de haut. Le niveau de retenue normal a pu être élevé de 2 m, assurant une capacité de stockage supplémentaire d'environ 2,9 millions m³ (55%). Les contraintes hydrauliques défavorables du projet ont exigé des études sur modèles réduits pour évaluer précisément les paramètres hydrauliques et mettre au point la solution avec des hausses fusibles adaptées.

2. CONDITIONS HYDRAULIQUES

L'évacuateur de crues, situé sur le côté gauche du barrage de Quipolly, est à seuil libre. Une passerelle piétonne reposant sur cinq piliers surplombe la section de contrôle. Le canal d'arrivée dans le déversoir est très court et aboutit sur un muret vertical à seuil épais qui constitue la section de contrôle. Le couloir en aval, en béton sur les 30 premiers mètres, présente une pente modérée. Les mètres restants sont constitués par les pierres du lit naturel de la rivière et présentent une pente modérément plus forte (voir Fig.1-2).

L'inefficacité du déversoir est principalement due au fait que l'eau doit prendre un virage de 90 degrés pour passer dans le déversoir, ce qui provoque des turbulences, des gradients de vitesse 3D, particulièrement sur le côté droit du déversoir et modifie le profil de l'eau. L'autre problème concerne les niveaux élevés du cours aval qui, lors des crues majeures, provoquent l'inondation du couloir aval. Les photos ci-après montrent le déversoir pendant la saison sèche et la saison des pluies (voir Fig.1-2).



Fig. 1



Fig. 2

3. LES HAUSSES FUSIBLES (FUSEGATE®)

Le système des hausses fusibles (Fusegates®) a fait l'objet de nombreuses publications et son fonctionnement détaillé est ici supposé connu des lecteurs. Il peut au besoin être consulté sur le site d'Hydroplus www.hydroplus.com.

4. LE SYSTÈME FUSEGATE® APPLIQUÉ AU BARRAGE DE QUIPOLLY

La retenue de Quipolly est équipée de huit Fusegates® mesurant chacune 4,40 m de large sur 2,60 m de haut. Il s'agit de Fusegates® de type labyrinthe qui assurent une grande capacité du déversement avant basculement. Sur ce projet, la première hausse est définie pour basculer en cas de crues pouvant survenir tous les 100 ans.

Quatre Fusegates®, appelées hausses « principales » (voir Fig.3), sont équipées d'un puits d'évacuation conventionnel (monté sur l'auge).

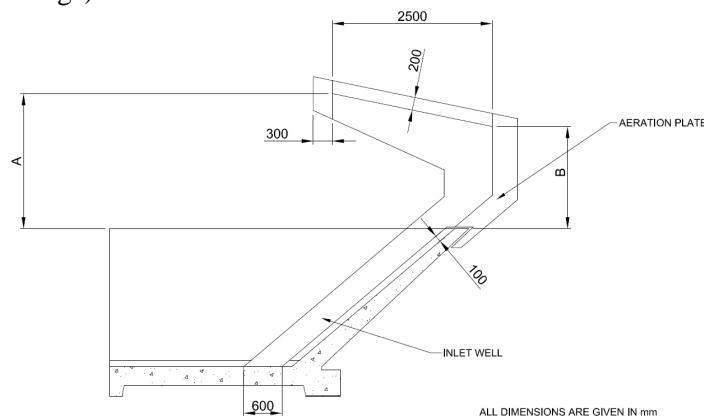


Fig. 3 Vue en coupe d'une Fusegate® principale équipée d'un puits d'admission

Les quatre autres Fusegates®, appelées les hausses « secondaires », ne sont pas équipées de puits d'admission. Leur chambre inférieure est alimentée par une canalisation située dans le seuil. L'ouverture amont de la canalisation comprend un déflecteur qui est obturé par une plaque fixée sur la hausse « principale » appartenant à la même séquence de basculement. Lorsque la hausse « principale » bascule, la plaque s'efface et le déflecteur dirige la lame déversante dans la canalisation raccordée à la chambre inférieure de la hausse « secondaire » qui bascule instantanément (Fig. 4)

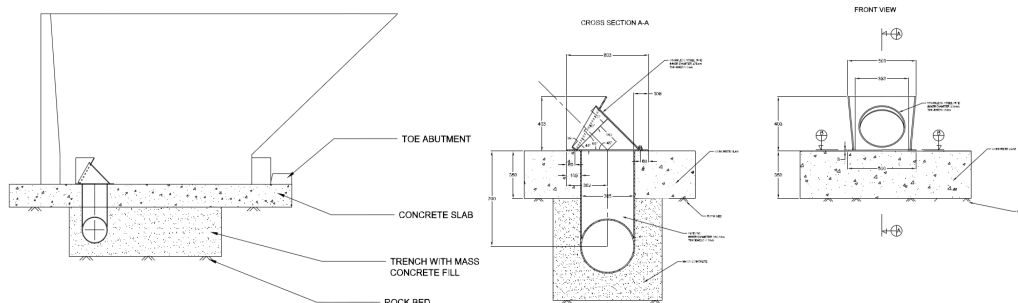


Fig. 4 Déflecteur sur hausse principale (puits non dessiné) et canalisation d'admission

La Figure 5 suivante montre le seuil du déversoir équipé des déflecteurs et les canalisations noyées dans le béton

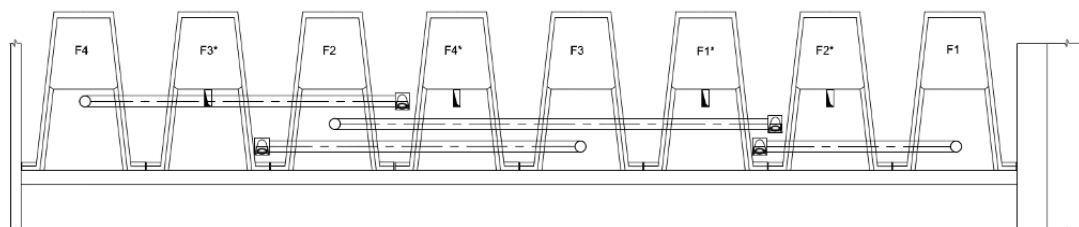


Fig. 5 Fusegates® « principales » : F1', F2', F3', F4', Fusegates® « secondaires » F1, F2, F3, F4

Le corps des Fusegates® est en béton préfabriqué. Les puits, déflecteurs et autres composants métalliques sont en acier de type LDX 2101. Les modules et les accessoires métalliques ont été assemblés sur site : deux semaines ont suffi pour réaliser l'ensemble des opérations de montage et d'installation, y compris l'installation du système d'étanchéité, la pose des ballasts et des puits d'admission. Les travaux ont été réceptionnés en décembre 2012 (voir Fig.6).



Fig. 6 Fusegates® installées – Barrage de Quipolly

5. OBJECTIFS ET NATURE DES ESSAIS SUR MODELE PHYSIQUE

Les contraintes imposées par les conditions hydrauliques du barrage demandaient d'avoir recours à des études sur modèle réduit. L'échelle de 1/20^e a permis à la fois une bonne représentation du fonctionnement des huit Fusegates® de 2,60 m de haut (13 cm sur le modèle réduit) et des dimensions suffisantes pour la modélisation du bassin de retenue en amont (150x150 m), soit environ quatre fois la longueur de la crête du déversoir le long du barrage et le long du bassin de retenue (Fig.7). Le modèle réduit reprenait notamment la contraction latérale et les caractéristiques du canal de l'évacuateur à l'aval du seuil.



Fig. 7 Modèle réduit au laboratoire d'Artelia Environnement (Grenoble)

Les Fusegates® doivent basculer dans un ordre déterminé, selon des niveaux d'eau définis dans le bassin de retenue en amont et correspondant à des crues périodiques. Pour respecter ces contraintes, il faut connaître et contrôler précisément les éléments suivants :

- les caractéristiques du déversement amont : comment les puits d'évacuation sont alimentés,
- les caractéristiques du déversement aval : la poussée hydrostatique exercée par l'eau en aval sur les hausses fusibles (qui s'oppose donc au basculement).

Ces phénomènes dépendaient des déversements 3D, qui étaient largement inconnus, variables et fluctuants. Le modèle à l'échelle avait l'avantage de permettre la reproduction de ces phénomènes non quantifiables.

Les essais sur le modèle réduit ont permis de déterminer :

- l'impact de la contraction et des parois latérales du seuil à l'amont sur le déversement
- l'impact de la forme du puits d'évacuation sur le déversement et sur la mise en pression des chambres,
- l'impact des conditions hydrauliques amont sur l'alimentation des puits: sélection de l'ordre de basculement le plus adapté,
- les paramètres fluctuants de contrôle du basculement : la pression de l'eau au-dessus des hausses fusibles juste avant le basculement, la pression de soulèvement au moment du basculement, la pression de l'eau en aval juste avant le basculement.

Plusieurs prises de pression statiques ont été installées sur le modèle et les hausses Fusegates®. La chambre inférieure d'une hausse fusible a été équipée de deux capteurs de pression dynamiques tandis qu'un capteur de mouvement optique a été raccordé à un ordinateur pour enregistrer avec précision les conditions du basculement.

Le niveau d'eau amont au-dessus des déflecteurs (niveau de l'eau dans le bassin de retenue) a été mesuré après le basculement de chaque hausse « principale » et après stabilisation du déversement amont.

6. LES AMÉLIORATIONS MISES EN ŒUVRE

6.1. Amélioration des conditions hydrauliques amont

La paroi du canal d'amenée de l'eau en rive droite et le mur de soutènement généraient d'importantes turbulences qui empêchaient le contrôle du basculement des hausses fusibles en rive droite. Ces phénomènes ont pu être réduits de manière satisfaisante et à un coût raisonnable grâce à la mise en place d'une extension de 7 m de long en prolongation du mur de soutènement (Fig.8).



Fig. 8

6.1. Allègement de l'influence du niveau aval

La forme semi-circulaire initiale du dispositif d'aération de la nappe d'eau (à l'extrémité de la hausse Fusegate®) n'était pas satisfaisante : du fait du niveau élevé à l'aval des hausses, le puits subissait une contrepression, dont le moment élevé par rapport à l'axe de basculement gênait le basculement. Un dispositif d'aération triangulaire a permis d'obtenir des résultats plus efficaces (Fig.9).



Fig. 9

7. LA CONFIRMATION DU BON FONCTIONNEMENT MALGRE UN FORT NIVEAU AVAL TURBULENT

Pour chaque séquence de basculement, le niveau de l'eau dans la retenue juste avant le basculement doit être aussi proche que possible du niveau déterminé pour cette séquence :

- la première Fusegate® ne doit pas basculer pour un niveau dans la retenue inférieur à celui correspondant à l'évacuation de la crue centennale, le basculement d'une hausse devant rester un événement exceptionnel ;
- le basculement de la dernière Fusegate® ne doit pas être retardé pour ne pas provoquer l'augmentation du niveau d'eau maximum pour la crue de projet.

De nombreuses mesures ont été réalisées, et les données enregistrées ont permis de vérifier les paramètres pris en compte dans le modèle mathématique mis au point par Hydroplus. Celles-ci comprenaient notamment les profils de l'eau le long des parois droite et gauche de chaque puits d'admission, les pressions aval auxquelles sont soumises les Fusegates®, mesurées avant chaque basculement par 14 prises, la pression appliquée sur l'auge de certaines hausses fusibles et le niveau de l'eau dans la chambre inférieure pendant le basculement de deux hausses fusibles.

Le schéma ci-après montre l'évolution de la pression de l'eau enregistrée dans la chambre et le moment où la troisième Fusegate® bascule (Fig.10).

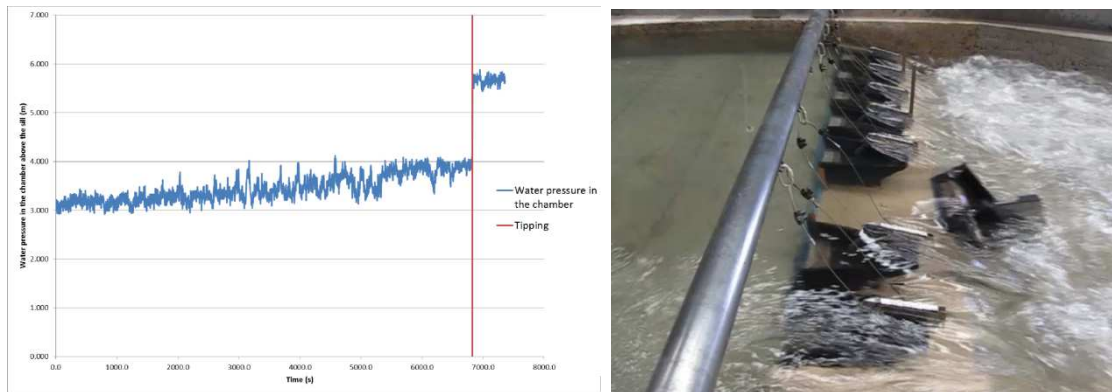


Fig. 10. Pression dans la chambre inférieure jusqu'au basculement de la hausse fusible

Les fluctuations de pression observées dans la chambre sont dues aux fortes turbulences générées en aval par le déversement et l'aération, qui sont transmises à l'intérieur de la chambre via l'orifice de drainage. Il a été vérifié que ce phénomène ne gêne cependant pas le bon fonctionnement de la hausse fusible qui a basculé pour le niveau amont prévu. Ces essais ont été répétés pour mesurer la variation des résultats, et il a été observé que le basculement se produisait toujours au même niveau d'élévation de l'eau, confirmant ainsi que les Fusegates® basculent très précisément au niveau d'eau amont prédéterminé (incertitude de l'ordre de 1 cm à l'échelle réelle), et malgré la poussée hydrostatique importante et très variable observée en aval de la hausse fusible.

8. L'OPTIMISATION DE LA CONCEPTION

Les résultats obtenus sur les modèles réduits ont permis d'orienter l'optimisation de la conception des hausses dans deux directions. En effet, certaines données ont été utilisées comme données d'entrée, notamment les mesures qui caractérisaient les conditions hydrauliques spécifiques du site (coefficient d'évacuation, niveaux d'eau en aval, niveaux d'eau dans la retenue et profil de l'eau le long des parois des puits).

Les valeurs de niveau d'eau en aval et dans la retenue ont permis de calculer la pression de l'eau sur la face aval des hausses Fusegate® ainsi que les niveaux d'eau amont correspondants utilisés dans les équations d'équilibrage de la pression dans la chambre. Le niveau d'eau dans la retenue a également permis de calculer l'efficacité hydraulique du déflecteur ainsi que les pertes d'eau entre les déflecteurs et les équations d'équilibrage de pression dans la chambre des hausses « secondaires ». De plus, les mesures du profil de l'eau ont permis d'évaluer l'angle géométrique d'ouverture des puits d'évacuation (de l'amont vers l'aval) et de calculer l'évacuation pendant l'augmentation progressive du déversement d'eau dans les puits. La courbe du déversement amont a créé une asymétrie dans l'alimentation des puits, accentuée principalement du côté droit. Ce phénomène a été pris en compte pour dimensionner précisément la longueur et la géométrie des puits et ainsi garantir qu'ils soient correctement alimentés.

Par ailleurs, la mesure de la pression d'eau dans la chambre a été revue pour contrôler la précision de la conception. La pression théorique dans la chambre, calculée sur la base des résultats d'essais indépendants, a été comparée aux mesures réelles.

Les résultats des essais ont permis d'obtenir une conception plus précise, pour réaliser des économies sur les coûts de construction et réduire les risques.

9. ANALYSE COMPARATIVE AVEC UN SEUIL LABYRINTHE FIXE

La dernière phase des études a consisté à faire une analyse comparative entre le système Fusegate® et une option de type seuil labyrinthe fixe.

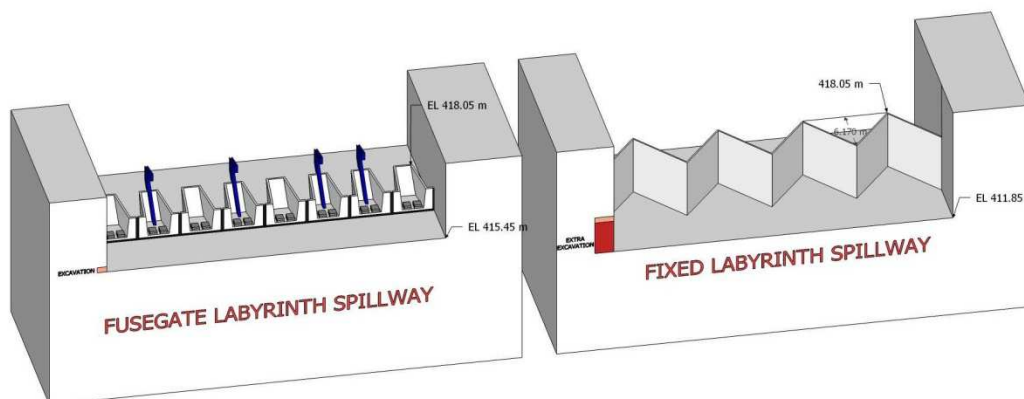


Fig. 11. Options hausses fusibles labyrinthe et seuil labyrinthe fixe

Pour ces deux options, qui présentent la même efficacité hydraulique (Fig.11)., la comparaison a porté sur les éléments dimensionnant les dépenses, l'empreinte de la construction et la durée du chantier (Fig.12).

		Fusegate®	Labyrinthe fixe
Démolition	m ³	80	550
Excavation	m ³	0	3835
Béton	m ³	69	140
Semelle en béton	m ³	60	530
Empreinte de la construction	m ²	172	220
Durée des travaux sur le site		2 semaines	6 mois

Fig. 12 Tableau comparatif

Grace à l'utilisation de la lame d'eau disponible lorsque les hausses fusibles ont basculé, les dimensions du système Fusegate® sont très réduites par rapport aux dimensions d'une installation fixe, à capacité d'évacuation, niveau de retenue normale et niveau des plus hautes eaux égaux.

L'installation des hausses fusibles n'a pas nécessité d'excaver le seuil ni le canal d'évacuation, contrairement à une solution de type labyrinthe fixe, qui aurait ici nécessité de baisser le seuil de 3,60 m, générant surcote et/ou pertes d'exploitation pendant la durée des travaux.

Enfin, la possibilité de préfabrication des éléments fusibles, a permis de réduire aussi la durée d'intervention sur site, et par conséquent, les coûts, les risques chantiers (sécurité et risque délai face à la possibilité d'une crue en phase travaux), et la durée d'immobilisation de la tranche d'eau.

10. CONCLUSION

L'application du Système Fusegates® au barrage de Quipolly a montré que ce dispositif peut être installé sur de nombreuses configurations de seuils de déversoirs, dans des conditions hydrauliques défavorables tant en amont qu'en aval (niveaux d'eau aval élevés, déversement en courbe, etc.).

Les essais réalisés sur modèles mathématiques et sur modèles réduits ont permis d'optimiser la conception et de mettre au point une solution de hausses fusibles qui améliore le barrage. Le projet Quipolly a en particulier confirmé qu'il était possible d'utiliser le système Fusegate® et la technologie du déflecteur dans des conditions de niveaux d'eau aval très élevés, pouvant même dépasser la crête des hausses Fusegate®.

Par rapport aux seuils fixes conventionnels, le système Fusegate® a permis de réaliser des économies substantielles à toutes les phases de travaux (déblaiement, constructions en béton, démolition, main d'œuvre, etc.) à efficacité hydraulique égale.

L'utilisation des hausses fusibles a permis d'éviter de devoir baisser le niveau du seuil de 3,60m en phase travaux (cout de protection, perte d'exploitation).

La durée des travaux sur site a aussi été considérablement réduite grâce à la préfabrication des modules Fusegate® et de ses accessoires. Alors qu'un chantier d'installation de hausses fixes exige 6 mois de travaux, l'installation du système Fusegate® ne dure que 2 semaines.