

## CALCUL DE LA COURBE DE CAPACITÉ DES PERTUIS DE FOND DU BARRAGE MATAWIN AVEC FLOW-3D®

### *Calculation of the rating curves for the Matawin dam's bottom sluice gates using Flow-3D®*

**Rémi Robbe, Douglas Sparks**

Hydro-Québec

75, Boulevard René-Lévesque Ouest

Montréal, Québec – H2Z 1A4

CANADA

Tél: +1 514-289-2211 # 4139, Fax: +1 514-289-2137, e-mail: [robbe.remi@hydro.qc.ca](mailto:robbe.remi@hydro.qc.ca)

*Dans le cadre de la vérification de la capacité d'évacuation des ouvrages d'Hydro-Québec, une étude de l'écoulement dans les pertuis de fond du barrage Matawin a été menée pour préciser la relation niveau-débit de l'ouvrage. Le barrage Matawin est situé à environ 150 km au nord de Montréal. Il est essentiel pour la production et la sécurité des ouvrages en aval, puisqu'il permet de gérer les crues et de régulariser les apports. Les pertuis de fond ont un profil peu commun, rendant une analyse théorique impossible. Le logiciel Flow-3D a alors été utilisé pour établir la courbe de capacité à ouverture totale et partielle. Son utilisation est pertinente puisque le pertuis est en charge ou non selon l'ouverture de la vanne. La modélisation établie utilise au mieux les données disponibles : bathymétrie amont, numérisation de la géométrie, modélisation des grilles à débris... Après une étude de sensibilité sur le maillage, le modèle numérique a été validé avec deux essais in situ. Les simulations ont montré des résultats très satisfaisants tant au niveau qualitatif (profil de l'écoulement) que quantitatif (débits, pertes de charge). Une quinzaine de simulations a alors été effectuée pour différents niveaux d'eau amont et pour différentes ouvertures de vanne afin de couvrir la gamme d'exploitation du barrage Matawin et de former ainsi la nouvelle courbe de capacité de l'aménagement. Cette étude constitue un exemple encourageant d'utilisation du code numérique Flow-3D pour des calculs de capacité d'ouvrage d'évacuation et montre que ce genre d'outils peut remplacer les approches classiques à condition de pouvoir calibrer et valider les résultats.*

*Calculation of the rating curves for the Matawin dam's bottom sluice gates using Flow-3D®*

*As part of the verification of Hydro-Quebec's spillway capacity at the Matawin dam, a study of the capacity of the regulating gates has been carried out in order to reduce errors in the relation between discharge and upstream water level.. The Matawin dam is located about 150 km northeast from Montreal, Quebec. This dam is essential for flood control and generation at three downstream hydro-electric power plants.*

*The regulating gates have an uncommon geometry, so a theoretical analysis is not applicable. Flow-3D has been used to calculate the capacity at full and partial gate openings. Its application is relevant as the flow can be in either free flow or underflow conditions. The numerical model makes best use of the available data : upstream bathymetry, numerisation of the structure's geometry, trash rack characteristics.*

*After a sensitivity study on the mesh and the boundary conditions, the model has been validated with two in-situ tests. Simulations have shown very good results, both at a qualitative (general pattern of the flow) and quantitative (discharge values, headloss) levels.*

*Some fifteen simulations were carried out for different combinations of upstream levels and gate openings in order to cover the reservoir's range of levels and outflows and then create new capacity curves for the Matawin dam bottom outlet gates.*

## I INTRODUCTION

Hydro-Québec est le principal producteur d'électricité au Québec. La puissance installée totale du parc est d'environ 36 000 MW, dont plus de 95 % provenant de l'hydraulique. Hydro-Québec possède 57 centrales hydro-électriques et plus de 500 ouvrages de retenue ou d'évacuation, aménagés autour de plus de 100 plans d'eau et réservoirs.

Au sein de l'entreprise, l'unité Hydraulique produit des études de rupture de barrage, conformément à la Loi sur la sécurité des barrages du Québec. L'unité a aussi pour mission de fournir l'expertise sur le fonctionnement des évacuateurs de crues et des ouvrages de régulation. Ces structures sont primordiales pour la production du parc et pour la sécurité des aménagements et de la population. Ils permettent, en effet, de

régulariser les apports aux sites de production et de gérer sécuritairement les crues. Dans les deux cas, il est nécessaire de connaître au mieux la capacité d'évacuation de ces ouvrages pour toute la gamme d'ouverture de vannes afin d'optimiser leur utilisation.

C'est dans ce cadre que se place le présent article détaillant le calcul de la capacité des pertuis de fond du barrage Matawin. Cet aménagement est un ouvrage d'évacuation sur lequel des incohérences ont été observées : des écarts, parfois importants, ont été relevés entre le débit calculé avec la courbe de capacité de l'ouvrage et le débit déterminé avec une courbe de tarage en aval.

Une étude numérique avec le logiciel Flow-3D est ainsi menée pour réviser la courbe de capacité des pertuis de fond du Barrage Matawin. Les calculs sont faits pour différents niveaux d'eau amont et pour plusieurs ouvertures de vanne. Le modèle numérique est optimisé puis validé avec deux essais in situ. Les résultats des simulations sont ensuite utilisés pour générer la courbe de capacité des pertuis de fond. La courbe est finalement confrontée à plusieurs situations pour lesquelles des incohérences avaient été constatées.

## II PRÉSENTATION DU BARRAGE MATAWIN

### II.1 Localisation de l'aménagement

Le barrage Matawin est situé sur la rivière Matawin à 150 km au nord de Montréal. Cet ouvrage de béton a été construit dans les années 30. Il est constitué de quatre pertuis de fond et de quatre pertuis de surface. Ces deux sections sont vannées. Le barrage forme le réservoir Taureau dont la réserve utile est environ  $950 \text{ hm}^3$  et d'une superficie d'environ  $100 \text{ km}^2$ .

### II.2 Enjeu de l'exploitation de l'aménagement

La rivière Matawin est un affluent de la rivière Saint-Maurice qui comporte de nombreuses centrales hydro-électriques. Ainsi, trois sites de production sont situés en aval du barrage Matawin. Cet ouvrage est donc essentiel pour la production d'électricité du Bas Saint-Maurice, puisqu'il permet de régulariser les apports de la rivière Matawin et d'améliorer ainsi le rendement des centrales en aval. L'ouvrage permet également de gérer les crues du bassin supérieur de la rivière Matawin.

### II.3 Fonctionnement de l'aménagement et problématique

En exploitation, les courbes de capacité des pertuis de surface et des pertuis de fond permettent de définir l'ouverture des vannes requises en fonction du niveau d'eau amont et de la demande des ouvrages en aval. Un limnimètre localisé 500 m en aval fournit une mesure de débit dans le cours d'eau grâce à une courbe de tarage établie avec les résultats de plusieurs campagnes de jaugeages.

Des divergences, parfois fortes (près de 25 %), ont été observées entre le débit calculé avec les courbes de capacité des pertuis et le débit mesuré avec la courbe de tarage aval. Ces incohérences n'ont été relevées que lors de l'utilisation des pertuis de fond, ce qui a amené à réviser la courbe de capacité de cette section.

### II.4 Géométrie de la section des pertuis de fond

La figure 1 suivante présente une coupe de conception d'un pertuis de fond du barrage Matawin. La longueur des pertuis est d'environ 25 m et sa largeur est 2,4 m. La hauteur du pertuis au niveau de la vanne est 4,5 m.

Cette section de pertuis de fond présente un profil peu commun. En effet, le radier incliné vers l'aval avec un plafond convergeant rend un calcul théorique de capacité difficile à réaliser à pleine ouverture et à ouverture partielle. Ainsi, le logiciel Flow-3D a été utilisé pour modéliser l'écoulement tant en charge qu'à surface libre.

Des grilles à débris sont présentes environ 1,5 m en amont des puits de vanne. Tout au long de l'exploitation de

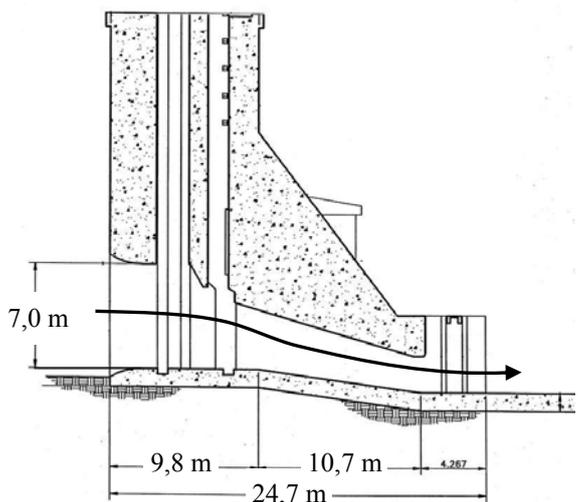


Figure 1 : Section longitudinale d'un pertuis de fond

l'aménagement, des débris se sont accumulés à l'entrée des pertuis, modifiant ainsi la géométrie du radier. Cette géométrie modifiée, ainsi que la bathymétrie amont, a été relevée à l'aide d'un robot sous-marin et est intégrée directement dans le modèle numérique.

### III MODÉLISATION ET CHOIX DU MAILLAGE

#### III.1 Généralités

L'écoulement dans les pertuis de fond est modélisé avec le logiciel Flow-3D qui résout numériquement les équations de Navier-Stokes avec une équation supplémentaire pour déterminer la position de la surface libre [1]. Ce code de calcul utilise un maillage structuré rectangulaire pour représenter le domaine modélisé. Une large panoplie de conditions limites est disponible et des géométries complexes peuvent être facilement intégrées.

Les résultats des simulations sont analysés avec Flow-3D ou avec le logiciel de post-traitement Fieldview. Ce dernier outil permet une plus grande souplesse quant à la manipulation des résultats : combinaison, intégration, dérivation des variables.

La résolution est, dans tous les cas, instationnaire, il n'y a pas d'artifice permettant de converger rapidement vers une solution permanente. Il est ainsi nécessaire de s'assurer que l'écoulement est stabilisé avant d'analyser les résultats.

#### III.2 Domaine d'étude et conditions limites

Seule la section des pertuis de fond est modélisée, puisque l'écoulement de sortie n'est que très peu perturbé par l'aval. En effet, un seuil sépare le bassin de dissipation en sortie des pertuis, du reste de la rivière. Le bassin de dissipation est délimité par la rive à gauche, et par un mûr bajoyer à droite. Le domaine modélisé s'étend ainsi de 19 m en amont du barrage à 10 m en aval du seuil. La bathymétrie amont, relevée lors de l'inspection sous-marine, et la géométrie créée à partir des plans de construction, sont intégrées directement dans le modèle.

Il n'y a pas d'effet de submergence au barrage Matawin : le débit ne dépend que du niveau d'eau amont et de l'ouverture des vannes. Le ressaut hydraulique se crée toujours dans le bassin de dissipation aval. Une condition de sortie libre sans réflexion, semblable à la condition de radiation de Sommerfeld [1], est donc appliquée en aval du modèle. L'influence de cette condition sur les simulations est également testée en la remplaçant par une condition de niveau fixe. En amont, une condition de niveau fixe est imposée dans tous les cas.

#### III.3 Paramètres physiques, numériques et modélisation des grilles à débris

Les caractéristiques du fluide (densité et viscosité) sont celles de l'eau à 20 °C. La gravité spécifiée au modèle est 9,81 m/s<sup>2</sup>. Dans Flow-3D, il est possible de prendre en compte l'état de surface d'un composant géométrique en spécifiant une rugosité au modèle. Pour le barrage Matawin, une rugosité de 6 mm est choisie, ce qui caractérise bien l'état du béton de l'ouvrage.

L'écoulement dans les pertuis est fortement turbulent. Le logiciel permet de considérer les effets de la turbulence avec un choix de plusieurs modèles. Toutefois, tel que recommandé par les développeurs de Flow-3D, le modèle dit de renormalisation de groupe (RNG) modifié, utilisant une longueur de mélange pour la dissipation de l'énergie turbulente [1], a été utilisé lors de cette étude. Du côté des options numériques, le solveur de pression utilise un schéma de résolution implicite, alors que l'advection et les efforts visqueux sont résolus de façon explicite.

Les grilles à débris du barrage Matawin sont beaucoup trop fines pour être modélisées directement dans le modèle. En effet, il faudrait un maillage déraisonnablement fin, avec ce que cela implique sur le temps de calcul, pour inclure la géométrie des grilles dans le modèle. Pour prendre en compte leur influence sur l'écoulement, elles sont modélisées sous forme de plaques poreuses dans Flow-3D. La formule (1) présente la chute de pression calculée par le logiciel, à travers une telle plaque :

$$\Delta p = \rho \cdot \left[ K_{lin} \cdot U \cdot Por + \frac{1}{2} \cdot K_{quad} \cdot (U \cdot Por)^2 \right], \quad (1)$$

où  $\Delta p$  est la chute de pression,  $\rho$  la masse volumique de l'eau,  $K_{lin}$  et  $K_{quad}$  des coefficients de pertes de charge linéaire et quadratique,  $U$  la vitesse au niveau de la plaque et  $Por$  la porosité de la plaque.

Quatre plaques poreuses de la dimension des grilles sont ainsi placées dans le modèle. Le coefficient de perte de charge quadratique  $K_{quad}$  est déterminé avec un abaque [2]. Il dépend de la forme du grillage et de sa superficie relative. La porosité de la plaque est calculée en fonction de la superficie relative de l'armature des grilles dans le sens de l'écoulement. Aucun coefficient de perte de charge linéaire n'a été spécifié.

Les plaques prennent en compte l'effet de la grille en tant que telle. L'accumulation des débris devant les grilles est modélisée directement dans la géométrie, dans les puits des grilles.

### III.4 Choix du maillage

Flow-3D utilise un maillage structuré et rectangulaire. Cela facilite grandement le processus de discrétisation, puisque tout le domaine est maillé, y compris les zones fermées à l'écoulement. L'algorithme employé par le logiciel détermine ensuite, pour chaque cellule, la fraction de volume ouverte au fluide et la fraction de volume occupée par l'ouvrage. Ainsi, le premier critère de choix du maillage est la bonne représentation de la géométrie.

Le second critère est la "convergence" du maillage, c'est-à-dire que l'on doit s'assurer que la solution finale du maillage obtenue n'est pas (ou très peu) dépendante du maillage. Pour cela, le maillage est raffiné successivement jusqu'à obtenir une solution stable.

Le dernier critère de choix du maillage est le temps de calcul de la simulation.

Quatre maillages sont testés. Tous ont le même agencement global, avec quatre blocs de maillage. La taille des cellules est réduite d'un tiers à chaque raffinement du maillage. Une simulation d'un pertuis partiellement ouvert est alors effectuée pour chacun des quatre maillages. Pour cette condition de fonctionnement des pertuis de fond, le débit observé était  $56,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le tableau 1 suivant présente les résultats des simulations et l'écart avec la valeur cible pour chaque maillage. Le temps de calcul et le nombre de cellules actives sont également indiqués. Les cellules actives sont les cellules pour lesquelles un calcul est fait par Flow-3D. Un algorithme désactive automatiquement les cellules vides ou les cellules complètement obstruées par un solide.

Maillage	Nb de cellules actives	Temps de la simulation	Débit calculé	Écart avec la valeur cible ( $59,6 \text{ m}^3/\text{s}$ )
# 1	$\approx 56\ 000$	56 min	$80,1 \text{ m}^3/\text{s}$	34 %
# 2	$\approx 120\ 500$	4 h 22 min	$88,0 \text{ m}^3/\text{s}$	48 %
# 3	$\approx 357\ 000$	14 h 13 min	$59,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$\approx 1 \%$
# 4	$\approx 1\ 114\ 000$	32 h 35 min	$59,2 \text{ m}^3/\text{s}$	$\approx 1 \%$

Tableau 1 : Optimisation du maillage

De ces essais ressort le fait que le maillage 3 est optimal pour ce cas d'étude. En effet, il est un très bon compromis entre temps de calcul et efficacité. Les maillages 1 et 2 n'offrent pas une bonne représentation de la géométrie, c'est pour cela que le débit des simulations est très éloigné de la valeur cible. Le maillage 4 offre une très bonne précision sur les résultats, mais donne un temps de calcul supérieur à 2 fois celui du maillage 3. La figure 2 présente une vue globale du maillage final. Les cellules dans les blocs 2 et 3, qui couvrent l'écoulement dans les pertuis, sont des cubes de 30 cm de côté.

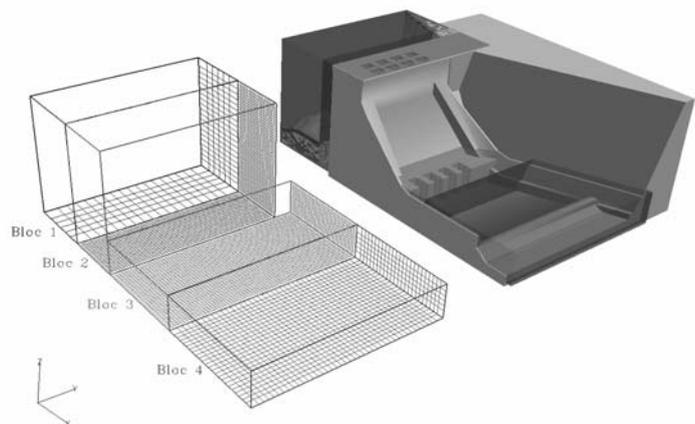


Figure 2 : Maillage final

## IV VALIDATION DU MODÈLE

### IV.1 Méthode de validation

Le modèle numérique est validé avec deux scénarios d'utilisation des pertuis de fond pour lesquelles des observations et mesures ont été effectuées *in situ*. Pour le premier cas, trois pertuis étaient ouverts à 3,2 m (L'ouverture maximale étant de 4,5 m) et la charge hydraulique dans le réservoir était 10,5 m. La deuxième situation est un cas d'ouverture totale d'un pertuis avec une charge amont de 18,8 m.

Pour ces deux essais, le débit a été mesuré avec la courbe de tarage aval et des observations de l'écoulement dans le bassin de dissipation ont été effectuées. Ainsi, les premiers points de validation du modèle consistent en la vérification de la précision du calcul de débit et la bonne représentation du patron d'écoulement en aval. Ensuite, la dissipation d'énergie et l'évolution de la charge hydraulique le long d'un pertuis de fond sont calculées afin de localiser les zones de pertes de charge. Le point de contrôle de l'écoulement est également déterminé à ce stade-ci. Pour terminer la validation, le débit est comparé à une formule théorique de débit sous une vanne et l'influence de la condition aval est testée.

La dissipation totale d'énergie,  $\Phi_{tot}$ , est calculée en tout point avec la formule (2) suivante :

$$\Phi_{tot} = \Phi_{tur} + \Phi_{vis}, \quad (2)$$

où  $\Phi_{tur}$  est la dissipation turbulente et  $\Phi_{vis}$  est la dissipation visqueuse. Si la dissipation turbulente est calculée directement par Flow-3D, il n'en est pas de même pour la dissipation visqueuse. La formule (3) [3] présente comment cette grandeur est calculée, en tout point de l'écoulement, avec Fieldview à partir des résultats de la simulation :

$$\Phi_{vis} = \frac{1}{2} \mu \cdot \sum_{i,j} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)^2, \quad (3)$$

où  $\mu$  est la viscosité dynamique de l'eau,  $U_i$  est la vitesse de l'écoulement dans la direction  $i$  et  $x_i$  est la coordonnée dans la direction  $i$ . Les indices  $i$  et  $j$  varient de 1 à 3. La dissipation visqueuse correspond à la puissance des forces internes de viscosité par unité de volume.

La variation de la charge hydraulique le long d'un pertuis est déterminée en calculant la charge en plusieurs sections transversales de l'écoulement avec la formule (4) suivante :

$$H_T(x) = \frac{1}{S} \cdot \int_S \left( z + \frac{P(x,y,z)}{\rho \cdot g} + \frac{1}{2g} \cdot U^2(x,y,z) \right) \cdot dy \cdot dz, \quad (4)$$

où  $H_T$  est la charge hydraulique,  $S$  la superficie de la section de calcul,  $z$  l'élévation du point courant,  $P$  la pression au point courant,  $U$  la vitesse au point courant dans la direction  $x$ ,  $\rho$  la masse volumique de l'eau et  $g$  l'accélération de la pesanteur. Les sections de calcul ont la largeur d'un pertuis et sont réparties sur toute la longueur du domaine.

### IV.2 Premier cas de validation : Trois pertuis ouverts partiellement à 3,2 m

#### IV.2.1 Débit et profil de l'écoulement

Pour ce cas, le débit mesuré avec la courbe de tarage aval est 147 m<sup>3</sup>/s. Le débit calculé avec Flow-3D est 149 m<sup>3</sup>/s, soit un écart inférieur à 1,5 % par rapport à la valeur mesurée. Le débit calculé avec Flow-3D est une valeur moyenne sur les vingt dernières secondes de la simulation stabilisée. L'écart-type sur cette période ne dépasse pas 1 m<sup>3</sup>/s, ce qui indique que l'écoulement permanent est atteint dans les pertuis.

L'observation de l'écoulement dans le bassin de dissipation a montré la présence de deux zones de recirculation de part et d'autre des "jets" de sortie. Ces tourbillons s'expliquent par le fait que l'écoulement vient frapper le seuil en aval. L'eau proche de la surface passe par-dessus le seuil, tandis que l'eau en profondeur est réfléchiée et recircule dans le bassin de dissipation. La figure 3 montre la forme de la surface libre dans le bassin et les lignes de courant telles que calculées par Flow-3D.

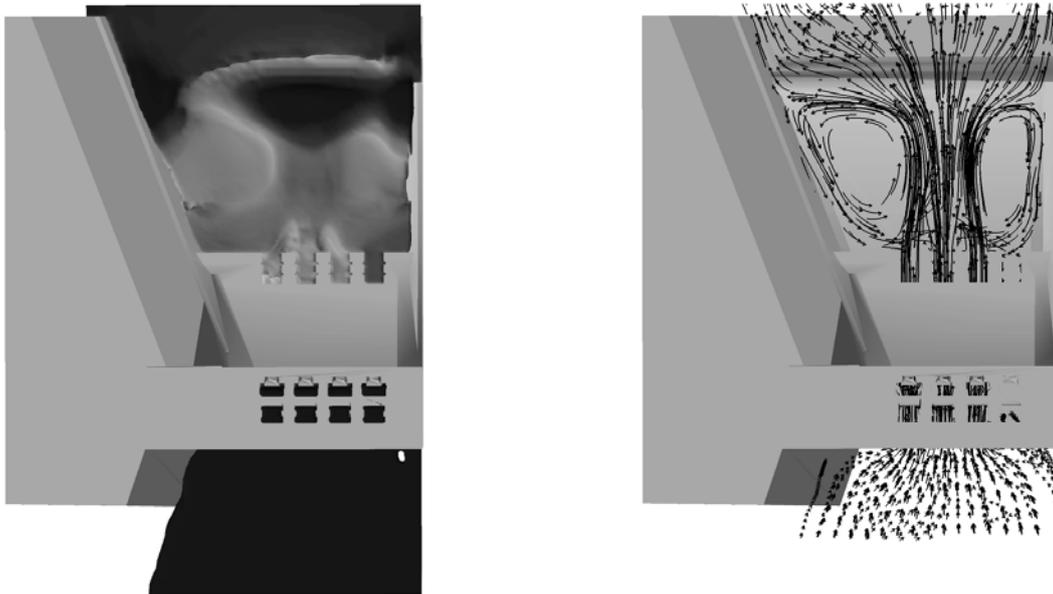


Figure 3 : Résultats des simulations – Surface libre et Lignes de courant

La surface libre calculée est très proche de celle observée *in situ*. Les deux dépressions le long des murs latéraux et le renflement au niveau du seuil correspondent bien aux observations. Les lignes de courant données par les simulations caractérisent très bien les deux zones de recirculation.

#### IV.2.2 Dissipation d'énergie, variation de la charge et point de contrôle de l'écoulement

La figure 4 montre la dissipation totale dans une section longitudinale du troisième pertuis. Pour la même zone, l'évolution de la charge hydraulique en fonction de la coordonnée  $x$  est tracée en dessous de la coupe.

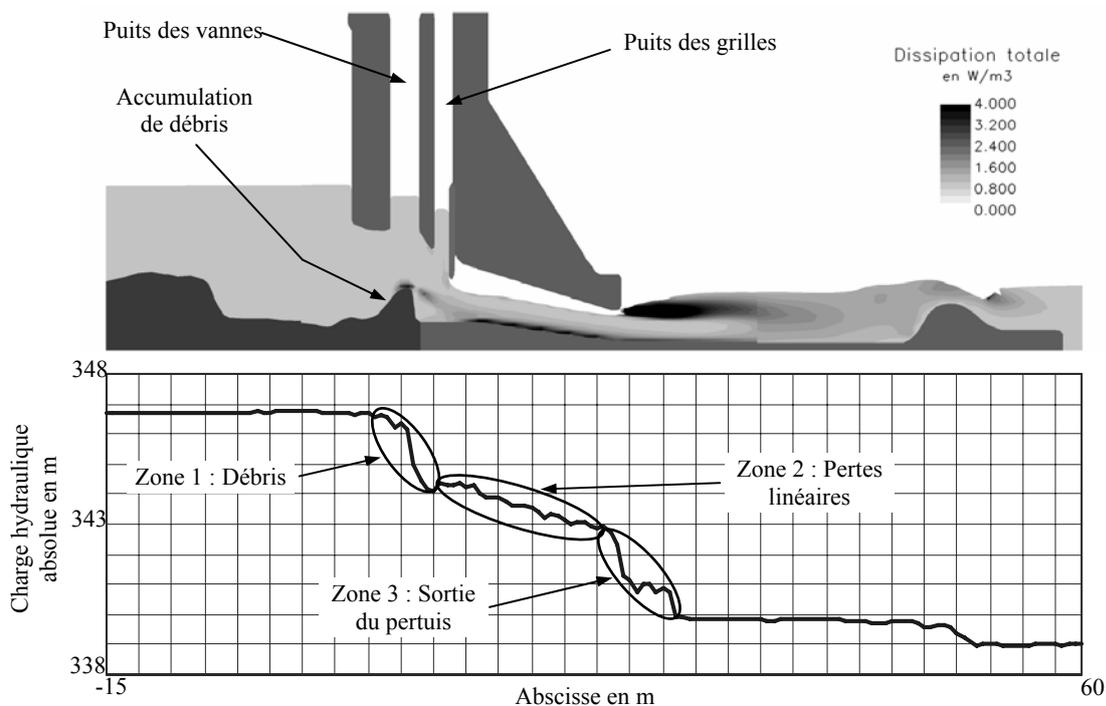


Figure 4 : Dissipation totale et variation de la charge dans le pertuis 3

On peut voir, dans la coupe, que le point de contrôle de l'écoulement se situe au niveau de la vanne. Ce qui confirme que le débit ne dépend que du niveau d'eau amont et de l'ouverture de la vanne. Le ressaut hydraulique se forme juste à la sortie des pertuis.

On distingue trois principales zones de dissipation d'énergie. Environ 5 m après l'entrée des pertuis, la première zone de dissipation est causée par l'amoncellement de débris en aval duquel se situe une zone de

recirculation. La perte de charge attribuable à cette portion est de l'ordre de 2,2 m, ce qui correspond à environ 30 % de l'énergie perdue dans les pertuis.

La seconde zone de dissipation se situe au niveau de la partie inclinée du radier. Dans cette portion de l'écoulement, les vitesses sont beaucoup plus importantes et le frottement pariétal augmente. Le graphique confirme que les pertes sont linéaires dans cette zone et qu'elles sont de l'ordre de 1,4 m. Les pertes de charge donnée par l'équation de Manning [4] sont 1,3 m pour la même zone, avec  $n=0,028$  correspondant sensiblement à une rugosité de 6 mm. Flow-3D semble donc bien représenter les pertes d'énergie liées au frottement sur le radier.

La dernière zone de dissipation est au niveau de la sortie des pertuis, dans le ressaut hydraulique. À cet endroit, 3,2 m de charge sont perdus, ce qui correspond à environ 44 % de l'énergie perdue.

#### IV.2.3 Débit théorique et influence de la condition aval

Le débit calculé avec Flow-3D est comparé avec la formule (5) donnant le débit théorique sous une vanne [2] :

$$Q_{th} = C_c \cdot w \cdot L \cdot \sqrt{2g \cdot (H_0 - C_c \cdot w)}, \quad (5)$$

où  $C_c$  est le coefficient de contraction,  $w$  l'ouverture de la vanne,  $L$  la largeur du pertuis et  $H_0$  la charge d'eau en amont de la vanne. Le coefficient de contraction est égal au rapport de la hauteur d'eau minimale en aval de la vanne par l'ouverture de la vanne. La hauteur d'eau minimale en aval de la vanne est mesurée directement avec les résultats des simulations Flow-3D. Ainsi, le débit théorique est de 51,3 m<sup>3</sup>/s par pertuis ou 154 m<sup>3</sup>/s pour les trois pertuis ouverts, soit un écart inférieur à 3,5 % par rapport aux simulations.

Pour évaluer l'influence de la condition limite aval, la simulation a été refaite avec une condition de niveau fixe. Le niveau imposé correspond au niveau mesuré lors des observations. Le débit calculé avec cette nouvelle condition est 149 m<sup>3</sup>/s, soit un écart inférieur à 1 % avec la simulation "sortie libre". Ceci est cohérent avec le fait qu'il n'y a pas de submergence à cet ouvrage.

### IV.3 Second cas de validation : Un pertuis totalement ouvert

Pour ce cas, le débit mesuré avec la courbe de tarage aval est 88 m<sup>3</sup>/s, alors que le débit calculé avec Flow-3D est 86 m<sup>3</sup>/s, soit un écart inférieur à 2,5 %.

Les résultats de cette simulation ne sont pas présentés en détail, mais les conclusions sont les mêmes que pour le cas précédent. On peut toutefois noter que, pour cet essai, le point de contrôle se situe à la sortie des pertuis. Le débit dépend donc du niveau d'eau amont et des dimensions de la section de sortie des pertuis. L'écoulement est toujours dénoyé, puisque le ressaut se produit plusieurs mètres en aval.

Les deux cas de validation sont donc très concluants et permettent d'utiliser le modèle en toute confiance pour le calcul de la courbe de capacité des pertuis de fond.

## V CALCUL ET VALIDATION DE LA NOUVELLE COURBE DE CAPACITÉ

### V.1 Courbe de capacité d'un pertuis

Seize simulations sont lancées pour quatre ouvertures de vannes et pour quatre niveaux d'eau amont, afin de couvrir la gamme d'exploitation de l'aménagement. Les calculs sont faits pour un pertuis ouvert seulement. Les résultats des simulations sont extrapolés pour créer la courbe de capacité d'un pertuis de fond.

La courbe est présentée à la figure 5. Les points correspondent aux valeurs calculées par Flow-3D tandis que les courbes donnent les valeurs interpolées/extrapolées. L'opérateur de l'aménagement peut ainsi déterminer l'ouverture

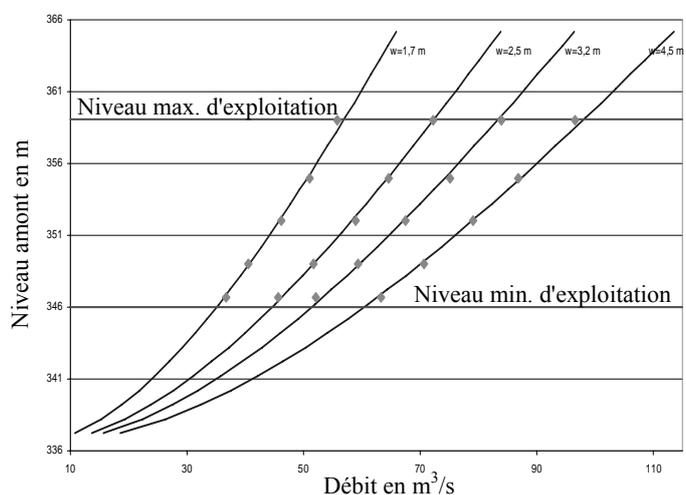


Figure 5 : Courbe de capacité d'un pertuis

de vanne nécessaire en fonction du niveau d'eau amont et du débit désiré.

## V.2 Validation de la courbe de capacité

La courbe présentée à la figure 5 est validée avec six scénarios d'ouverture des pertuis de fond pour lesquels le débit de tarage aval est connu. Pour ces situations, le débit mesuré est comparé au débit déterminé avec la courbe de capacité Flow-3D et au débit déterminé avec l'ancienne courbe de capacité. Ces différentes valeurs sont présentées dans le tableau 2.

Niveau amont	Ouverture des vannes	Débit tarage aval	Valeurs Flow-3D		Anciennes valeurs	
			Débit	Écart	Débit	Valeur
348.9 m	1@4 m et 1@0.4 m	69 m <sup>3</sup> /s	79 m <sup>3</sup> /s	15 %	59 m <sup>3</sup> /s	-14 %
349.2 m	3@3.2 m	164 m <sup>3</sup> /s	180 m <sup>3</sup> /s	9 %	131 m <sup>3</sup> /s	-20 %
353.9 m	0.7 m	26 m <sup>3</sup> /s	27 m <sup>3</sup> /s	4 %	20 m <sup>3</sup> /s	-23 %
355.1 m	4.5 m	90 m <sup>3</sup> /s	88 m <sup>3</sup> /s	-3 %	71 m <sup>3</sup> /s	-21 %
353.9 m	1.7 m	52 m <sup>3</sup> /s	49 m <sup>3</sup> /s	-6 %	40 m <sup>3</sup> /s	-23 %
358.8 m	3.2 m	77 m <sup>3</sup> /s	72 m <sup>3</sup> /s	-7 %	58 m <sup>3</sup> /s	-25 %

Tableau 2 : Comparaison des débits

Les résultats Flow-3D donnent de bien meilleurs résultats que l'ancienne courbe de capacité, sauf dans un cas où les deux courbes donnent des valeurs avec sensiblement le même écart. Le gain en précision induit par l'utilisation de la courbe Flow-3D est en moyenne supérieur à 15 %.

Certains facteurs expliquent l'écart qu'il y a avec les débits déterminés à l'aide de la courbe de tarage aval. Premièrement, la courbe Flow-3D a été établie en simulant l'écoulement dans le pertuis 3 seulement. Les scénarios du tableau 2 mettent en jeu d'autres pertuis dans lesquels l'accumulation de débris est différente, ce qui peut engendrer des écarts de plusieurs m<sup>3</sup> d'un pertuis à l'autre. Ensuite, il y a une incertitude d'environ 5 % sur les valeurs données par la courbe de tarage aval. Malgré tout, la courbe obtenue est très satisfaisante et apporte un gain très appréciable dans l'utilisation du barrage Matawin.

## VI CONCLUSIONS

Le logiciel Flow-3D a été utilisé pour modéliser numériquement l'écoulement dans les pertuis de fond du barrage Matawin. Après avoir optimisé le maillage et les différents paramètres du modèle, des simulations ont été effectuées pour valider son utilisation. Le modèle a alors été utilisé pour établir la courbe de capacité d'un pertuis de fond. Cette dernière offre un gain supérieur à 15 % en moyenne aux débits calculés avec l'ancienne courbe de capacité, ce qui est très satisfaisant pour l'utilisation du barrage Matawin.

Cette étude est un bon exemple d'utilisation du logiciel Flow-3D et de son application à un cas concret d'ingénierie. Son utilisation s'est montrée particulièrement adaptée pour ce type d'étude où écoulements en charge et à surface libre étaient présents simultanément.

## VII REFERENCES ET CITATIONS

- [1] Flow Science Inc. (2007). – *Flow-3D® User Manual v.9.2*. Flow Science Inc.
- [2] Miller, D.S. (1994). – *Discharge Characteristics*. Taylor and Francis.
- [3] Chassaing, P. (2000). – *Mécanique des fluides – Éléments d'un premier parcours*. Cépaduès-Éditions.
- [4] Munson, B. R., Young, D. F. & Okiishi, T.H. (1994). – *Fundamentals of Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.