

EXPERTISE PROFESSIONNELLE

POUR LA MUNICIPALITÉ DE



**ÉTUDE DE SÉCURITÉ DU BARRAGE
DU LAC MAILLÉ ;
BARRAGE X0004781**

Miroslav Chum, ing., M.Sc.

30 juillet 2015



EXPERTISE PROFESSIONNELLE

POUR LA MUNICIPALITÉ DE



ÉTUDE DE SÉCURITÉ DU BARRAGE DU LAC MAILLÉ ; BARRAGE X0004781



30 juillet 2015

Miroslav Chum

Miroslav Chum, inc.
3252, rue de la Baie-des-Sables
Lac-Mégantic (Québec)
G6B 1R6
Tél. : (819) 554-8185 ou (418) 326-2186
Courriel : miroslavchum@gmail.com

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	I
1. MISE EN SITUATION	1
2. RENSEIGNEMENTS.....	2
3. LOCALISATION.....	3
4. DESCRIPTION DU BARRAGE.....	4
4.1 Description générale du barrage	4
4.2 Digue	4
4.3 Déversoir	8
5. VOLUME DU RÉSERVOIR.....	11
6. HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE	13
6.1 Hydrographie	13
6.2 Hydrologie	13
6.1 Crue de sécurité	16
6.2 Hydraulique du déversoir	16
6.2.1 Déversoir rectangulaire	17
6.2.2 Conduite ovale	18
6.2.3 Conduites de 750 mm de diamètre	19
6.2.4 Hydraulique, résumé	20
7. GÉOTECHNIQUE.....	21

7.1	Géomorphologie.....	21
7.2	Séismicité	21
7.3	Analyse des sols	21
7.4	Pente aval de la digue.....	22
7.5	Revanche de la digue	22
8.	CONSÉQUENCE D’UNE RUPTURE	23
8.1	Débit de rupture	23
8.2	Description du territoire en aval du barrage	24
8.3	Propagation de l’onde de rupture.....	26
8.4	Vulnérabilité de la zone en aval du barrage	27
8.5	Dommmages anticipés.....	30
9.	CLASSEMENT DU BARRAGE	31
10.	GESTION DES EAUX	33
11.	CONCLUSION.....	34
12.	RECOMMANDATIONS.....	35

1. MISE EN SITUATION

Ce document a été produit à la demande de la municipalité de Saint-Hippolyte afin de statuer sur la sécurité du barrage situé à l'exutoire du lac Maillé. Cette démarche s'inscrit dans le cadre juridique de la Loi et du Règlement sur la sécurité des barrages. Dans le registre du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), cette structure de retenue porte le numéro X0004781.

Ce document est le résultat des visites du barrage lui-même et du territoire en aval, ainsi que d'une analyse technique de cette structure de retenue située à l'exutoire du lac Maillé. Il a été préparé conformément aux exigences de la Loi sur la sécurité des barrages et du Règlement sur la sécurité des barrages.

Les observations sur le terrain ont été effectuées aux mois de juin et juillet 2015 par un ingénieur. Sauf indication contraire, les photographies présentées dans ce document ont été prises lors des visites de terrain aux dates mentionnées plus haut.

2. RENSEIGNEMENTS

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX :

Nom du barrage :	Maillé
Numéro du barrage :	X000478
Municipalité :	Saint-Hippolyte
Municipalité régionale de comté	La Rivière-du-Nord
Coordonnées géographiques :	N 45° 52' 02'' W 74° 00' 04''
Propriétaire :	Municipalité de Saint Hippolyte et Comité des citoyens du lac Maillé inc., (selon la fiche technique du CEHQ)

RENSEIGNEMENTS SUR LE BARRAGE :

Année de reconstruction :	1977
Hauteur du barrage :	6,6 m
Hauteur de retenue :	6,1 m (débit module)
Zone sismique :	4
Capacité de retenue :	73 900 m ³ (lors des conditions hydrologiques moyennes)
Superficie du bassin :	3,20 km ²

3. LOCALISATION

Le barrage du lac Maillé (numéro X0004781) est situé à environ 7,2 km au sud-sud-est du centre de la municipalité de Saint-Hippolyte. Le plan 2 présenté en annexe donne un aperçu de la localisation de la zone visée. Plus précisément, les coordonnées géographiques du barrage sont N 45° 52' 02'' W 74° 00' 04''. Dans le cadre de l'étude de sécurité, la section analysée s'étend du barrage X0004781 jusqu'à deux kilomètres en aval. La photo 1 donne un aperçu du plan d'eau créé par la ladite structure.



Photo 1 Vue générale sur le lac Maillé. Ce plan d'eau est principalement utilisé à des fins récréotouristiques.

4. DESCRIPTION DU BARRAGE

Les paramètres présentés dans l'Étude de sécurité ont été recueillis dans la documentation disponible et à la suite d'une visite des lieux. Lors des visites de terrain, les conditions climatiques étaient plutôt sèches et l'hydraulicité des cours d'eau semblait inférieure à la moyenne annuelle.

4.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU BARRAGE

La longueur totale du barrage est d'environ 53 m et sa hauteur est de 6,60 m. Mentionnons cependant qu'il est actuellement difficile de distinguer avec précision la transition entre la structure du barrage et le terrain environnant. Les eaux du lac sont évacuées par un déversoir muni de poutrelles en bois. Le déversoir est suivi d'une conduite en tôle galvanisée.

Selon la fiche technique, la structure a été modifiée en 1967. Cependant, les écriteaux sur les parties bétonnées réfèrent plutôt à l'année 1977.

4.2 DIGUE

La longueur totale de la digue est de 53 m. La largeur de la crête est considérable et elle atteint 11,50 m. Un chemin à surface de roulement asphaltée d'une largeur de 6,00 m occupe la partie centrale de la crête (photo 2).

Selon les sondages superficiels, la digue est composée de sable et de gravier argileux. La surface de la digue est abondamment couverte par une végétation herbacée et arbustive sur la partie amont. Le talus aval est colonisé par des arbres matures.

Le versant aval de la digue est constitué de grosses roches (photo 3), particulièrement à la base de la structure. Localement, sa pente est relativement abrupte, mais elle atteint en moyenne un angle de 1 : 1,9 (vertical : horizontal). La surface de la digue inondée

par les eaux du réservoir (partie amont) est de l'ordre de 1 : 3. Lors de la visite de terrain, la revanche de la crête de la digue par rapport au niveau d'eau était d'environ 0,50 m.

L'état général de la digue est considéré comme passable. De petites zones d'érosion sont présentes près de l'exutoire en aval des conduites de 750 mm de diamètre. Quelques petits ravins dus au ruissellement sont apparents à proximité du chemin du lac Maillé (photo 4). D'une dizaine de centimètres de profondeur, ils ne sont cependant pas en évolution et n'ont pas un effet significatif sur la stabilité de la structure.

Des signes de percolation mineure sont perceptibles à quelques endroits en aval de la digue (photo 5). Le volume d'eau a été évalué d'un à deux litres par seconde. Les dépôts rougeâtres peuvent indiquer la présence de matière ligneuse, mais on ne dispose pas de suffisamment d'information pour tirer des conclusions plus détaillées quant à la composition de la digue. La percolation semble constante, sans indices d'une évolution progressive. Aucune trace de matières fines provenant de la digue n'a été observée.

Tout au long de la face aval de la digue, on observe des zones humides. Comme pour la majorité des digues composées de matériaux granulaires, ceci est un phénomène plutôt normal et aucune intervention n'est suggérée pour remédier à cette situation.

Sur l'ensemble de la digue, aucune zone d'instabilité ni anomalie géotechnique n'a été observée.

Voir les plans 4 à 7 pour plus de détails.



Photo 2 Vue générale sur la digue à partir du sud.

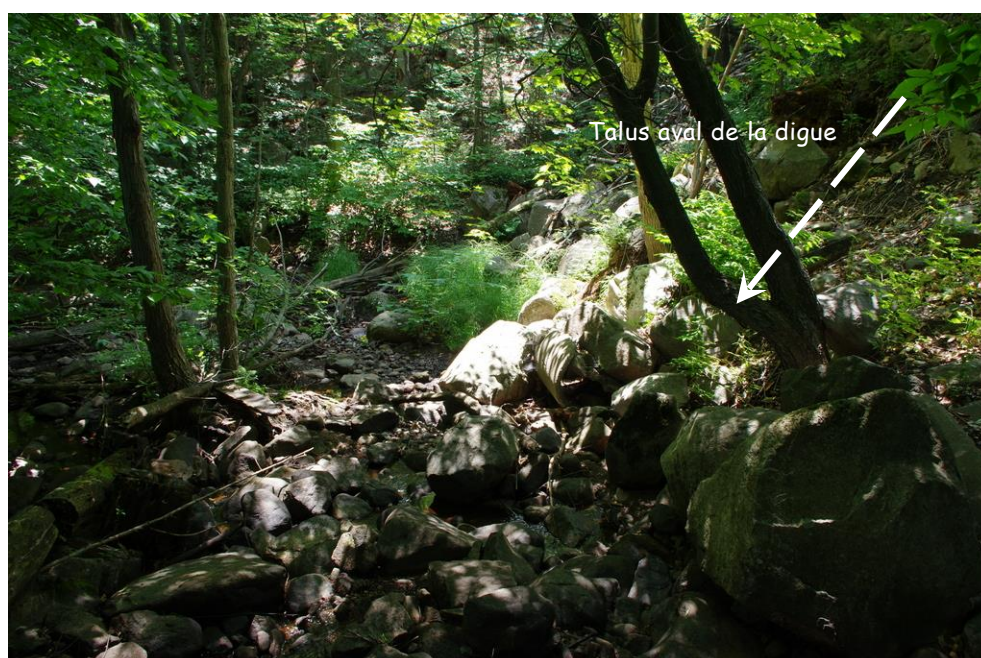


Photo 3 Face aval de la digue.



Photo 4 Des ravins d'érosion sont présents sur la crête de la digue.



Photo 5 La percolation des eaux peut être observée au pied aval de la digue.

4.3 DÉVERSOIR

Le déversoir principal est constitué d'une structure de béton et de poutrelles amovibles d'une hauteur de 120 mm chacune. Après avoir traversé le déversoir, les eaux empruntent une conduite ovale en acier ondulée. Cette conduite, qui traverse la 25^e Avenue, présente une hauteur de 1 420 mm et une largeur de 950 mm (photo 6). Par la suite, les eaux coulent dans un canal sur une vingtaine de mètres en longeant le chemin du lac Maillé. Ce canal se termine par un seuil en béton d'une quinzaine de centimètres de hauteur (photo 7). Par la suite, les eaux plongent dans les deux conduites de béton de 750 mm de diamètre (photo 8) pour aboutir dans le canal d'évacuation. Malgré que ce canal soit tapissé de grosses pierres, on observe des foyers d'érosion à quelques endroits (photo 9).

La gestion du niveau d'eau du réservoir est relativement simple. Pour la période hivernale et printanière, une ou deux poutrelles sont retirées du déversoir afin de diminuer le niveau d'eau d'environ 0,24 m. Pour la période estivale, la cote d'exploitation moyenne se situe près de 49,85 m, tel qu'observé lors des visites des lieux. Naturellement, selon les conditions hydrologiques, le niveau du réservoir peut augmenter de quelques dizaines de centimètres. Mentionnons que la cote 48,85 m représente un niveau de 0,15 m inférieur à la crête du muret de béton constituant le déversoir.

Ce type de structure est relativement vulnérable à l'obstruction par des branches et par d'autres corps flottants. En outre, le passage par une conduite peut favoriser davantage la rétention et l'accumulation des branches. Rappelons que l'obstruction potentielle du déversoir est un important facteur à considérer lors de l'évaluation de la sécurité.

Les sorties des conduites sont convenablement protégées par de l'enrochement et aucun signe d'instabilité n'a été observé.

Les aspects hydrologiques et hydrauliques du déversoir sont traités dans les chapitres suivants de ce document.



Photo 6 Déversoir du barrage suivi d'une conduite ovale. On remarque une faible dénivelée entre le niveau d'eau et la crête de la digue.



Photo 7 Le canal parallèle au chemin du lac Maillé se termine par un seuil en béton.

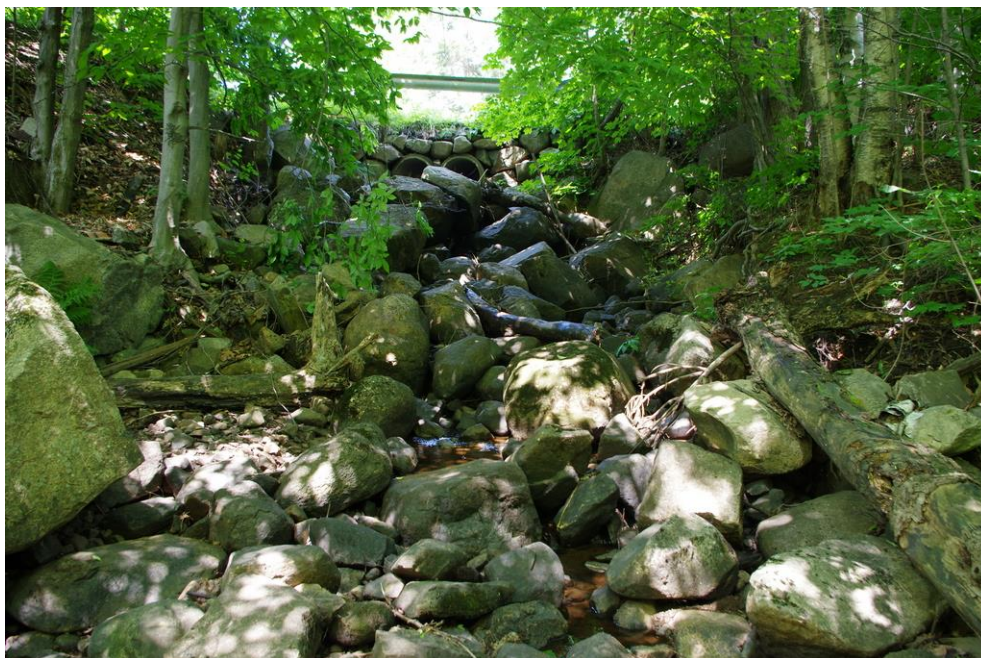


Photo 8 Le chemin du lac Maillé est traversé par deux conduites en béton. Vue de l'aval du canal d'évacuation.



Photo 9 Les parties non protégées du canal sont assujetties à l'érosion.

5. VOLUME DU RÉSERVOIR

La structure du barrage retient les eaux d'un réservoir d'une superficie de 0,059 km². La carte bathymétrique réalisée par le Laboratoire de Richard Carignan, Station de biologie des Laurentides (Université de Montréal – août 2011) et produite en collaboration avec le CRE Laurentides a été utilisée pour statuer sur les aspects volumétriques du réservoir (plan 9).

Le volume du réservoir a été évalué par couches de 1,0 m de profondeur. Les résultats sont montrés sur la figure 1.

Premièrement, à partir de la figure 1, on constate que le volume d'eau associé à la cote d'exploitation moyenne (49,85 m) est de 73 900 m³. Ce volume est nettement inférieur au volume théorique présenté dans la fiche technique du barrage (339 300 m³). De plus, la figure 1 montre que le volume maximal des eaux retenues avant le débordement peut atteindre jusqu'à 106 000 m³.

En outre, il est intéressant de constater qu'un volume des eaux retenues de 30 000 m³ pourrait être atteint à condition que le niveau du réservoir soit abaissé de 0,88 m par rapport à la cote d'exploitation moyenne. Rappelons que le volume de 30 000 m³ représente un seuil entre un barrage à *'faible contenance'* et un barrage à *'forte contenance'*.

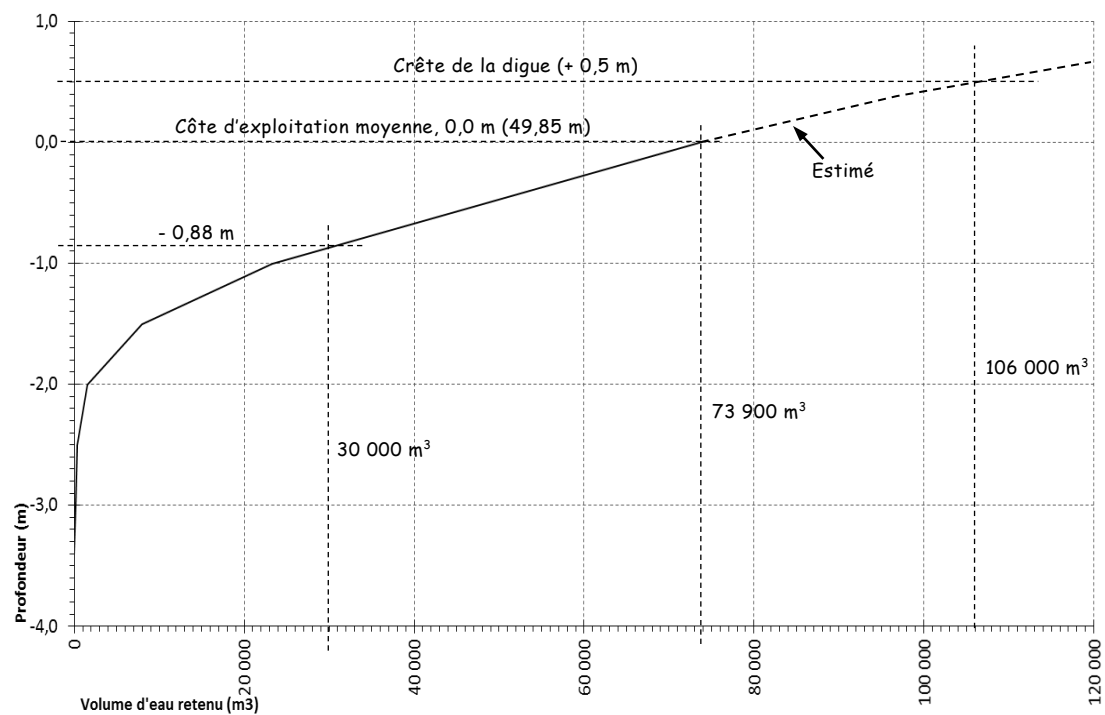


Figure 1 Relation entre la profondeur et le volume des eaux retenues du réservoir du barrage Maillé.

6. HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE

6.1 HYDROGRAPHIE

Le lac Maillé est un modeste plan d'eau. Il est situé à la tête du bassin versant (voir les plans en annexe de ce document). La majeure partie de la superficie du bassin est occupée par des peuplements forestiers à différents stades de maturité. Cependant, le développement domiciliaire est relativement intensif et étalé sur toute la surface du bassin.

Le lac Maillé est alimenté par un petit ruisseau, par la nappe phréatique et par le ruissellement. Les eaux du lac sont évacuées par un petit cours d'eau jusqu'à un autre ruisseau sans nom qui alimente une série d'étangs et des zones marécageuses. Par la suite, approximativement à 1,4 km du barrage, les eaux atteignent le lac Bertrand. En aval de ce lac, le cours d'eau replonge dans le milieu forestier avant d'atteindre un autre plan d'eau, le lac des Vallons. Au passage, le cours d'eau provenant du barrage du lac Maillé s'enrichit de plusieurs tributaires et devient la rivière Abercromby pour finir sa course dans la rivière de l'Achigan.

6.2 HYDROLOGIE

Le comportement hydrologique du bassin versant du barrage a été analysé à l'aide de la méthode rationnelle. Mentionnons qu'aucune station de jaugeage n'est installée dans le bassin du barrage étudié.

Les données physiques et climatiques disponibles pour le bassin à l'étude sont présentées au tableau 1. On considère que le comportement du bassin possède un régime naturel, non influencé par la gestion des eaux ou par des interventions anthropiques majeures. Des analyses hydrologiques ont été élaborées pour l'exutoire du réservoir, au profil du barrage.

La méthode rationnelle affiche habituellement des résultats relativement conservateurs. Nous estimons que les débits réels du bassin versant sont légèrement inférieurs aux valeurs présentées. Cette hypothèse est d'ailleurs appuyée par la capacité des appareils d'évacuation du barrage lui-même. Même si les appareils actuels semblent sous-dimensionnés par rapport aux analyses théoriques, ils assureraient depuis plusieurs années le bon fonctionnement de la structure sans défaillance majeure. Même chose pour la revanche de la digue, pourtant nettement insuffisante en théorie.

Mentionnons que la superficie du bassin versant considérée dans les analyses hydrologiques est relativement difficile à estimer. En effet, à cette échelle, la très faible superficie du bassin rend les cartes topographiques peu précises. La superficie du bassin évaluée à partir du matériel cartographique disponible est de 3,1 km². Cependant, en raison de la difficulté relative à la détermination de la position de la ligne de partage des eaux, nous considérons pour les analyses ultérieures une superficie du bassin de 3,4 km².

Le coefficient de ruissellement du sol a été estimé à partir des observations visuelles de dépôts de surface dans le bassin. Il est cependant à noter que ce coefficient peut varier considérablement en fonction des conditions du sol (présence de gel, état de la végétation, construction de voies de communications, etc.).

Le tableau 2 présente les débits pour les différentes récurrences pour la méthode rationnelle.

Voici les paramètres utilisés dans les calculs.

Tableau 1 Principaux paramètres physiques et climatiques du bassin versant du lac Maillé.

PARAMÈTRE	VALEUR
Superficie du bassin versant	3,4 km ²
Pente moyenne du bassin	6,0 %
Longueur du cours d'eau	1,60 km
Élévation à 10 % de la longueur du cours d'eau	240 m
Élévation à 85 % de la longueur du cours d'eau	258 m
Coefficient de ruissellement	0,21
Intensité de précipitation	21 mm
Écart type (précipitation)	10 mm
Superficie des lacs	0,064 km ²
Superficie des marécages	0,020 km ²
Coefficient de laminage	0,75

Tableau 2 Crue de différentes récurrences pour le bassin du lac Maillé (méthode rationnelle)

RÉCURRENCE	PRÉCIPITATIONS [mm]	DÉBIT INSTANTANÉ [m ³ /s]	DÉBIT LAMINÉ [m ³ /s]
2	19,4	2,7	2,0
5	28,2	3,9	3,0
10	34,1	4,7	3,6
20	39,7	5,5	4,2
25	41,4	5,7	4,3
50	46,9	6,5	4,9
100	52,4	7,2	5,5
1000	n.d.	9,5	7,2
10 000	n.d.	11,9	9,0

6.1 CRUE DE SÉCURITÉ

Dans la présente étude, étant donné que le barrage appartient à la catégorie de '*forte contenance*', ayant des conséquences d'une rupture potentielle '*faibles*', on considère la crue de sécurité comme une crue instantanée d'une récurrence de 100 ans (ou d'une probabilité de 0,01) laminée par les plans d'eau et les marécages du bassin.

Nous retenons les résultats obtenus à l'aide de la méthode rationnelle pour les analyses ultérieures. Tout en considérant les limites de la méthode utilisée et le développement résidentiel probable du bassin, nous estimons que **le débit de la crue de sécurité est de 6,0 m³/s.**

Étant donné que la méthode employée est considérée comme relativement conservatrice, nous estimons que la valeur présentée est sécuritaire.

6.2 HYDRAULIQUE DU DÉVERSOIR

Comme déjà mentionné, l'unique déversoir est constitué d'une séquence des éléments suivants :

- 1) Déversoir rectangulaire de 2,05 m de largeur;
- 2) Conduite ovale en acier ondulé de 1 420 x 950 mm;
- 3) Deux conduites en béton de 750 mm de diamètre.

Afin de statuer sur la capacité des appareils d'évacuation de transiter la crue de sécurité, la capacité maximale de chaque élément a été évaluée.

6.2.1 Déversoir rectangulaire

Nous considérons qu'entre les élévations 48,85 et 50,00 m (système arbitraire) les eaux sont évacuées sur une largeur de 2,05 m. Étant donné l'élargissement important constitué d'un muret, à partir de l'élévation 50,00 m les eaux sont évacuées sur une largeur de 5,0 m. Une contraction latérale de 5 % a été estimée. Puisque l'écoulement de crue se produit dans des conditions noyées, nous considérons une réduction de débit de 15 % par rapport aux conditions libres.

La relation mettant en évidence le niveau d'eau et le débit a été évaluée à l'aide d'un modèle d'écoulement sur un déversoir à paroi mince. La figure 2 montre que le déversoir rectangulaire ne peut pas transiter un débit supérieur à 1,8 m³/s, ce qui est nettement inférieur à la crue de sécurité.

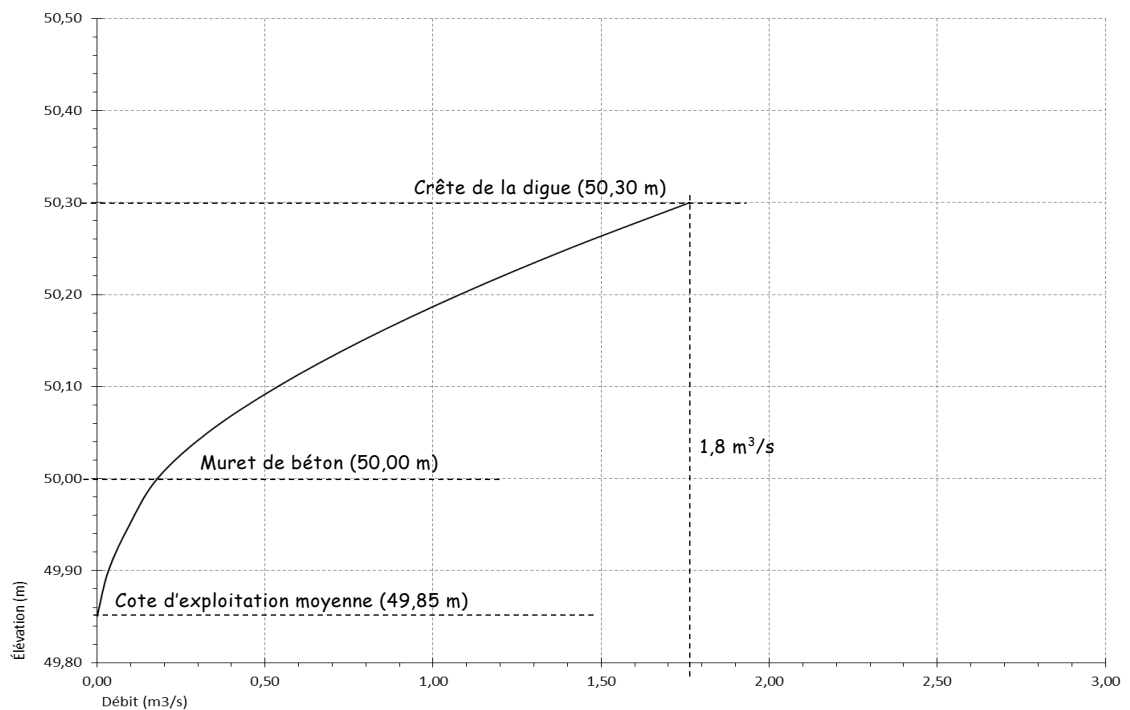


Figure 2 Capacité transitoire du déversoir rectangulaire du barrage Maillé.

6.2.2 Conduite ovale

Pour une évaluation de la capacité transitoire de la conduite transitant des eaux au-dessous de la 25^e Avenue, les abaques couramment employés ont été mis à profit pour estimer ce paramètre. Pour la fin de l'exercice, nous considérons que la conduite ovale de 1 420 x 950 mm puisse être substituée par une conduite circulaire de 1 200 mm de diamètre. La figure 3 montre que la conduite ne peut transiter que 2,8 m³/s, donc un débit inférieur à la crue de sécurité.

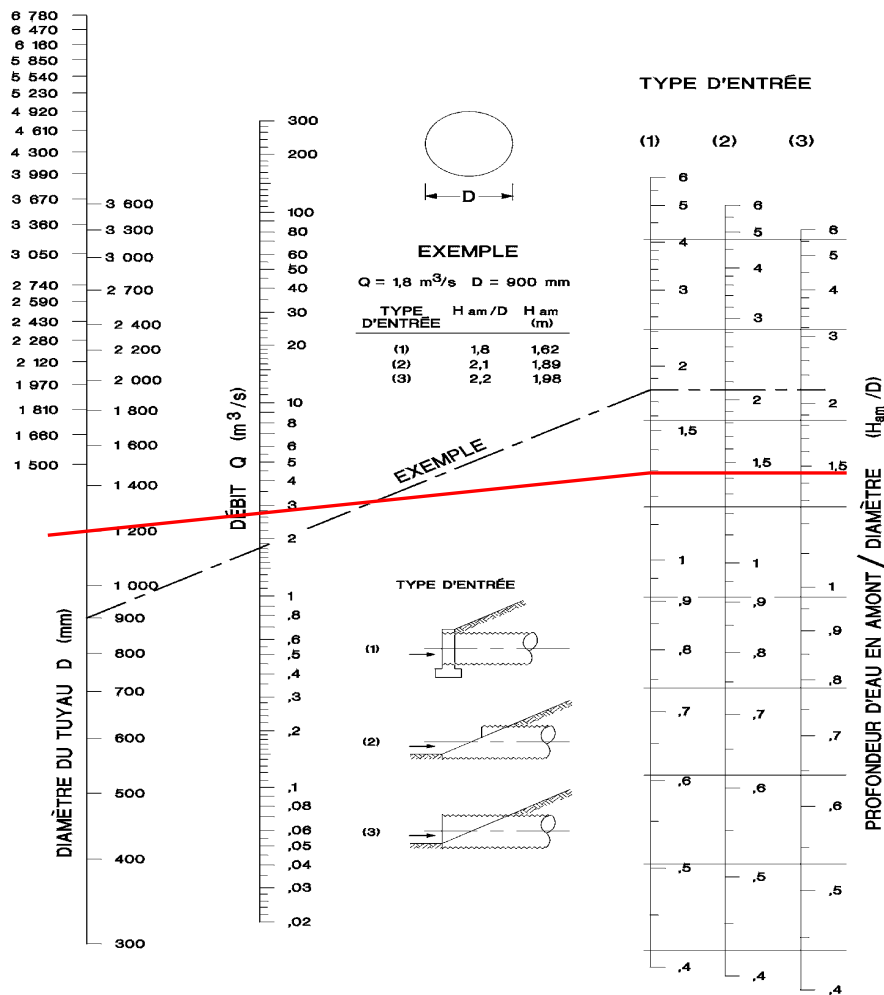


Figure 3 Capacité transitoire de la conduite ovale en acier (25^e Avenue).

6.2.3 Conduites de 750 mm de diamètre

De façon similaire, pour l'évaluation de la capacité transitoire des conduites transitant des eaux au-dessous du chemin du lac Maillé, des abaques ont été utilisés pour estimer ce paramètre. La figure 4 montre que les conduites ne peuvent transiter que 2,1 m³/s (2x1,05 m³/s), donc un débit inférieur à la crue de sécurité.

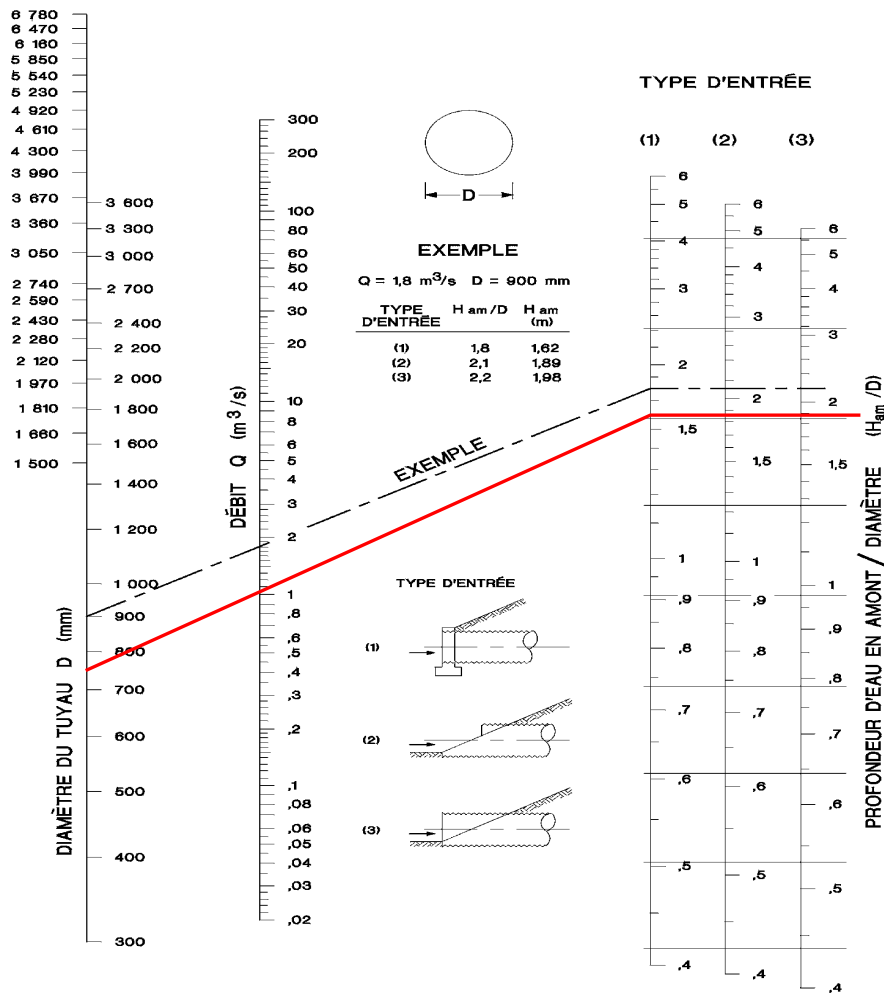


Figure 4 Capacité transitoire des conduites en béton (chemin du lac Maillé).

6.2.4 Hydraulique, résumé

Étant donné la présence de corps flottants dans le réservoir (particulièrement lors de périodes de crues extrêmes), on doit envisager l'éventualité que le déversoir et/ou les conduites soient partiellement obstrués. Rappelons que les barrages de ce type (conduite d'évacuation) sont les structures qui affichent le taux de rupture le plus élevé, l'obstruction de la conduite d'évacuation étant la cause la plus fréquente.

Selon l'analyse de différents éléments constituant l'appareil d'évacuation, nous devons conclure que **la capacité du déversoir à transiter la crue de sécurité est inadéquate.**

Étant donné qu'un débit maximal de l'ordre de $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ peut être transité, il semble que chaque année, la crête de la digue devrait être envahie par le surplus d'eau. Rappelons que la crue d'une récurrence de deux ans est de $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Cependant, aucun signe d'érosion témoignant d'une telle situation n'a été observé *in situ*. On se trouve donc dans l'obligation d'admettre que notre compréhension des phénomènes hydrologiques de très petits bassins versants est insuffisante et qu'elle ne reflète pas fidèlement la situation réelle.

Malgré une certaine incohérence entre les relations théoriques et les observations sur le terrain, nous sommes contraints d'utiliser les méthodes suggérées afin de respecter le cadre juridique d'une étude de sécurité. En résumé, on doit donc constater que l'appareil d'évacuation actuel est nettement insuffisant pour transiter la crue de sécurité et que sa capacité doit être considérablement augmentée.

7. GÉOTECHNIQUE

7.1 GÉOMORPHOLOGIE

En termes géomorphologiques, le barrage est localisé dans un lieu typique de cette région. Les dépôts meubles présentent une granulométrie très variable et ils sont minces sur les sommets et abondants dans les dépressions naturelles. Ces dépôts sont principalement constitués de sols sablonneux avec un pourcentage variable d'argile. L'épaisseur de la matière organique atteint en moyenne 10 cm sur le flanc des montagnes, mais peut atteindre des profondeurs beaucoup plus considérables dans les zones humides.

7.2 SÉISMICITÉ

Le barrage est situé dans la zone sismique no 4. À l'échelle du Québec, on retrouve des zones catégorisées entre 1 et 5, et on peut considérer le barrage du lac Maillé comme considérablement affecté par d'éventuelles secousses sismiques.

7.3 ANALYSE DES SOLS

Sur la structure elle-même et sur le terrain environnant, quelques sondages ont été effectués. Les caractéristiques des sols sont relativement similaires d'un endroit à un autre et aucune anomalie n'a été rencontrée. Les sols de fondation sont composés de till argileux. Sa teneur en matière organique est relativement élevée dans la couche superficielle, mais beaucoup moindre à partir d'une trentaine de centimètres de profondeur.

Lors de l'investigation sur le terrain, on n'a pas retrouvé de sols sensibles à la liquéfaction ni dans la structure de la digue, ni dans les sols environnants.

7.4 PENTE AVAL DE LA DIGUE

La pente aval de la digue atteint un rapport 1 : 1,9 (vertical : horizontal). Selon la documentation existante, les pentes des barrages ayant un rapport supérieur à 1 : 3 peuvent représenter des problèmes de stabilité. Pour cette raison, même si le pied aval est stabilisé par des grosses roches, nous devons conclure que **le coefficient de sécurité de la digue n'est pas conforme à la réglementation en vigueur.**

Naturellement, il serait possible d'analyser de façon détaillée la stabilité de la digue à l'aide de sondages géotechniques et d'analyse des matériaux dans un laboratoire spécialisé. Cependant, l'écart entre la pente actuelle et celle prescrite semble être trop important pour qu'une telle analyse puisse être justifiée.

7.5 REVANCHE DE LA DIGUE

Puisque la crue de sécurité ne peut pas être transitée sans débordement au-dessus de la crête de la digue, la revanche est donc inexistante.

8. CONSÉQUENCE D'UNE RUPTURE

Pour évaluer le comportement du cours d'eau en aval du barrage, une analyse de l'onde de rupture a été effectuée. Mentionnons que cette analyse est très complexe et qu'elle dépend de plusieurs paramètres variables. Par exemple, l'abondance et l'état de la végétation riveraine, la sévérité de la crue provenant du bassin et la résistance d'autres infrastructures (ponts, barrages) à la vague créée par la rupture sont des éléments qui ont un impact important sur le laminage de débit. Naturellement, tous ces paramètres sont difficiles à analyser et à intégrer dans un modèle global. Par conséquent, cette analyse devrait être interprétée comme un estimé présentant un ordre de grandeur plutôt que comme une analyse exhaustive.

Une méthode simplifiée d'évaluation de l'inondation d'une vallée présentée dans l'ouvrage de Claude Marche *Barrages, crues de rupture et protection civile* a été utilisée.

8.1 DÉBIT DE RUPTURE

Pour les fins de la présente analyse, lors de l'effondrement du barrage, une brèche de 8 m de largeur au fond et une lame d'eau de 5,0 m sont considérées. Mentionnons que la présence de plusieurs gros blocs métriques et une relative étroitesse de la vallée au profil du barrage nous laisse croire que cette largeur de brèche est réaliste. Pour cette raison, nous estimons que la rupture ne serait pas soudaine mais progressive, s'étalant sur quelques minutes. De plus, nous considérons que la forme de la brèche est trapézoïdale et les parois s'ouvrent d'un angle de 45°.

Après l'ouverture de la brèche d'une superficie approximative de 65 m², l'écoulement initial transité par cette brèche serait de l'ordre de **80 m³/s**, mais diminuerait rapidement et progressivement au fur et à mesure que le niveau du lac régresserait. De plus, dès que les conditions en aval du barrage deviendraient noyées, le débit serait considérablement diminué. Si le débit initial était maintenu, le réservoir serait vidé en moins d'une quinzaine de minutes. Cependant, étant donné la diminution progressive du niveau d'eau

dans le déversoir, on estime à une heure la vidange complète du lac Maillé. Mentionnons également que le Maillé est un lac de tête d'un très petit bassin versant.

8.2 DESCRIPTION DU TERRITOIRE EN AVAL DU BARRAGE

Le tableau 3 résume les conditions d'écoulement dans les différentes sections du cours d'eau présentes en aval du barrage Maillé. De plus, les plans présentés en annexe montrent la description topographique du cours d'eau.

Tableau 3 Les différentes sections d'écoulement en aval du lac Maillé

DÉBUT DE LA SECTION ¹	FIN DE LA SECTION	DESCRIPTION DE LA SECTION	NO DE LA PHOTO
0,000 km		Barrage du lac Maillé Superficie du lac 5,9 ha.	10
0,000 km	0,150 km	Écoulement modéré, faible capacité de laminage due à la vallée étroite	11
0,150 km	0,950 km	Étangs, marécages, écoulement lent. Capacité de laminage très importante. Superficie 8,0 ha..	12
0,950 km	1,410 km	Pente modérée. Écoulement rapide, quelques rapides et cascades. Capacité de laminage minime.	-
1,410 km	1,470 km	Lac Bertrand. Petit réservoir. Capacité de laminage importante, végétation. Superficie 0,8 ha.	13
1,470 km	1,670 km	Écoulement modéré, faible capacité de laminage.	14
1,670 km	2,100 km	Étangs, marécages, écoulement lent. Capacité de laminage très importante. Superficie 7,5 ha.	-

Note 1 : Le kilométrage est mesuré à partir du barrage Maillé vers l'aval



Photo 10 Kilométrage 0,000.



Photo 11 Kilométrage 0,060.



Photo 12 Kilométrage 0,160.



Photo 13 Kilométrage 1,460.



Photo 14 Kilométrage 1,480.

8.3 PROPAGATION DE L'ONDE DE RUPTURE

Tel que déjà mentionné, la propagation de l'onde de rupture du barrage du lac Maillé a été analysée à l'aide de la méthode simplifiée décrite par Claude Marche.

Pour chaque section décrite dans le chapitre précédent, les paramètres physiques de la section d'écoulement ont été estimés. Mentionnons que l'évaluation de ces paramètres est subjective et dépend de nombreux facteurs. Les résultats de cette analyse sont montrés à la figure 5. La crue d'une récurrence de 100 ans a été utilisée pour simuler le débit provenant du bassin lors de la période critique. Cependant, les observations effectuées sur le terrain nous laissent présumer que cette crue est nettement surévaluée (voir chapitre 6.2.4).

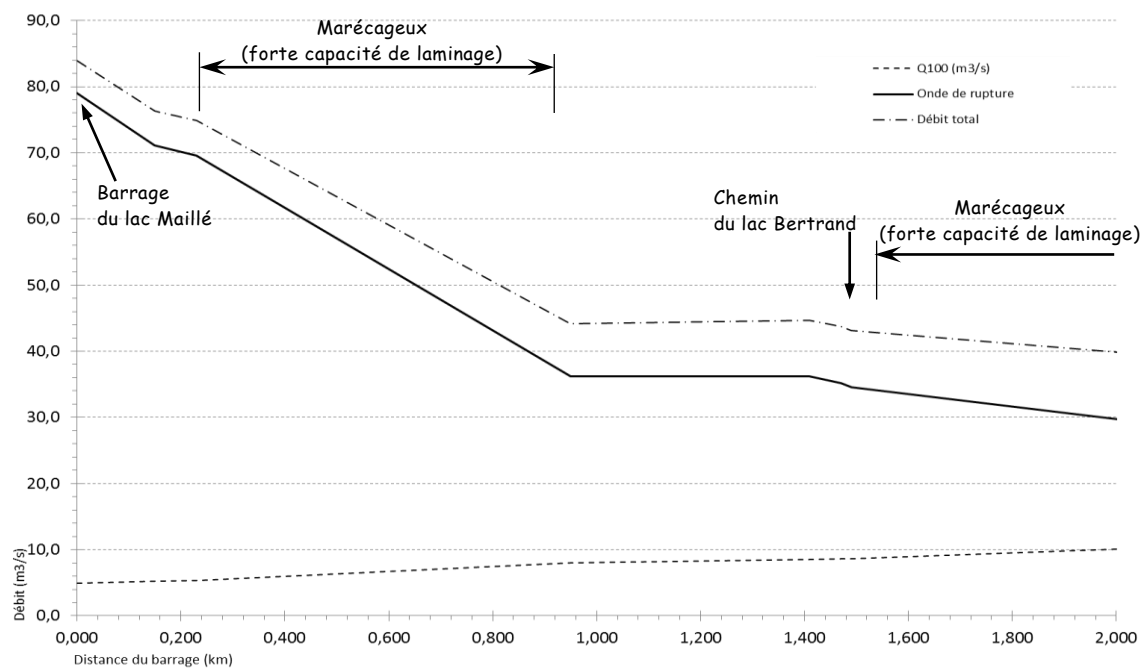


Figure 5 Estimé de l'onde de rupture du barrage du lac Maillé combinée avec la crue provenant du bassin.

8.4 VULNÉRABILITÉ DE LA ZONE EN AVAL DU BARRAGE

Le tableau 4 résume les zones ou endroits vulnérables au passage d'une crue provenant d'une éventuelle rupture de barrage du lac Maillé. Le plan 10 en annexe montre la cartographie du territoire affecté. Les photos montrées sur les pages suivantes présentent en outre une description visuelle des éléments considérés.

Tableau 4 Éléments considérés en aval du barrage du lac Maillé lors d'une rupture du barrage

KM	OBJET CONSIDÉRÉ	DÉBIT DE POINTE ¹	DOMMAGE ANTICIPÉ	NO DE LA PHOTO
0,000 km	Barrage du lac Maillé	79 m ³ /s	Destruction du barrage	15
0,100 km	Passerelles privées en bois	78 m ³ /s	Destruction des passerelles	16
0,050 – 150	Quatre résidences permanentes	78 m ³ /s	Puisque les résidences sont situées au-dessus de la ligne d'inondation, pas de dommages anticipés	17
0,140 km	Résidence permanente	77 m ³ /s	Inondation possible de la partie base du bâtiment, pas de dommage structurel	18
0,150 km	Passerelle privée métallique	77 m ³ /s	Domage important ou destruction de la passerelle	19
1,450 km	Barrage du lac Bertrand	35 m ³ /s	Domage potentiel	20
1,470 km	Ponceau TTOG, trois conduites ²	35 m ³ /s	Inondation du chemin, pas de dommage important anticipé	21
1,480 km	Résidence	35 m ³ /s	Inondation du chemin d'accès, pas de dommage important anticipé.	-
1,490 km	Résidence	35 m ³ /s	Inondation du chemin d'accès, pas de dommage important anticipé.	22

Note 1 : Le débit de la brèche seulement.

Note 2 : Au mois d'août 2015, le ponceau situé au kilomètre 1,470 a été remplacé par un ponceau rectangulaire en béton de 2,40 m de largeur et de 1,20 m de hauteur (photo 23).



Photo 15 Kilométrage 0,000.



Photo 16 Kilométrage 0,100.



Photo 17 Kilométrage 0,120.



Photo 18 Kilométrage 0,140.



Photo 19 Kilométrage 0,150.



Photo 20 Kilométrage 1,470.



Photo 21 Kilométrage 1,470.*



Photo 22 Kilométrage 1,490.

** Note. Après la rédaction de ce document, au mois d'août 2015, le ponceau situé au kilomètre 1,470 a été remplacé par un ponceau rectangulaire en béton de 2,40 m de largeur et de 1,20 m de hauteur (photo 23).*



Photo 23 Kilométrage 1,470.

8.5 DOMMAGES ANTICIPÉS

En général, les effets engendrés par la rupture du barrage seraient plus importants à proximité de la structure et diminueraient progressivement vers l'aval.

Outre les dommages sur la structure du barrage elle-même, le cours d'eau subirait des dommages environnementaux importants. Le tableau 4 résume les dommages anticipés lors de la rupture du barrage.

Mentionnons notamment qu'à 0,150 km en aval du barrage du lac Maillé, la partie basse d'une résidence peut être inondée (photo 18). Cependant, nous n'anticipons pas de dommages structuraux en raison de l'absence directe du courant à cet endroit.

Le barrage du lac Bertrand (X0004804), situé à 1,450 km, pourrait être endommagé par l'onde de rupture. Mentionnons que le volume d'eau de ce réservoir est relativement petit (approximativement 6 000 m³).

Le ponceau localisé directement en aval du barrage du lac Bertrand (km 1,470) serait probablement endommagé ou obstrué par des corps flottants. Cependant, nous n'anticipons pas la destruction de la route, puisque le remblai est de faible hauteur.

Deux résidences situées en aval du chemin du lac Bertrand (km 1,480 et 1,490) seront probablement affectées par la montée des eaux. Nous anticipons que la partie basse des résidences peut être inondée, sans toutefois qu'il y ait de dommages structuraux en raison de l'absence du courant à cet endroit.

Par conséquent, nous estimons que le **niveau des conséquences** d'une éventuelle rupture du barrage du lac Maillé **est faible**.

9. CLASSEMENT DU BARRAGE

Le classement du barrage a été élaboré à la lumière des éléments considérés dans les chapitres précédents. De plus, certains renseignements ont été tirés de la fiche technique du barrage produite par le Centre d'expertise hydrique. Le tableau présenté sur la page suivante (tableau 5) résume les principaux paramètres servant à établir le classement.

Comme on le constate, le classement actuel du barrage est relativement élevé (classe C). La digue elle-même est rendue vulnérable par sa revanche inexistante. De plus, les pentes des talus, de l'ordre de 1 : 2, ne sont pas conformes à la réglementation actuelle au point de vue géotechnique.

Par contre, advenant la réalisation de travaux correctifs sur la structure, le classement sera certainement abaissé.

Tableau 5 Classement du barrage du lac Maillé (situation actuelle)

Barrage du lac Maillé

Classification d'une structure de retenue

Plan d'eau	Lac Maillé
Nom du barrage:	---
Numéro:	X0004781
Date :	31 juillet 2015

Paramètres physiques		Déversoir principal		Digue	
			[Points]		[Points]
Hauteur	[A ₁]	6,60 m	1,3	6,60 m	1,3
Type de la structure	[A ₂]	béton remblayé	8,0	remblai	10,0
Fondations	[A ₃]	till	4,0	till	4,0
Volume de retenue	[A ₄]	73 900 m3	1,0	73 900 m3	1,0
Paramètres physiques	[A]		3,6		4,1
Paramètres variables					
Âge	[B ₁]	38 ans	6,6	38 ans	2,0
Type		béton		remblai	
Zone de sismicité	[B ₂]	4	6,0	4	6,0
Fiabilité	[B ₃]	adéquate	1,0	adéquate	1,0
État	[B ₄]	acceptable	5,0	pauvre	10,0
Paramètres variables	[B]		4,7		4,8
Paramètre de conséquence	[C]	faible	2,0	faible	2,0
Pointage final (A x B)			33,3		38,8
Pointage maximal			38,8		
Classe du barrage			C		
Classe du barrage (selon l'article 74)			C		

10. GESTION DES EAUX

Tel que mentionné, le niveau d'eau peut être contrôlé par la manipulation de poutrelles en bois dans le déversoir principal en béton. Le niveau d'exploitation normal (observé lors de la visite de terrain) atteint la cote de 49,85 m.

La gestion du niveau d'eau du réservoir est relativement simple. Pour la période hivernale et printanière, une ou deux poutrelles sont retirées du déversoir afin de diminuer le niveau d'eau d'environ 0,24 m. Pour la période estivale, la cote d'exploitation moyenne se situe près de 49,85 m. Naturellement, selon les conditions hydrologiques, le niveau du réservoir peut augmenter de quelques dizaines de centimètres. Mentionnons que la cote 48,85 m représente un niveau de 0,15 m inférieur à la crête du muret de béton constituant le déversoir.

Dans le passé, cette gestion du niveau d'eau était acceptable tant à des fins récréatives que pour la sécurité du barrage et de la zone en aval du lac.

11. CONCLUSION

Le barrage du lac Maillé a été restauré il y a une quarantaine d'années. À cette époque, la réglementation pour les petits ouvrages de retenue était très permissive, voire inexistante. De plus, des structures de retenue munies d'une cheminée d'évacuation ont été construites en grande nombre à l'époque, notamment à des fins piscicoles.

Depuis ce temps, et notamment à la suite des inondations survenues en 1996 au Saguenay et sur la Côte-Nord, une nouvelle loi portant sur la sécurité des barrages a été adoptée et elle est actuellement en vigueur. Selon cette réglementation, le barrage analysé dans ce document ne répond plus aux normes actuelles.

Voici les principaux éléments susceptibles d'affecter la sécurité de la structure :

- 1) Le déversoir est vulnérable à l'obstruction par des corps flottants.
- 2) Le déversoir n'est pas en mesure de transiter la crue de sécurité.
- 3) La revanche de la digue par rapport au niveau maximal d'exploitation n'est pas suffisante.
- 4) Les pentes de la digue sont abruptes, la rendant vulnérable aux glissements et aux secousses sismiques.
- 5) L'érosion du talus en aval localisé à la sortie des conduites de 750 mm peut contribuer à la déstabilisation de la digue.
- 6) La surface de la digue est fortement végétalisée, ce qui rend les observations difficiles.

12. RECOMMANDATIONS

Afin de rendre la structure du barrage sécuritaire et conforme à la réglementation en vigueur, certaines interventions devront être entreprises à court terme.

D'ici le 1^{er} juin 2016, il est recommandé :

- 1) d'abaisser le niveau moyen d'exploitation de 0,20 m au minimum ;
- 2) de s'assurer du bon fonctionnement du déversoir et de nettoyer au besoin tous les éléments constituant le déversoir ;
- 3) de ne pas jeter les rebuts végétaux dans les différentes parties du déversoir ;
- 4) de maintenir la végétation sur la digue dans un état facilitant l'inspection périodique, particulièrement sur la face aval du barrage ;
- 5) de suivre l'évolution de la zone d'érosion à proximité de la sortie des conduites d'évacuation de 750 mm de diamètre ;
- 6) de suivre l'évolution de la percolation au pied aval de la digue ;
- 7) d'effectuer les visites de reconnaissance (minimum 6 par année) afin de déceler les éventuelles anomalies.

D'ici le 1^{er} juin 2020, il est recommandé de démarrer le processus de mise aux normes de la structure :

Puisque la correction de certains paramètres de la structure liés directement à la sécurité du barrage exige des interventions relativement importantes, nous présentons quelques scénarios envisageables à moyen et long terme. Mentionnons que la faible capacité hydraulique du déversoir actuel, la revanche inexistante et la pente trop

abrupte de la digue sont les principaux éléments à modifier pour que la structure devienne conforme à la réglementation en vigueur.

Voici les scénarios envisagés. Mentionnons que l'intervention retenue peut être la combinaison des scénarios présentés.

DÉCLASSEMENT DU BARRAGE VERS '*FAIBLE CONTENANCE*'

Si le niveau d'eau du lac est abaissé d'environ 0,90 m, le volume des eaux retenues devient inférieur à 30 000 m³, ce qui permettrait de déclasser le barrage dans la catégorie des '*faibles contenances*'. À l'exception de l'aménagement d'une nouvelle conduite à une élévation inférieure de 0,90 m par rapport à la cote d'exploitation moyenne, aucune autre intervention ne sera exigée.

Naturellement, l'aspect visuel du plan d'eau sera considérablement modifié. Cependant, cette intervention est certainement la moins dispendieuse de toutes variantes envisagées.

RÉFECTION DE LA STRUCTURE ACTUELLE

Afin que la réglementation soit respectée, il est possible de conserver la même configuration du barrage tout en corrigeant les irrégularités mentionnées précédemment. La pente de la digue sera diminuée par l'ajout du matériel sur la partie aval et la crête sera rehaussée. De plus, la capacité transitoire du déversoir et des conduites adjacentes sera considérablement augmentée.

Lors de ce scénario, l'aspect visuel et récréatif du plan d'eau serait préservé. Il est à noter que l'ampleur des travaux est relativement importante, ce qui demande une mobilisation considérable de ressources.

MODIFICATION DE LA STRUCTURE ACTUELLE

Puisque le type de barrage actuel (déversoir suivi d'une conduite) affiche le taux de ruptures et de déficiences majeures le plus élevé au Québec, il est préférable de modifier la structure. Dans ce cas, un déversoir libre sera aménagé. Naturellement, le chemin du lac Maillé passant sur la crête sera sectionné. D'un point de vue strictement hydraulique et géotechnique, cette variante présente de nombreux avantages. Il est également à noter que cette intervention serait certainement moins dispendieuse que le scénario précédent.

ANNEXES

Annexe 1 Fiche technique du barrage du lac Maillé

Annexe 2 Cartes et plans

Annexe 1

Fiche technique du barrage du lac Maillé
(du 3 novembre 2011)

Le 3 novembre 2011

Fiche technique d'un barrage

Direction de la sécurité des barrages

Numéro MEF lieu: X0004781

SECTION 1 - LOCALISATION DU BARRAGE

Nom du barrage: Barrage numéro 1575045006

Remarques : En face du #3, 25e avenue



Nom du réservoir: MAILLE

Territoire(s):

Aménagement(s):

Municipalité(s)

75045 Saint-Hippolyte

M.R.C.

La Rivière-du-Nord

Région(s) administrative(s)

Laurentides

Cadastre du Québec

2763741

2763954

2763956

3002166

3002170

Désignation primitive

Type

Nom

Rang/Bloc

Lot/Bloc

canton

Abercromby

Carte topographique

Coordonnées UTM NAD 83

Coordonnées degrés, minutes, secondes NAD 83

Numéro

Échelle

Feuille

Zone

X (Est)

Y (Nord)

Latitude

Longitude

31G16

18

577528.836

5079795.330

45° 52' 2.490"

74° 0' 4.090"

Hydrographie

Type

Numéro

Nom

Numéro

Nom bassin primaire

Bassin

05222000

DE L'ACHIGAN

05220000

L'ASSOMPTION, RIVIÈRE

Cours d'eau.

05222077

TRIB.45D.48M.40S.-73D.57M.07S.

05220000

L'ASSOMPTION, RIVIÈRE

Lac

02319

MAILLE

05220000

L'ASSOMPTION, RIVIÈRE

Le 3 novembre 2011

Fiche technique d'un barrage

Direction de la sécurité des barrages

Numéro MEF lieu: X0004781

SECTION 2 - PROPRIÉTAIRE

Intervenant: 13427257

Nom: Municipalité de Saint-Hippolyte

Adresse: 2253, chemin des Hauteurs
Saint-Hippolyte (Québec)

Code Postal: J8A1A1

Autre pays: ☐

Personne contact propriétaire

Nom: Vanier, Sylvain

Fonction: Travaux publics

Courriel: svanier@questzones.com

Téléphone: 450-563-2505 Poste:

Télocopieur: 450-563-2362

Autre(s) contact(s): ☒

Intervenant: 23176357

Nom: Comité des citoyens du lac Maillé inc.

Adresse: 66, chemin du Lac-Maillé
Saint-Hippolyte (Québec)

Code Postal: J8A1J8

Autre pays: ☐

Personne contact propriétaire

Nom: Gagné, Claude

Fonction: président

Courriel:

Téléphone: - - Poste:

Télocopieur: - -

Autre(s) contact(s): ☐

Intervenant: Y2094383

Nom: Fillion Nadine

Adresse: 45, chemin du Lac-Maillé
Saint-Hippolyte (Québec)

Code Postal: J8A1J8

Autre pays: ☐

Personne contact propriétaire

Nom:

Fonction:

Courriel:

Téléphone: - - Poste:

Télocopieur: - -

Autre(s) contact(s): ☐

Le 3 novembre 2011

Fiche technique d'un barrage

Direction de la sécurité des barrages

Numéro MEF lieu: X0004781

SECTION 3 - INFORMATIONS SUR LE BARRAGE

Catégorie administrative:	Forte contenance	Particularité barrage:	
Année de construction:	1946	Divulgateur autorisé:	☐
Année de modification:	1967	Plan et devis disponibles:	☐
Hauteur du barrage (m):	6.3	Données validées par prop.:	☐
Hauteur de retenue (m):	5.8	Longueur de l'ouvrage (m):	57.0
Superficie du réservoir (ha):	5.85	Longueur de refoulement (m):	
Superficie bassin versant (km²):	2.6	Largeur moyenne (m):	
Capacité de la retenue (m³):	339 300	Zone sismique:	4
Mesurée par bathymétrie:	☐	Type(s) d'utilisation	
Courbe de remous:	☐	100 % Récréatif et villégiature	
Autre méthode:	☐		

SECTION 4 - SECTION(S) DU BARRAGE ET DESCRIPTION DE L'ÉTAT

No de section:	10	Type de section:	Unique
		Type de barrage:	Terre
Identification de la section:			
Année de construction:	1946	Année de modification:	1967
Type de terrain de fondation:	Nature inconnue	Longueur (m):	57.00
Source information:	Selon les indices sur le terrain	Revanche (m):	
Matériaux:	Béton		
	Terre		
État de la section:	Bon		

SECTION 5 - APPAREIL(S) D'ÉVACUATION

Type d'appareil:	Déversoir à poutrelles	Nombre:	1
Dimension (mètres):	Longueur=2 m	Numéro d'appareil:	1
Description:	Poutrelles en bois suivi d'un TTO arqué de 1 m de hauteur par 1,5 m.l. de largeur		

Fiabilité des appareils d'évacuation : Acceptable

SECTION 6 - INFORMATIONS SUR LA POPULATION EN AMONT DU BARRAGE

Type d'infrastructure:	Résidences principales
Description:	Huit

Le 3 novembre 2011

Fiche technique d'un barrage

Direction de la sécurité des barrages

Numéro MEF lieu: X0004781

SECTION 7 - INFORMATIONS SUR LA POPULATION EN AVAL DU BARRAGE

Type d'infrastructure:	Résidences principales	Nombre:	5	Distance (m):	20
Description:					
Type d'infrastructure:	Routes	Nombre:	1	Distance (m):	5
Description:	Routes municipales				
Type d'infrastructure:	Autres barrages en aval	Nombre:	1	Distance (m):	250
Description:	Barrage X0004803 (minimale)				
Niveau des conséquences:	Moyen				

SECTION 8 - CLASSEMENT DU BARRAGE

Date de classement:	2011-11-03	Date maj catégorie:	2011-11-03
Catégorie administrative:	Forte contenance	Classe:	C
		Pointage global:	66

