

*Débits de crue extrêmes et cotes de crues à l'eau  
libre de la rivière Montmorency dans le secteur  
des Îlets*

*Rapport de recherche No R-694*

*Septembre 2003*

**Débits de crue extrêmes et cotes de crues à l'eau libre  
de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets**

**Par**

**Michel Leclerc, Véronique Jourdain et Taha Ouarda**

**Rapport INRS-ETE N° R-694**

**Septembre 2003**

ISBN : 2-89146-505-9

***Pour fins de citation :***

Leclerc, M., V. Jourdain et T. Ouarda (2003). Débits de crue extrêmes et cotes de crues à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets. Rapport INRS-ETE N° R-694, Septembre, 12 pages.

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

### **Pour l'INRS-ETE**

Responsable de l'étude et analyse des aspects hydrauliques

*Michel Leclerc, D. Ing., professeur*

Analyses hydrologiques

*Taha Ouarda, PhD Professeur, Chaire industrielle en hydrologie statistique (CRSNG/Hydro-Québec)*

*Véronique Jourdain, assistante de recherche, Chaire industrielle en hydrologie statistique*

### **En collaboration avec**

*Patrick Thibodeau, Ingénieur, Génivar Groupe-Conseil (Québec)*

### **Pour la Ville de Québec**

*Michel Rosa, Planification de l'Ingénierie*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. MANDAT</b>	<b>1</b>
<b>2. DÉBITS DE CRUE 1/1000 ET 1/10 000 ANS</b>	<b>2</b>
<b>2.1 INFORMATIONS DISPONIBLES</b>	<b>2</b>
<b>2.2 MÉTHODOLOGIE STATISTIQUE</b>	<b>3</b>
2.2.1 ESTIMATION DU PARAMÈTRE A	4
2.2.2 ESTIMATION DU PARAMÈTRE $\lambda$	5
2.2.3 ESTIMATION DES QUANTILES DE CRUE	5
2.2.4 QUANTILES AU SITE D'ÉTUDE	6
<b>3. COTES DE NIVEAU D'EAU POUR LES QUANTILES DE CRUES HORAIRES MILLÉNAIRE ET DÉCA-MILLÉNAIRE</b>	<b>7</b>
<b>4. CONCLUSION</b>	<b>10</b>
<b>5. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>12</b>

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : VALEUR DU PARAMÈTRE A POUR DIFFÉRENTS POINTS (APPROXIMÉS) DE LA DROITE CORRESPONDANT À L'EXPONENTIELLE.....	4
TABLEAU 2 : CALCUL DE A POUR LES PÉRIODES DE RETOUR DISPONIBLES AU TABLEAU 28 DU RAPPORT.....	5
TABLEAU 3 : COMPARAISON DES QUANTILES DE CRUE DANS LE RAPPORT HENICHE ET LA PRÉSENTE ÉTUDE AVEC LA MÉTHODE AU DÉPASSEMENT AJUSTÉE PAR UNE LOI EXPONENTIELLE ( $Q_0 = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ ).....	6

## LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1 : RELATION NIVEAU-DÉBIT DE LA RIVIÈRE MONTMORENCY AUX LIMITES DE LA VILLE DE QUÉBEC ET DE BOISCHATEL ET EXTRAPOLATION AUX QUANTILES DE CRUE EXTRÊMES....8
- FIGURE 2 : LIGNES D'EAU SIMULÉES PAR HENICHE *ET AL.* (1999) ET GRADIENT HYDRAULIQUE ESTIMÉ POUR DES QUANTILES DE CRUE EXTRÊMES.....9

# 1. Mandat

---

La Ville de Québec a confié à l'INRS-ETE le mandat d'établir la valeur des débits de probabilité 1/1000 ans et 1/10000 ans de la rivière Montmorency à la hauteur du secteur des Îlets aux limites de la ville. Le mandat comprend également l'établissement des niveaux d'eau correspondants.

Le contexte qui préside à ce mandat est l'immunisation du territoire adjacent (secteur des Trois-Sauts, prise d'eau des Îlets) contre les risques majeurs d'inondation et surtout d'avulsion du cours d'eau qui avaient été identifiés par Leclerc *et al.* (1998) et analysés plus en profondeur par Heniche *et al.* (1999). Ce mandat est réalisé de concert avec les spécialistes de la firme Génivar lesquels sont chargés d'expertiser les aménagements mis en place par l'ex-Ville de Beauport suite à la publication des rapports mentionnés, et de faire des recommandations pertinentes pour leur parachèvement ou une immunisation plus complète s'il y a lieu.

Ce rapport présentera d'abord les calculs de probabilité réalisés pour établir les débits de quantiles millénaire et déca-millénaire. Les niveaux d'eau correspondants seront ensuite déterminés en faisant usage des connaissances actuelles de l'hydraulicité du secteur telle qu'établie par Leclerc *et al.* (1998).



## 2. Débits de crue 1/1000 et 1/10 000 ans

---

### 2.1 Informations disponibles

Les données hydrologiques disponibles pour réaliser cette analyse sont celles de la station 051001 du ministère de l'Environnement du Québec (Marches-naturelles) située tout près de l'embouchure de la rivière Montmorency (bassin versant 1100 km<sup>2</sup>). Afin d'obtenir des valeurs de débit au droit de la section d'étude, une simple règle de trois a été appliquée sur la base des superficies de bassin versant (1036 km<sup>2</sup> au site d'étude). Les résultats recherchés seront donc multipliés par le facteur 0,94 afin de tenir compte des bassins versants contribuant au débit. Les analyses statistiques exposées ci-après ont été réalisées avec les données horaires à la station.

La période de référence documentée pour la présente expertise est comprise entre l'année d'ouverture de la station (avec enregistrement horaire) et la dernière année disponible au moment où ont été effectuées les études de Heniche *et al.* (1999), soit de 1965 à 1993, à l'exclusion de 1981, année d'observation incomplète (N=28 ans). Il n'a pas été jugé utile de prolonger la période documentée pour la présente étude étant donné qu'aucun événement hydrologique hors de la normale ne s'est produit depuis la dernière étude. De plus, la période documentée est suffisamment longue pour satisfaire aux critères de représentativité statistiques applicables en la matière. Diverses méthodes statistiques avaient été testées en 1999 par les spécialistes de la Chaire industrielle en hydrologie statistique de l'INRS-ETE (Chaire Hydro-Québec/CRSNG), notamment les méthodes classiques du maximum annuel journalier (DMAj) ou horaire (DMAh) ainsi que d'autres approches comme la méthode au dépassement (dite de « séries partielles »). Chacune de ces approches a nécessité l'application de diverses méthodes d'ajustement statistique afin de déterminer la plus appropriée à une extrapolation aux quantiles de conception.

Lors de l'étude de Heniche, c'est la méthode au dépassement appliquée aux données horaires et ajustée avec une loi exponentielle qui avait été retenue finalement. L'établissement de quantiles avait été fait pour des périodes de retour ne dépassant pas 1/100 ans. L'extrapolation à des valeurs de probabilité inférieure (1/1000 et 10000 ans) étant requise, les paragraphes qui suivent

permettront de reconstituer les paramètres d'ajustement de la loi statistique mise au point en 1999.

## 2.2 Méthodologie statistique

On peut montrer que si  $F(q)$  est la distribution des dépassements,  $Q_0$  le débit de base, et  $\lambda$  est le nombre moyen de dépassements par année, alors la distribution du maximum annuel correspondant est :

**Equation 1** 
$$F_{\max an}(q) = \exp(-\lambda[1 - F(q)])$$

En supposant que la distribution des dépassements est l'exponentielle, c'est-à-dire que :

**Equation 2** 
$$F(q) = 1 - e^{-\frac{q-Q_0}{\alpha}}$$

On peut estimer les quantiles de crue pour différentes périodes de retour à l'aide de l'équation suivante :

**Equation 3** 
$$q_T = -\alpha \log \left\{ \frac{-\log \left( 1 - \frac{1}{T} \right)}{\lambda} \right\} + Q_0$$

Les valeurs du tableau 28 (page 107 du rapport « Travaux d'atténuation des risques de crue à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteurs des Îlets – Phase 2 », référence Heniche *et al.*, 1999) correspondant à l'exponentielle ont été calculées à l'aide de cette équation. Cependant, pour estimer des quantiles de crue associés à des périodes de retour différentes de celles présentées dans ce tableau, il faut estimer les paramètres  $\alpha$  et  $\lambda$ , car ces derniers sont maintenant inconnus (ils n'ont pas été publiés dans le rapport mentionné; le plus simple était de les reconstituer à partir des résultats obtenus alors).

### 2.2.1 Estimation du paramètre $\alpha$

Tout d'abord, pour estimer  $\alpha$ , on ne dispose que de la figure 53 (page 134 du rapport Heniche), c'est-à-dire du graphique de l'ajustement aux pointes horaires de l'année complète par la méthode du dépassement. À l'aide de la fonction de distribution cumulée de l'exponentielle (équation 2), on trouve que :

**Equation 4** 
$$\alpha = \frac{q - Q_0}{-\log(1 - p)}$$

Où  $p$  est la probabilité au non-dépassement. La figure 53 présente  $Q-300$  en fonction de  $-\log(1-p)$ . En approximant quelques points sur cette droite, on pourra calculer quelques valeurs pour  $\alpha$ . L'estimation de ce paramètre sera la moyenne de ces valeurs. Le tableau suivant présente les résultats de ces approximations et calculs.

**Tableau 1 : Valeur du paramètre  $\alpha$  pour différents points (approximés)  
de la droite correspondant à l'exponentielle**

<b>Log(1-p)</b>	<b>Q-300</b>	<b><math>\alpha</math></b>
2	230	115
3	345	115
4	460	115
6	690	115
Moyenne ( $\hat{\alpha}$ )		<b>115</b>

En insérant ces données dans l'équation 4, on trouve pour chacun de ces points une valeur de 115 pour le paramètre  $\alpha$ . Une bonne estimation pour ce paramètre semble donc être 115.

### 2.2.2 Estimation du paramètre $\lambda$

Ensuite, en ce qui concerne le paramètre  $\lambda$ , on trouve à partir de l'équation 3 :

**Equation 5**

$$\lambda = \frac{-\log\left(1 - \frac{1}{T}\right)}{e^{\frac{-(q_T - Q_0)}{\alpha}}}$$

Dans l'équation 5, en substituant  $\alpha$  par son estimation, c'est-à-dire  $\hat{\alpha}$ , on peut calculer approximativement la valeur de  $\lambda$ . La moyenne des valeurs obtenues pour  $\lambda$  est de 2,3212, chiffre retenu pour la suite.

**Tableau 2 : Calcul de  $\lambda$  pour les périodes de retour disponibles au tableau 28 du rapport**

Période de retour ( $T$ )	$q_T$	$\lambda$
2	465,24	2,9164
5	570,85	2,352
10	650,75	2,2247
25	756,37	2,1596
50	836,26	2,1408
Moyenne ( $\hat{\lambda}$ )		2,3212

### 2.2.3 Estimation des quantiles de crue

En remplaçant  $\lambda$  et  $\alpha$  par leurs estimations dans l'équation 3, on trouve :

**Equation 6**

$$\hat{q}_T = -115 \log \left\{ \frac{-\log\left(1 - \frac{1}{T}\right)}{2,3212} \right\} + Q_0$$

À l'aide de l'équation 6, on peut estimer les quantiles de crue pour des périodes de retour plus longues ou différentes de celles disponibles dans le rapport Heniche. Pour fins de validation, le tableau 3 présente les valeurs obtenues dans le rapport mentionné ( $q_T$ ), et celles calculées à partir de l'équation 6 ( $\hat{q}_T$ ) pour les mêmes périodes de retour. Les estimations des quantiles de crue pour  $T = 1000$  et  $T = 10\ 000$  ans sont également fournies dans le même tableau, soit respectivement 1191 et 1456 m<sup>3</sup>/s en valeurs horaires.

**Tableau 3 : Comparaison des quantiles de crue dans le rapport Heniche et la présente étude avec la méthode au dépassement ajustée par une loi exponentielle ( $Q_0 = 300$  m<sup>3</sup>/s)**

Période de retour (T)	$q_T$ (m <sup>3</sup> /s)	$\hat{q}_T$ (m <sup>3</sup> /s)
2	465,24	438,99
5	570,85	569,33
10	650,75	655,63
25	756,37	764,67
50	836,26	845,56
100	916,16	925,86
1000	N/D	1191,2
10 000	N/D	1456

#### 2.2.4 Quantiles au site d'étude

Comme nous l'avons mentionné précédemment, afin d'obtenir les valeurs au site des Îlets, il est nécessaire de se rapporter à la superficie du bassin versant (-6%). Quoique des méthodes spécifiques non-linéaires existent à cette fin, nous avons opté pour une simple règle de trois sur la base des superficies. Les valeurs mentionnées au paragraphe précédent ont donc été multipliées par le facteur 0,94. Les résultats à utiliser sont donc de 1120 et 1369 m<sup>3</sup>/s respectivement pour les quantiles de crues horaires 1/1000 et 1/10000 ans respectivement.

### 3. Cotes de niveau d'eau pour les quantiles de crues horaires millénaire et déca-millénaire

---

Les niveaux d'eau à établir se situent à deux endroits du secteur des Îlets : aux limites de la Ville de Québec avec Boischatel et un peu en aval de la station de pompage des Îlets (vis-à-vis de la rue du Torrent). Ces deux sites sont ceux qui présentent des propriétés topographiques qui les exposent le plus à des débordements de la rivière Montmorency et potentiellement à des risques d'avulsion.

Afin d'obtenir les cotes, nous disposons de la relation niveau-débit aux limites de Québec établie dans le rapport Leclerc *et al.* (1998). De nouvelles cotes de crue importantes n'étant pas disponibles (il ne s'en est pas produit) pour mettre à jour l'hydraulicité du secteur, cette courbe a été jugée représentative des conditions actuelles. Une simple extrapolation aux quantiles déjà établis suffit pour le premier site. Pour le deuxième (rue du Torrent), il est nécessaire de connaître le gradient hydraulique dans le secteur. Nous disposons pour ce faire de lignes d'eau simulées à l'aide du modèle hydrodynamique bi-dimensionnel HYDROSIM et publiées dans Heniche *et al.* (1999). La figure 1 montre la relation niveau-débit aux limites de la ville et son extrapolation aux quantiles de crue extrêmes. Les niveaux d'eau correspondant sont de 159,7 m et 160,8 m au dessus du niveau de la mer.

La figure 2 montre les lignes d'eau publiées lors des études par Leclerc et Heniche dans le secteur à l'étude.

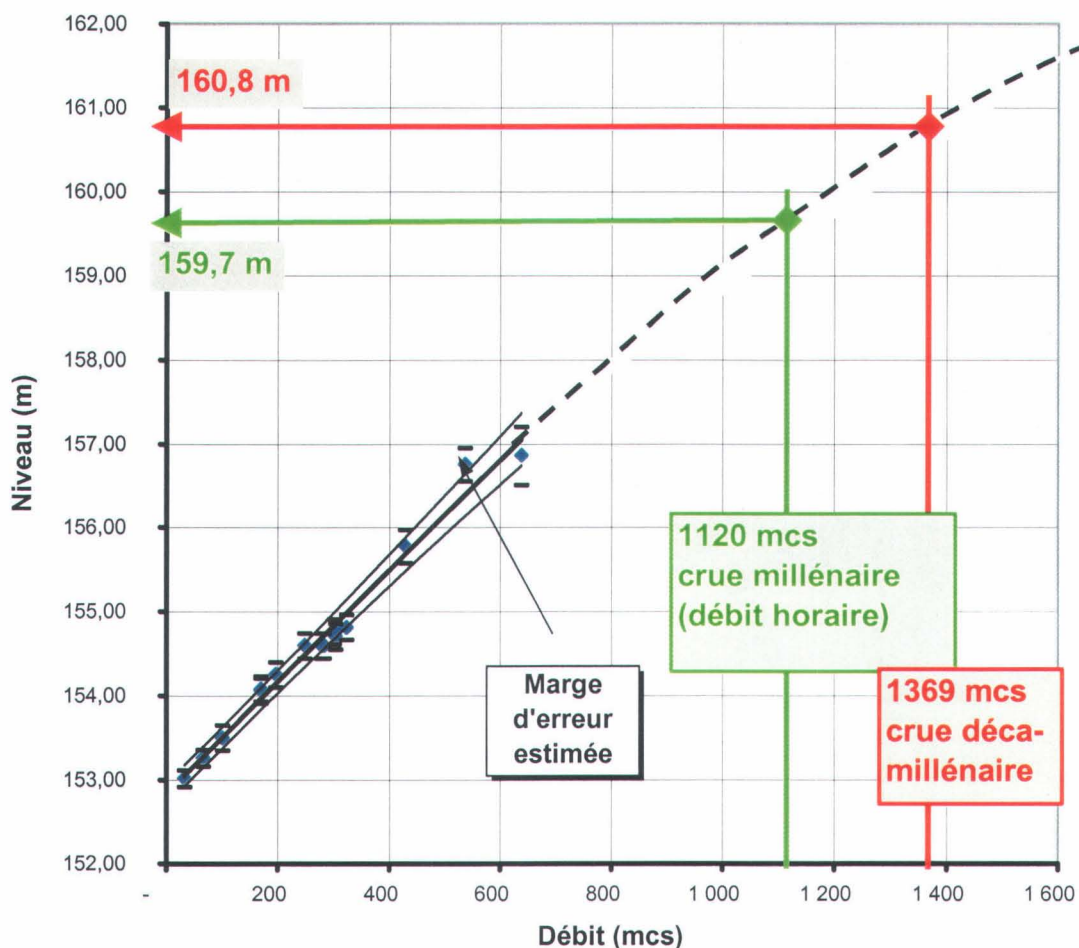


Figure 3 : Relation niveau-débit de la rivière Montmorency aux limites de la ville de Québec et de Boischatel et extrapolation aux quantiles de crue extrêmes

Des simulations additionnelles n'ont pas été jugées nécessaires pour établir les cotes recherchées à la hauteur de la rue du Torrent. Nous croyons qu'il suffit d'établir le gradient hydraulique entre les sites ciblés pour une crue exceptionnelle du même ordre de grandeur (1039 m<sup>3</sup>/s en l'occurrence) que les quantiles déjà établis pour obtenir les chiffres recherchés. De plus, comme on peut l'observer sur le graphique de la figure 2, la valeur du gradient semble diminuer au fur et à mesure qu'on s'approche des valeurs extrêmes. Une valeur établie pour un débit de 1039 est donc conservatrice par rapport aux débits ciblés. La valeur retenue est donc de 0,2 m, chiffre qui doit donc être ajouté aux cotes précédemment mentionnées pour les limites de la ville, soit 159,9 m et 161 m respectivement pour les quantiles de crue de référence 1/1000 et 1/10000 ans.

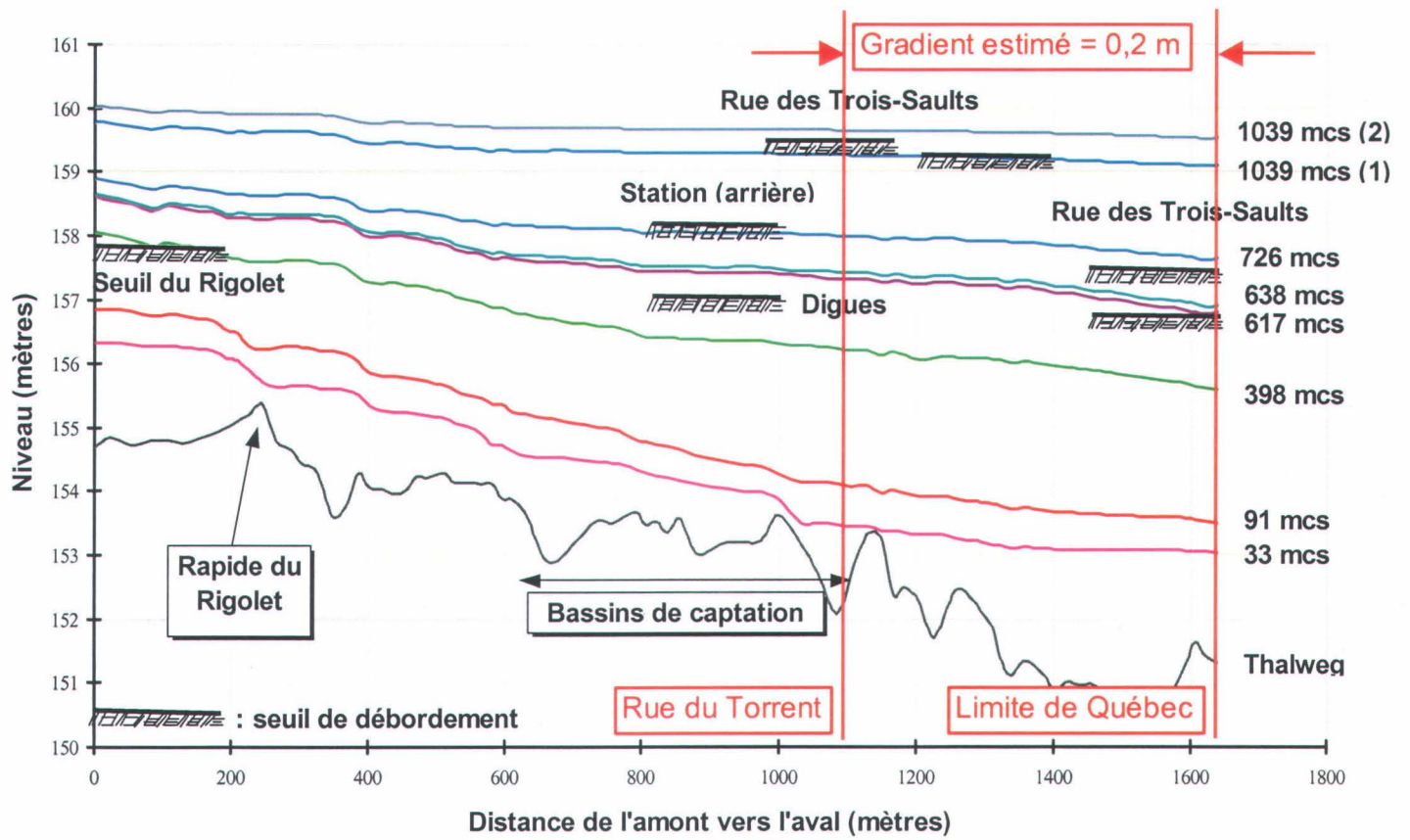


Figure 4 : Lignes d'eau simulées par Heniche *et al.* (1999) et gradient hydraulique estimé pour des quantiles de crue extrêmes



## 4. Conclusion

---

Les valeurs de crue trouvées pour cette étude ont été établies au meilleur de notre connaissance et leur utilisation pour la conception de mesures d'immunisation définitives du secteur menacé contre les risques d'avulsion identifiés par Leclerc *et al.* (1998) ne relève pas du présent mandat. Étant donné les incertitudes inhérentes qui caractérisent les ensembles de données utilisés, il nous apparaît qu'une certaine marge de sécurité à définir doit être appliquée aux cotes retenues pour se prémunir contre ces incertitudes. Les facteurs d'incertitude sont liés à l'évolution morphologique très dynamique du secteur qui ne garantit pas la stationnarité de la relation niveau-débit utilisée. Elles sont aussi attribuables au fait qu'ici, seules les crues à l'eau libre sont considérées, sans égard aux possibilités de surélévation du niveau d'eau attribuables aux embâcles. Dans ce cas, des occurrences historiques de tels événements nous incitent à la prudence. Enfin, sur le plan hydrologique, les méthodes statistiques comportent leurs propres incertitudes de calcul. Toutefois, la méthode statistique retenue (dépassement – valeur horaires) est la mieux adaptée à l'analyse de séries hydrologiques de petits bassins comme celui de la Montmorency.

Ces réserves étant faites, on peut résumer la présente étude en rappelant les conclusions mises en évidence dans les sections précédentes :

1. Étant donné la petite taille du bassin versant de la rivière Montmorency et sa réponse extrêmement rapide aux précipitations abondantes (typiquement 12 heures), il est pertinent d'utiliser les valeurs horaires de débit pour estimer les quantiles de crue pour la conception de mesures d'immunisation contre des risques extrêmes;
2. Les quantiles de crues horaires de référence 1/1000 et 1/10000 ans sont respectivement de 1191 et 1456 m<sup>3</sup>/s dans le secteur; la crue de récurrence 1/1000 ans est fournie à titre indicatif;
3. L'extrémité est de la Ville de Québec et le croisement de la rue du Torrent avec la rue des Trois-Saults, sont identifiés comme des points bas permettant le raccordement du lit mineur

de la rivière Montmorency à sa plaine de débordement en rive droite (tourbière des Trois-Sauts jouxtant les sablières);

4. Les niveaux d'eau correspondant aux crues de référence sont respectivement de 159,7 et 160,8 m au-dessus du niveau de la mer aux limites est de la ville de Québec;
5. Les niveaux d'eau correspondant à la hauteur de la rue du Torrent sont de 159,9 et 161 m.

## 5. Bibliographie

---

**Heniche, M., M. Leclerc, Y. Secretan et Taha Ouarda (1999).** Travaux d'atténuation des risques de crue à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets – Phase 2. Mise à jour de l'analyse hydrologique, dimensionnement des travaux d'atténuation et analyse de l'impact sur les risques résiduels de dommage aux résidences. Rapport scientifique INRS-Eau #R-555.

**Leclerc, M., Doyon, B., Y. Secretan, M. Heniche, M. Lapointe et P. Boudreau (1998).** Simulation hydrodynamique et analyse morphodynamique de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets. Pour le compte de la ville de Beauport. Rapport scientifique INRS-Eau #R-522. 120 p.