

Annexe E

Analyse hydrologique – débits de crues

Rivière Sainte-Anne

Municipalité de la paroisse de Saint-Joachim



Analyse hydrologique - Débits de crues



Centre d'expertise
hydrique

Québec 

Pour plus de renseignements, contactez
La Direction de l'expertise et de la gestion des barrages publics
du Centre d'expertise hydrique du Québec.

Direction de l'expertise et de la gestion des barrages publics
Centre d'expertise hydrique du Québec
Édifice Marie-Guyart
675, boulevard René-Lévesque Est
Aile René-Lévesque, 1^{er} étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Téléphone : 418 521-3825
Télécopieur : 418 643-6900
Courriel : cehq@mddep.gouv.qc.ca
Internet : www.cehq.gouv.qc.ca

Crédits photos : Centre d'expertise hydrique du Québec
Denis Chabot, © Le Québec en image, CCDMD

Analyse hydrologique


Débits de crues

Rivière Sainte-Anne
Municipalité de la paroisse de Saint-Joachim

0512-03-1001

Équipe de réalisation

Étude hydrologique : Joëlle Bérubé, ingénieure
Rédaction du rapport : Joëlle Bérubé, ingénieure
Correction et mise en page : Sophie Lapointe, secrétaire
Figures et mise en plan : Marie-Lise Paquin, technicienne


Joëlle Bérubé, ing., M. Sc.

Le 27 septembre 2010

Avis

- La présente étude a été réalisée à l'aide de l'information fournie par le requérant et selon les meilleures techniques disponibles, et ce, dans les règles de l'art en hydrologie. Il faut comprendre que le calcul des débits de crues pour de petits bassins versants non instrumentés et non jaugés représente un défi pour les hydrologues et fait appel à des notions statistiques, déterministes et de régionalisation.
- Tout travail futur sur le cours d'eau ou le bassin versant ayant une influence sur le régime d'écoulement naturel ou quasi naturel (ex. : barrage, déversoir, prise d'eau municipale...) pourrait modifier les résultats de cette étude et une mise à jour devrait y être faite.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	i
LISTE DES ANNEXES.....	i
1. Mise en contexte	1
2. Description du site étudié	1
3. Méthodologie	2
4. Calculs et résultats	2
4.1 Station hydrométrique retenue.....	2
4.2 Transposition des débits au site à l'étude.....	3
4.3 Facteur de pointe.....	4
4.4 Débits de crues instantanés.....	6
5. Discussion.....	6
6. Conclusion.....	6
7. Ouvrages consultés et logiciels utilisés.....	6

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Ouvrages de retenue - Rivière Sainte-Anne.....	2
Tableau 2 : Débits de crues obtenus selon la loi Gumbel - Rivière Montmorency à la station 051001.....	3
Tableau 3 : Débits de crues - Rivière Sainte-Anne à Saint-Joachim	4
Tableau 4 : Calcul du facteur de pointe - Station 051001 de la rivière Montmorency.....	5
Tableau 5 : Débits de crues instantanés - Rivière Sainte-Anne à Saint-Joachim	6

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Localisation du site à l'étude	7
Annexe 2 : Délimitation du bassin versant à l'étude et barrages présents	8
Annexe 3 : Analyse statistique des débits maximums annuels enregistrés à la station 051001 - Rivière Montmorency	9

1. Mise en contexte

Cette étude vise à estimer les débits de crues de récurrences de 2 ans, de 10 ans, de 20 ans, de 100 ans, de 1000 ans et de 10 000 ans sur la rivière Sainte-Anne, dans la municipalité de la paroisse de Saint-Joachim. Le requérant, la société Hydro-Canyon Saint-Joachim, compte sur cette étude dans le cadre du projet de minicentrale hydroélectrique sur le site de la chute Sainte-Anne.

Une description du site étudié est présentée à la section deux. La section trois présente la méthodologie, tandis que les calculs et les résultats sont présentés à la section quatre. Finalement, les résultats sont discutés à la section cinq.

2. Description du site étudié

La rivière étudiée portait autrefois le nom de Sainte-Anne du Nord. Selon la Commission de toponymie du Québec, ce cours d'eau s'appelle maintenant la rivière Sainte-Anne.

La rivière Sainte-Anne prend sa source dans le lac Sainte-Anne du Nord, situé dans le territoire non organisé de Lac-Pikauba dans la MRC de Charlevoix. Elle coule sur environ 100 km en direction sud et se jette dans le fleuve Saint-Laurent à Beaupré. La superficie de son bassin versant à l'embouchure est de 1078 km² (voir figure à l'annexe 1), dont 92 % est couvert de forêt et 3 % de lacs et de marais. La pente est d'environ 17 %.

Le long de son parcours, la rivière Sainte-Anne reçoit l'apport de plusieurs tributaires, notamment les rivières Jean-Larose, des Roches, Lombrette, du Mont Saint-Étienne, Brûlé, Savane du Nord, à l'Ours et la Petite rivière Savane, ainsi que les ruisseaux Baumier, Équerre, le Big Creek, Louis, Vert et Gourganne.

La station hydrométrique 051204 a été en fonction sur la rivière Sainte-Anne durant quelques mois en 1930. Elle se situait en aval du barrage X0001337, à environ 0,7 km en aval de la rivière Jean-Larose.

Selon le répertoire des barrages disponible sur le site Internet du CEHQ (www.cehq.gouv.qc.ca) en date de septembre 2010, on dénombre 82 barrages dans le bassin versant de la rivière Sainte-Anne. Parmi ceux-ci, deux sont plus susceptibles d'influencer les débits au secteur étudié, car il s'agit des ouvrages de forte contenance les plus près du secteur à l'étude. Cependant, après vérification auprès des gestionnaires des barrages en question (M. Claude Landry d'Hydro-Québec et un représentant de la compagnie Abitibi-Consolidated du Canada, ancien gestionnaire du barrage X0001337, 2009), il s'avère que l'écoulement naturel de la rivière n'est pas modifié. Le tableau 1 présente les caractéristiques de ces barrages.

Tableau 1 : Ouvrages de retenue - Rivière Sainte-Anne

N° MENV	Municipalité	Propriétaire	Type d'utilisation	Capacité de retenue (m ³)
X0001337	Beaupré	Fer & Métaux Américains S.E.C.	Prise d'eau	16 100 Forte contenance
X0001330	Saint-Ferréol-les-Neiges	Hydro-Québec	Hydroélectricité	3 000 000 Forte contenance

Source : Répertoire des barrages, septembre 2010, www.cehq.gouv.qc.ca

Le site étudié se trouve à la chute Sainte-Anne, soit à environ 5 km en amont de l'embouchure de la rivière (voir figure à l'annexe 2). À cet endroit, la superficie du bassin versant est évaluée à 1028 km².

3. Méthodologie

Les débits de crues sont souvent évalués à partir d'une étude hydrologique dite classique. Celle-ci consiste à réaliser une analyse statistique des débits maximums annuels enregistrés à une station située sur la rivière à l'étude. Pour ce faire, un nombre suffisant de données doit être disponible.

Au Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel d'ajustement de lois statistiques Hyfran (Chaire en hydrologie statistique, 2002). Ce dernier a été mis au point au Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique, anciennement INRS-Eau, par l'équipe du Dr Bernard Bobée.

Il arrive fréquemment que la station hydrométrique retenue soit éloignée du secteur à l'étude. On transpose alors au secteur visé les débits de crues estimés à la station en fonction de la superficie des bassins versants des deux sites. Cette technique est communément appelée « transfert de bassin versant ». Elle peut également servir pour les données provenant d'une station hydrométrique située sur un autre cours d'eau. Les bassins versants des deux rivières doivent toutefois posséder des caractéristiques physiographiques similaires, la plus importante étant la superficie.

4. Calculs et résultats

4.1 Station hydrométrique retenue

En l'absence de données sur la rivière Sainte-Anne, la station hydrométrique 051001 en fonction sur la rivière Montmorency est retenue pour l'évaluation des débits de crues. Le bassin versant de la rivière Montmorency est voisin du bassin de la rivière Sainte-Anne.

De plus, les deux bassins versants ont sensiblement les mêmes dimensions et la même orientation. Il est donc raisonnable de croire que les conditions hydrologiques soient similaires sur les deux cours d'eau. Les principales caractéristiques de la station retenue sont les suivantes :

Station hydrométrique 051001

Localisation : rivière Montmorency, à 0,6 km en aval du barrage des Marches Naturelles à Boischatel
Coordonnées : longitude : 71° 9' 7,8"
latitude : 46° 53' 44,9"
Aire du bassin versant : 1100 km²
Organisme exploitant : CEHQ (agence du MDDEP)
Période d'observation : 1924-1939 et depuis 1964
Période retenue : 1965-2009
Régime d'écoulement : influencé sur une base journalière

Au total, 44 valeurs de débits journaliers maximaux annuels relevés à la station 051001 ont été utilisées pour réaliser l'analyse statistique. La valeur utilisée pour le débit maximal annuel correspond à la moyenne des débits mesurés au cours de la journée où le débit est maximal. Le détail de l'analyse effectuée à l'aide du logiciel Hyfran est présenté à l'annexe 3.

L'ensemble des lois statistiques généralement utilisées en hydrologie ont été ajustées à ces débits pour estimer les débits de crues relatifs à la station hydrométrique 051001. À la suite de l'analyse des ajustements, principalement basée sur le critère d'adéquation bayésien, la loi Lognormale (Maximum de vraisemblance) a finalement été retenue. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 2.

**Tableau 2 : Débits de crues obtenus selon la loi Gumbel -
Rivière Montmorency à la station 051001**

Station	Loi statistique	Débits de crues selon la récurrence (m ³ /s)					
		2 ans	10 ans	20 ans	100 ans	1000 ans	10 000 ans
051001	Lognormale (Maximum de vraisemblance)	335	445	483	562	666	765

4.2 Transposition des débits au site à l'étude

Pour évaluer les débits de crues au secteur à l'étude, les débits retenus doivent être transposés par la technique du transfert de bassin versant. L'équation suivante permet de réaliser cette transposition :

$$Q_2 = Q_1 \left[\frac{A_2}{A_1} \right] \quad (1)$$

où

- Q_2 : débit de crue (m³/s) pour le site à l'étude sur la rivière Sainte-Anne
 Q_1 : débit de crue (m³/s) à la station 051001
 A_2 : superficie (km²) du bassin versant au site à l'étude
 A_1 : superficie (km²) du bassin versant de la rivière Montmorency à la station 051001

Tableau 3 : Débits de crues - Rivière Sainte-Anne à Saint-Joachim

Endroit	Aire BV (km ²)	Débits de crues selon la récurrence (m ³ /s)					
		2 ans	10 ans	20 ans	100 ans	1000 ans	10 000 ans
Station 051001	1100	335	445	483	562	666	765
Chute Sainte-Anne	1028	313	416	451	525	622	715

4.3 Facteur de pointe

Jusqu'ici, les débits maximaux annuels considérés sont évalués à partir de moyennes journalières. Ces débits peuvent ensuite être majorés par un facteur de pointe pour obtenir des débits maximaux instantanés. La méthode pour l'obtenir consiste à prendre, pour une station donnée, toutes les crues printanières annuelles dont le débit maximum instantané est connu afin d'évaluer un facteur de pointe moyen à la station. L'équation suivante est utilisée :

$$FP = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_{inst.}}{Q_{moy.}}}{n} \right] \quad (2)$$

où

- $Q_{inst.}$: débit de crue (m³/s) instantané enregistré à la station
 $Q_{moy.}$: débit de crue (m³/s) moyen enregistré à la station
 n : nombre de crues printanières dont le débit maximum instantané est disponible
 i : crue donnée

Le facteur de pointe au site étudié sur la rivière Sainte-Anne est évalué en considérant le facteur de pointe à la station 051001 de la rivière Montmorency. Tel que présenté au tableau 4, le facteur de pointe a été fixé à 1,23 à l'aide de l'équation 2 et de données printanières relevées à la station hydrométrique 051001.

Tableau 4 : Calcul du facteur de pointe - Station 051001 de la rivière Montmorency

Année	Débit de crue moyen (m³/s)	Débit de crue instantané (m³/s)	Facteur de pointe	Date
1965	257,4	291,7	1,13	13 mai
1968	447,4	591,8	1,32	25 avril
1969	317,1	365,3	1,15	19 mai
1970	331,3	373,8	1,13	2 mai
1971	294,5	311,5	1,06	21 mai
1972	354	373,8	1,06	1 ^{er} juin
1973	348,3	416,3	1,20	4 mai
1974	407,8	487	1,19	13 mai
1975	399,3	487	1,22	21 mai
1976	450,2	589	1,31	19 mai
1977	236	283	1,20	22 avril
1982	308	377	1,22	10 mai
1983	435	552	1,27	1 ^{er} mai
1984	344	448	1,30	24 mai
1985	297	367	1,24	14 mai
1986	331	374	1,13	27 avril
1987	460	686	1,49	1 ^{er} avril
1988	208	247	1,19	11 mai
1989	434	699	1,61	6 mai
1990	399	496	1,24	11 mai
1991	307	349	1,14	2 mai
1994	404,7	559,0	1,38	1 ^{er} juin
1995	196,7	215,0	1,09	16 mai
1998	389,9	543,3	1,39	17 juin
1999	352,5	434,4	1,23	7 mai
2000	393,7	516,7	1,31	8 mai
2001	353,5	481,1	1,36	4 mai
2002	323,2	380,9	1,18	18 avril
2003	195,1	231,6	1,19	12 mai
2004	288,6	324,4	1,12	3 mai
2005	397,5	493,2	1,24	28 avril
2006	330,3	379,9	1,15	5 mai
2007	217,6	246,2	1,13	24 avril
2008	381,3	431,6	1,13	29 avril
2009	262,3	334,9	1,28	2 mai
Moyenne			1,23	

4.4 Débits de crues instantanés

Les débits de crues instantanés des différentes récurrences sont présentés au tableau 5.

Tableau 5 : Débits de crues instantanés - Rivière Sainte-Anne à Saint-Joachim

Débits de crues selon la récurrence (m ³ /s)					
2 ans	10 ans	20 ans	100 ans	1000 ans	10 000 ans
385	512	555	646	765	879

5. Discussion

Il faut prendre en considération que tous ces débits sont les résultats d'une analyse qui peut comporter une marge d'erreur significative. En effet, compte tenu du peu d'information hydrologique sur la rivière Sainte-Anne, il est difficile de connaître la précision de l'estimation des débits de crues obtenus.

Les valeurs obtenues pour les récurrences supérieures à 100 ans devraient être considérées comme des ordres de grandeur. En effet, ces valeurs varient de manière significative selon la loi statistique retenue et il est plutôt périlleux de fixer une valeur précise. On conçoit aisément qu'un débit d'une récurrence de 1000 ans ou de 10 000 ans ne peut pas être établi avec exactitude avec un échantillon de 44 ans de données.

6. Conclusion

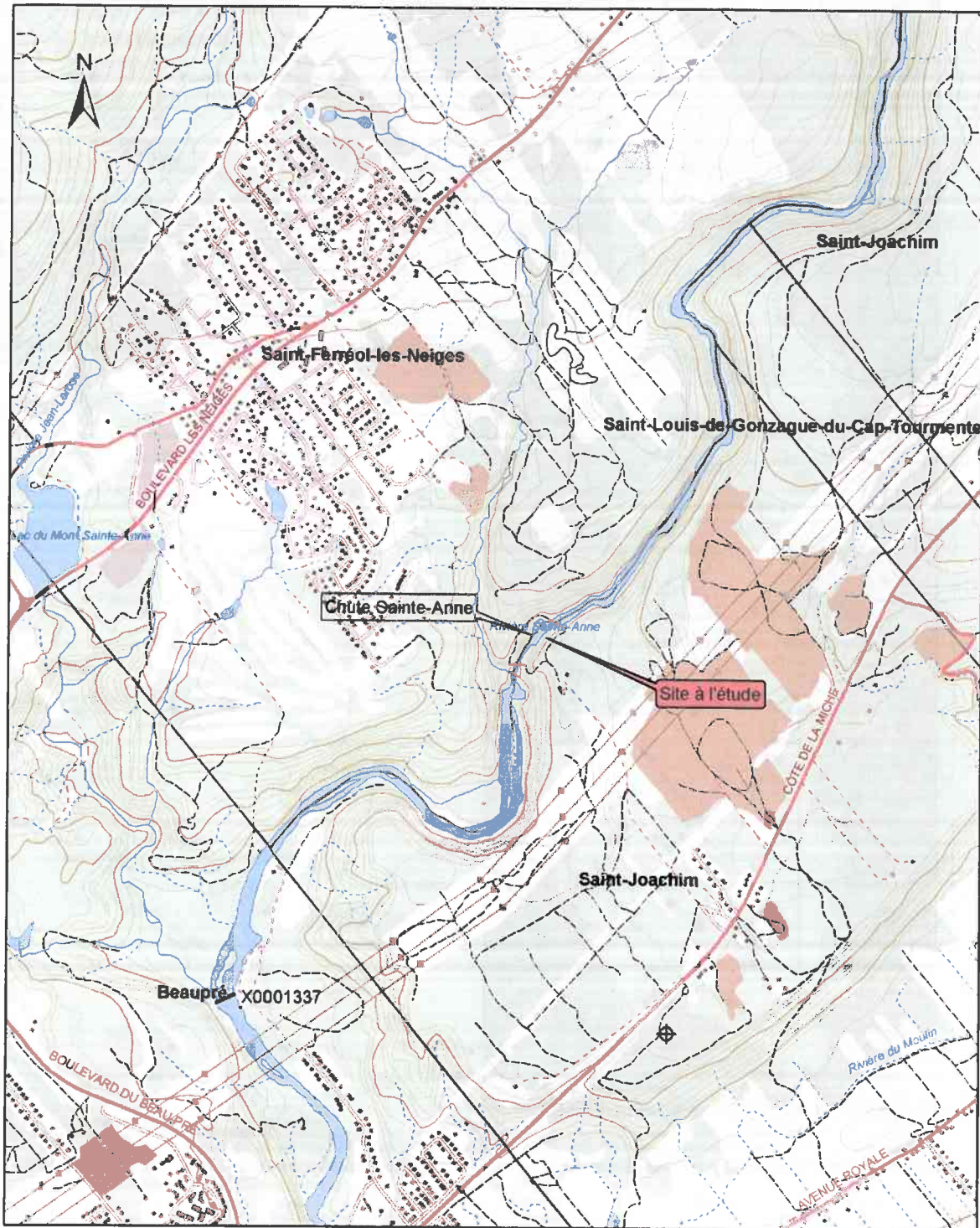
Cette étude avait pour objectif d'évaluer les débits de crues de récurrences de 2 ans, de 10 ans, de 20 ans, de 100 ans, de 1000 ans et de 10 000 ans à la chute Sainte-Anne sur la rivière Sainte-Anne, dans la municipalité de la paroisse de Saint-Joachim. Les débits de crues ont été évalués à l'aide d'une analyse statistique à une station hydrométrique de la région.

Les données hydrologiques sont disponibles au Centre d'expertise hydrique du Québec.

7. Ouvrages consultés et logiciels utilisés

CHAIRE EN HYDROLOGIE STATISTIQUE (2002), *HYFRAN*, Logiciel pour l'analyse fréquentielle en hydrologie, version 1.1, INRS-ETE (Université du Québec), Québec

Annexe 1 : Localisation du site à l'étude



Carte de base: BDTQ 1 :20 000

Référence SNRC: 21M02so



Annexe 3 : Analyse statistique des débits maximums annuels enregistrés à la station 051001 - Rivière Montmorency

Échantillon

Débits maximums journaliers considérés

Débit (m ³ /s)	Date	Probabilité empirique	Code
257	1965-05-13	0,1041	
391	1966-11-04	0,7149	J
262	1967-06-26	0,1267	
447	1968-04-25	0,9186	
317	1969-05-20	0,3756	
331	1970-05-02	0,4661	
294	1971-05-21	0,2398	
354	1972-06-01	0,6244	
348	1973-05-04	0,5566	J
408	1974-05-16	0,8507	
399	1975-05-21	0,7828	
450	1976-05-19	0,9412	
236	1977-05-18	0,0814	
295	1978-05-15	0,2624	
580	1979-04-28	0,9864	E
202	1980-04-15	0,0136	
204	1981-06-23	0,0346	M
308	1982-05-09	0,3303	
435	1983-05-01	0,8959	
344	1984-05-24	0,5339	
297	1985-05-14	0,2851	
331	1986-04-27	0,4887	
460	1987-04-01	0,9638	
208	1988-05-10	0,0362	
434	1989-05-06	0,8733	
399	1990-05-11	0,8054	
307	1991-05-02	0,3077	
280,1	1992-07-18	0,1946	
328,5	1993-05-06	0,4208	
404,7	1994-06-01	0,8281	
281,9	1995-11-12	0,2172	
343,8	1996-11-09	0,5113	
315,8	1997-05-31	0,3529	
389,9	1998-06-17	0,6923	
352,5	1999-05-07	0,5792	
393,7	2000-05-08	0,7376	
353,5	2001-05-04	0,6018	
323,2	2002-04-18	0,3982	
276,9	2003-11-20	0,1719	
354,3	2004-09-10	0,6471	

Débit (m³/s)	Date	Probabilité empirique	Code
397,5	2005-04-28	0,7602	
330,3	2006-05-05	0,4434	
217,8	2007-04-24	0,0588	
381,3	2008-04-29	0,6697	P
262,3	2009-05-02	0,1493	P
<i>283,1</i>	<i>2010-05-04</i>	<i>0,2511</i>	<i>P</i>

Les valeurs en italique n'ont pas été utilisées dans l'analyse statistique.

J : Jaugeage

E : Estimé

M : Données manquantes

P : Préliminaire

Statistiques de base sur l'échantillon

	Données utilisées	Toutes les données
Taille	44	46
Minimum	202 m ³ /s	202 m ³ /s
Maximum	580 m ³ /s	580 m ³ /s
Moyenne arithmétique	342,8 m ³ /s	338,46 m ³ /s
Écart-type	75,4 m ³ /s	77,0 m ³ /s
Médiane	337,4 m ³ /s	331,0 m ³ /s
Coefficient de variation (Cv)	0,2201	0,2275
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,5113	0,4879
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3,6006	3,4975

Tests statistiques

- **Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)**

Hypothèses

H0 : Les observations sont indépendantes.

H1 : Les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1).

Résultats

Valeur de la statistique $|U| = 2,2105$

p-value $p = 0,0271$

Conclusion

Nous devons REJETER H0 au niveau de signification de 5%, mais on l'accepte au niveau de signification de 1 %.

- **Test de stationnarité (Kendall)**

Hypothèses

H0 : Il n'y a aucune tendance dans les observations.

H1 : Il y a une tendance dans les observations.

Résultats

Valeur de la statistique $|K| = 0,2731$

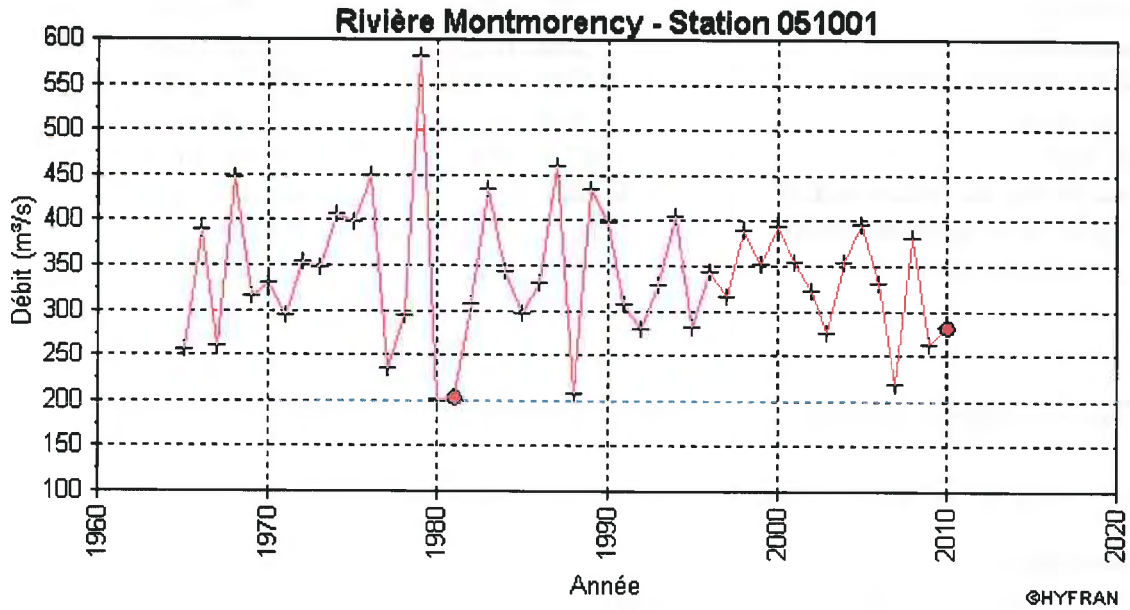
p-value $p = 0,7848$

Conclusion

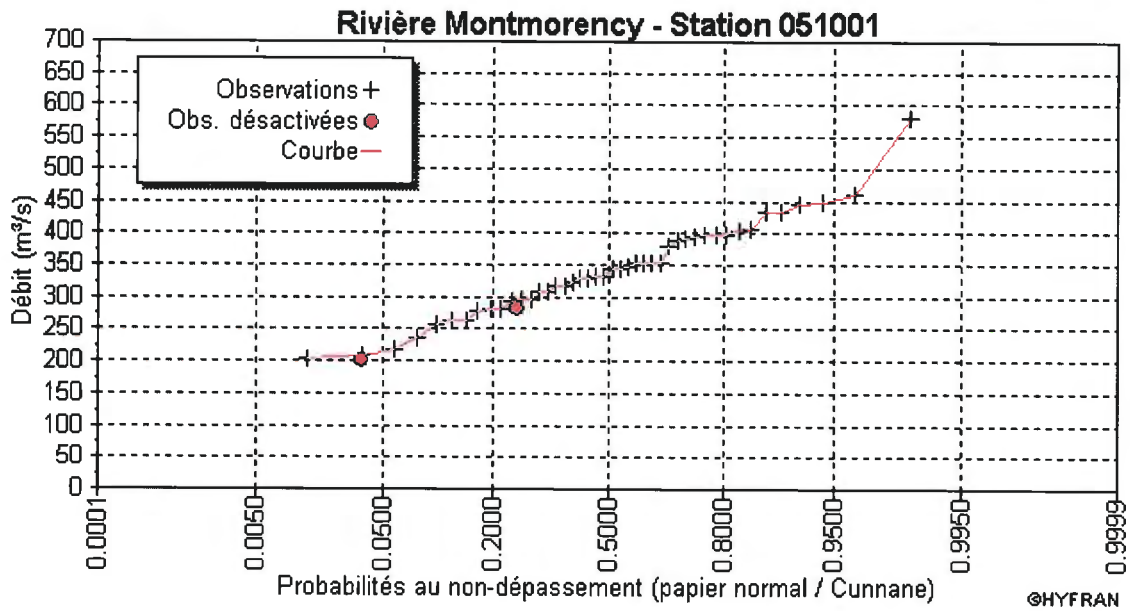
Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %.

Représentations graphiques de l'échantillon

Débits maximums annuels (m³/s) en fonction de la chronologie



Débits maximums annuels (m³/s) en fonction des probabilités au non-dépassement



Loi d'ajustement

Loi d'ajustement Lognormale (Maximum de vraisemblance)

- Résultats de l'ajustement

Nombre d'observations : 44

Paramètres

mu 5,8133
sigma 0,2224

Quantiles

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)

T = 1/ (1-q)

T	q	X	Écart-type	Intervalle de confiance (95 %)
10 000	0,9999	765,5	72,9	622,5 - 908,5
2000	0,9995	695,9	59,7	578,9 - 812,9
1000	0,9990	665,6	54,2	559,4 - 771,8
200	0,9950	593,7	41,7	511,8 - 675,5
100	0,9900	561,6	36,6	489,9 - 633,3
50	0,9800	528,6	31,5	466,8 - 590,3
20	0,9500	482,6	25,0	433,6 - 531,6
10	0,9000	445,1	20,3	405,4 - 484,8
5	0,8000	403,6	15,8	372,6 - 434,6
3	0,6667	368,3	12,9	343,0 - 393,7
2	0,5000	334,7	11,2	312,7 - 356,7
1,4286	0,3000	297,9	10,7	277,0 - 318,8
1,2500	0,2000	277,6	10,9	256,3 - 298,9
1,1111	0,1000	251,7	11,5	229,2 - 274,1
1,0526	0,0500	232,1	12,0	208,6 - 255,7
1,0204	0,0200	212,0	12,6	187,2 - 236,7
1,0101	0,0100	199,5	13,0	174,0 - 224,9
1,0050	0,0050	188,7	13,3	162,7 - 214,7
1,0010	0,0010	168,3	13,7	141,5 - 195,2
1,0005	0,0005	161,0	13,8	133,9 - 188,1
1,0001	0,0001	146,4	13,9	119,0 - 173,7

- **Test d'adéquation (Khi carré)**

Hypothèses

H0 : L'échantillon provient d'une loi Lognormale.

H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Lognormale.

Résultats

Résultat de la statistique : $X^2 = 2,64$

p-value : $p = 0,8529$

Degrés de liberté : 6

Nombre de classes : 9

Conclusion

Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %.

- **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon**

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0	202 m ³ /s
Maximum	Aucun	580 m ³ /s
Moyenne	343,1 m ³ /s	342,8 m ³ /s
Écart-type	77,3 m ³ /s	75,4 m ³ /s
Médiane	334,7 m ³ /s	337,4 m ³ /s
Coefficient de variation (Cv)	0,2252	0,2201
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,6871	0,5113
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3,8509	3,6006

- **Graphique de l'ajustement**

