

**ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES
PRÉCIPITATIONS DES STATIONS DE
MONTRÉAL ET SHAWINIGAN**

**Chaire industrielle Hydro-Québec / CRSNG
en Hydrologie statistique**

Rapport de recherche R832

Décembre 2005

**ANALYSE FRÉQUENTIELLE DES PRÉCIPITATIONS DES STATIONS
DE MONTRÉAL ET SHAWINIGAN**

par

André St-Hilaire

**Chaire en hydrologie statistique
Institut national de la recherche scientifique (INRS)
Centre Eau, Terre et Environnement
490 de la Couronne, Québec, (Québec) G1V 4C7**

Rapport de recherche

Décembre 2005

Référence

ST-HILAIRE A. 2005. Analyse fréquentielle des précipitations des stations de Montréal et Shawinigan. Rapport de recherche R832 de l'INRS-ETE. v + 23 pages.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIÈRES.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
1. INTRODUCTION.....	1
2. ANALYSE FRÉQUENTIELLE LOCALE	2
2. DONNÉES UTILISÉES.....	4
3. RÉSULTATS.....	5
3.1 ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES JOURNALIERES.....	5
3.2 COURBES INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE	8
7. CONCLUSION	12
8.RÉFÉRENCES.....	13
ANNEXES	14
ANNEXE 1. VERIFICATION DES HYPOTHESES D'INDEPENDANCE ET IDEM DISTRIBUTION (IID) DES ECHANTILLONS	14
ANNEXE 2. AJUSTEMENT DES LOIS STATISTIQUES.....	18

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES DONNEES UTILISEES.	4
TABLEAU 2. CRITERES DE SELECTION DES DISTRIBUTIONS STATISTIQUES AJUSTEES AUX DONNEES. LA LOI SELECTIONNEE EST AFFICHEE EN CARACTERES GRAS.	6
TABLEAU 3. QUANTILES ESTIMES POUR LES DEUX STATIONS.....	7
TABLEAU A1. VERIFICATIONS DES HYPOTHESES IID POUR LES PRECIPITATIONS MAXIMUMS DE JUILLET A LA STATION MONTREAL-MCGILL.....	14
TABLEAU A2. VERIFICATIONS DES HYPOTHESES IID POUR LES PRECIPITATIONS MAXIMUMS DE JUIN A LA STATION SHAWINIGAN.....	15
TABLEAU A3. VERIFICATIONS DES HYPOTHESES IID POUR LES PRECIPITATIONS MAXIMUMS ANNUELLES A LA STATION MONTREAL-MC-GILL.	16
TABLEAU A4. VERIFICATIONS DES HYPOTHESES IID POUR LES PRECIPITATIONS MAXIMUMS ANNUELLES A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.....	17

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. COURBE INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE POUR LA STATION MONTRÉAL-DORVAL.	9
FIGURE 2. COURBE INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE POUR LA STATION DE MONTRÉAL-MCGILL.....	10
FIGURE 3. COURBE INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE POUR LA STATION DE SHAWINIGAN.....	10
FIGURE 4. QUANTILES D'INTENSITÉ DE PRÉCIPITATION ESTIMÉE PAR ENVIRONNEMENT CANADA POUR DES ÉVÉNEMENTS DE DURÉE 30 MINUTES, UNE HEURE ET DEUX HEURES À LA STATION MONTRÉAL-MCGILL.	11
FIGURE A1. AJUSTEMENT DE LA LOI GEV ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUILLET A LA STATION MONTREAL MCGILL.....	18
FIGURE A2. AJUSTEMENT DE LA LOI LOGNORMALE ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUILLET A LA STATION MONTREAL MCGILL.	18
FIGURE A3. AJUSTEMENT DE LA LOI LOG-PEARSON III ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUILLET A LA STATION MONTREAL MCGILL.	19
FIGURE A4. AJUSTEMENT DE LA LOI GEV ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUN A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.....	19
FIGURE A5. AJUSTEMENT DE LA LOI LOGNORMALE ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUN A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.	20
FIGURE A6. AJUSTEMENT DE LA LOI LOG-PEARSON III ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM DE JUN A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.	20
FIGURE A7. AJUSTEMENT DE LA LOI GEV ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION MONTREAL-MCGILL.	21
FIGURE A8. AJUSTEMENT DE LA LOI LOGNORMALE ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION MONTREAL-MCGILL.	21
FIGURE A9. AJUSTEMENT DE LA LOI LOG-PEARSON III ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION MONTREAL-MCGILL.	22
FIGURE A10. AJUSTEMENT DE LA LOI GEV ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.....	22
FIGURE A11. AJUSTEMENT DE LA LOI LOGNORMALE ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.	23
FIGURE A12. AJUSTEMENT DE LA LOI LOG-PEARSON III ET INTERVALLE DE CONFIANCE POUR LES HAUTEURS DE PLUIE MAXIMUM ANNUELLE A LA STATION SHAWINIGAN FALLS.	23

1. INTRODUCTION

Le présent rapport traite de l'analyse de données de hauteur de pluie totale journalière maximum pour deux stations météorologiques du Québec situées dans des zones ayant reçu de fortes précipitations durant l'été 2005.

L'objectif de ce projet consiste à estimer les quantiles d'une période de retour donnée (e.g. 2, 5, 10, 20 100 ans) à l'aide de méthodes d'analyse fréquentielle locale. Une fois les quantiles estimés, ces valeurs peuvent être comparées aux précipitations mesurées lors d'événements spécifiques. Dans le cadre de la présente étude, deux événements importants sont analysés. Il s'agit de la pluie du 10 juin à Shawinigan et celle du 5 juillet à Montréal. Les quantités d'eau mesurées par Environnement Canada à Shawinigan totalisaient 43,6 mm le 10 juin 2005 (station Shawinigan Falls, # 7018001). À Montréal, le 5 juillet 2005, Environnement Canada a enregistré une hauteur totale de précipitation de 63,6 mm à la station Dorval (#7025250) et 52,5 mm à la station Montréal McGill (#7024745).

La suite du rapport est structurée comme suit : La section 2 décrit brièvement les fondements de l'analyse fréquentielle locale. Les données utilisées sont décrites dans la section 3 et les résultats sont présentés dans la section 4. Les analyses graphiques détaillées sont présentées en annexes.

2. ANALYSE FREQUENTIELLE LOCALE

Un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes est l'analyse fréquentielle. Cette méthode statistique a comme objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. L'analyse fréquentielle est utilisée, en particulier, pour estimer l'ampleur de l'événement temporel x_T auquel est associé un période de retour T (quantile de période de retour T ou de probabilité au dépassement $p = 1/T$). L'estimation \hat{x}_T de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $F(x; \theta)$ à un échantillon de n observations $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, où θ représente le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité F . Les étapes principales de l'analyse fréquentielle sont :

- La vérification des hypothèses de base. Ces hypothèses sont :
 - Homogénéité (les données proviennent d'un échantillon homogène, donc pas de différence significative dans la moyenne de sous-échantillons).
 - Stationnarité (pas de tendance à la hausse ou à la baisse dans la chronique des données).
 - Indépendance (pas d'autocorrélation dans les séries).
- L'ajustement d'une distribution statistique à l'échantillon. Cet ajustement est fait sur la base d'un échantillon ordonné pour lequel une probabilité au dépassement p ou une probabilité au non dépassement q ($q = 1-p$) est calculée. Plusieurs formules empiriques existent pour calculer la probabilité au non dépassement des pluies ordonnées. Celle utilisée dans cette étude est la formule de Cunnane :

$$q = \frac{k - a}{n - 2a + 1} \quad (1)$$

où k est le rang des observations (classées de la plus faible à la plus élevée),

n est la taille de l'échantillon et

a = 0,4 (constante de la formule de Cunnane).

- À l'aide du modèle théorique fourni par la loi statistique ajustée, procéder à l'extrapolation permettant d'obtenir les valeurs des quantiles (valeur de X_T pour une période de retour T). La relation entre la probabilité au non dépassement et la période de retour est :

$$T = \frac{1}{1-q} \quad (2)$$

Ces étapes méthodologiques ont été accomplies à l'aide du logiciel HYFRAN (2003).

2. DONNEES UTILISEES

Les données de pluie journalière maximum annuelle utilisées proviennent de deux stations météorologiques d'Environnement Canada (Montréal-McGill et Shawinigan Falls). Deux variables ont été utilisées dans des analyses séparées. La première variable utilisée est la précipitation totale journalière maximale du mois d'intérêt (juillet pour Montréal et juin pour Shawinigan). La seconde variable utilisée pour les deux stations est la chronique des précipitations journalières maximum annuelles (tous mois confondus). Le tableau 1 présente les caractéristiques et les statistiques descriptives des chroniques de précipitation utilisées dans cette étude.

Tableau 1. Statistiques descriptives des données utilisées.

Station	Montréal-McGill		Shawinigan Falls	
	Juillet	Annuel	Juin	Annuel
Numéro station / taille échantillon	7025280	98	7018000	94
Latitude /longitude	-72,72	-73,58	46,57	45,50
Moyenne	30,8	22,6	28,5	20,5
Minimum	8,6	11,0	4,8	5,0
Maximum	102	54,9	95	53,3
Coefficient de variation (Cv)	0,525	0,467	0,542	0,534
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1,67	0,869	1,53	1,01
Coefficient d'aplatissement (Ck)	7,07	3,44	6,02	3,38

3. RESULTATS

3.1 Analyse fréquentielle des pluies journalières

Trois lois statistiques utilisées fréquemment en analyse fréquentielle ont été ajustées aux échantillons. Une loi à deux paramètres, la loi lognormale a été ajustée et comparée à deux lois à trois paramètres. Il s'agit de la distribution GEV (« Generalized Extreme Value ») et de la loi log-Pearson Type III. Différentes méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. La loi lognormale a été ajustée par la méthode du maximum de vraisemblance tandis que la loi log-Pearson Type III a été ajustée par la méthode des moments (Bobée et Ashkar, 1991). L'ajustement de la loi GEV a été fait à l'aide de la méthode des moments pondérés (Hoskin, 1986).

Au préalable, les hypothèses d'indépendance, homogénéité et stationnarité ont été vérifiées. L'hypothèse d'indépendance a été validée à l'aide du test de Wald-Wolfowitz (Wald et Wolfowitz, 1943). Les tests d'homogénéité et de stationnarité utilisés sont respectivement ceux de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945) et de Kendal (Kendal, 1975). Les résultats de ces tests sont présentés dans en annexe. Tous les échantillons utilisés dans cette analyse respectent les hypothèses de base.

La sélection de la distribution statistique la mieux ajustée aux échantillons est faite à l'aide de deux critères, soit le critère d'Akaike et le critère d'information bayésien (BIC). Ces deux critères permettent de choisir la loi la mieux ajustée en tenant compte de l'erreur d'estimation et de la parcimonie (nombre de paramètres à ajuster). La distribution pour laquelle les valeurs des deux critères sont les plus faibles est celle qui est sélectionnée. Le tableau 2 montre les résultats de cette analyse comparative de l'ajustement des lois statistiques. La loi lognormale à deux paramètres a été sélectionnée pour tous les cas, sauf pour l'ajustement des maximums annuels à la station Montréal-McGill. Dans ce cas, la loi GEV a été sélectionnée. Les graphiques montrant les ajustements de chaque loi testée sont présentés en annexe.

Tableau 2. Critères de sélection des distributions statistiques ajustées aux données. La loi sélectionnée est affichée en caractères gras.

Station	Échantillon	Loi statistique	Akaike	BIC
Montréal-McGill	Max. annuel	GEV	1183,3	1191,1
		Log_Pearson III	1188,7	1196,4
		Lognormale	1199,8	1204,9
Montréal-McGill	Max juillet	GEV	795,1	802,8
		Log_Pearson III	794,2	801,9
		Lognormale	792,2	797,4
Shawinigan Falls	Max annuel	GEV	1096,5	1104,0
		Log_Pearson III	1095,4	1102,9
		Lognormale	1093,5	1098,6
Shawinigan Falls	Max, juin	GEV	753,7	761,3
		Log_Pearson III	753,9	761,5
		Lognormale	752,0	757,1

Le tableau 3 présente les quantiles estimés pour différentes périodes de retour. Les intervalles de confiance qui permettent d'évaluer l'incertitude associée aux estimations sont aussi fournis. Les quantiles sont présentés pour les maximums du mois d'intérêt et pour les maximums annuels et ce, seulement pour les estimations faites à l'aide de la loi sélectionnée au tableau 2.

Tableau 3. Quantiles estimés pour les deux stations.

Période de retour (ans)	Quantile (mm)	Intervalle de confiance inférieur 95% (mm)	Intervalle de confiance supérieur 95% (mm)	Quantile (mm)	Intervalle de confiance inférieur 95% (mm)	Intervalle de confiance supérieur 95% (mm)
Shawinigan Falls, juin				Shawinigan Falls, max annuel		
2	24,9	22,3	27,6	17,8	15,8	19,8
3	31,2	27,8	34,7	22,5	19,9	25,1
5	38,7	33,9	43,4	28,1	24,5	31,8
10	48,7	41,7	55,6	35,7	30,3	41,2
20	58,8	49,3	68,3	43,6	36,1	51,1
50	72,8	59,2	86,4	54,4	43,7	65,2
100	83,9	66,8	101	63,1	49,5	76,8
Montréal-McGill, juillet				Montréal-McGill, max annuel		
2	27,5	24,6	30,4	27,2	24,5	29,9
3	33,8	30,2	37,3	33,7	30,2	37,2
5	41,1	36,6	45,7	41,4	36,6	46,2
10	50,9	44,2	57,6	51,6	44,7	58,5
20	60,9	50,9	71	61,8	52,4	71,2
50	74,8	58,1	91,5	75,8	62,6	89
100	85,9	62,4	109	86,8	70,3	103

Les résultats présentés dans ce tableau peuvent être interprétés comme suit : une précipitation totale journalière de 48,7 mm en juin se produit en moyenne à tous les 10 ans à Shawinigan, tandis qu'en juillet à Montréal, la valeur ayant la même période de retour est de 50,9 années.

On peut calculer la période de récurrence d'une pluie totale journalière de 43,6 mm (événement du 10 juin 2005 à Shawinigan) à l'aide des équations 1 et 2. On obtient $T = 9,9$ ans.

Si on applique le même calcul à une précipitation de 63,6 mm à Montréal (5 juillet), on obtient une période de retour $T = 27,5$ ans. Il faut noter que cette estimation est faite sur la base de la

hauteur totale journalière et ne tient pas compte de l'intensité de cette pluie à l'intérieure de la journée. Pour tenir compte de cette intensité, il faudrait refaire l'analyse fréquentielle avec des données obtenues au pas de temps horaire ou moins. Ces données ne sont pas présentement accessibles. Il est intéressant de noter que les quantiles calculés à partir des maximum annuels donnent des valeurs légèrement inférieures pour Shawinigan (e.g. quantile de période 10 ans = 35,7 mm pour les maximum annuels vs. 48,7 mm pour le mois de juin) et similaires pour Montréal-McGill (e.g. pour une période de retour de 10 ans les quantiles sont 50,9 mm et 51,6 mm).

3.2 Courbes Intensité-Durée-Fréquence

L'analyse fréquentielle décrite dans la section 2.2 peut être complétée pour des hauteurs de pluie cumulées sur des durées plus courtes que la journée. Les mêmes calculs peuvent être fait pour des événements plus court (30 min, 1 heure, 2 heures, etc.). On estime alors les quantiles pour chaque durée et chaque période de retour d'intérêt. L'ensemble de cette information peut alors être présentée sous forme de courbes décrivant la variation des quantiles en fonction de la durée et ce, pour chaque période de retour. Ces graphiques, appelées courbes IDF offrent l'avantage de permettre de comparer les quantiles pour des événements de différentes durées.

Environnement Canada a produit de telles courbes pour les stations de Dorval, Montréal McGill et Shawinigan Falls. Il est important de noter que la construction de ces courbes est basée sur un nombre d'années plus petit que l'estimation des quantiles sur une base journalière. En effet, la mesure des précipitations à un pas de temps plus petit que le journée est relativement récente. Pour les stations d'intérêt, les courbes ont été construites avec 48 années (Montréal Dorval) et 23 années (Shawinigan Falls) de données. La station Montréal McGill dispose de plus d'information, avec 87 années de données (1906-1992). La taille des échantillons étant plus petite que le nombre d'observations utilisées dans la section précédente, l'incertitude est plus grande.

Les courbes IDF d'environnement Canada sont présentées dans les figures 1 (Montréal-Dorval), 2 (Montréal-McGill) et 3 (Shawinigan Falls).

Montréal-Dorval

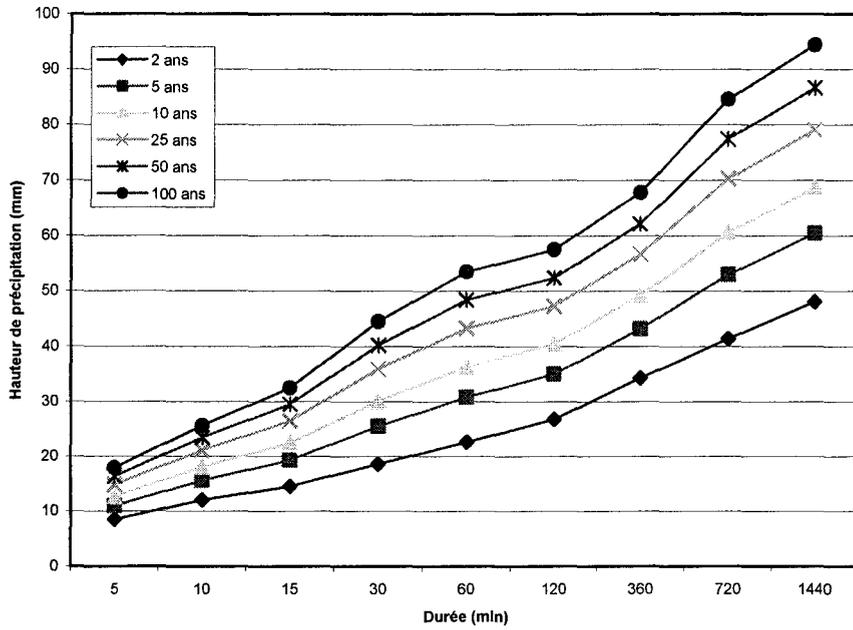


Figure 1. Courbe Intensité-Durée-Fréquence pour la station Montréal-Dorval.

Montréal-McGill

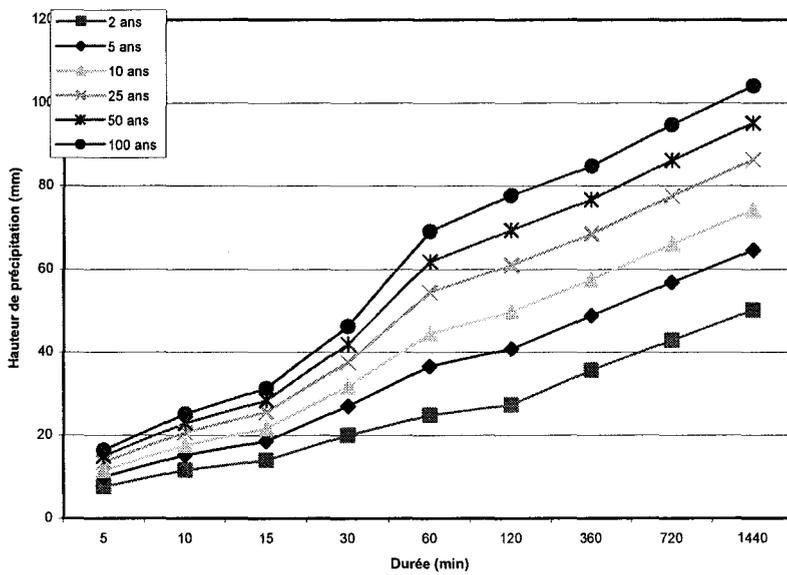


Figure 2. Courbe Intensité-Durée-Fréquence pour la station de Montréal-McGill.

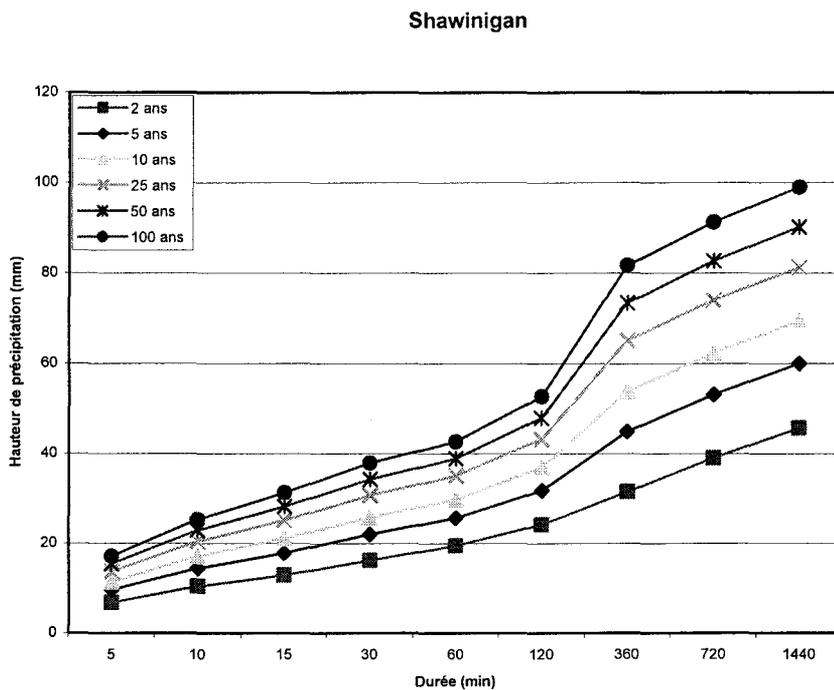


Figure 3. Courbe Intensité-Durée-Fréquence pour la station de Shawinigan.

Il est impossible dans le cadre de la présente analyse de déterminer la récurrence des événements à partir des courbes IDF puisque les précipitations totales pour les données associées aux deux événements d'intérêt ont été fournies par Environnement Canada sur une base journalière. Toutefois, si on connaît la durée de l'événement et que cette durée est inférieure à la journée, il est possible de réviser la période de retour à l'aide de ces courbes. Par exemple, si les précipitations mesurées à Dorval le 5 juillet 2005 étaient tombées en une heure, la période de retour serait supérieure à 100 ans ($X_{100,1\text{ h}} = 53,5\text{ mm}$; Figure 1). Si cette même valeur est comparée aux courbes IDF de la station Montréal-McGill, la période de retour pour un tel événement de durée 1 heure dépasserait 50 ans ($X_{50,1\text{ h}} = 61,8\text{ mm}$; Figure 2).

De la même manière, si les 43,6 mm de pluie du 10 juin 2005 à Shawinigan étaient tombés en moins d'une heure, on pourrait estimer que cet événement correspond à une période de retour d'environ 100 ans ($X_{100,1\text{ h}} = 42,7\text{ mm}$; Figure 3).

Une autre méthode d'estimation de la récurrence d'événements pluvieux est basée sur l'intensité plutôt que la hauteur d'eau. L'intensité de pluie est définie par une hauteur d'eau (en mm) divisée par une période de temps (habituellement, une heure). On peut alors utiliser les valeurs maximum des intensités de pluie en mm/heure pour différentes durées en calculer les probabilités au non dépassement avec la méthode décrite dans la section 2. Environnement Canada a effectué le calcul des quantiles associés à différentes périodes de retour des intensités à la station Montréal-McGill et ce, pour différentes durées. La Figure 4 rapporte ces quantiles pour les durées de 0,5, 1 et 2 heures. Si l'événement rapporté pour le 5 juillet à Montréal-McGill (52,5 mm) avait une durée d'une heure, l'intensité serait de 52,5 mm/heure, ce qui correspondrait à une période de retour de l'ordre de 25 ans.

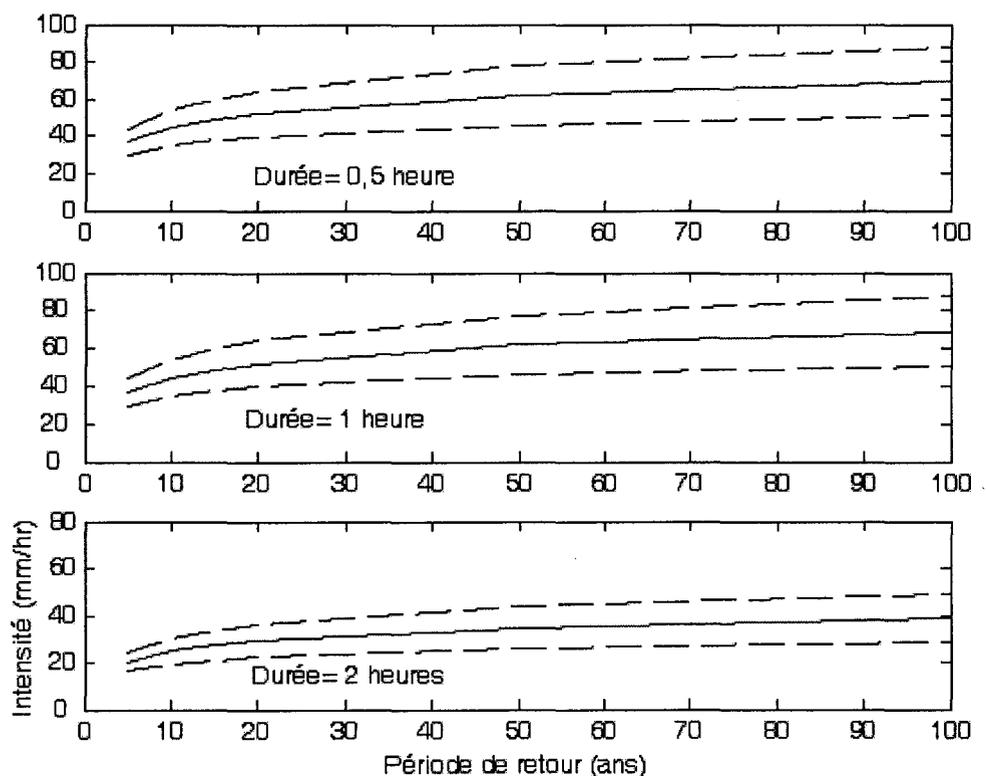


Figure 4. Quantiles d'intensité de précipitation estimée par Environnement Canada pour des événements de durée 30 minutes, une heure et deux heures à la station Montréal-McGill.

7. CONCLUSION

Trois approches d'analyse fréquentielle ont été utilisées pour estimer les périodes de retour d'événements pluvieux s'étant produits à Shawinigan et Montréal. L'analyse a d'abord été faite en considérant l'événement sur une base quotidienne. La période de retour ainsi associée à l'événement du 10 juin à Shawinigan est inférieure à 10 ans tandis que celle de la pluie du 5 juillet à Montréal est inférieure à 30 ans.

Des courbes intensité-durée-fréquence fournies par Environnement Canada permettent de rapporter les événements sur des périodes inférieures à une journée et d'obtenir les périodes de retour. En faisant l'hypothèse d'une durée d'événement d'une heure, on arrive à une estimation de la période de retour de l'ordre 100 ans pour Shawinigan et de l'ordre de 50 ans pour Montréal-McGill.

Finalement, Environnement Canada a aussi estimé les quantiles d'intensité en mm/heure pour la station Montréal-McGill. Toujours sous la même hypothèse que l'événement du 5 juillet a duré une heure et avec l'hypothèse additionnelle (non vérifiée) d'une intensité relativement constante durant l'événement, la hauteur de pluie peut être convertie en intensité et rapportée sur la figure 4. On obtient alors une récurrence inférieure à 50 ans (plutôt de l'ordre de 25 ans) pour une intensité de 52,5 mm/heure à la station de Montréal-McGill.

Il est important de noter que les calculs des courbes IDF et d'intensité ont été faits par Environnement Canada et n'ont pas pu être vérifiés. De plus, il faut noter que ces estimations sont basés sur un échantillon de taille nettement inférieure à celui utilisé pour les estimations journalières, ce qui implique que l'incertitude est plus importante.

8.REFERENCES

Bobée, B., F. Ashkar, 1991. The gamma family and derived distributions applied in hydrology. *Water Resources Publications* 203 pages.

Hoskin, J.M.R. 1986. The Theory of Probability Weighted Moments. IBM Research Division Report. 160 pages.

HYFRAN. 2003. A software for statistical modeling. INRS-Eau, University of Québec.

Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods. *Charles Griffin*, London.

Wald, A., J. Wolfowitz, 1943. An exact test for randomness in the nonparametric case based on serial correlation. *Annals of Mathematical Statistics.*, **14**, 378-388.

Wilcoxon, F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics.*, **1**, 80-83

ANNEXES

Annexe 1. Vérification des hypothèses d'indépendance et idem distribution (IID) des échantillons

Tableau A1. Vérifications des hypothèses IID pour les précipitations maximums de juillet à la station Montréal-McGill.

Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)

Hypothèses

H ₀	Les observations sont indépendantes
H ₁	Les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1)

Résultats

Valeur de la statistique	U = 0.219
p-value	p = 0.826

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

Test de stationarité (Kendall)

Hypothèses

H ₀	Il n'y a aucune tendance dans les observations
H ₁	Il y a une tendance dans les observations

Résultats

Valeur de la statistique	K = 0.298
p-value	p = 0.766

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

Test d'homogénéité à l'échelle annuelle (Wilcoxon)

Hypothèses

H ₀	Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales
H ₁	Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes

Résultats

Valeur de la statistique	W = 0.149
p-value	p = 0.881

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

Tableau A2. Vérifications des hypothèses IID pour les précipitations maximums de juin à la station Shawinigan.

Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)

Hypothèses	
H0	Les observations sont indépendantes
H1	Les observations sont dépendantes (autocorrélation ordre 1)
Résultats	
Valeur de la statistique	$ U = 0.624$
p-value	$p = 0.533$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Test de stationarité (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 = 0.464$
p-value	$p = 0.643$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Test d'homogénéité à l'échelle annuelle (Wilcoxon)

Hypothèses	
H0	Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales
H1	Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes
Résultats	
Valeur de la statistique	$ W = 0.333$
p-value	$p = 0.739$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Tableau A3. Vérifications des hypothèses IID pour les précipitations maximums annuelles à la station Montréal-Mc-Gill.

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 $|U| = 0.633$
p-value $p = 0.527$

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

Test de stationarité (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 $|K| = 0.0552$
p-value $p = 0.956$

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

Test d'homogénéité à l'échelle annuelle (Wilcoxon)

Hypothèses

- H0 Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales
H1 Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes

Résultats

- Valeur de la statistique $|W| = 0.125$
p-value $p = 0.901$

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

Tableau A4. Vérifications des hypothèses IID pour les précipitations maximums annuelles à la station Shawinigan Falls.

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 = 0.0619$
p-value	$p = 0.951$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Test de stationarité (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 = 1.49$
p-value	$p = 0.136$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Test d'homogénéité à l'échelle annuelle (Wilcoxon)

Hypothèses	
H0	Les moyennes des deux sous-échantillons sont égales
H1	Les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes
Résultats	
Valeur de la statistique	$ W = 0.464$
p-value	$p = 0.643$
Conclusion	Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %

Annexe 2. Ajustement des lois statistiques

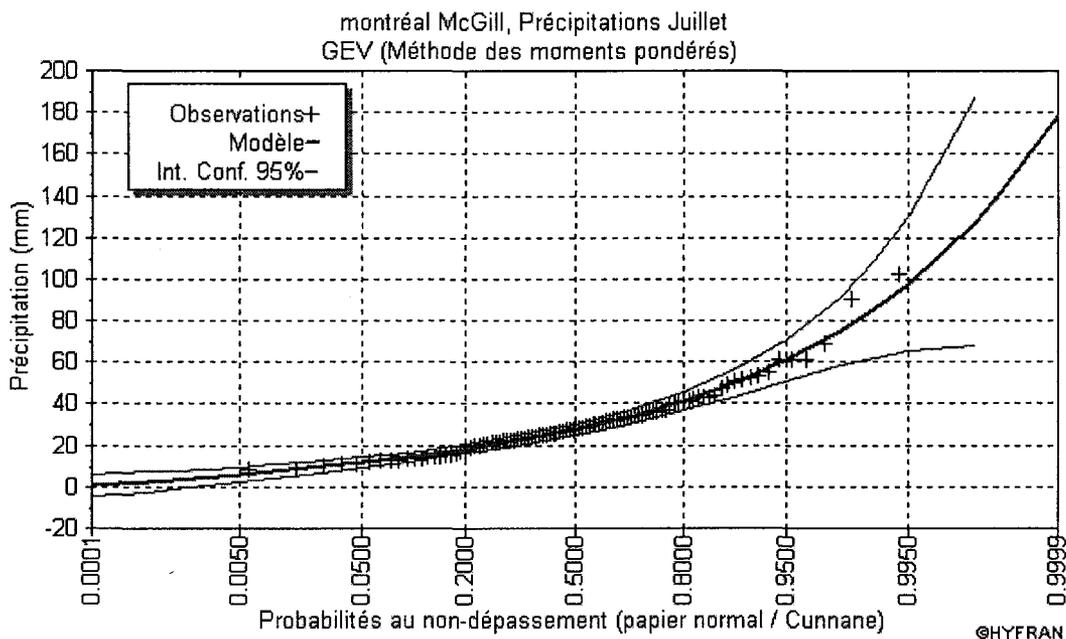


Figure A1. Ajustement de la loi GEV et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juillet à la station Montréal McGill.

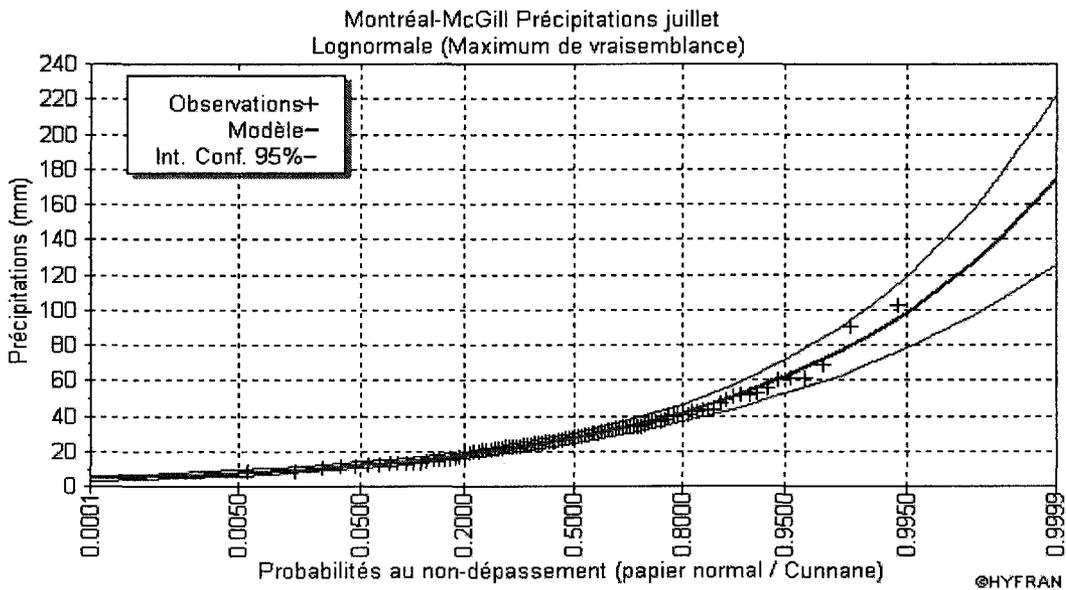


Figure A2. Ajustement de la loi lognormale et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juillet à la station Montréal McGill.

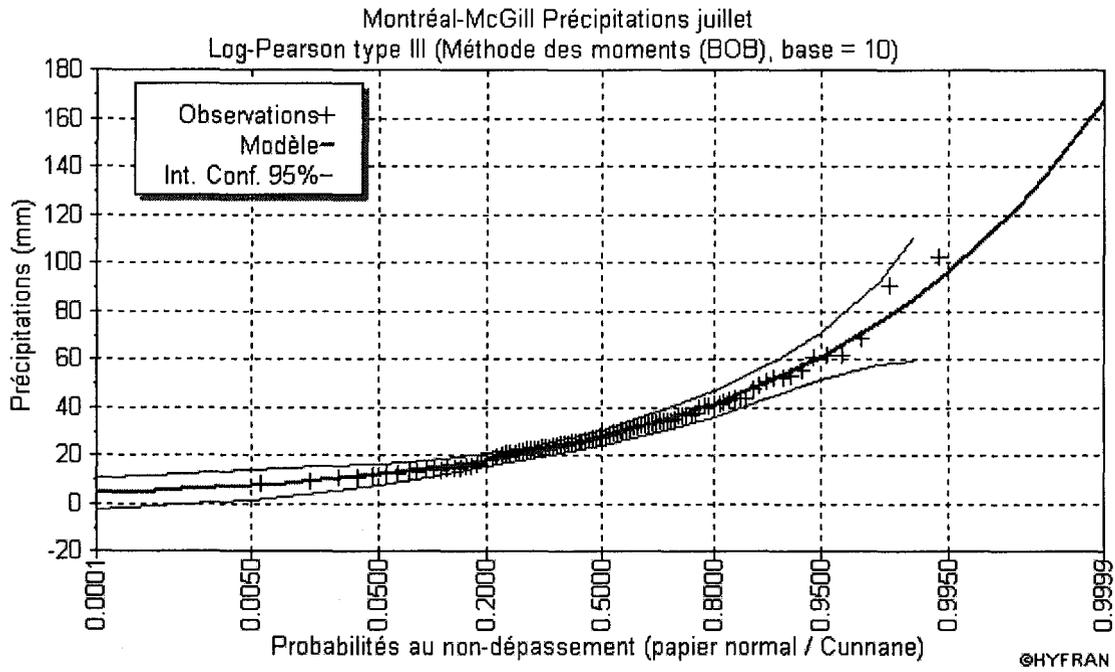


Figure A3. Ajustement de la loi log-Pearson III et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juillet à la station Montréal McGill.

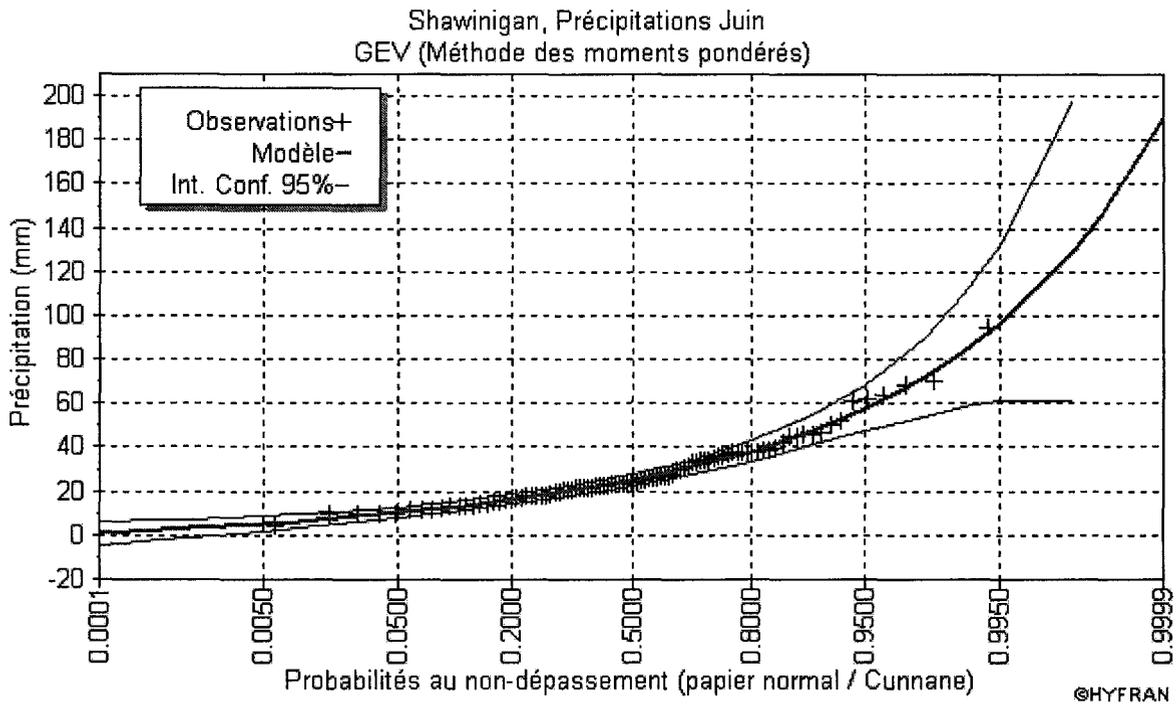


Figure A4. Ajustement de la loi GEV et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juin à la station Shawinigan Falls.

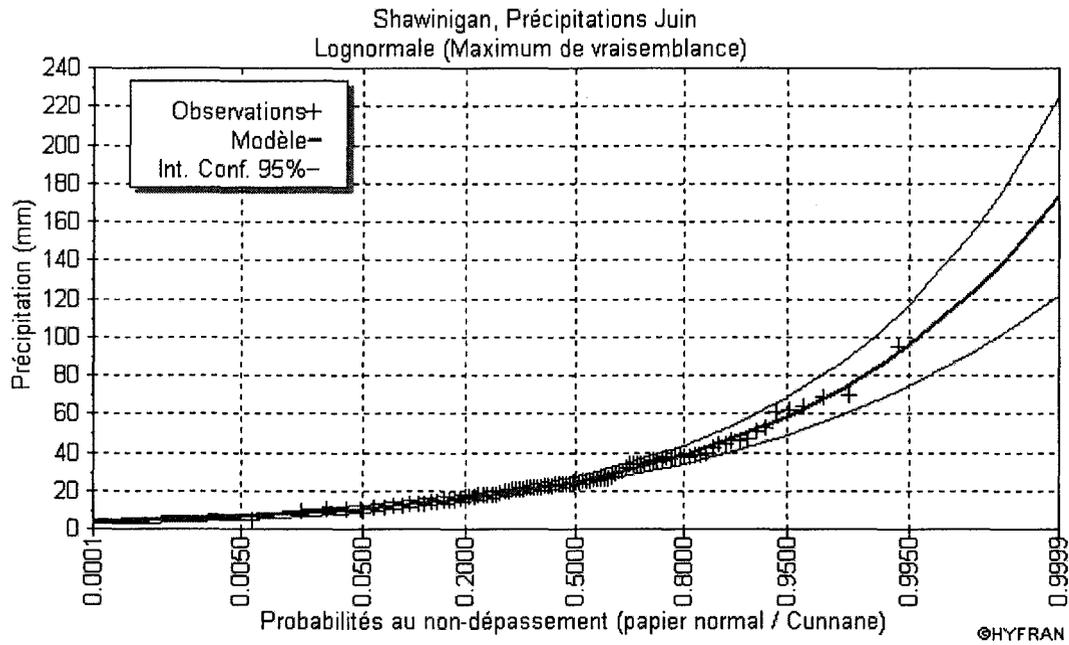


Figure A5. Ajustement de la loi lognormale et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juin à la station Shawinigan Falls.

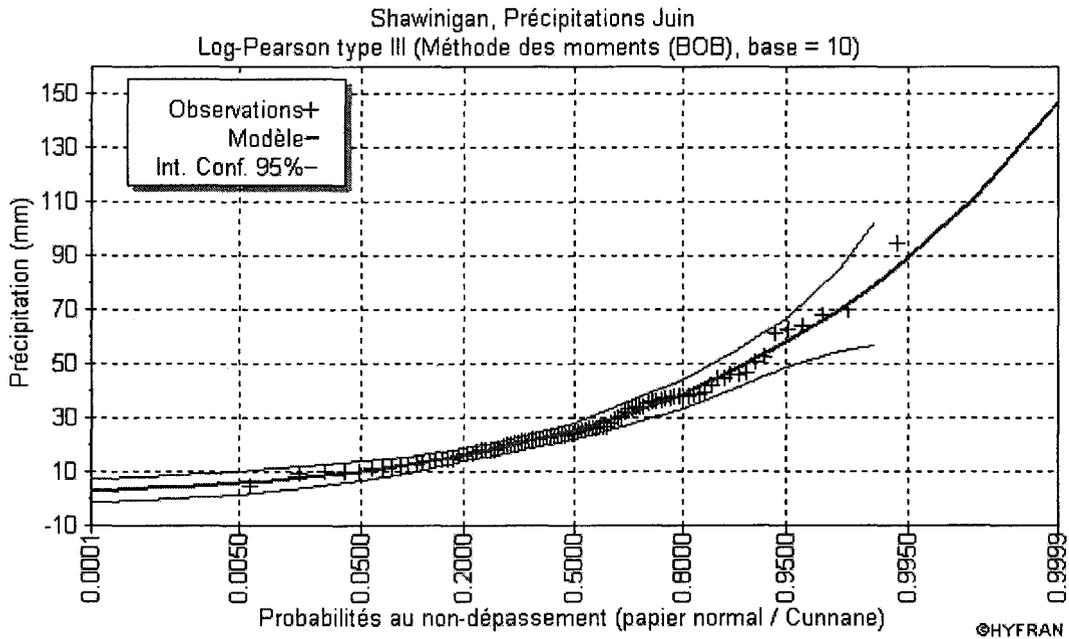


Figure A6. Ajustement de la loi log-Pearson III et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum de juin à la station Shawinigan Falls.

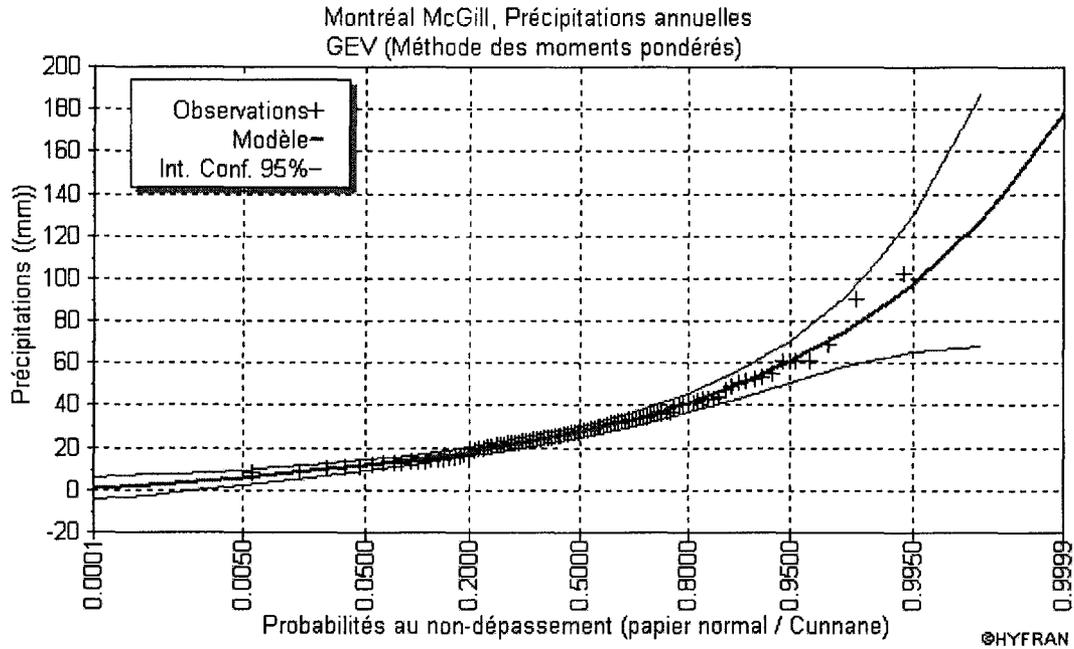


Figure A7. Ajustement de la loi GEV et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Montréal-McGill.

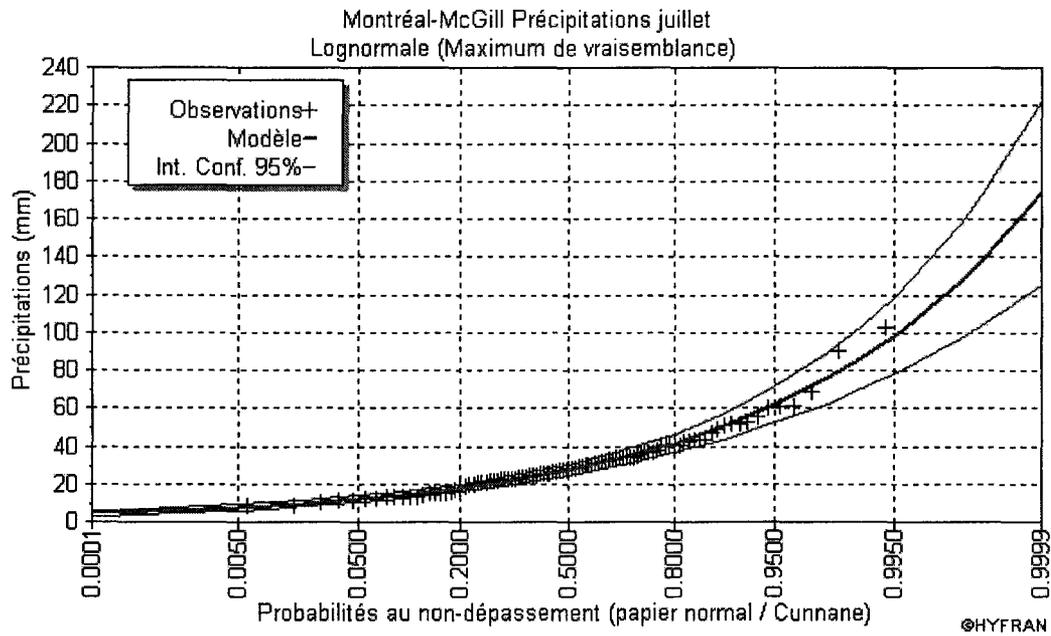


Figure A8. Ajustement de la loi lognormale et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Montréal-McGill.

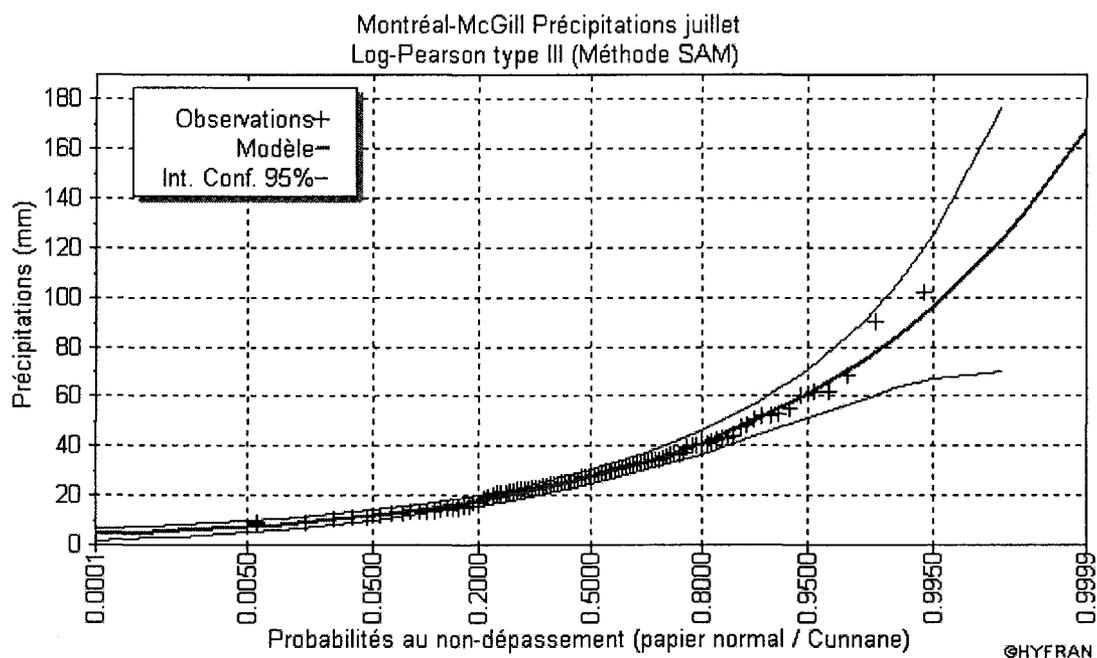


Figure A9. Ajustement de la loi log-Pearson III et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Montréal-McGill.

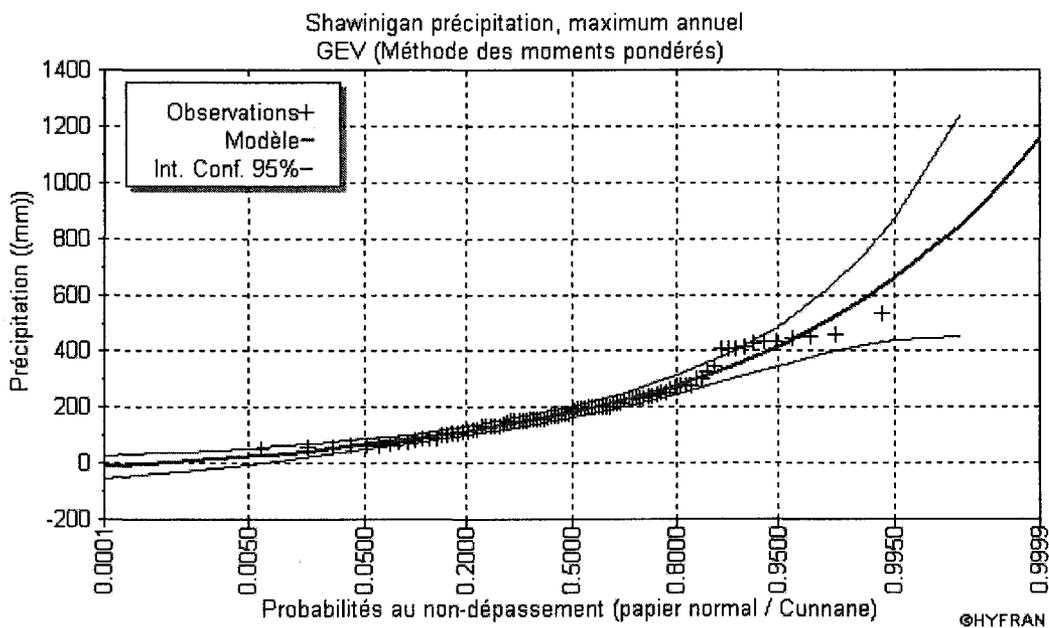


Figure A10. Ajustement de la loi GEV et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Shawinigan Falls.

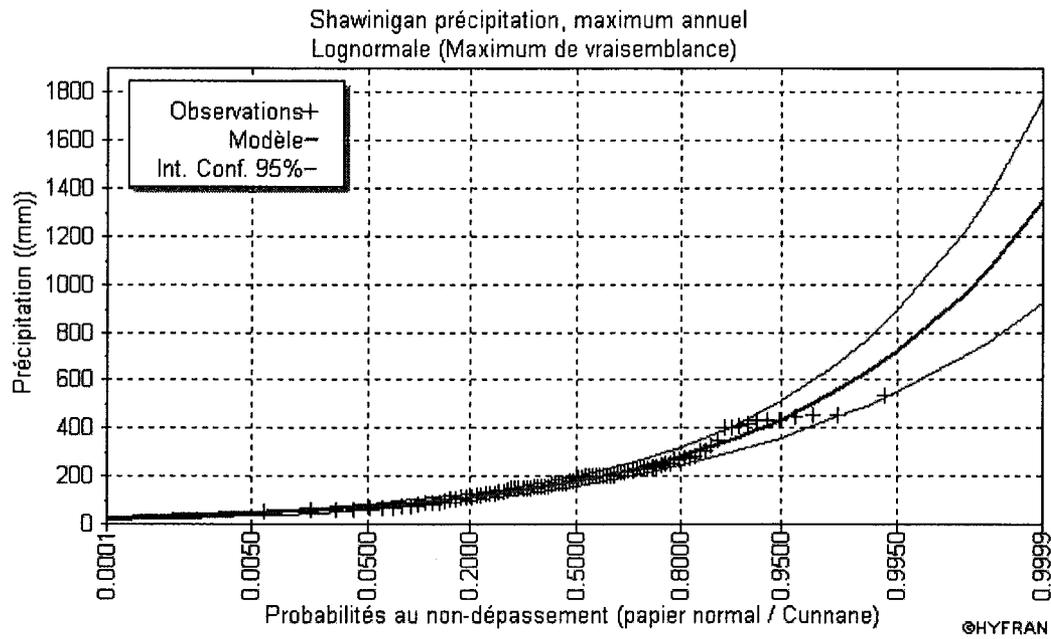


Figure A11. Ajustement de la loi lognormale et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Shawinigan Falls.

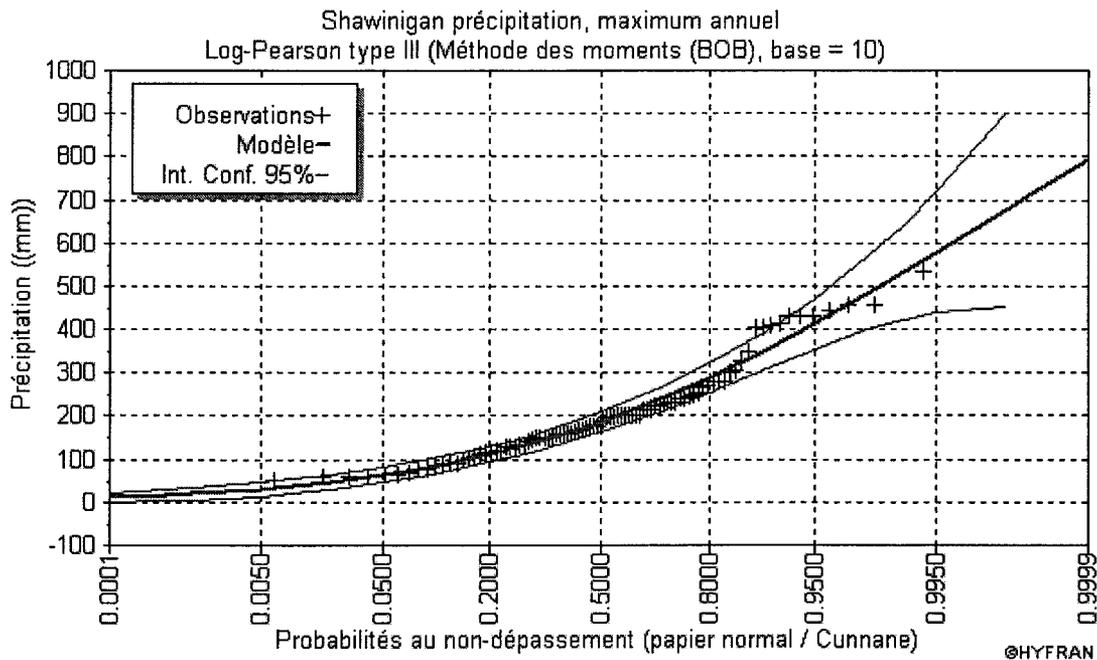


Figure A12. Ajustement de la loi log-Pearson III et intervalle de confiance pour les hauteurs de pluie maximum annuelle à la station Shawinigan Falls.