Rapport Technique RT-101

Reconstitution des débits du Fleuve Saint-Laurent entre 1932 et 1998

André Bouchard et Jean Morin

Octobre 2000

Pour fin de citation :

Bouchard, A. et J. Morin. (2000). Reconstitution des débits du fleuve Saint-Laurent entre 1932 et 1998. Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Monitoring et Technologies, Section Hydrologie, Rapport Technique RT-101. 71 pages.

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada 2000
N° de catalogue En57-30/101F
ISBN 0-662-85245-1

PERSPECTIVE DE GESTION

L'évaluation de l'impact des niveaux/débits d'eau du fleuve Saint-Laurent sur l'écosystème fluvial est une composante importante du volet Biodiversité du Plan d'Action Saint-Laurent III. Une bonne connaissance de l'hydrologie du tronçon Cornwall/Trois-Rivières est essentielle à l'atteinte des objectifs fixés dans le cadre de ce programme. Or, l'information existante sur les débits dans le fleuve Saint-Laurent est limitée en amont aux rapides de Lachine. De plus, l'information historique de débits pour les principaux tributaires du fleuve n'est pas homogène en termes de période ce qui pose des problèmes lorsqu'on souhaite évaluer l'impact de la régularisation depuis 1960 par exemple. Le présent travail vise donc à produire des séries hebdomadaires de débit du fleuve Saint-Laurent à Sorel, Trois-Rivières et Québec pour la période de 1932 à 1998. On y expose la méthode de calcul du débit ainsi que les méthodes utilisées pour reconstituer les débits des divers tributaires afin d'obtenir des séries complètes de 1932 à 1998.

RÉSUMÉ

Afin de remédier au manque d'information sur le débit du Saint-Laurent en aval des rapides de Lachine et afin de constituer une banque de données complète concernant les débits des principaux tributaires du fleuve pour la période allant de 1932 à 1998, nous avons d'une part identifié une méthode de calcul des débits du fleuve Saint-Laurent qui tient compte des apports non-jaugés et nous avons ensuite effectué la reconstitution des séries de débit pour les principales stations hydrométriques servant dans le calcul du débit du fleuve entre Montréal et Québec.

La méthode de calcul du débit a été adaptée à partir des travaux de Morse (1990). Par la suite, les séries de débit d'une vingtaine de stations hydrométriques ont été reconstituées afin de les compléter entre 1932 et 1998. Pour chaque point, plusieurs méthodes de reconstitution ont été évaluées afin d'identifier la plus appropriée.

Nous avons ensuite procédé au calcul du débit moyen hebdomadaire du fleuve Saint-Laurent à trois endroits soit Sorel, Trois-Rivières et Québec. La validation de ces séries a été effectuée par voie de comparaison avec une série de débits à Sorel publiée dans la banque de données nationale sur l'eau HYDAT. Dans l'ensemble, les résultats sont excellents et valident l'approche adoptée.

REMERCIEMENTS

Plusieurs individus ont contribué de près ou de loin au travail présenté ici. Nous aimerions remercier M. Marc Mingelbier pour son aide précieuse dans l'obtention des données de débit les plus récentes pour plusieurs tributaires du fleuve. Nous aimerions aussi remercier MM. Jean-François Cantin, Daniel Bourgault et Guy Morin pour leurs judicieux conseils particulièrement lors de la période d'analyse des données hydrométriques.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **1**
1 MÉTHODE DE CALCUL DES DÉBITS DANS LE FLEUVE **2**
2 RECONSTITUTION DES SÉRIES DE DÉBIT **7**
2.1 LaSalle & Canal de la Rive Sud 7
2.2 Assomption 11
2.3 Du Loup 14
2.4 Nicolet 18
2.5 Châteauguay 21
2.6 Yamaska 24
2.7 Richelieu 28
2.8 Saint-François 31
2.9 Delisle 34
2.10 Maskinongé 37
2.11 Saint-Maurice 40
2.12 Bécancour 41
2.13 Batiscan 44
2.14 Sainte-Anne 47
2.15 Portneuf 51
2.16 Jacques-Cartier 54
2.17 Chaudière 58
2.18 Etchemin 60
2.19 Saint-Charles 63
4. DÉBITS RECONSTITUÉS À SOREL, TROIS-RIVIÈRES ET QUÉBEC **66**
4.1 Présentation des séries de débit 66
4.2 Validation 67
CONCLUSION **70**
RÉFÉRENCES **71**

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Méthode de calcul du débit du fleuve Saint-Laurent proposée par Morse (1990). 3

Figure 2 : Localisation des stations hydrométriques utilisées. 5

Figure 3 : Débit publié pour la station hydrométrique de LaSalle (02OA016). 7

Figure 4 : Débit Calculé vs Débit Publié à LaSalle entre 1955 et 1978. 8

Figure 5 : Caractéristiques des distributions statistiques pour la station-témoin et la série reconstituée. 8

Figure 6 : Série de débits à LaSalle reconstituée de 1932 à 1998. 9

Figure 7 : Débits publiés pour le Canal de la Rive Sud (station 02OA024). 9

Figure 8 : Débit à LaSalle (1932 à 1998) combiné à celui du Canal de la Rive Sud. 10

Figure 9 : Débits publiés à la station 02OB008 sur la rivière l'Assomption.....11

Figure 10 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 1. 12

Figure 11 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 2. 12

Figure 12 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 3. 13

Figure 13 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 13

Figure 14 : Débits publiés à la station 02OC004 sur la rivière du Loup de 1965 à 1998. 14

Figure 15 : Série totale de débits sur la rivière du Loup reconstituée avec la méthode 1. 15

Figure 16 : Série totale de débits sur la rivière du Loup reconstituée avec la méthode 2. 16

Figure 17 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 16

Figure 18 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OC001 et des débits publiés à la station-témoin. 17

Figure 19 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02OB008 et des débits publiés à la station-témoin. 17

Figure 20 : Débits publiés à la station 02OD003 sur la rivière Nicolet de 1966 à 1998. 18

Figure 21 : Série totale de débits sur la Nicolet reconstituée avec la méthode 1.....19

Figure 22 : Série totale de débits sur la Nicolet reconstituée avec la méthode 2.....19

Figure 23 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 20

Figure 24 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OD001 et des débits publiés à la station-témoin. 20

Figure 25 : Débits publiés à la station 02OA054 sur la rivière Châteauguay de 1970 à 1998. ...21

Figure 26 : Série totale de débits sur la Châteauguay reconstituée avec la méthode 1. 22

Figure 27 : Série totale de débits sur la Châteauguay reconstituée avec la méthode 2. 22

Figure 28 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 23

Figure 29 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OA001 et des débits publiés à la station-témoin. 23

Figure 30 : Débits publiés à la station 02OG043 sur la Yamaska de 1983 à 1994. 24

Figure 31 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 1. 25

Figure 32 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 2. 25

Figure 33 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 3. 26

Figure 34 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 27

Figure 35 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la Missisquoi et des débits publiés à la station-témoin. 27

Figure 36 : Débits publiés à la station 02OJ007 sur la rivière Richelieu de 1937 à 1998. 28

Figure 37 : Série totale de débits sur la rivière Richelieu reconstituée avec la méthode 1. 28

Figure 38 : Série totale de débits sur la rivière Richelieu reconstituée avec la méthode 2. 29

Figure 39 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 30

Figure 40 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station de Saint-Jean et des débits publiés à la station-témoin. 30

Figure 41 : Débits publiés à la station 02OF019 sur la rivière Saint-François de 1972 à 1998. .31

Figure 42 : Série totale de débits sur la rivière Saint-François reconstituée avec la méthode 1.32

Figure 43 : Série totale de débits sur la rivière Saint-François reconstituée avec la méthode 2.32

Figure 44 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 33

Figure 45 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station de Nicolet Sud-Ouest et des débits publiés à la station-témoin. 33

Figure 46 : Débits publiés à la station 02MC028 sur la rivière Delisle de 1985 à 1998. 34

Figure 47 : Série totale de débits sur la rivière Delisle. 35

Figure 48 : Série totale de débits sur la rivière Delisle avec valeurs manquantes remplacées par la moyenne interannuelle journalière de la station-témoin. 35

Figure 49 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées. 36

Figure 50 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la South Nation

et des débits publiés à la station-témoin. 36

Figure 51 : Série de débits à la station 02OC002 sur la rivière Maskinongé. 37

Figure 52 : Série totale de débits sur la rivière Maskinongé. 38

Figure 53 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 38

Figure 54 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02OB008 et des débits publiés à la station-témoin. 39

Figure 55 : Série de débits à la station 02NG001 sur la rivière Saint-Maurice.....40

Figure 56 : Série de débits pour la station 02PL007 sur la rivière Bécancour. 41

Figure 57 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Bécancour selon la méthode 1.....42

Figure 58 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Bécancour selon la méthode 2.....42

Figure 59 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 43

Figure 60 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la Chaudière et des débits publiés à la station-témoin. 43

Figure 61 : Série de débits pour la station 02PA007 sur la rivière Batiscan. 44

Figure 62 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Batiscan.....45

Figure 63 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 45

Figure 64 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PA003 et des débits publiés à la station-témoin.....46

Figure 65 : Série de débits pour la station 02PB037 sur la rivière Sainte-Anne. 47

Figure 66 : Série de débits totale sur la rivière Sainte-Anne reconstituée selon la méthode 1...48

Figure 67 : Série de débits totale sur la rivière Sainte-Anne reconstituée selon la méthode 2...48

Figure 68 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 49

Figure 69 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PB002 et des débits publiés à la station-témoin.....49

Figure 70 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PB019 et des débits publiés à la station-témoin.....50

Figure 71 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PC002 et des débits publiés à la station-témoin. 50

Figure 72 : Série de débits publiés pour la station 02PC009 sur la rivière Portneuf. 51

Figure 73 : Série de débits reconstitués jusqu'en 1960 sur la rivière Portneuf. 52

Figure 74 : Série de débits reconstitués jusqu'en 1932 sur la rivière Portneuf. 52

Figure 75 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 53

Figure 76 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PH004 et des débits publiés à la station-témoin. 53

Figure 77 : Série de débits pour la station 02PC002 sur la rivière Jacques-Cartier.....54

Figure 78 : Série de débits reconstitués sur la rivière Jacques-Cartier par la méthode 1.....55

Figure 79 : Série de débits reconstitués sur la rivière Jacques-Cartier par la méthode 2.....55

Figure 80 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 56

Figure 81 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PB004 et des débits publiés à la station-témoin. 56

Figure 82 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PB019 et des débits publiés à la station-témoin. 57

Figure 83 : Série de débits pour la station 02PJ005 sur la rivière Chaudière. 58

Figure 84 : Série de débits reconstitués sur la rivière Chaudière.....58

Figure 85 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 59

Figure 86 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PJ006 et des débits publiés à la station-témoin. 59

Figure 87 : Série de débits pour la station 02PH011 sur la rivière Etchemin. 60

Figure 88 : Série de débits reconstitués sur la rivière Etchemin.....61

Figure 89 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 61

Figure 90 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PJ005 et des débits publiés à la station-témoin. 62

Figure 91 : Série de débits pour la station 02PD010 sur la rivière Saint-Charles. 63

Figure 92 : Série de débits reconstitués sur la rivière Saint-Charles. 64

Figure 93 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée. 64

Figure 94 : Comparaison des débits calculés par moyenne interannuelle-journalière de la station 02PD010 et des débits publiés à la station-témoin. 65

Figure 95 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Sorel. 66

Figure 96 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Trois-Rivières.....67

Figure 97 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Québec. .67

Figure 98 : Relation entre les débits à Sorel reconstitués dans la présente étude et les débits calculés par Carrier (1976). 68

Figure 99 : Moyenne, minimum et maximum interannuels hebdomadaires des différences entre les débits calculés dans le présent rapport et ceux calculés par Carrier (1976). 69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Stations-témoins proposées par Morse (1990). 4

Tableau 2 : Stations retenues pour la reconstitution et les calculs de débit. 5

Introduction

La mesure du débit dans le fleuve Saint-Laurent est limitée aux rapides de Lachine à LaSalle. Plusieurs applications, dont les modèles hydrodynamiques, nécessitent des informations relatives au débit à des points plus en aval comme Sorel, Trois-Rivières et Québec. Le présent rapport technique porte sur l'inventaire des méthodes de calcul des débits en aval de l'archipel de Montréal proposées dans la littérature. Une de ces méthodes a été retenue et améliorée pour le calcul du débit à Sorel, à Trois-Rivières et à Québec. En raison des périodes de mesure qui peuvent varier d'une station hydrométrique à l'autre, un travail de reconstitution des séries de débit a été fait pour les stations-témoins dont les séries ne correspondaient pas parfaitement à la période commune arrêtée pour l'analyse. Les méthodes utilisées afin de combler les données manquantes seront présentées et validées. Enfin, les séries de débit calculé à Sorel, Trois-Rivières et Québec seront présentées et comparées à des séries similaires publiées par d'autres auteurs.

1 Méthode de calcul des débits dans le fleuve

Plusieurs essais d'estimation des débits du fleuve en aval de l'archipel de Montréal ont déjà été réalisés, poursuivant différents objectifs et utilisant différents moyens. Carrier (1976) s'est intéressé à l'estimation des débits mensuels et annuels du fleuve Saint-Laurent pour quatre sites : Trois-Rivières, Québec, Tadoussac et Baie-Comeau et seulement pour trois conditions d'écoulement soit une année sèche (1964), une année normale (1950) et une année humide (1972). Pour ce faire, deux méthodes ont été évaluées : 1) la première est basée sur le calcul des débits mensuels et annuels à l'embouchure de chaque rivière jaugée et 2) la deuxième fait appel à un nombre restreint de tributaires et à une extrapolation au moyen des variations de bassins versants.

Hoang (1980) a réalisé une étude hydrologique des débits journaliers du Saint-Laurent en cumulant les débits mesurés aux rivières des Mille-Îles, des Prairies et du fleuve à LaSalle. Cette sommation n'inclus par l'apport des tributaires locaux (Assomption, etc.) et la validité se limite à la partie amont du segment Montréal-Sorel puisque les tributaires en aval ne sont pas inclus.

Bourgault et Koutitonsky (1998) ont utilisé deux méthodes d'estimation du débit à Québec soit un modèle régressif et un modèle numérique unidimensionnel, calibré avec des mesures de débit pour un cycle de marée complet. Ils ont conclu que le modèle unidimensionnel permettait de calculer le débit à Québec à l'aide de deux stations de niveau d'eau. Toutefois les mesures des deux stations sont limitées dans le temps à 1955.

Lors de la calibration du modèle hydrodynamique STLT (One-D), Morse (1990) a proposé une méthode d'estimation des débits du fleuve Saint-Laurent entre l'archipel de Montréal et Québec. Cette méthode tient compte des principaux tributaires qui sont généralement jaugés, des superficies non-jaugées de ces tributaires ainsi que des écoulements non-jaugés comme les ruisseaux ou le drainage souterrain. À l'amont, les intrants sont les débits du Saint-Laurent à Moses-Saunders et Beauharnois ainsi que le débit de la rivière des Outaouais à Carillon, tandis qu'à l'aval, les tributaires du fleuve sont représentés par 12 «apports latéraux».

La reconstitution des débits du fleuve à Sorel, à Trois-Rivières et à Québec a été effectuée à l'aide d'une adaptation de la méthode de Morse (1990). Les débits sont calculés entre le port de Montréal et Québec en additionnant les débits de LaSalle, de la rivière des Mille-Îles, de la rivière des Prairies et des tributaires. Les débits mesurés des tributaires sont corrigés pour les superficies non-jaugées selon les équations présentées à la Figure 1. Le Tableau 1 ainsi que la Figure 2 présentent les stations-témoins proposées par Morse (1990).

L'analyse des données de débit nécessite le choix d'une période commune à toutes les stations. La période 1932 à 1998 a été retenue sur la base des données de débit disponibles à la station de LaSalle-02OA016 incluant les débits publiés de 1955 à 1998 et les débits calculés avec la relation niveau-débit à partir des niveaux d'eau publiés entre 1932 et 1978. Or, les données disponibles aux diverses stations ne couvrent pas nécessairement cette période au complet (Tableau 1). Seules les séries de données des rivières des Prairies (02OA004) et des Mille-Îles (02OA003), qui, aux fins du présent exercice, représentent des limites amont au même titre que LaSalle, sont complètes de 1932 à 1998.

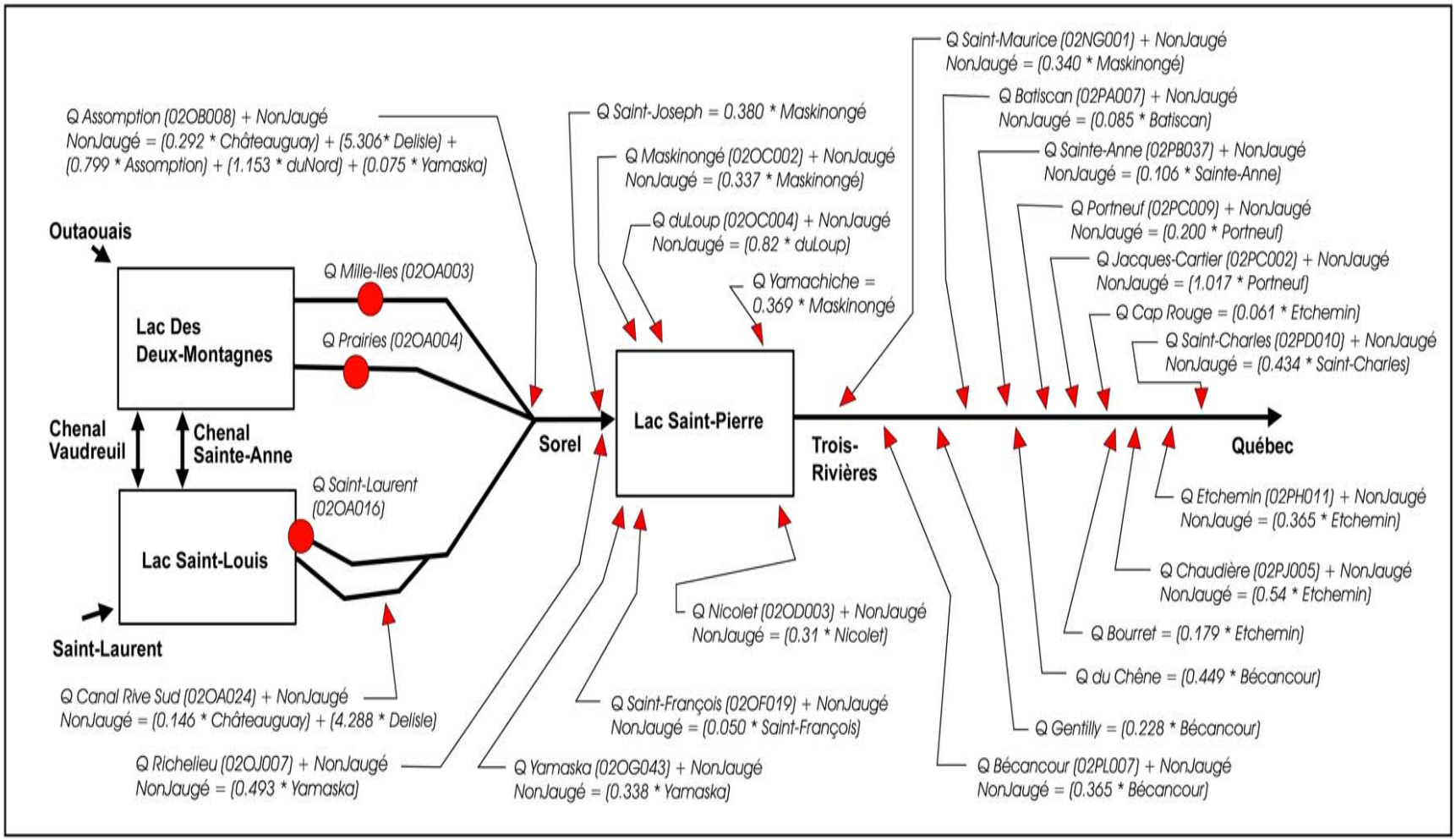

Figure 1 : Méthode de calcul du débit du fleuve Saint-Laurent proposée par Morse (1990).

Tableau 1 : Stations-témoins proposées par Morse (1990).

Nom	Numéro	Période
Canal de la rive sud	02OA024	1959-1998
Châteauguay	02OA054	1970-1998
Delisle	02MC028	1985-1998
du Nord	02LC008	1930-1998
Assomption	02OB008	1970-1998
Yamaska	02OG043	1983-1994
Richelieu	02OJ007	1937-1998
Saint-François	02OF019	1972-1998
Nicolet	02OD003	1966-1998
Maskinongé	02OC002	1925-1998
du Loup	02OC004	1965-1998
Saint-Maurice	02NG001	1919-1998
Bécancour	02PL007	1970-1998
Batiscan	02PA007	1967-1998
Sainte-Anne	02PB037	1979-1981
Portneuf	02PC009	1966-1998
Jacques-Cartier	02PC002	1923-1998
Chaudière	02PJ005	1915-1998
Etchemin	02PH011	1980-1998
Saint-Charles	02PD010	1969-1998

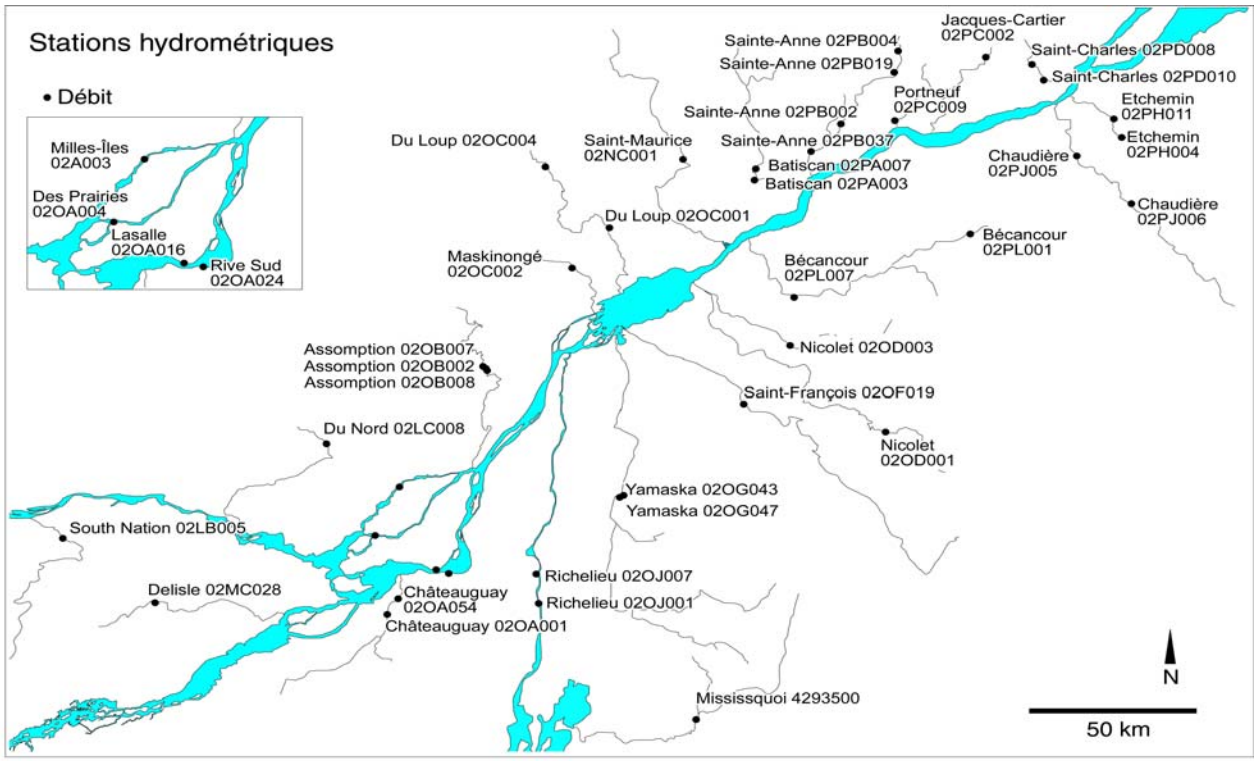

Figure 2 : Localisation des stations hydrométriques utilisées.

Les méthodes utilisées peuvent se résumer de la manière suivante : 1) la liste de toutes les stations hydrométriques disponibles sur les tributaires d'intérêt a été établie (Figure 2). Cet exercice a été effectué à l'aide de la base de données HYDAT complétée de données récentes fournies par le ministère de l'Environnement du Québec (MEQ). Parmi ces stations, celles qui, en vertu de la période mesurée et de leur proximité des stations-témoins utilisées par Morse (1990), étaient susceptibles d'être utilisées pour le travail de reconstitution ont été retenues. Le Tableau 2 présente la liste des autres stations hydrométriques retenues pour la reconstruction des séries de débit.

2) Une analyse de corrélation a ensuite été effectuée entre les séries de données de débit disponibles pour l'ensemble des stations hydrométriques retenues afin d'identifier les relations pouvant être utilisées pour reconstituer les séries de valeurs manquantes. Seules les relations avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0.85 ont été retenues. Par la suite, pour chaque station-témoin sur chaque tributaire, des séries calculées au moyen des équations de régression ont été générées et, lorsque possible, des séries de débit ont aussi été générées en utilisant une station amont sur le même tributaire, corrigée par le rapport des bassins versants drainés. Les différentes séries calculées ont servi pour combler les valeurs manquantes produisant ainsi plusieurs séries reconstituées à chaque station-témoin. Donc, pour chaque tributaire ou station-témoin, plusieurs séries de débit reconstitué étaient disponibles et les distributions statistiques de ces séries ont été comparées avec celles des séries d'origine afin d'évaluer l'adéquation des méthodes de reconstitution pour choisir celle qui produisait les meilleurs résultats. Pour la station Delisle (02MC028), l'absence de relation adéquate et de stations ailleurs sur la rivière nous a obligé à compléter une partie de la série à l'aide de la moyenne interannuelle journalière calculée à partir des données publiées. Cette méthode a aussi été utilisée pour combler les données du mois d'octobre 1998 sur la Yamaska. Les cas de valeurs manquantes isolées ont été réglés par interpolation.

Tableau 2 : Stations retenues pour la reconstitution et les calculs de débit.

Nom	Numéro	Période
des Prairies	02OA004	1922-1998
Mille-Îles	02OA003	1913-1998
LaSalle	02OA016	1955-1998
Niveau d'eau à LaSalle	02OA016	1932-1978
Assomption	02OB001	1915-1972
Assomption	02OB002	1921-1965
Assomption	02OB007	1965-1969
du Loup	02OC001	1923-1965
Nicolet Sud-Ouest	02OD001	1929-1996
Yamaska	02OG002	1929-1998
Châteauguay	02OA001	1920-1971
Yamaska	02OG047	1994-1998
Missisquoi	04293500	1928-1998
Richelieu	02OJ001	1924-1960

Saint-François	02OF002	1924-1998
South Nation	02LB005	1915-1998
Bécancour	02PL001	1921-1968
Batiscan	02PA003	1931-1998
Sainte-Anne	02PB002	1919-1998
Sainte-Anne	02PB019	1965-1998
Sainte-Anne	02PB004	1949-1965
Sainte-Anne	02PB006	1965-1998
Chaudière	02PJ006	1926-1936
Etchemin	02PH004	1927-1979
Saint-Charles	02PD008	1953-1973

2 Reconstitution des Séries de Débit

2.1 LaSalle & Canal de la Rive Sud

La série de données de débits à LaSalle (station 02OA016) s'échelonne de 1955 à 1998 (Figure 3). Une série de mesures de niveau d'eau est aussi disponible à cette station pour la période de 1932 à 1978. Il est donc possible de produire une série de débits pour la période de 1932 à 1955 au moyen de la relation niveau-débit qui est la suivante :

$$Q = A*(WL - C)^B$$

où, A=95.0586498724
B=2.5689817270
C=-4.5575002237
WL = Niveau d'eau en datum local

avec les caractéristiques suivantes : R=0.9999867612, Tolérance=1%, Dispersion=0.1%.

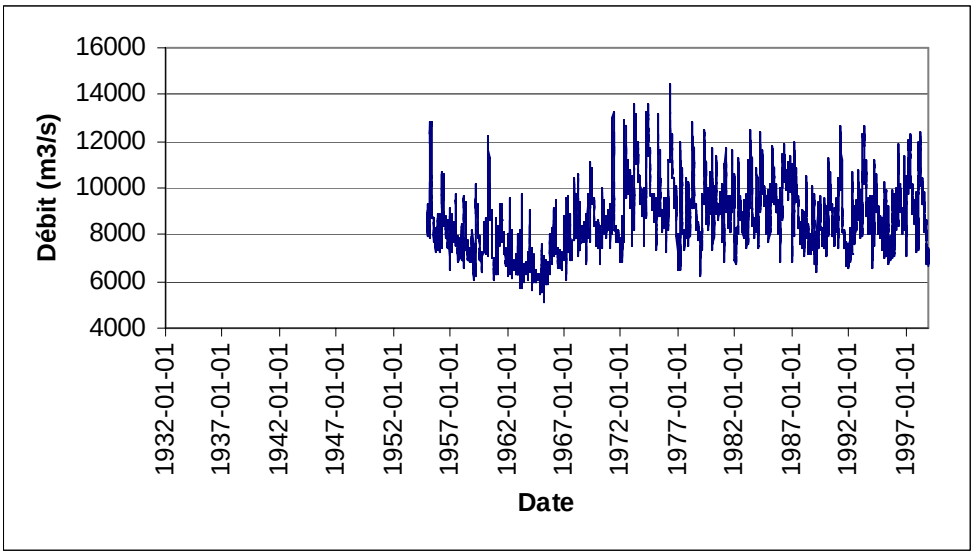

Figure 3 : Débit publié pour la station hydrométrique de LaSalle (02OA016).

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1955 à 1978 donne les résultats suivants : R^2=0.990487, RMSE=141.1397, Relation : Qcalc=0.993*Qpub+61.0756 avec une différence moyenne de -3.03 m^3/s (publié-calculé – Figure 4). Les résultats sont satisfaisants sauf pour les années 1955, 1956 et pour les mois de janvier de 1977 et 1978 où les écarts entre valeurs publiées et calculées sont grands (jusqu'à 2000 m^3/s). Les écarts les plus forts sont en période hivernale (décembre à mars) et sont attribuables aux corrections pour les effets de glace appliqués avant la publication des données. Les caractéristiques de la distribution de la série reconstituée (1932 à 1998) sont pratiquement identiques à celles de la série d'origine (Figure 5).

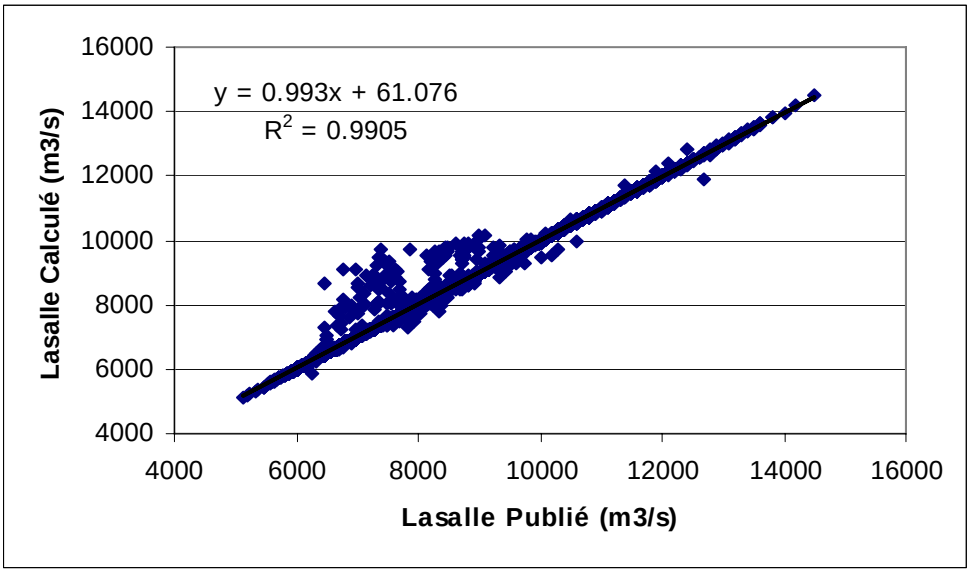

Figure 4 : Débit Calculé vs Débit Publié à LaSalle entre 1955 et 1978.

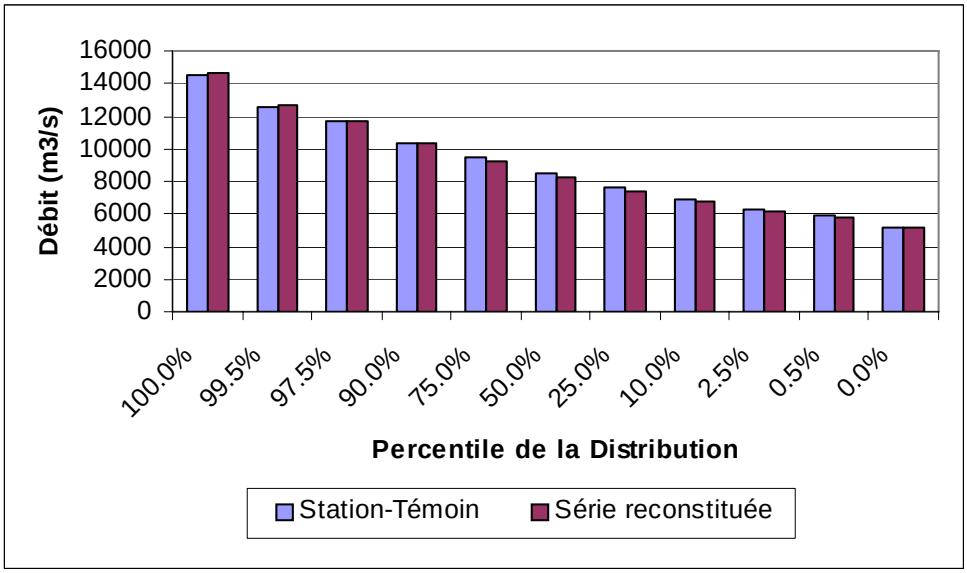

Figure 5 : Caractéristiques des distributions statistiques pour la station-témoin et la série reconstituée.

La série totale comprend les débits publiés entre 1955 et 1998 ainsi que les débits calculés au moyen de la relation niveau-débit pour la période 1932 à 1955 (Figure 6). La série finale compte 24123 données sur une possibilité de 24472. Il y a 349 valeurs manquantes au début de la série, celle-ci débutant au mois de décembre 1932. À part ces valeurs, la série ne comporte pas d'autres valeurs manquantes.

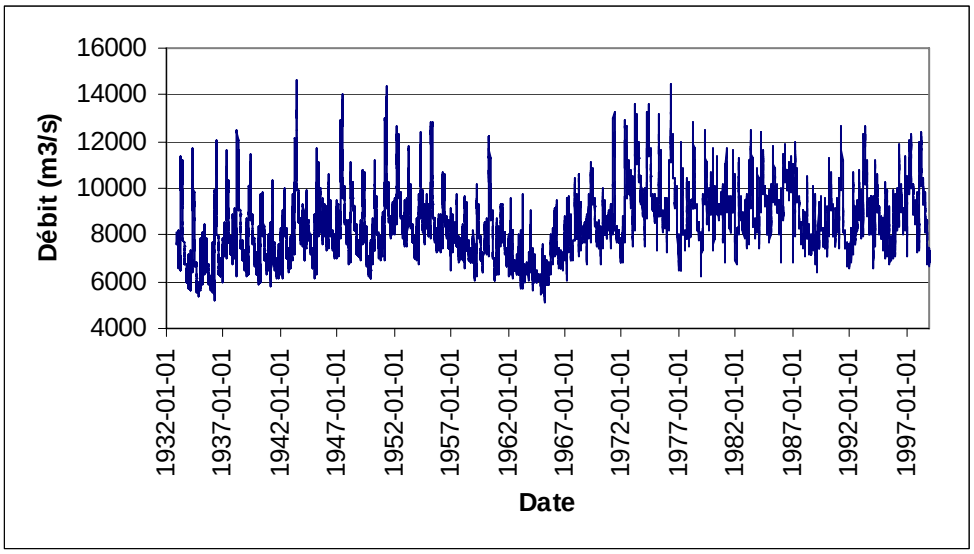

Figure 6 : Série de débits à LaSalle reconstituée de 1932 à 1998.

Aux fins du calcul du débit à Sorel, la série générée pour la station de LaSalle a été combinée à celle du débit transitant par le canal de la Rive Sud qui s'échelonne de 1959 à 1998. Avant l'ouverture de la Voie maritime du Saint-Laurent en 1959, le débit mesuré à LaSalle reflétait le débit total de la section alors qu'à partir de 1959, le débit de la section est représenté par celui de LaSalle plus celui du canal de la Rive Sud. Avant l'addition des deux quantités, les valeurs manquantes de la série du canal de la Rive Sud (82 valeurs manquantes entre 1959 à 1998) ont été reconstituées via interpolation. Cette méthode est valable car les valeurs manquantes étaient isolées et souvent bornées par des valeurs constantes et de façon générale, les débits dans le canal de la Rive Sud tendent à demeurer stables pendant de longues périodes durant l'année (Figure 7). La série complète (Canal Rive Sud + LaSalle) est affichée à la Figure 8.

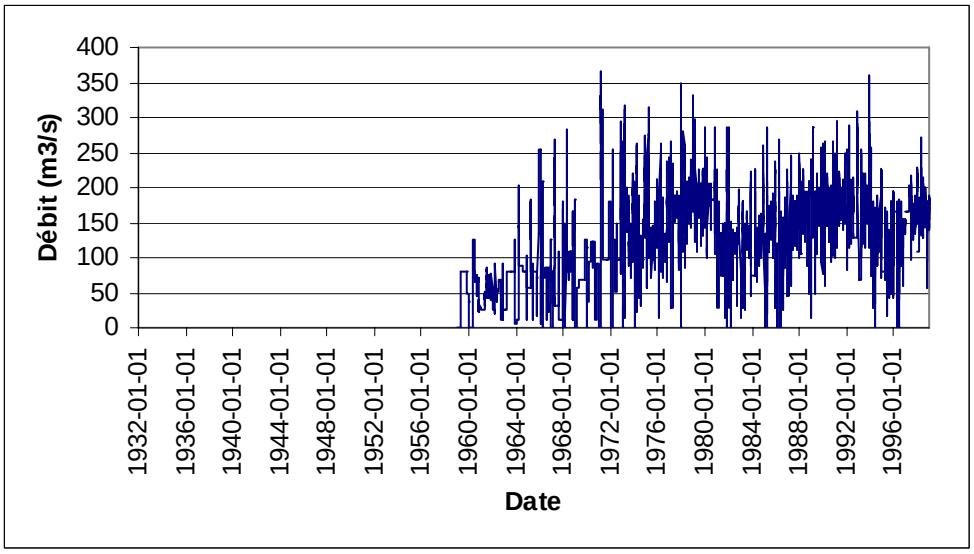

Figure 7 : Débits publiés pour le Canal de la Rive Sud (station 02OA024).

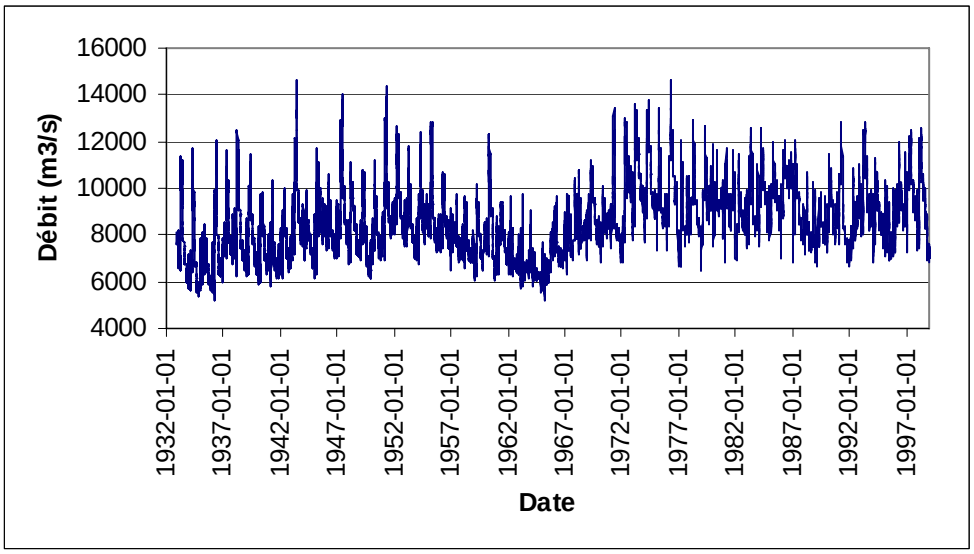

Figure 8 : Débit à LaSalle (1932 à 1998) combiné à celui du Canal de la Rive Sud.

2.2 Assomption

La série de données de débits disponibles pour la station-témoin sur la rivière l'Assomption (02OB008) s'échelonne de 1970 à 1998 (Figure 9). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période allant de 1932 à 1970.

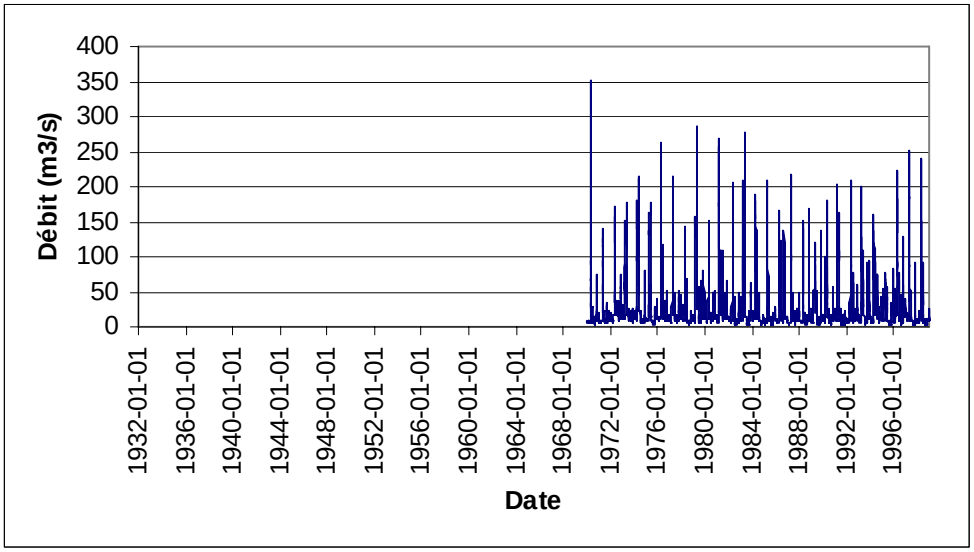

Figure 9 : Débits publiés à la station 02OB008 sur la rivière l'Assomption.

A total, trois méthodes ont été évaluées. La première fait appel à la forte corrélation entre les données de la station 02OB008 et celles de la station 02OC002 sur la rivière Maskinongé (R=0.9527). Le modèle retenu est le suivant :

$$QAssomption = 0.00002 * Qmaskinongé^3 - 0.00026 * Qmaskinongé^2 + 1.02744 * Qmaskinongé + 2.65744$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1970 à 1998 donne les résultats suivants : R^2=0.916634, RMSE=8.916507, Relation : Qcalc=0.95515*Qpub+1.38119 avec une différence moyenne de -0.33007 m^3/s (publié-calculé). Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble. La série totale affichée à la Figure 10 est composée des valeurs calculées entre 1932 et 1970 et des valeurs publiées de 1970 à 1998. Cette série comporte 2 valeurs manquantes pour les 11 et 12 avril 1973 qui ont été comblées par interpolation.

La deuxième méthode servant à générer la période pré-1970 fait intervenir la station 02OB001 (rivière Assomption à Saint-Côme) pour laquelle des données de débit ont été publiées de 1915 à 1972. Les données pré-1970 pour la station 02OB008 ont été générées par rapport de bassin versant. La superficie drainée par la station 02OB008 est de 1340 km^2 alors que celle drainée à la station 02OB001 est de 549 km^2. Le rapport utilisé est donc de 2,441. La série reconstituée apparaît à la Figure 11. On note que la méthode de reconstitution produit des débits de crue plus élevés dans les années 1930 et 1940 comparativement aux résultats produits par la première méthode.

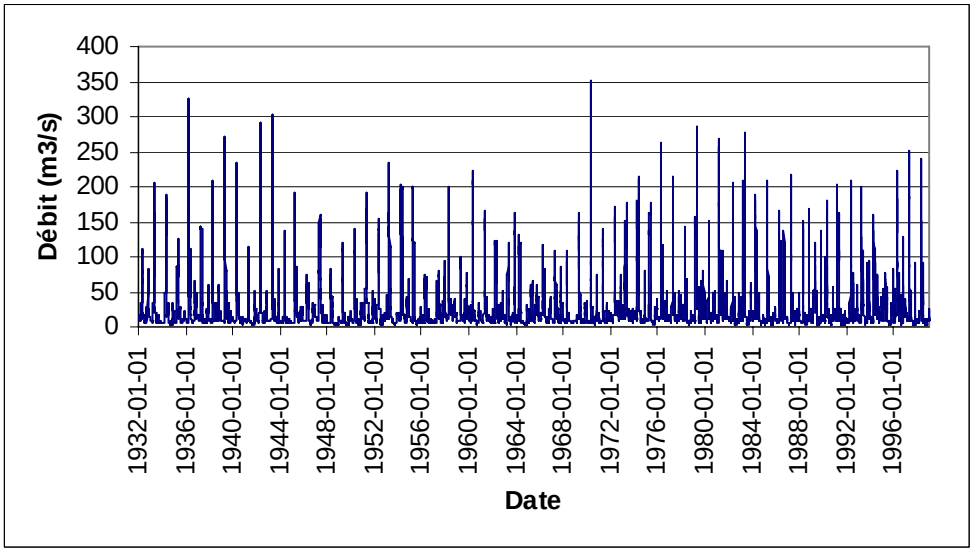

Figure 10 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 1.

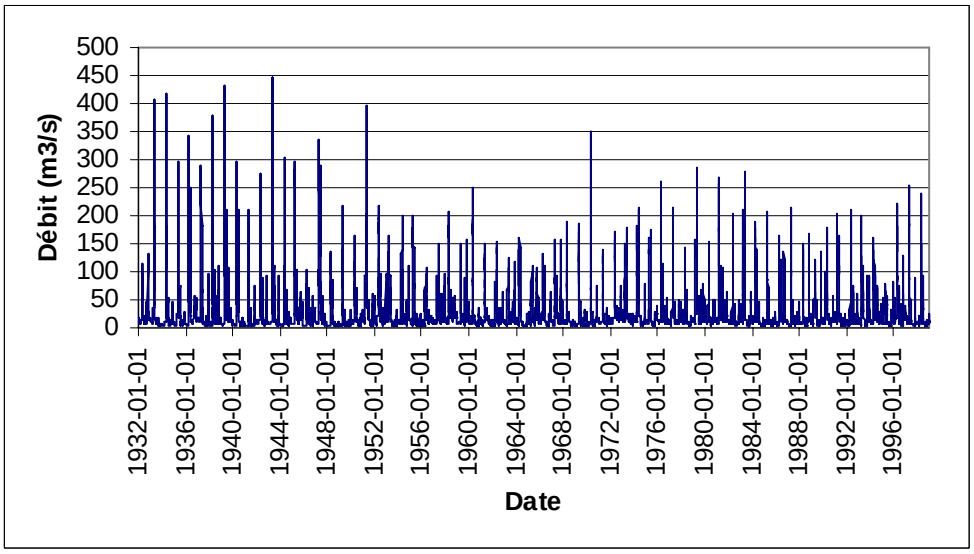

Figure 11 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 2.

La troisième méthode fait encore intervenir des stations sur la rivière l'Assomption situées à proximité de la station d'intérêt. Aucune correction de bassin versant n'est nécessaire car les stations drainent la même superficie de territoire. La méthode consiste donc à générer la période 1932 à 1965 à partir de la station 02OB002 (l'Assomption à Joliette No1) et la période de 1965 à 1969 à partir de la station 02OB007 (l'Assomption à Joliette No 2). La série de débits ainsi reconstituée apparaît à la Figure 12.

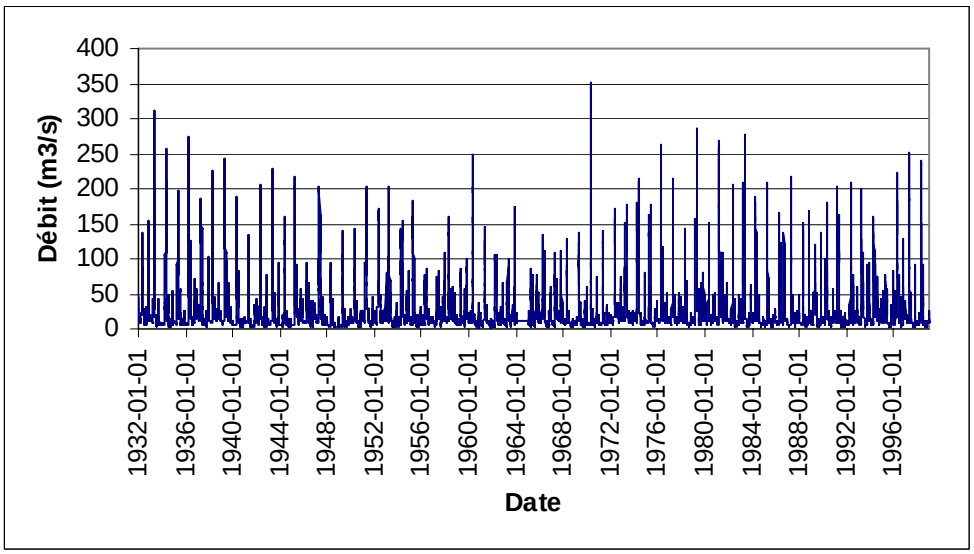

Figure 12 : Série totale de débits sur l'Assomption reconstituée avec la méthode 3.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière l'Assomption, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OB008) avec les distributions des séries totales générées avec les trois méthodes (Figure 13). La méthode 3 a été retenue car, en plus de présenter une distribution statistique similaire à celle des données de la station-témoin (02OB008), elle possède aussi l'avantage de faire intervenir des données publiées à des sites à proximité de la station-témoin.

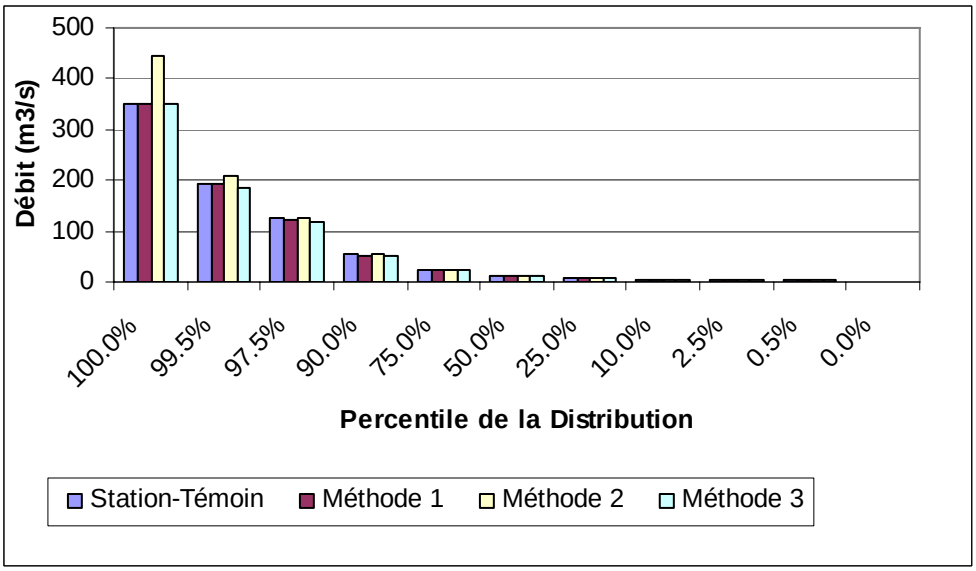

Figure 13 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

2.3 Du Loup

La série de données publiées à la station-témoin, soit la 02OC004, s'échelonne de 1965 à 1998 (Figure 14). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1965. Pour cela, 2 méthodes ont été évaluées.

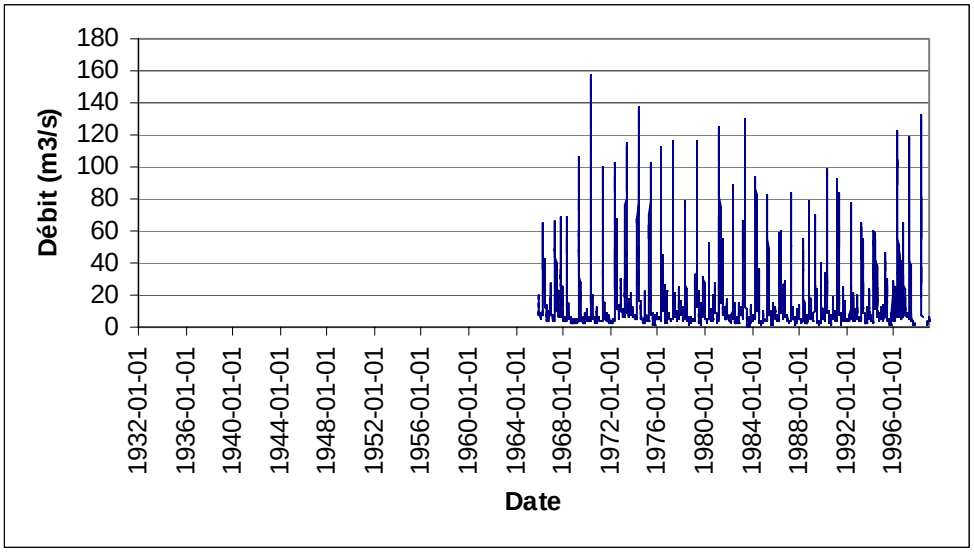

Figure 14 : Débits publiés à la station 02OC004 sur la rivière du Loup de 1965 à 1998.

La première méthode fait intervenir la forte corrélation des débits de la rivière du Loup avec ceux de la rivière Maskinongé (station 02OC002 - R=0.9280). Le modèle retenu est le suivant :

$$QduLoup = 0.00149 * Qmaskinongé^2 + 0.44757 * Qmaskinongé + 2.36749$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1965 à 1998 donne les résultats suivants : R^2=0.869575, RMSE=5.29459, Relation : Qcalc=0.86922*Qpub+1.59708 avec une différence moyenne de +0.002131 m^3/s (publié-calculé). Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble (série reconstituée - Figure 15). La série, composée des valeurs calculées entre 1932 et 1965 et des valeurs publiées entre 1965 et 1998, compte un total de 303 valeurs manquantes disposées de façon à ce qu'on ne puisse utiliser l'interpolation comme méthode de remplacement. La méthode retenue pour combler ces valeurs, positionnées exclusivement après 1970, fait appel à la relation entre les débits de la rivière du Loup et ceux de la rivière l'Assomption (station 02OB008 - R=0.9195). Le modèle retenu est le suivant :

$$QduLoup = 0.48466 * QAssomption + 1.01725$$

Ce modèle possède les caractéristiques suivantes : R^2=0.845502, RMSE=6.082836, Relation : Qcalc=0.8455*Qpub+1.99012 avec une différence moyenne de -0.00001 m^3/s (publié-calculé). La série présentée à la Figure 15 est donc composée des valeurs calculées entre 1932 et 1965, des valeurs mesurées entre 1965 et 1998 et de 303 valeurs manquantes estimées à partir de la relation

avec la rivière l'Assomption. À noter, il n'était pas possible de reconstituer les débits de la rivière du Loup totalement en utilisant la station 02OB008 (Assomption) car cette dernière série s'échelonne seulement de 1970 à 1998.

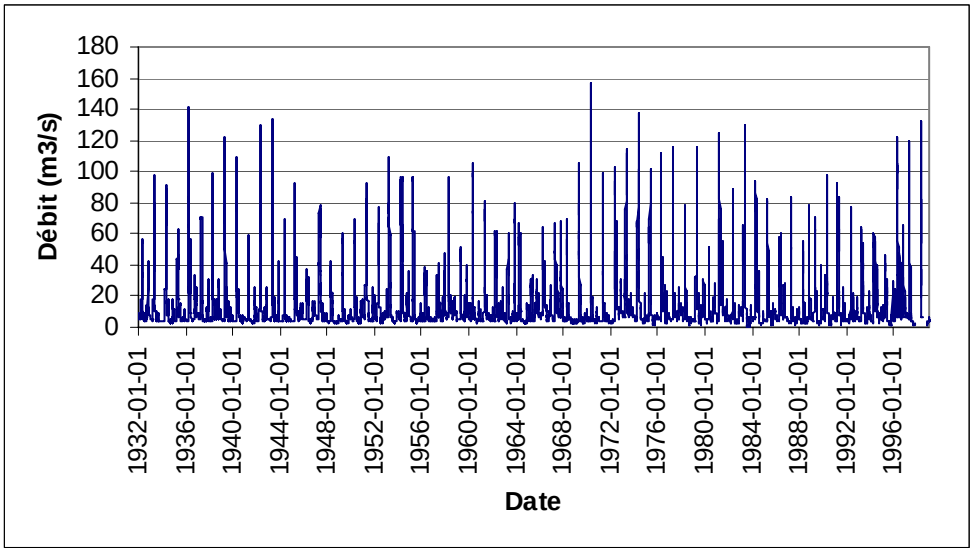

Figure 15 : Série totale de débits sur la rivière du Loup reconstituée avec la méthode 1.

La deuxième méthode servant à générer la période pré-1965 fait intervenir la station 02OC001 (rivière du Loup à Saint-Paulin) située en aval de la station d'intérêt (02OC004) et pour laquelle des données de débit ont été publiées de 1923 à 1965. Les données pré-1965 pour la station 02OC004 ont été générées par rapport de bassin versant. La superficie drainée par la station 02OC004 est de l'ordre de 774 km^2 alors que celle drainée à la station 02OC001 est de 1380 km^2. Le rapport utilisé est donc de 0,561. La Figure 16 présente la série de débits reconstitués incluant les débits calculés entre 1932 et 1965, les débits mesurés de 1965 à 1998 et les valeurs manquantes estimées à partir de la relation avec la rivière l'Assomption.

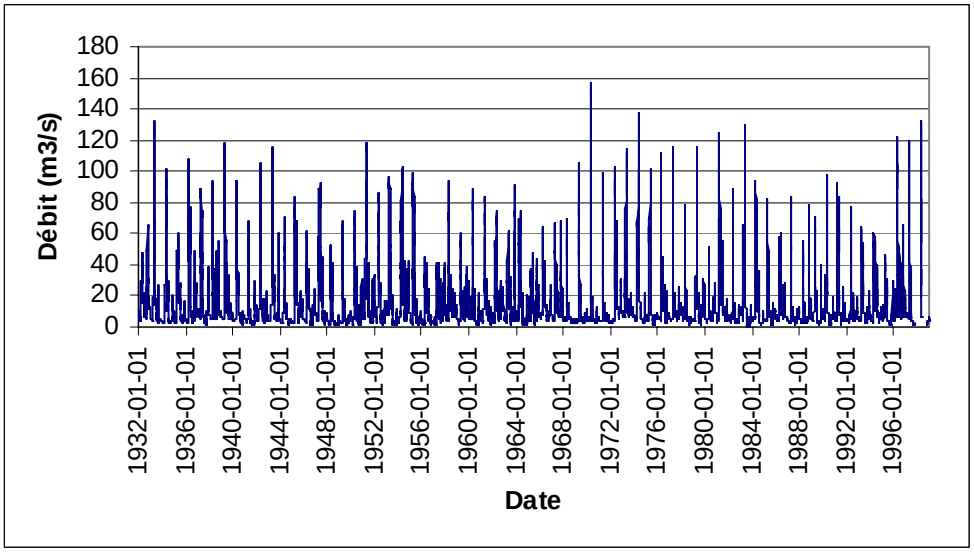

Figure 16 : Série totale de débits sur la rivière du Loup reconstituée avec la méthode 2.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière du Loup, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OC004) avec les distributions des séries totales générées avec les deux méthodes (Figure 17). La méthode 2 a été retenue car elle produit une série dont la distribution ressemble plus fortement à celle des données publiées. La Figure 18 illustre la relation entre le débit calculé au moyen du rapport de bassin versant avec la station 02OC001 et le débit publié. Comme la période disponible pour la comparaison est courte, on ne dispose que de 50 valeurs ce qui peut expliquer une partie de la dispersion évidente dans la figure. La gamme des débits pour les points servant à la comparaison n'est que de 7 à 20 m^3/s, ce qui est faible. Les caractéristiques de la relation sont les suivantes : R^2=0.673682, RMSE=2.738377, Qcalc=1.00913*Qpub+1.15582, différence moyenne de –1.26341 m^3/s (publié-calculé). La Figure 19 illustre la relation entre le débit calculé au moyen du modèle de régression avec la station 02OB008 et le débit publié discutée plus tôt dans la section.

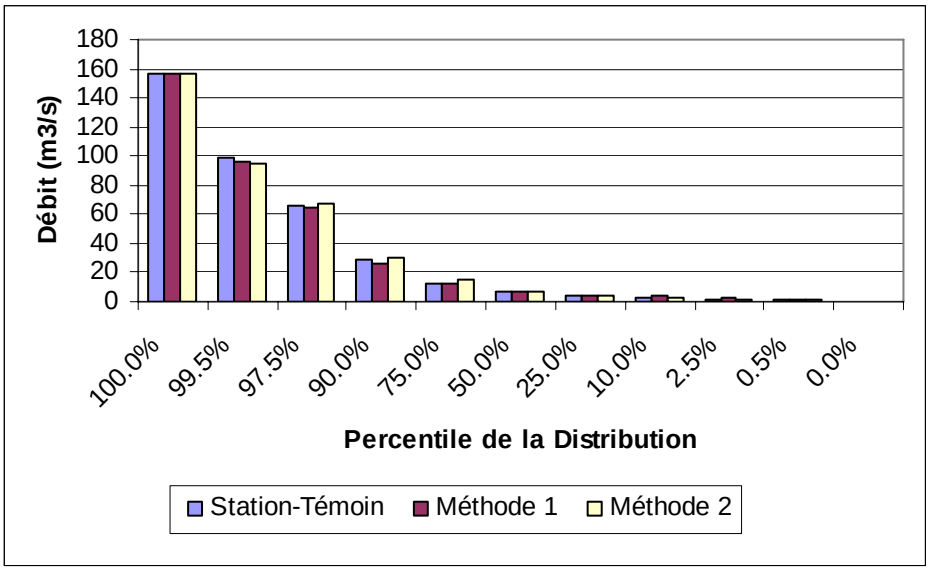

Figure 17 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

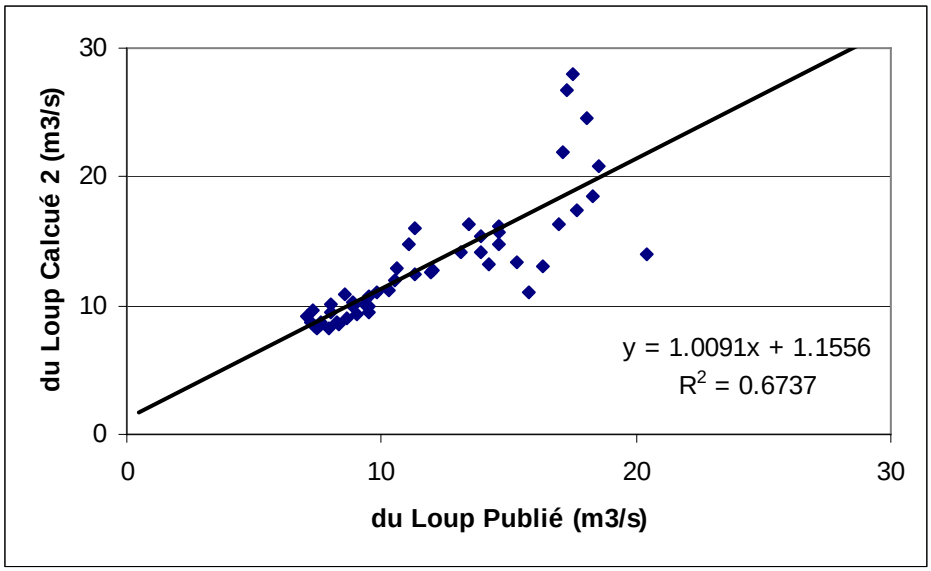

Figure 18 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OC001 et des débits publiés à la station-témoin.

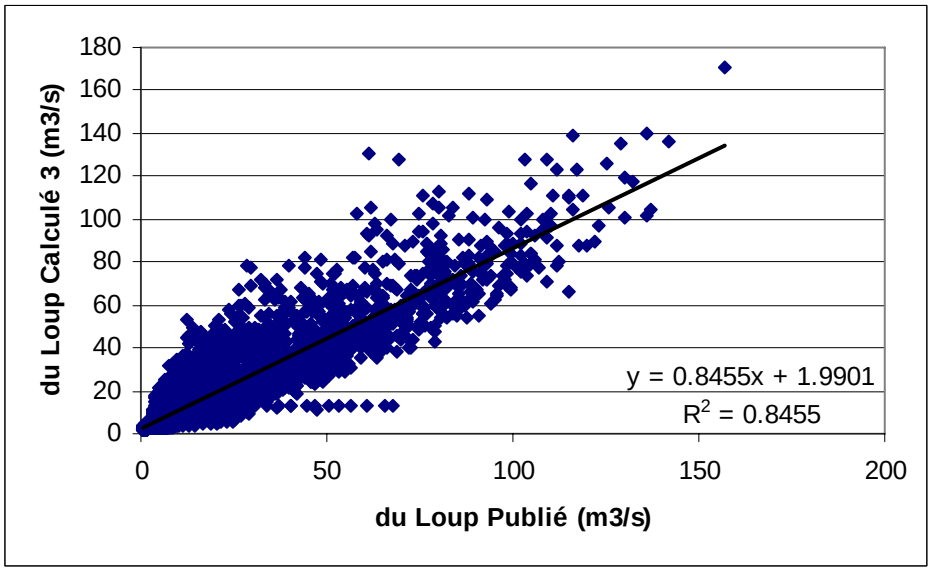

Figure 19 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02OB008 et des débits publiés à la station-témoin.

2.4 Nicolet

La série de données publiées pour la station d'intérêt (02OD003) s'échelonne de 1966 à 1998 (Figure 20). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1966. Pour ce faire 2 méthodes ont été évaluées.

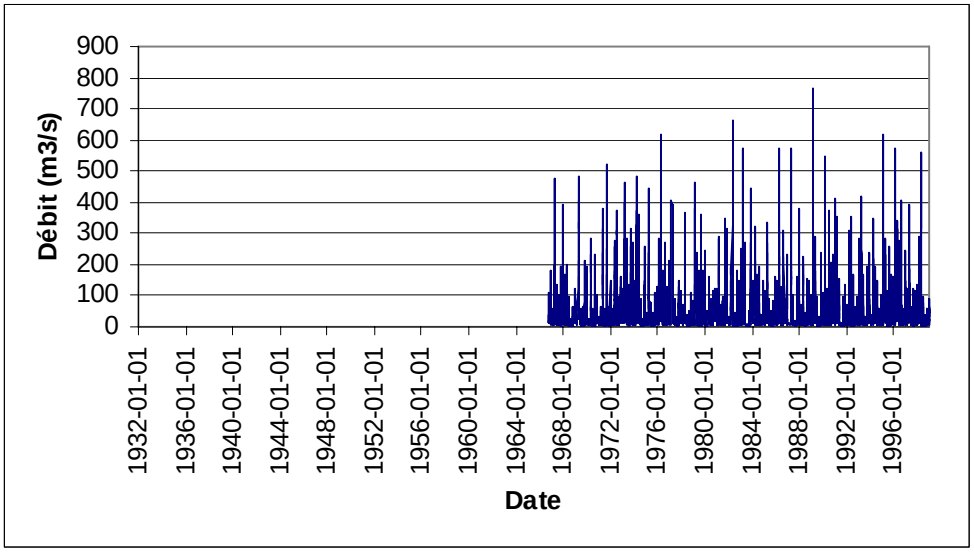

Figure 20 : Débits publiés à la station 02OD003 sur la rivière Nicolet de 1966 à 1998.

La première méthode repose sur la forte corrélation entre les débits de la Nicolet (station 02OD003) et ceux de la rivière Nicolet Sud-Ouest (02OD001 - R=0.8982). Le modèle retenu est le suivant :

$$Qnicolet = 2.52123 * Qnicoletsudouest + 2.76786$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1966 à 1995 donne les résultats suivants : R^2=0.806747, RMSE=21.10891, Relation : Qcalc=0.80675*Qpub+6.48689 avec une différence moyenne de -0.00004 m^3/s (publié-calculé). Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble la série totale ne comportant pas de valeurs manquantes (Figure 21).

La deuxième méthode servant à générer la période pré-1966 fait encore intervenir la station 02OD001 située en amont de la station d'intérêt (02OD003) et pour laquelle des données de débit ont été publiées de 1929 à 1995. Les données pré-1966 pour la station 02OD003 ont été générées par rapport de bassin versant. La superficie drainée par la station 02OD003 est de l'ordre de 1540 km^2 alors que celle drainée à la station 02OD001 est de 549 km^2. Le rapport utilisé est donc de 2,805. La série reconstituée apparaît à la Figure 22.

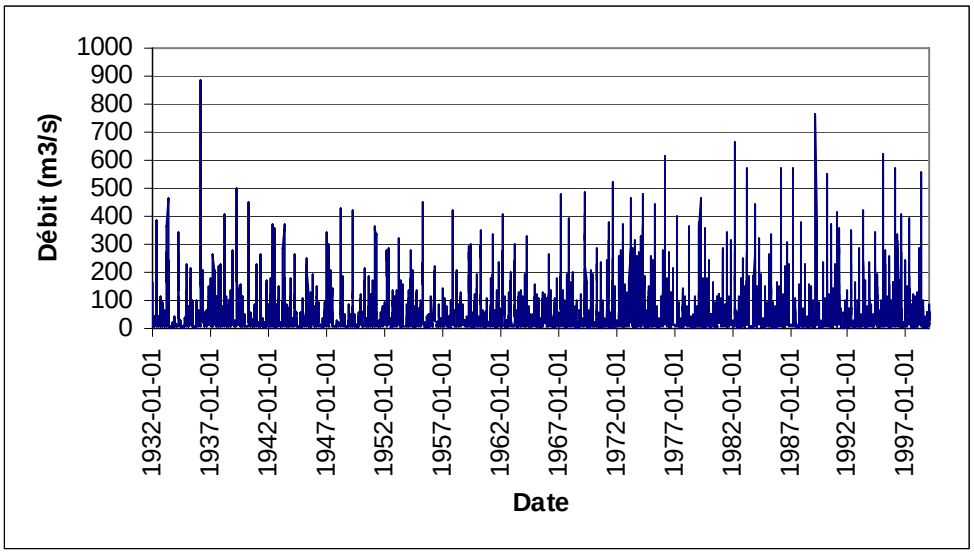

Figure 21 : Série totale de débits sur la Nicolet reconstituée avec la méthode 1.

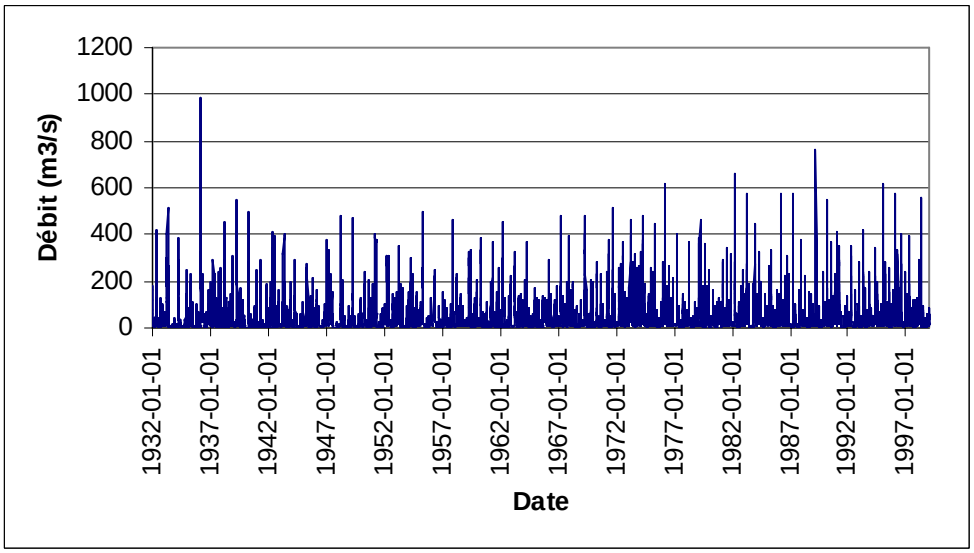

Figure 22 : Série totale de débits sur la Nicolet reconstituée avec la méthode 2.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière Nicolet, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OD003) avec les distributions des séries totales générées avec les deux méthodes (Figure 23). Les deux méthodes se sont révélées équivalentes mais la préférence va à la méthode 2 qui produit une série dont la moyenne et l'écart type sont plus près de ceux de la série d'origine et ce, même si cette méthode produit un débit maximal plus fort comparativement à la série de données pour la station-témoin. La Figure 24 illustre la relation entre le débit calculé selon la méthode 2 et le débit publié. Ses caractéristiques sont les suivantes : R^2=0.806747, RMSE=23.48477, Qcalc=0.89755*Qpub+4.13762 avec une différence moyenne de –0.69867 m^3/s (publié-calculé).

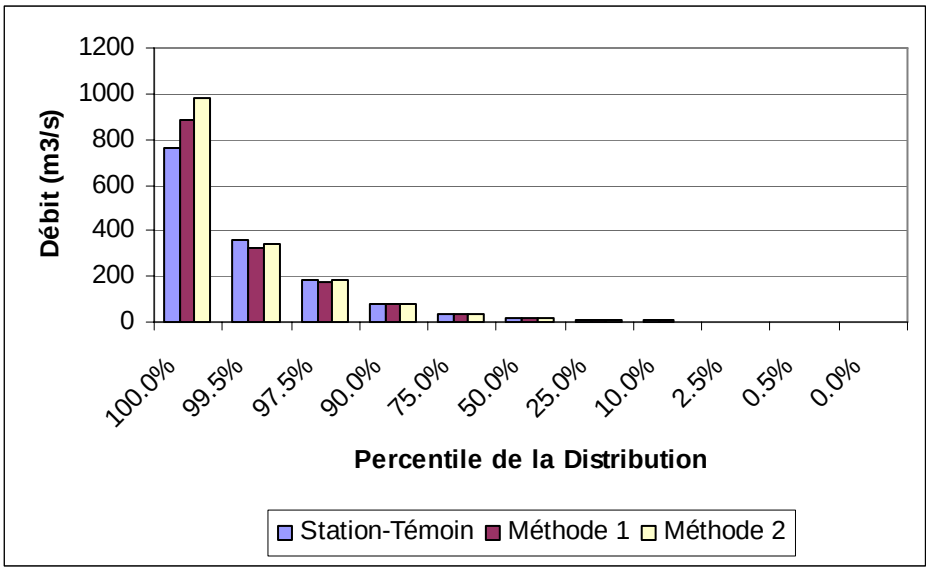

Figure 23 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

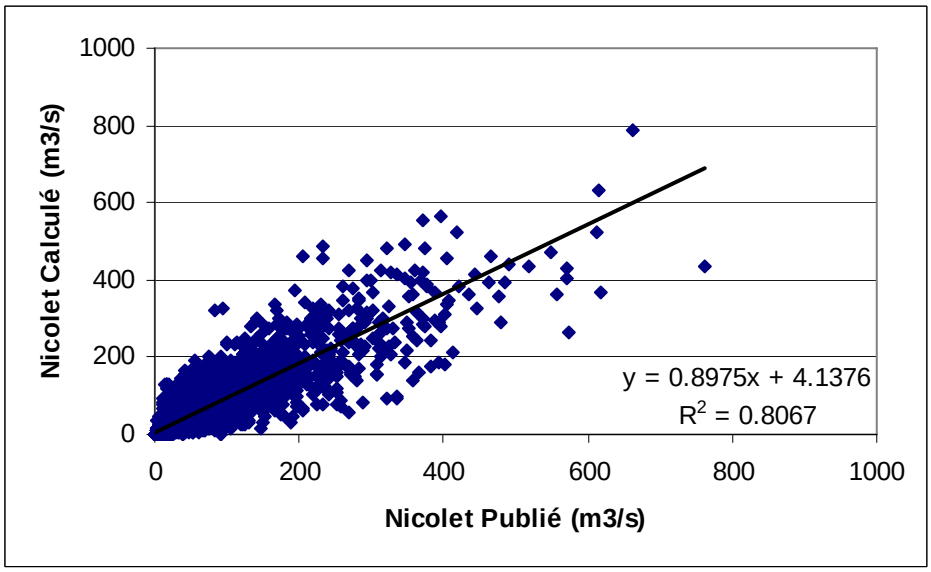

Figure 24 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OD001 et des débits publiés à la station-témoin.

2.5 Châteauguay

La série de données publiées pour la station-témoin (02OA054) s'échelonne de 1970 à 1998 (Figure 25). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1970. Pour ce faire, 2 méthodes ont été évaluées.

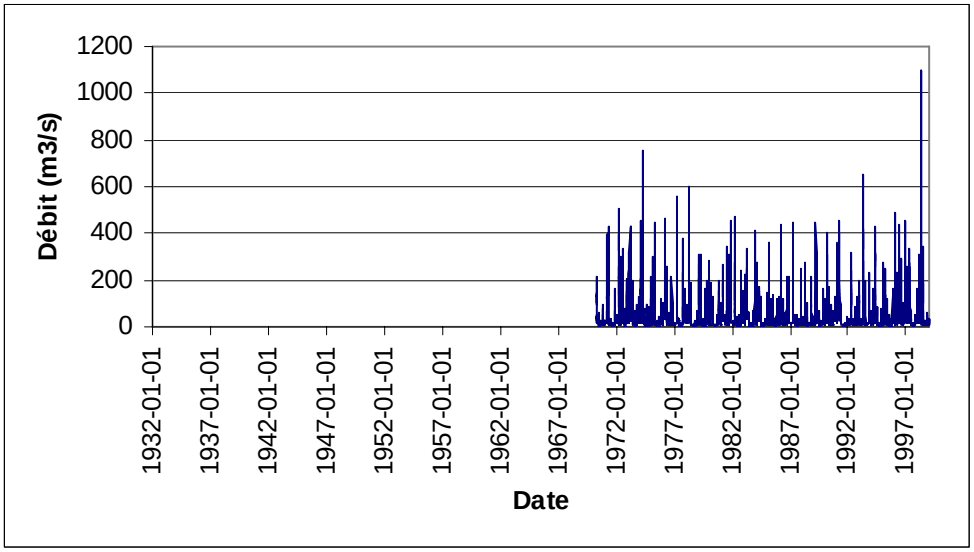

Figure 25 : Débits publiés à la station 02OA054 sur la rivière Châteauguay de 1970 à 1998.

La première méthode repose sur la forte corrélation entre les débits de la Châteauguay (station 02OA054) et ceux de la rivière Yamaska à Farnham (02OG002 - R=0.8396). Le modèle retenu est le suivant :

$$QChateauguay = 1.43149 * QYamaskaFarnham + 1.22539$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1970 à 1995 donne les résultats suivants : R^2=0.704854, RMSE=26.62683, Relation : Qcalc=0.70485*Qpub+10.8547 (différence moyenne = -0.00004 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont de qualité moyenne dans l'ensemble la série totale comportant 3827 valeurs manquantes en raison de la période de données manquantes entre 1955 et 1965 dans la série de débits de la station de Yamaska, Farnham (Figure 26).

La deuxième méthode utilisée pour générer la période pré-1970 fait intervenir la station 02OA001 située en amont de la station-témoin (02OA054) et pour laquelle des données de débit ont été publiées de 1920 à 1971. Les données pré-1970 pour la station 02OA054 ont été générées par rapport de bassin versant. La superficie drainée par la station 02OA054 est de 2490 km^2 alors que celle drainée à la station 02OA001 est de 2460 km^2. Le rapport utilisé est donc de 1,012. Les résultats sont de très bonne qualité dans l'ensemble (R^2 = 0.94008 entre publié et calculé, N=627) la série totale comportant seulement 25 valeurs manquantes (Figure 27). En raison de la dispersion de ces valeurs manquantes au travers de la série (petits trous), celles-ci ont été comblées au moyen d'interpolation.

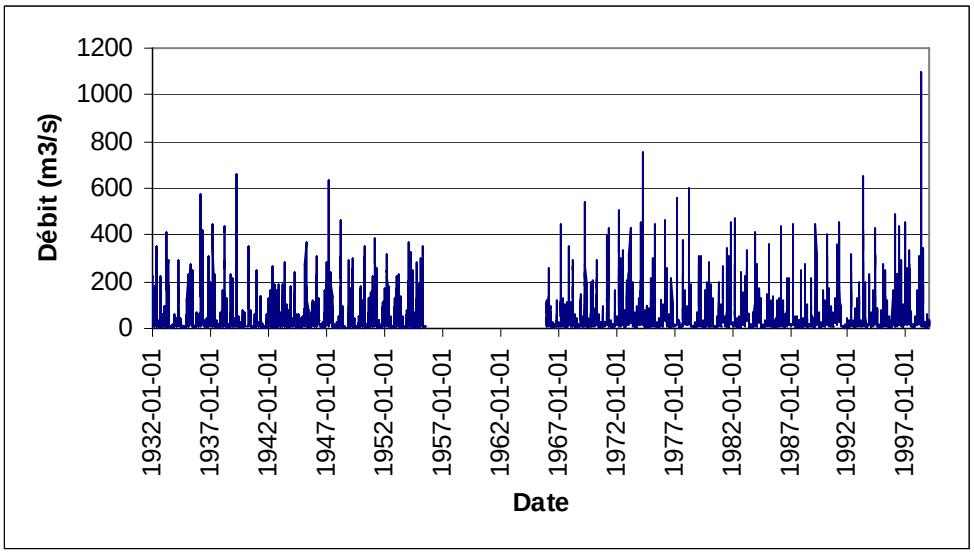

Figure 26 : Série totale de débits sur la Châteauguay reconstituée avec la méthode 1.

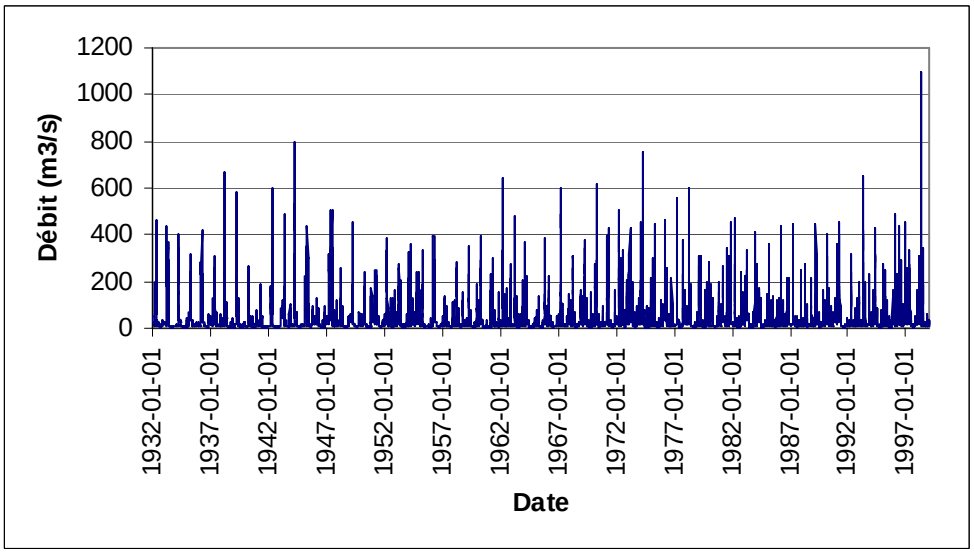

Figure 27 : Série totale de débits sur la Châteauguay reconstituée avec la méthode 2.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière Châteauguay, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OA054) avec les distributions des séries totales générées avec les deux méthodes (Figure 28). La deuxième méthode est nettement supérieure à la première sous tous les aspects (variabilité, homogénéité) et elle a donc été retenue pour l'analyse subséquente. La relation entre les débits calculés avec la station 02OA001 et ceux de la station-témoin est présentée à la Figure 29. Les caractéristiques de la relation sont les suivantes : R^2=0.94008, RMSE=19.44477, Qcalc=1.28991*Qpub+0.15638 avec une différence moyenne de –9.5897 m^3/s (publié-calculé).

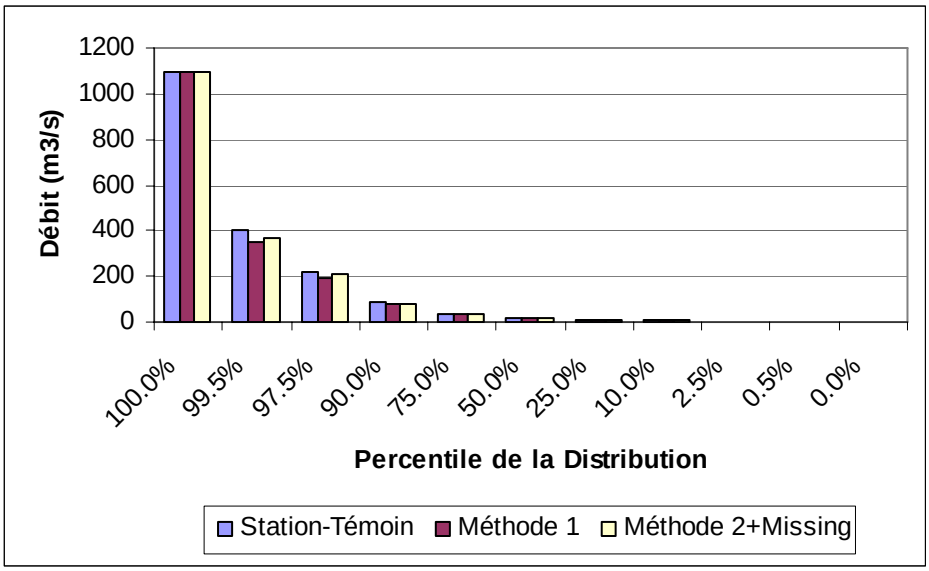

Figure 28 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

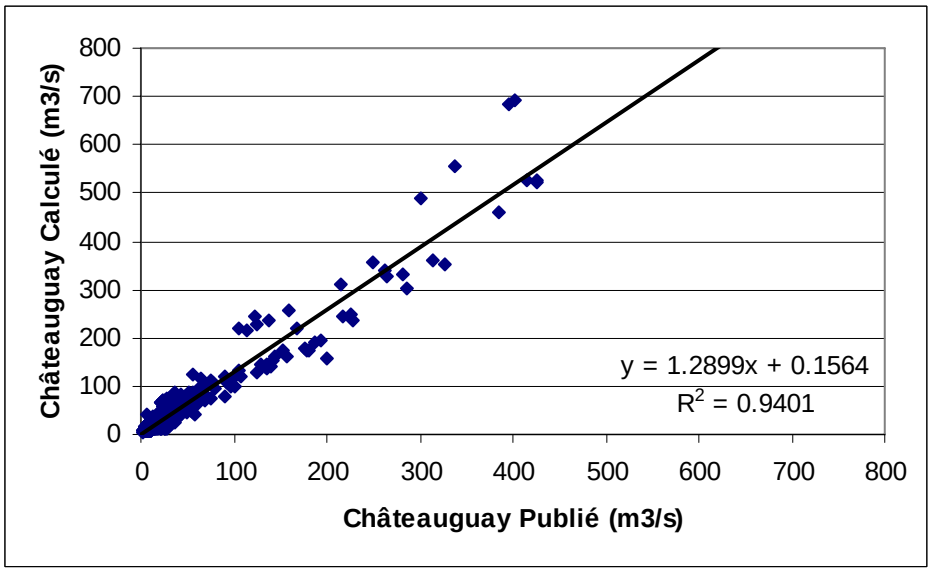

Figure 29 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02OA001 et des débits publiés à la station-témoin.

2.6 Yamaska

La série de données de débits disponibles pour la station-témoin (02OG043) s'échelonne de 1983 à 1994 (Figure 30). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1983 et pour la période de 1994 à 1998.

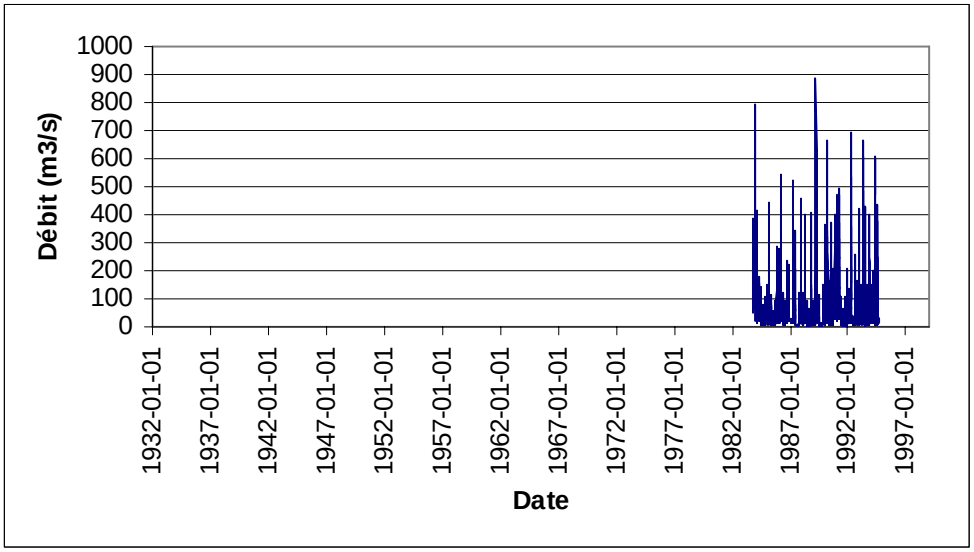

Figure 30 : Débits publiés à la station 02OG043 sur la Yamaska de 1983 à 1994.

En tout, trois méthodes ont été évaluées. La première fait appel à la forte corrélation entre les données de la station 02OG043 et celles de la station 02OG002 (Farnham) située en amont (R=0.9472). Le modèle retenu est le suivant :

$$QYamaska = 2.39156 * QFarnham - 3.303$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1983 à 1994 donne les résultats suivants : R^2=0.897185, RMSE=24.54965, Relation : Qcalc=0.89718*Qpub+5.34501 (différence moyenne de 0.000022 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats ne sont cependant pas utilisables car la relation illustrée ci-haut donne lieu à des débits négatifs (Figure 31). La série totale, composée des valeurs calculées entre 1932 et 1983, des valeurs publiées de 1983 à 1994 et des valeurs calculées à partir de la station 02OG047 (Yamaska) corrigée avec le rapport de superficies de bassin versant de 0.994 pour la période de 1994 à 1998, comporte 4290 valeurs manquantes. La majorité des valeurs manquantes provient d'un trou de 10 ans présent dans la série de Farnham.

La deuxième méthode pour générer la période pré-1983 fait encore intervenir la station 02OG002 située en amont de la station d'intérêt (02OG043) et pour laquelle des données de débit ont été publiées de 1929 à 1995. Les données pré-1983 pour la station 02OG043 ont été générées par rapport de superficies de bassin versant. La superficie drainée par la station 02OG043 est de l'ordre de 3310 km^2 alors que celle drainée à la station 02OG002 est de 1230 km^2. Le rapport utilisé est donc de 2,691. La série de 1994 à 1998 a été générée de la même façon que dans la méthode 1 au moyen de la station 02OG047 corrigée avec le facteur 0,994 (rapport de bassin

versant). Les résultats sont de qualité moyenne dans l'ensemble (Figure 32) la série totale comportant quelques 4290 valeurs manquantes (série de données manquantes à la station de Farnham - 02OG002).

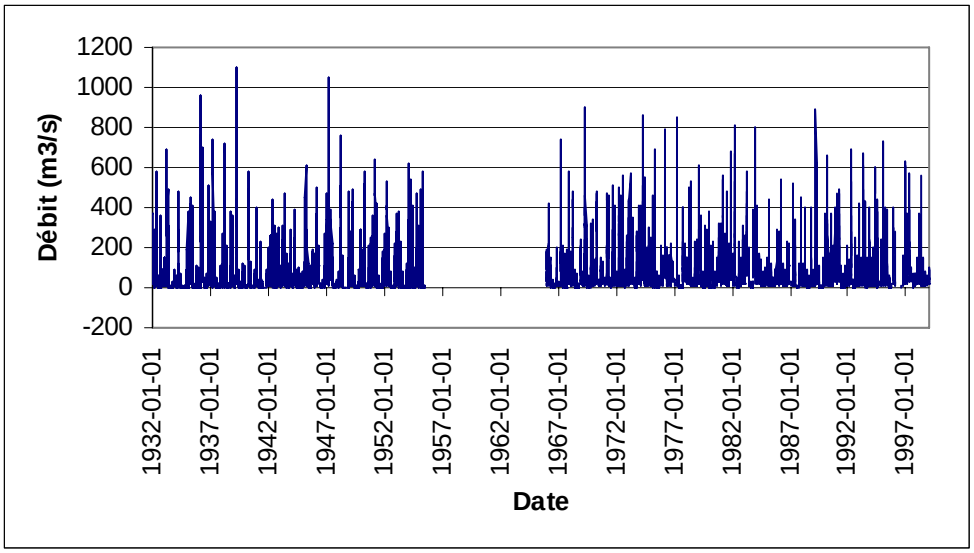

Figure 31 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 1.

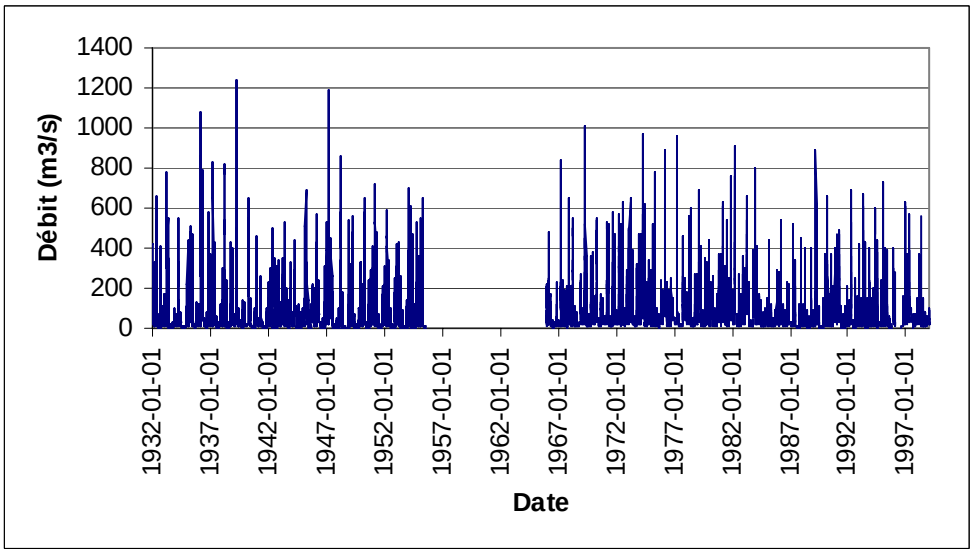

Figure 32 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 2.

La troisième méthode est basée sur la forte corrélation entre les données de la station 02OG043 et celles de la station 04293500 du USGS (Missisquoi River Near East Berkshire - R=0.850). Le modèle retenu est le suivant :

$$QYamaska = 1.8585 * QMissisquoi + 1.03061$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1983 à 1994 donne les résultats suivants : R^2=0.721953, RMSE=36.54602, Relation : Qcalc=0.72195*Qpub+14.5728 (différence moyenne de 0.000005 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble (Figure 33). La série totale, composée des valeurs calculées entre 1932 et 1983, des valeurs publiées de 1983 à 1994 et des valeurs calculées à partir de la station 02OG047 corrigée avec le rapport de superficies de bassin versant de 0.994 pour la période de 1994 à 1998, comporte 478 valeurs manquantes. Or, 449 valeurs manquantes ont été remplacées au moyen des valeurs calculées à partir de la relation linéaire avec la Missisquoi. Les 29 valeurs manquantes restantes ont été remplacées par la moyenne interannuelle journalière de la station-témoin (02OG043). On ne pouvait utiliser l'interpolation dans ce cas, les valeurs manquantes étant concentrées au même endroit dans la série.

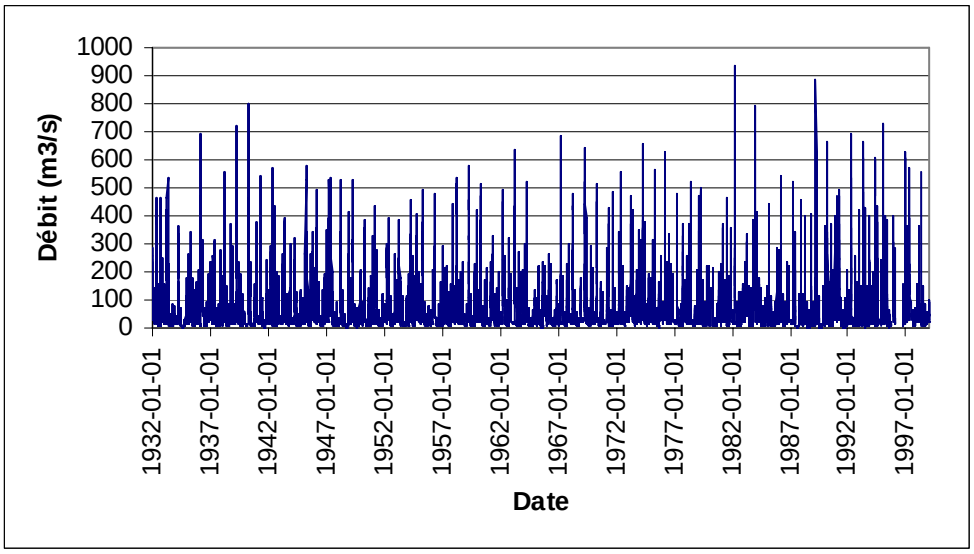

Figure 33 : Série totale de débits sur la rivière Yamaska reconstituée avec la méthode 3.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière Yamaska, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OG043) avec les distributions des séries totales générées avec les trois méthodes (Figure 34). La troisième méthode est préférable sous tous les aspects. La relation entre les débits calculés avec la station sur la rivière Missisquoi et ceux de la station-témoin, discutée plus tôt dans la présente section, est présentée à la Figure 35.

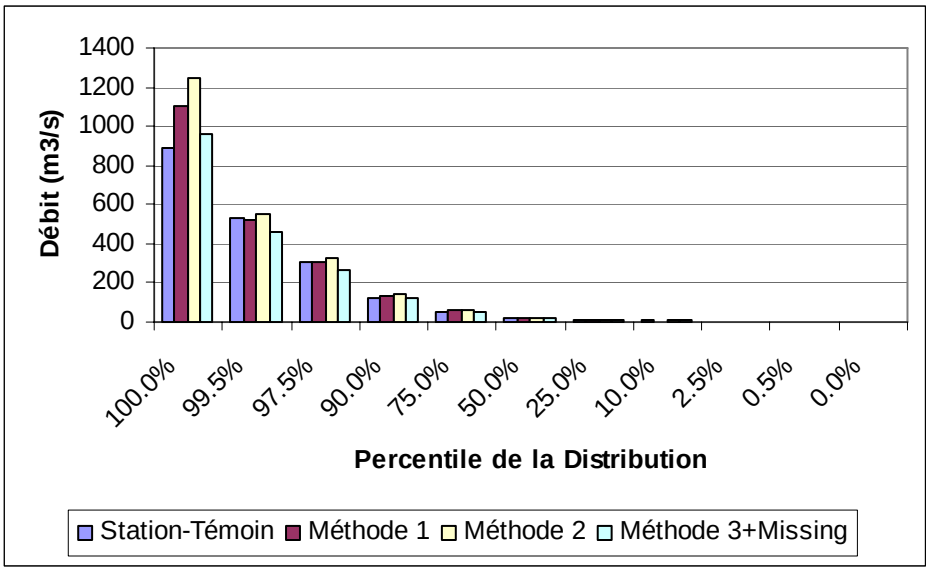

Figure 34 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

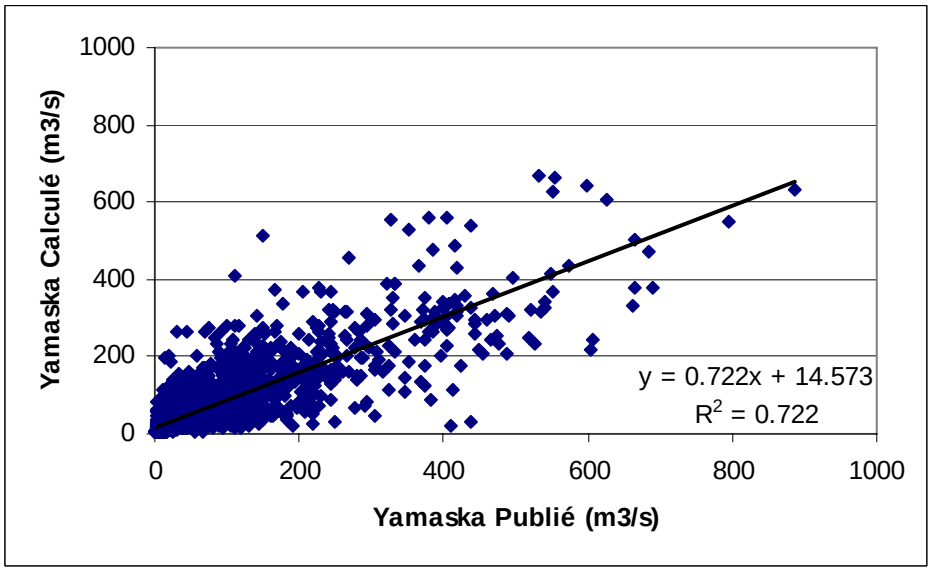

Figure 35 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la Missisquoi et des débits publiés à la station-témoin.

2.7 Richelieu

La série de données publiées pour la station-témoin (02OJ007) s'échelonne de 1937 à 1998 (Figure 36). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1937. Pour ce faire, 2 méthodes ont été évaluées.

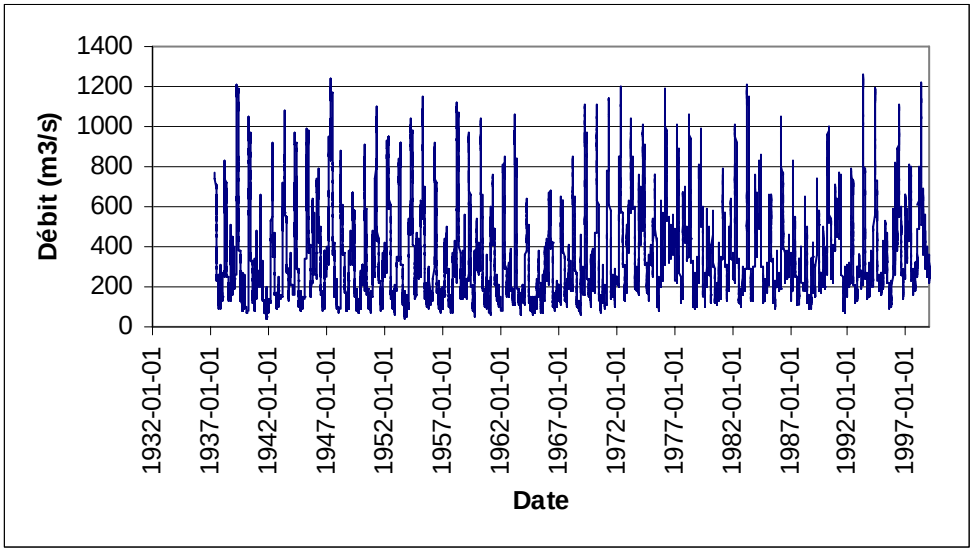

Figure 36 : Débits publiés à la station 02OJ007 sur la rivière Richelieu de 1937 à 1998.

La première méthode consiste à utiliser les débits publiés à la station 02OJ001 (Richelieu, Saint-Jean) directement pour compléter la série de données de 1932 à 1937 à la station 02OJ007. Cette méthode est justifiable car les deux stations drainent la même superficie de territoire et elles sont fortement corrélées (R=0.993). La série ainsi reconstituée apparaît à la Figure 37.

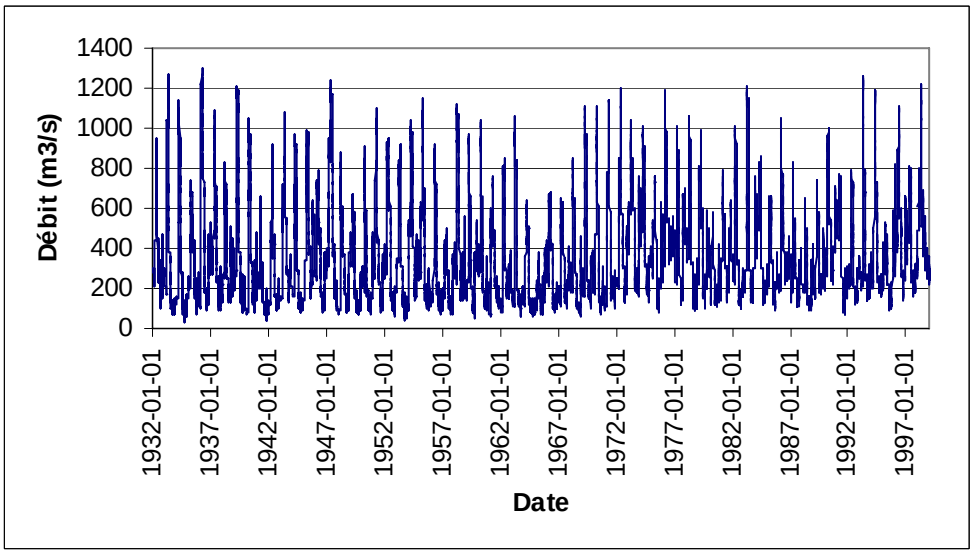

Figure 37 : Série totale de débits sur la rivière Richelieu reconstituée avec la méthode 1.

La deuxième méthode repose sur la forte corrélation entre les débits de la station 02OJ007 et ceux de la station 02OJ001 (Richelieu à Saint-Jean - R=0.993). Le modèle retenu est le suivant :

$$QRichelieu = 1.00545 * QRichelieuStJean + 6.21997$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1937 à 1960 donne les résultats suivants : R^2=0.985369, RMSE=28.51091, Relation : Qcalc=0.98537*Qpub+4.74934 (différence moyenne de 0.000296 - Publié-Calculé). Les résultats sont d'excellente qualité dans l'ensemble (Figure 38) la série totale comportant 8 valeurs manquantes qui ont été remplacées au moyen d'interpolation.

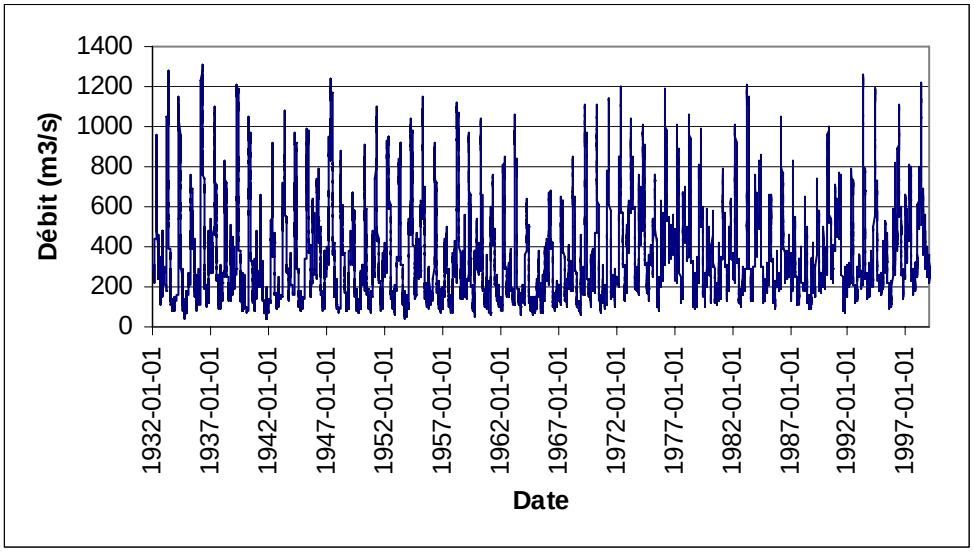

Figure 38 : Série totale de débits sur la rivière Richelieu reconstituée avec la méthode 2.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière Richelieu, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OJ007) avec les distributions des séries totales générées avec les deux méthodes (Figure 39). La deuxième méthode est préférable car, en termes de variabilité, elle produit des résultats plus près de ceux affichés par la station cible (02OJ007). La relation entre les débits calculés par régression avec la station 02OJ001 (Richelieu, Saint-Jean) et ceux de la station-témoin, discutée ci-haut, est présentée à la Figure 40.

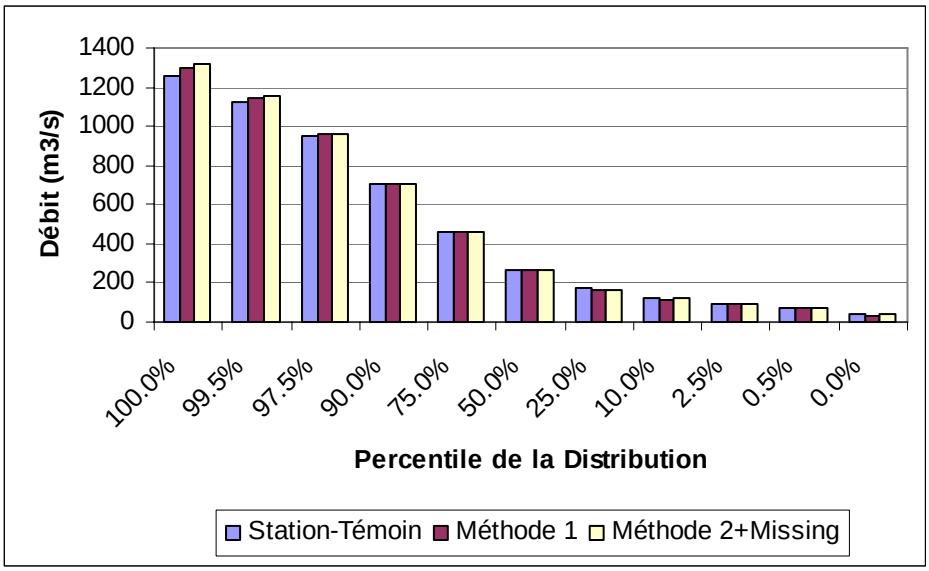

Figure 39 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

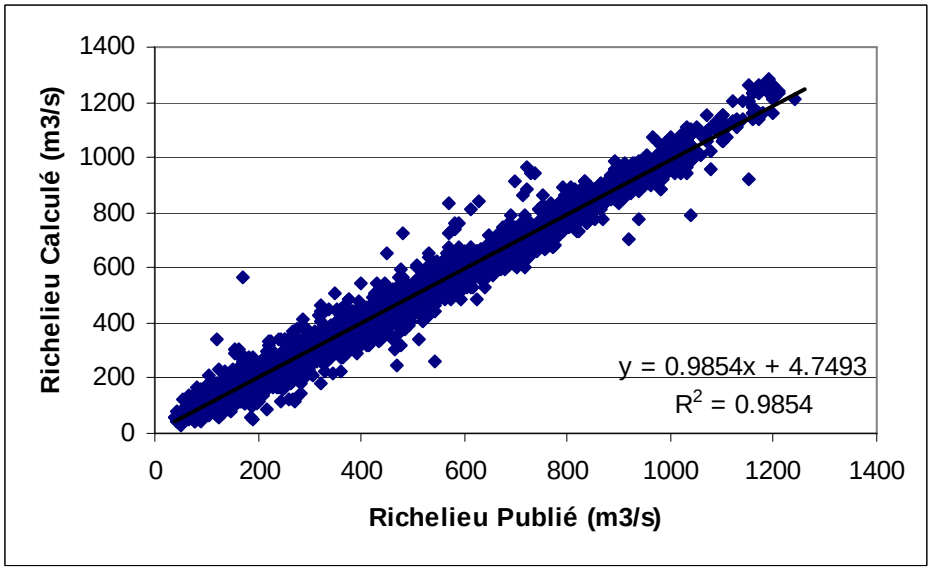

Figure 40 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station de Saint-Jean et des débits publiés à la station-témoin.

2.8 Saint-François

La série de données publiées pour la station-témoin (02OF019) s'échelonne de 1972 à 1998 (Figure 41). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1972. Pour ce faire, deux méthodes ont été évaluées.

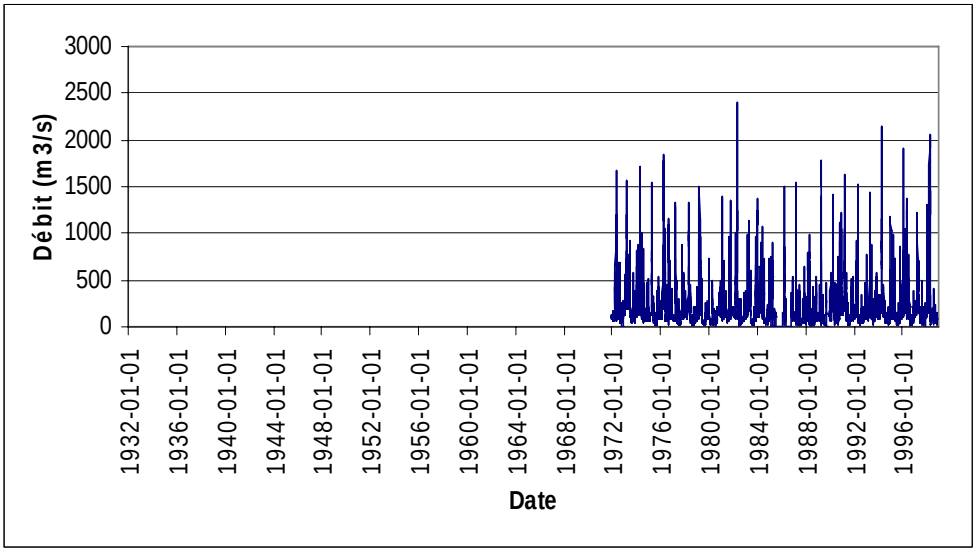

Figure 41 : Débits publiés à la station 02OF019 sur la rivière Saint-François de 1972 à 1998.

La première méthode repose sur la forte corrélation entre les débits de la station 02OF019 et ceux de la station 02OD001 (Nicolet Sud-Ouest - R=0.8576). Le modèle retenu est le suivant :

$$QStFrancois = 0.00003 * QNicoletSO^3 - 0.03033 * QNicoletSO^2 + 12.945 * QNicoletSO + 57.4032$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1972 à 1996 donne les résultats suivants : R^2=0.748848, RMSE=98.68665, Relation : Qcalc=0.74902*Qpub+50.8129 (différence moyenne de -0.01014 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont de bonne qualité dans l'ensemble (Figure 42) la série totale comportant 252 valeurs manquantes situées au sein de la série de données de la station-témoin. Ces valeurs manquantes ont été remplacées par les valeurs calculées au moyen de la relation exposée ci-haut.

La deuxième méthode consiste à reconstituer la période de 1932 à 1972 à partir de la station Saint-François à Hemmings Falls (02OF002) qui est située en amont au moyen du rapport de superficies de bassins versants (9630 km^2 - 02OF019 et 9610 km^2 - 02OF002) qui est de 1,002. La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1972 à 1996 donne les résultats suivants : R^2=0.939505, RMSE=55.72992, Relation : Qcalc=0.9612*Qpub+17.6978 (différence moyenne de -9.81618 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont de bonne qualité dans l'ensemble (Figure 43) bien que la série totale comporte 252 valeurs manquantes.

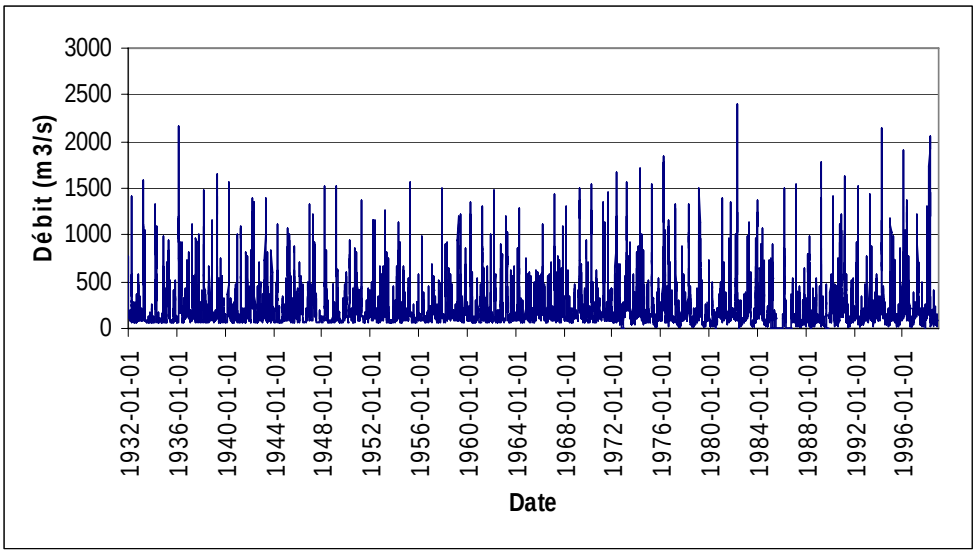

Figure 42 : Série totale de débits sur la rivière Saint-François reconstituée avec la méthode 1.

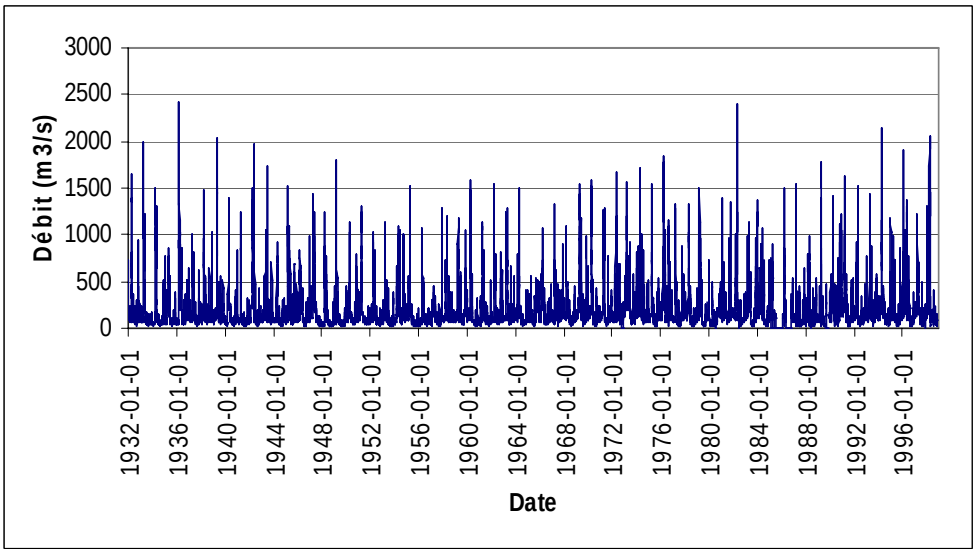

Figure 43 : Série totale de débits sur la rivière Saint-François reconstituée avec la méthode 2.

Afin de déterminer la meilleure méthode de reconstitution de données sur la rivière Saint-François, nous avons comparé la distribution statistique des données d'origine (données publiées à la station 02OF019) avec les distributions des séries totales générées avec les deux méthodes (Figure 44). Les deux méthodes sont bonnes mais la première est meilleure en termes de distribution statistique comparativement aux données de la station cible. La relation entre les débits calculés avec la station de Nicolet Sud-Ouest et ceux de la station-témoin, discutée plus tôt dans la section, est présentée à la Figure 45.

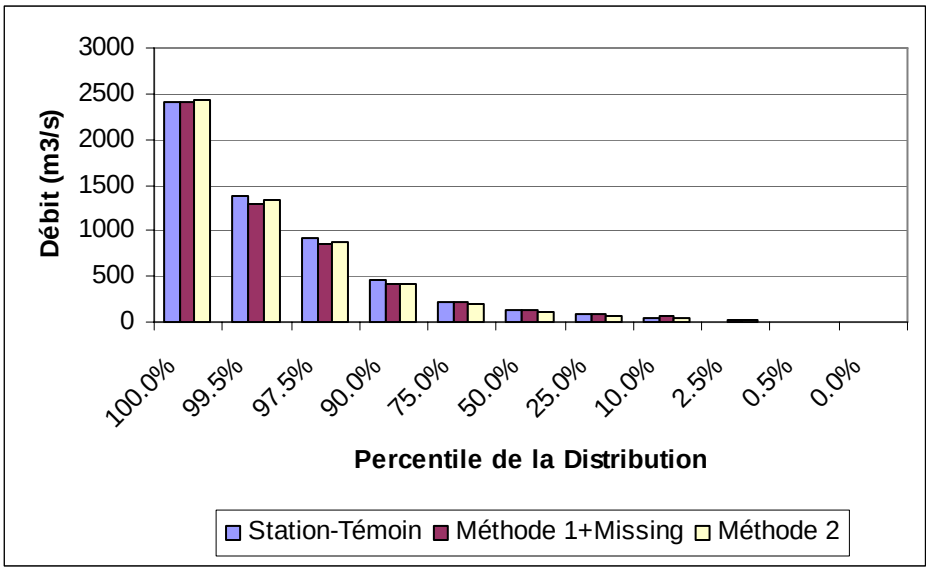

Figure 44 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

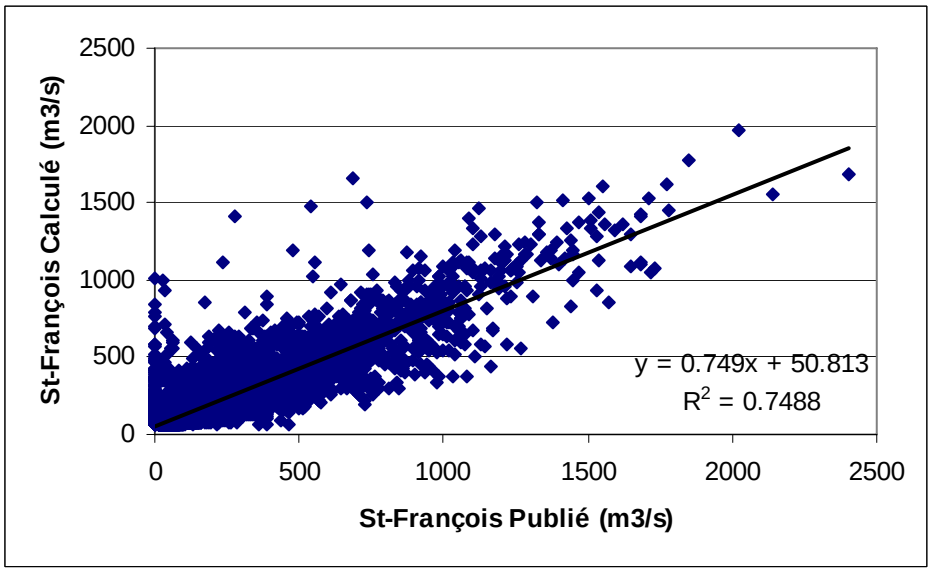

Figure 45 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station de Nicolet Sud-Ouest et des débits publiés à la station-témoin.

2.9 Delisle

La série de données publiées pour la station-témoin (02MC028) s'échelonne de 1985 à 1998 (Figure 46). L'objectif est donc de reconstituer une série pour la période de 1932 à 1985. Pour ce faire, une seule méthode a été retenue, les stations corrélées à la Delisle et possédant des séries de données suffisamment longues étant rares.

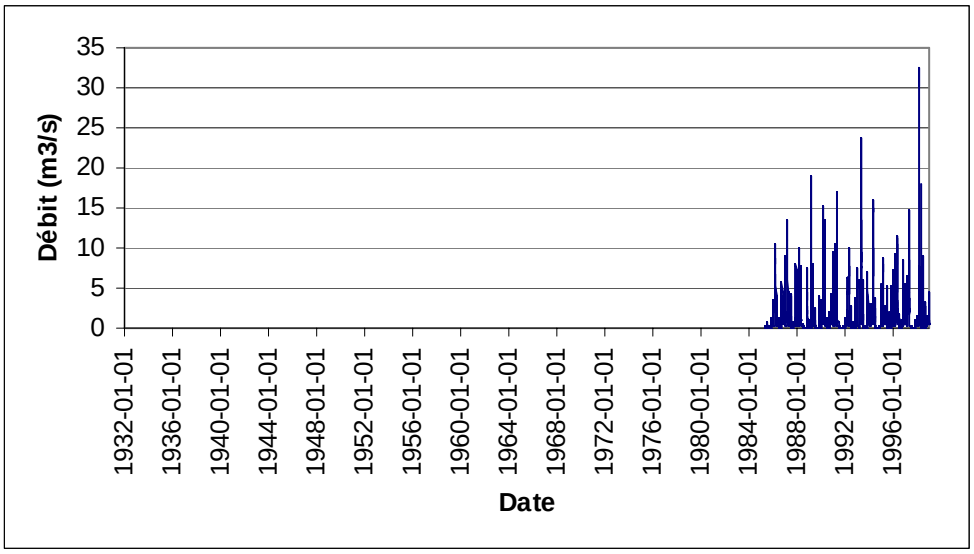

Figure 46 : Débits publiés à la station 02MC028 sur la rivière Delisle de 1985 à 1998.

La méthode repose sur la forte corrélation entre les débits de la station 02MC028 et ceux de la station 02LB005 (South Nation River near Plantagenet Springs - R=0.9382) pour laquelle des données de débit sont disponibles de 1915 à 1996. Le modèle retenu est le suivant :

$$QDelisle = 0.02107 * QSouthNation + 0.08985$$

La comparaison des débits calculés et publiés pour la période de 1985 à 1996 donne les résultats suivants : R^2=0.880154, RMSE=0.624882, Relation : Qcalc=0.88015*Qpub+0.12152 (différence moyenne de 0.000007 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont de bonne qualité dans l'ensemble (Figure 47) la série totale comportant cependant 2566 valeurs manquantes. Ces valeurs manquantes, correspondant au fait que la South Nation River a été opérée de façon saisonnière à la fin des années 1930 et durant les années 1940, ont été comblées au moyen de la moyenne journalière interannuelle calculée pour la station 02MC028.

La Figure 48 illustre la même série que ci-dessus, mais avec les valeurs manquantes remplacées par la moyenne interannuelle des débits de la station 02MC028 sur la Delisle. La comparaison des distributions des diverses séries (station-témoin, reconstituée, reconstituée avec valeurs manquantes remplacées) indique une forte similitude entre les données d'origine et les données reconstituées (Figure 49). La relation entre les débits calculés avec la station sur la South Nation et ceux de la station-témoin, discutée ci-haut, est présentée à la Figure 50.

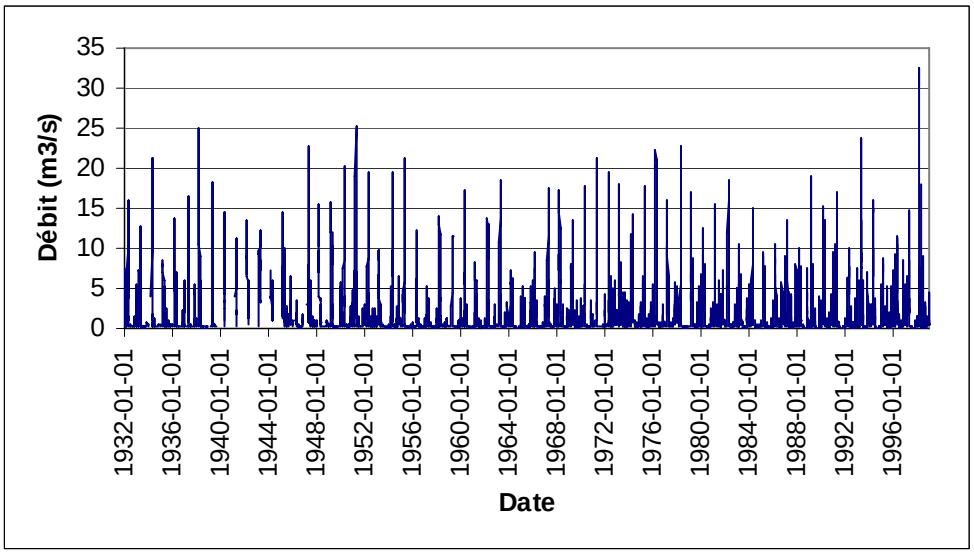

Figure 47 : Série totale de débits sur la rivière Delisle.

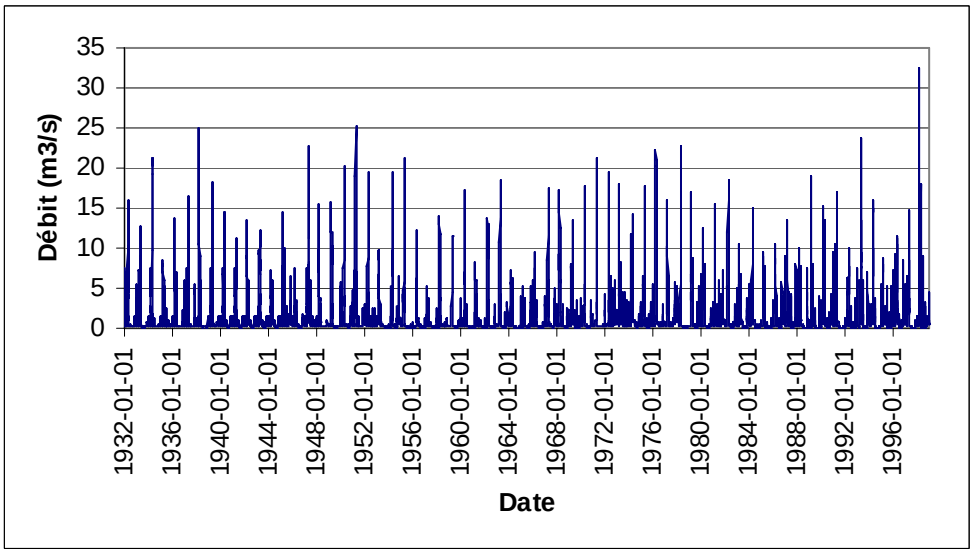

Figure 48 : Série totale de débits sur la rivière Delisle avec valeurs manquantes remplacées par la moyenne interannuelle journalière de la station-témoin.

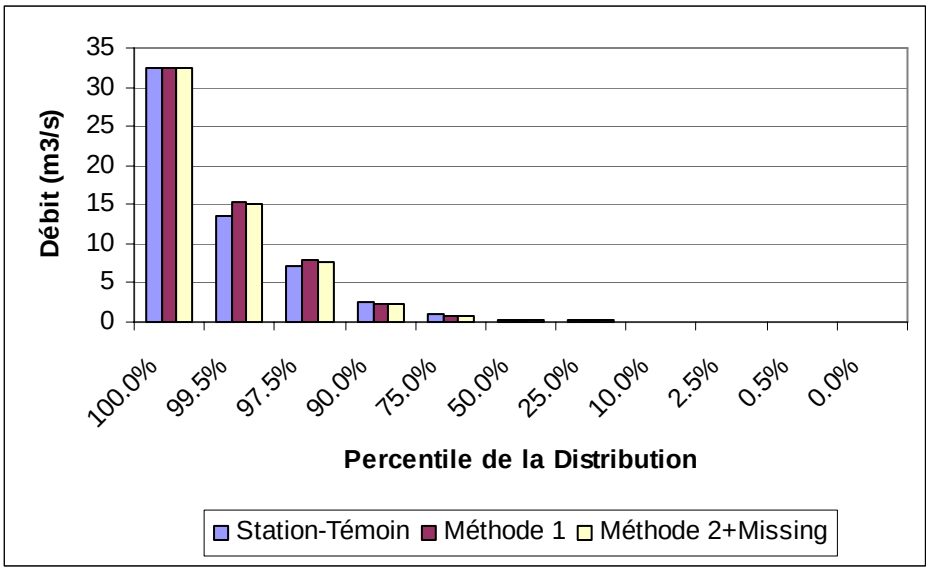

Figure 49 : Distribution statistique des données d'origine et des séries reconstituées.

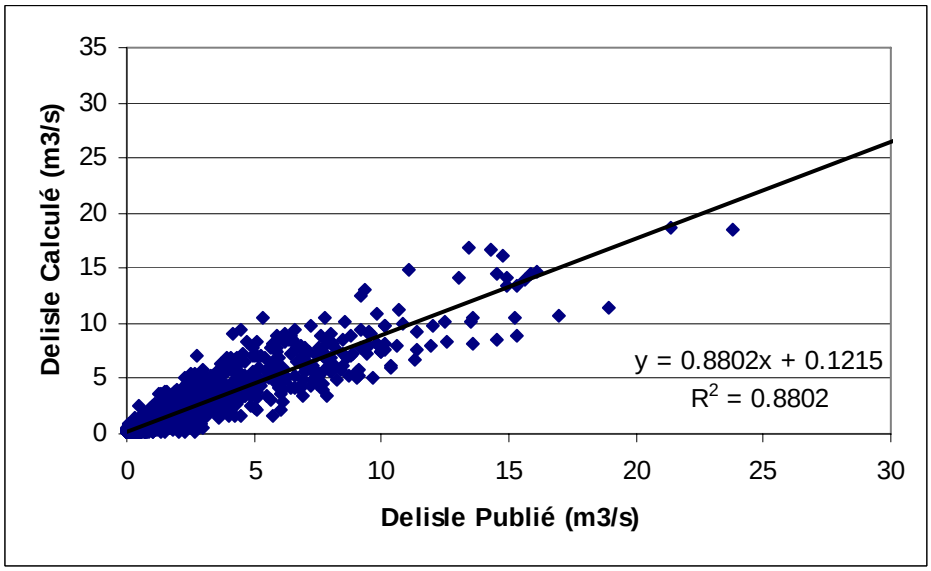

Figure 50 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la South Nation et des débits publiés à la station-témoin.

2.10 Maskinongé

La série de données publiées pour la station-témoin (02OC002) s'échelonne de 1925 à 1998 (Figure 51). Pour la période de 1932 à 1998, la série comporte 2996 valeurs manquantes qui ont été remplacées à l'aide d'un modèle de régression basé sur la forte corrélation des débits de la station-témoin avec ceux de la station 02OB008 (R=0.959).

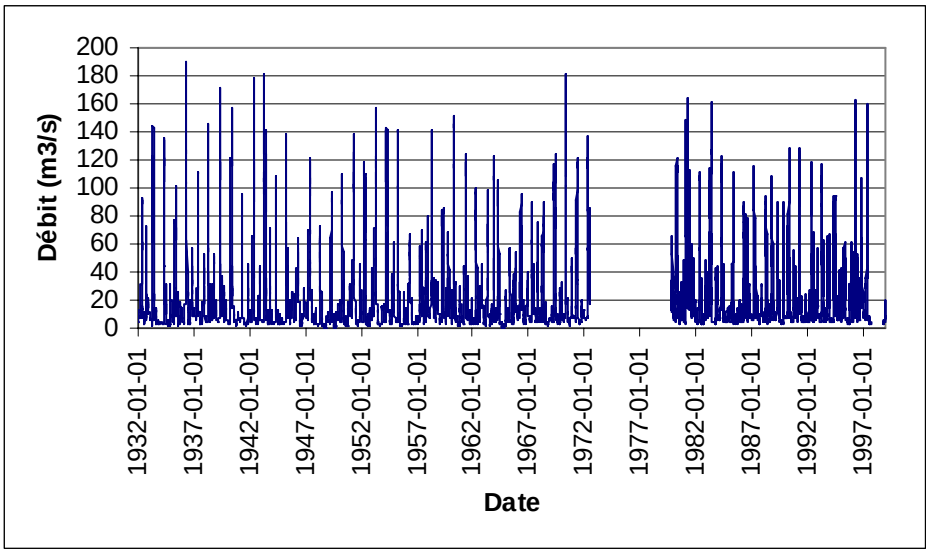

Figure 51 : Série de débits à la station 02OC002 sur la rivière Maskinongé.

La relation est la suivante :

$$QMaskinongé = -0.00152 * (QAssomption)^2 + 0.99782 * QAssomption - 1.9326$$

La comparaison des débits calculés et publiés donne les résultats suivants : R^2=0.926032, RMSE=6.485463, Relation : Qcalc=0.92623*Qpub+1.4175 (différence moyenne de –0.00378 m^3/s - Publié-Calculé). Les résultats sont de bonne qualité dans l'ensemble (Figure 52) la série totale comportant cependant 2 valeurs manquantes induites par la série de la station 02OB008. Ces valeurs ont été comblées par interpolation.

La Figure 53 présente la comparaison des distributions de la série reconstituée et de la série d'origine. Ces distributions sont pratiquement identiques validant ainsi la méthode de reconstitution. À la Figure 54, on retrouve la comparaison des débits calculés au moyen de la relation avec la station 02OB008 et des débits publiés à la station-témoin. Cette relation est très bonne en général.

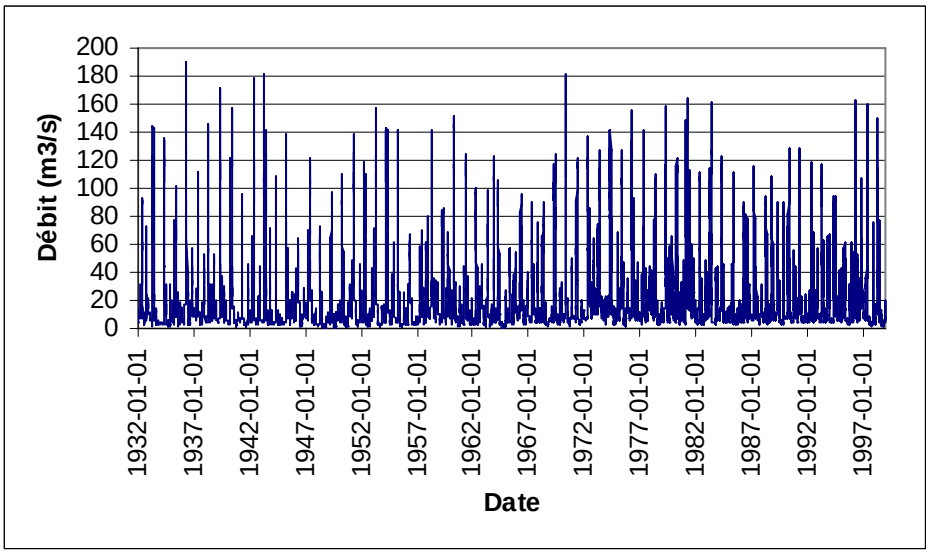

Figure 52 : Série totale de débits sur la rivière Maskinongé.

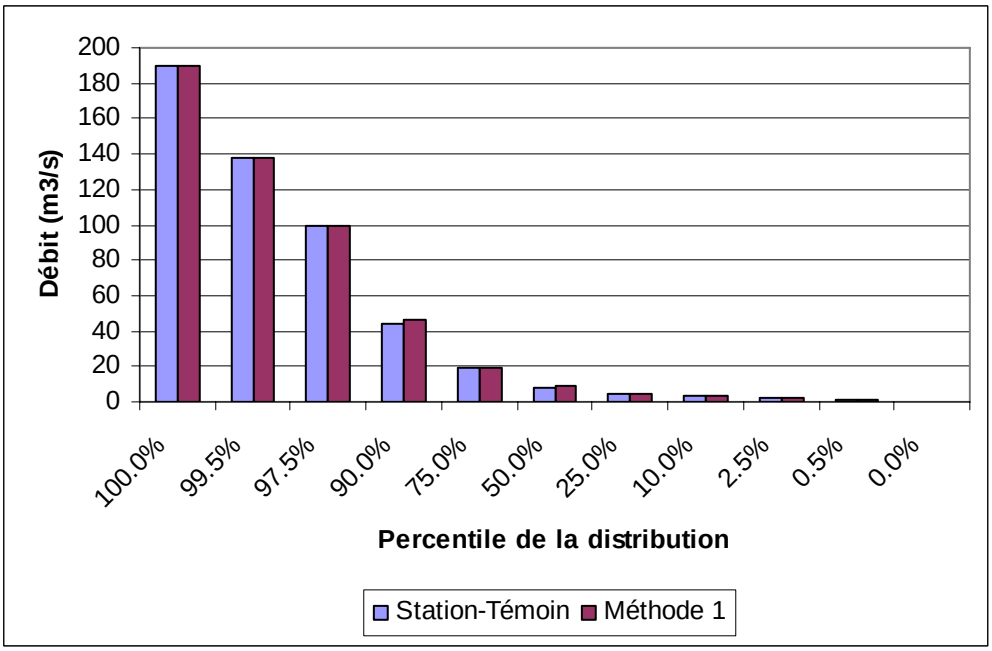

Figure 53 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

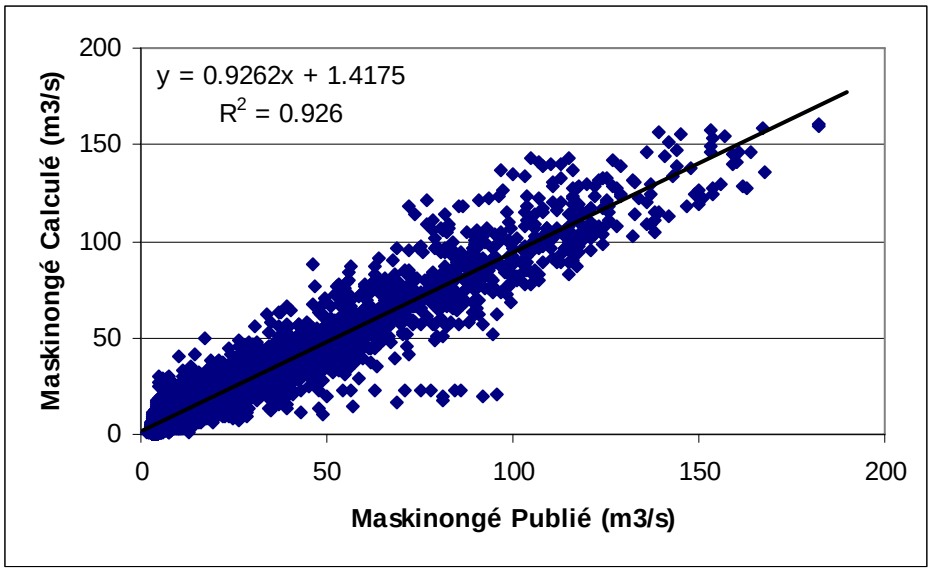

Figure 54 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02OB008 et des débits publiés à la station-témoin.

2.11 Saint-Maurice

La série de données publiées pour la station-témoin (02NG001) s'échelonne de 1919 à 1998 (Figure 55). Pour la période de 1932 à 1998, la série ne comporte que 4 valeurs manquantes isolées qui ont été remplacées par interpolation.

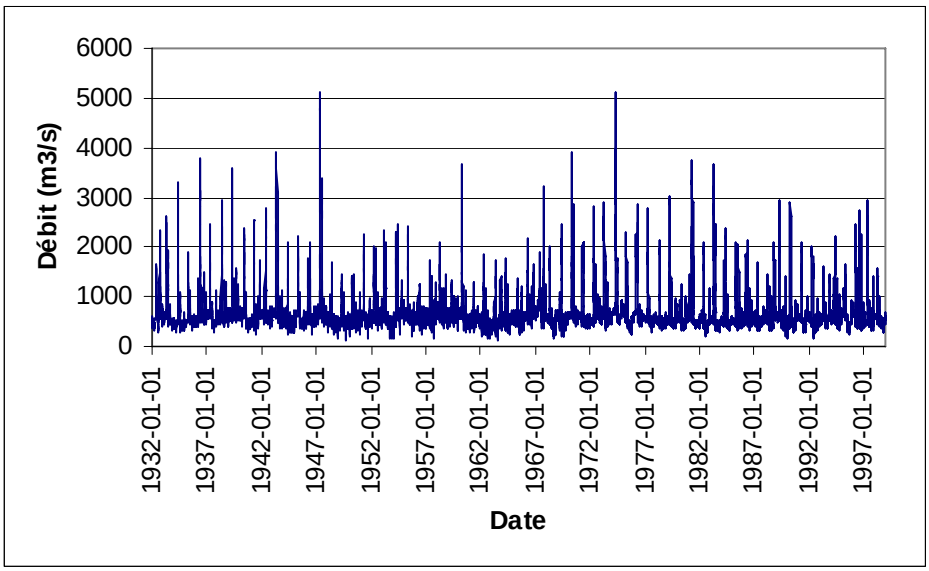

Figure 55 : Série de débits à la station 02NG001 sur la rivière Saint-Maurice.

2.12 Bécancour

La série de données publiées pour la station-témoin (02PL007) s'échelonne de 1970 à 1998 (Figure 56). Outre les données de 1932 à 1970, la série comporte des valeurs manquantes entre octobre 1987 et septembre 1988, entre juin et août 1993 et entre décembre 1996 et juillet 1997.

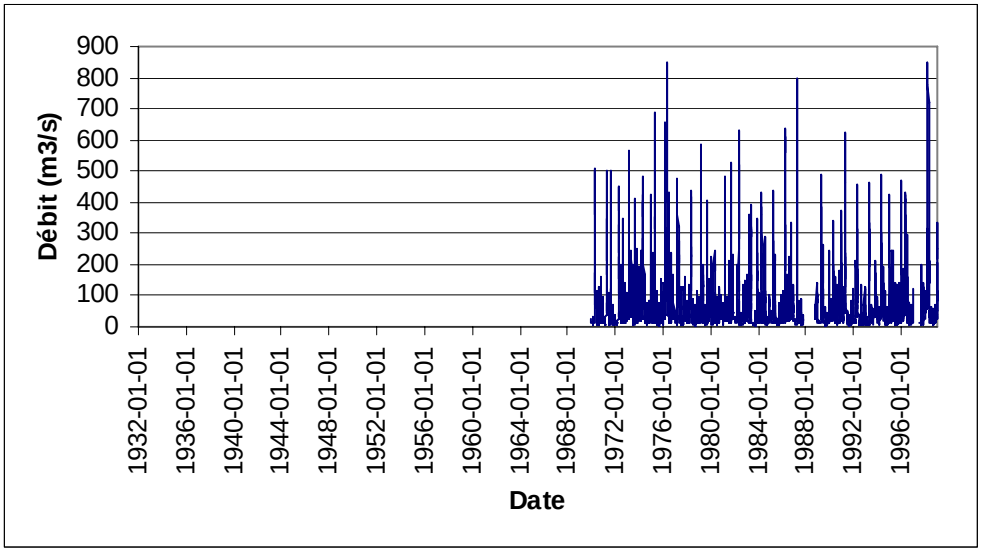

Figure 56 : Série de débits pour la station 02PL007 sur la rivière Bécancour.

Parmi les autres stations hydrométriques disponibles sur la Bécancour, seule la 02PL001 est utilisable, les deux autres (02PL005 et 02PL009) ayant des séries trop courtes en plus de comporter plusieurs données manquantes. La série de données de la station 02PL001 s'échelonne de 1932 à 1968 de sorte qu'une autre méthode doit être envisagée pour combler les données manquantes entre 1969 et 1998. Le seul choix à notre disposition est de faire usage de la station 02PJ005 sur la Chaudière. Cette station est fortement corrélée à la station-témoin (R=0.9008) et possède l'avantage d'être complète de 1936 à 1998. La série reconstituée est donc composée des valeurs calculées de 1932 à 1968 au moyen de la station 02PL001 corrigée avec le rapport de superficies de bassins versants suivant : (2330/1410) = 1.6525, des valeurs mesurées de 1970 à 1998 et des valeurs calculées avec la Chaudière pour combler les trous de 1969 à 1998. Le modèle de régression utilisé est le suivant (R^2=0.811 ; RMSE=32.59) :

$$02PL007Calculée = (0.36191 * 02PJ005) + 10.6772$$

La série complète apparaît à la Figure 57. Une deuxième série reconstituée a été produite en utilisant seulement les données calculées à partir de la rivière Chaudière au moyen du modèle de régression ci-dessus. La série complète, composée des valeurs calculées de 1932 à 1968, des valeurs mesurées entre 1970 et 1998 et des valeurs manquantes remplacées par les valeurs calculées à partir des débits sur la rivière Chaudière, apparaît à la Figure 58. On note que cette deuxième méthode génère des pics de crue nettement plus faibles que ceux produits avec la première méthode (Figure 58).

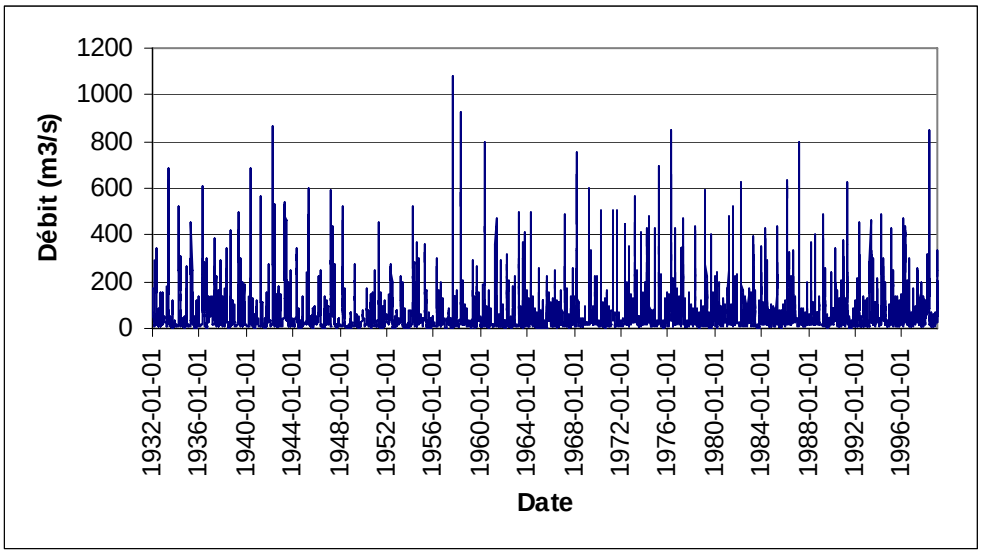

Figure 57 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Bécancour selon la méthode 1.

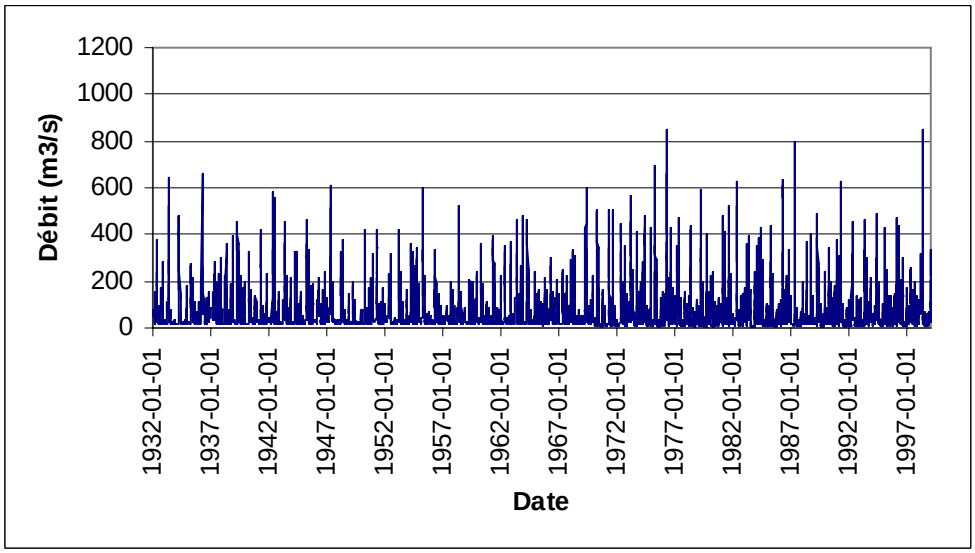

Figure 58 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Bécancour selon la méthode 2.

Les distributions statistiques des séries reconstituées ressemblent fortement à celle des données publiées pour la station-témoin (Figure 59). La méthode 1 est préférable même si les débits extrêmes en crue sont plus élevés comparativement aux données d'origine. En général, cette méthode reproduit mieux la distribution des données publiées. De plus, l'usage de données mesurées en amont sur la même rivière diminue l'incertitude reliée à l'utilisation d'une station sur un bassin avoisinant. Quant à la relation avec la Chaudière, la moyenne des différences entre les débits calculés au moyen de la régression et ceux mesurés à la station-témoin est de -0.0002 m^3/s (mesuré – calculé) et cette moyenne n'est pas significativement différente de 0 (résultat d'un test t de Student). La série reconstituée selon la méthode 1 est donc de bonne qualité. La relation entre les débits calculés avec la station sur la Chaudière et ceux de la station-témoin est présentée

à la Figure 60.

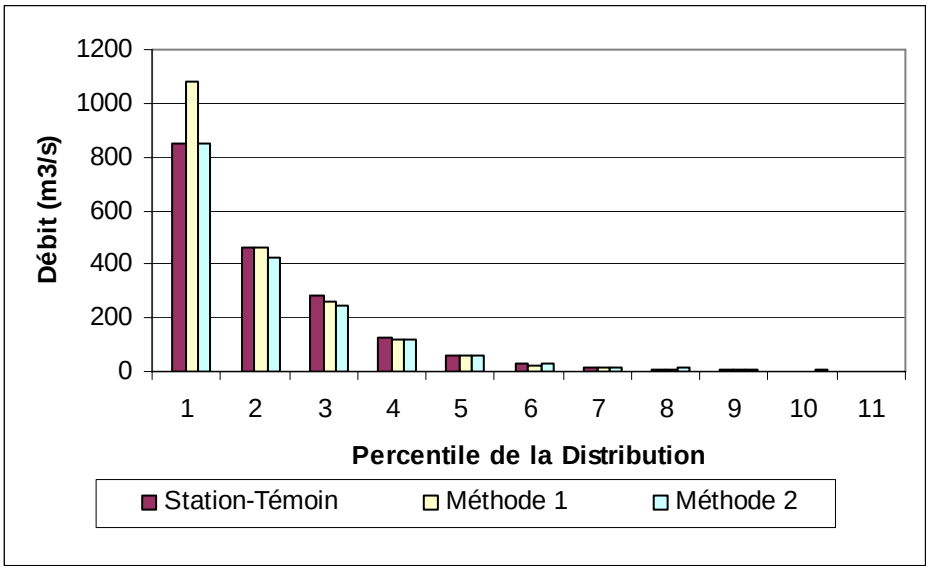

Figure 59 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

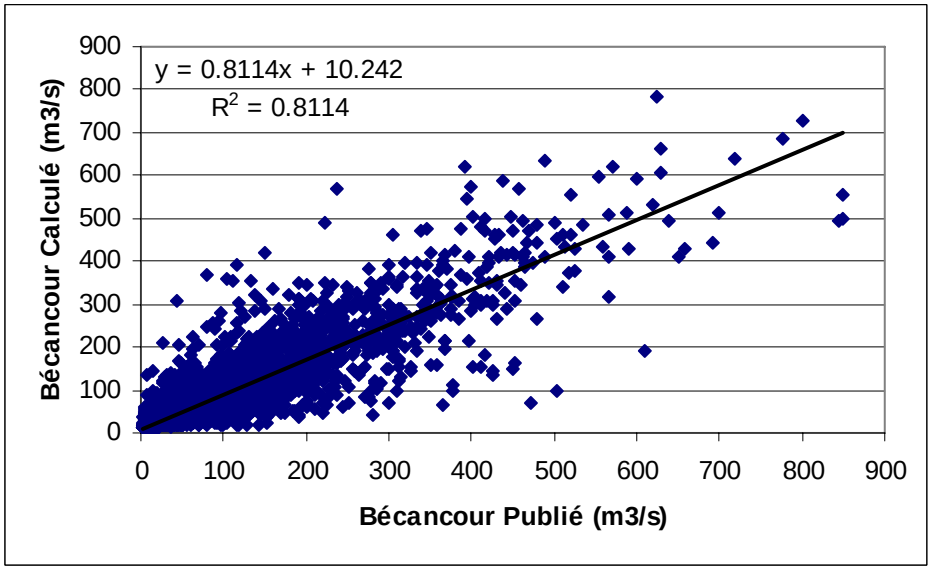

Figure 60 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station sur la Chaudière et des débits publiés à la station-témoin.

2.13 Batiscan

La série de données publiées pour la station-témoin (02PA007) s'échelonne de 1967 à 1998 (Figure 61). Outre les données de 1932 à 1967, la série comporte des valeurs manquantes en novembre et en décembre 1998.

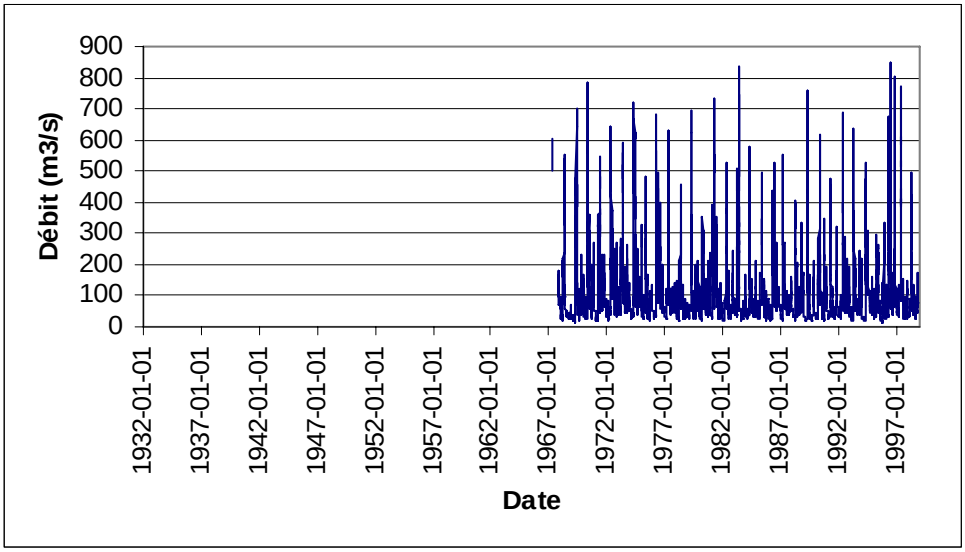

Figure 61 : Série de débits pour la station 02PA007 sur la rivière Batiscan.

Parmi les autres stations hydrométriques disponibles sur la Bécancour, seule la 02PA003 est utilisable, les deux autres (02PA001 et 02PA006) ayant des séries trop courtes en plus de comporter plusieurs données manquantes. La série de données de la station 02PA003 s'échelonne de 1931 à 1994 et ne comporte pas de valeurs manquantes entre 1932 et 1967. La série reconstituée est donc composée des valeurs calculées de 1932 à 1967 au moyen de la station 02PA003 corrigée avec le rapport de superficies de bassins versant suivant : (4480/4580) = 0.9782 et des valeurs mesurées de 1968 à 1998. La série est complète sauf pour les mois de novembre et de décembre 1998 qui seront comblés lorsque les données de 1998 pour la station 02PA007 seront publiées. Fait à noter, à part la méthode utilisée ci-haut, il n'était pas possible de faire appel à un modèle de régression les stations fortement corrélées avec la station-témoin ne possédant pas des séries de données suffisamment longues.

La série complète apparaît à la Figure 62. La distribution statistique de la série reconstituée ressemble fortement à celle des données publiées pour la station-témoin (Figure 63). L'usage de données mesurées sur la même rivière diminue l'incertitude reliée à l'utilisation d'une station sur un bassin avoisinant. La moyenne des différences entre les débits calculés au moyen du rapport de bassin versant et ceux mesurés à la station-témoin est de 7.01 m^3/s (mesuré – calculé) et cette moyenne est significativement différente de 0 (résultat d'un test t de Student). Cependant, la comparaison des débits calculés et mesurés révèle un R^2 de 0.97 avec un RMSE de 16.23 ce qui permet d'affirmer que la série reconstituée est de bonne qualité en général. La relation entre les débits calculés avec la station 02PA003 et ceux de la station-témoin est présentée à la Figure 64.

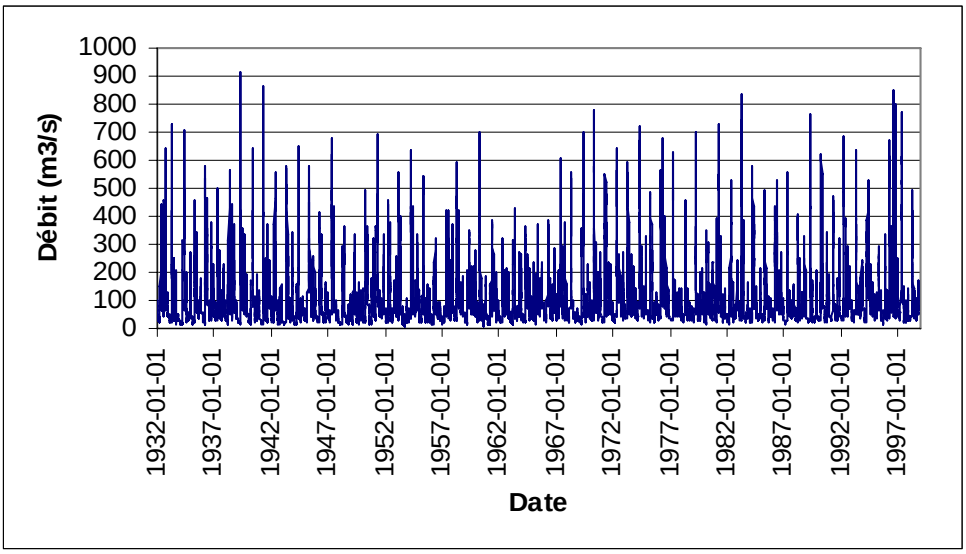

Figure 62 : Série totale de débits reconstitués sur la rivière Batiscan.

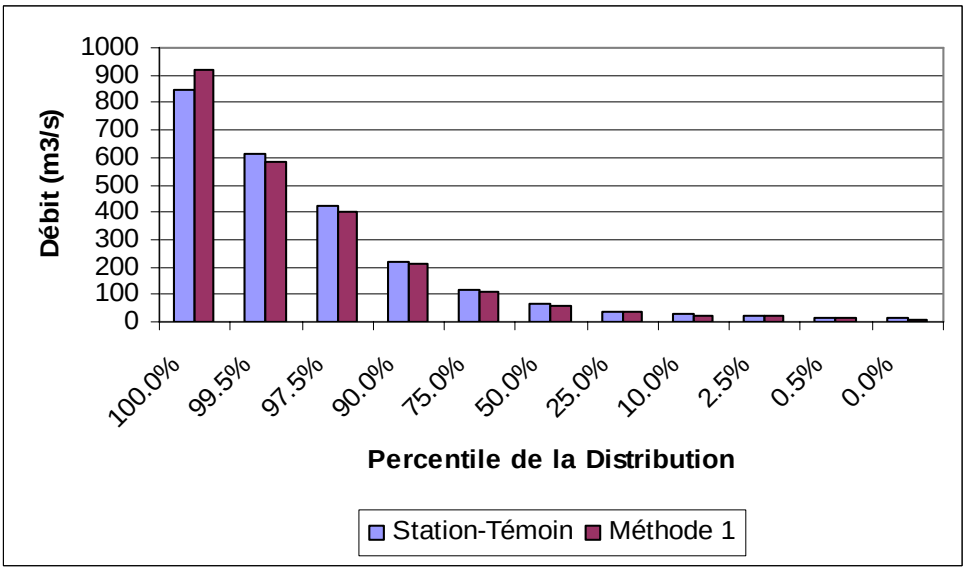

Figure 63 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

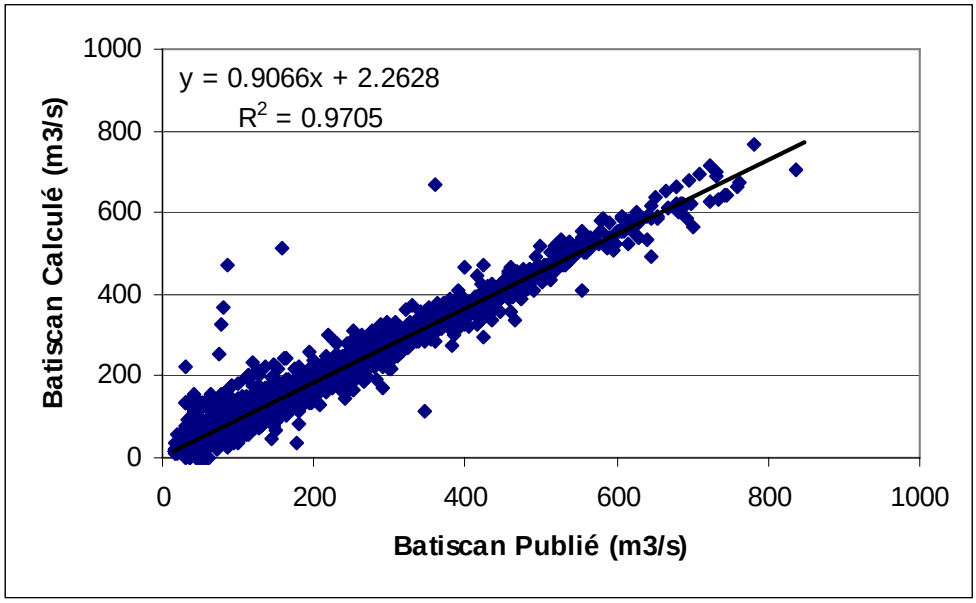

Figure 64 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PA003 et des débits publiés à la station-témoin.

2.14 Sainte-Anne

La série de données publiées pour la station-témoin (02PB037) s'échelonne de 1979 à 1981 (Figure 65). On doit donc générer une série de débits pour la période de 1932 à 1979 et de 1981 à 1998.

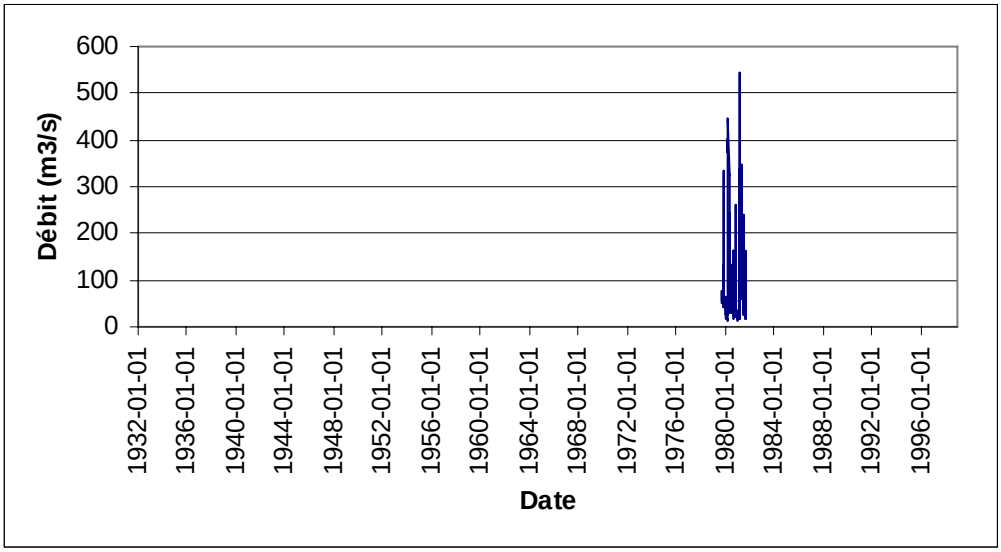

Figure 65 : Série de débits pour la station 02PB037 sur la rivière Sainte-Anne.

La première méthode fait appel aux autres stations dans le bassin de la Sainte-Anne. Parmi ces stations seules la 02PB002 et la 02PB019 sont utilisables, les deux autres (02PB004 et 02PB006) ayant des séries trop courtes. La série de données de la station 02PB002 s'échelonne de 1919 à 1994 alors que celle de la station 02PB019 s'échelonne de 1965 à 1998. Malgré la longue période disponible pour la 02PB002, nous avons choisi de limiter son utilisation à la période de 1932 à 1965 car elle n'est pas fortement corrélée avec la 02PB037 (R=0.7083) alors que la 02PB019 est fortement corrélée avec la 02PB037 (R=0.9304). Cette faible corrélation est peut-être due à la courte période de comparaison (données de 1979 à 1981). Le rapport de bassin versant utilisé avec la station 02PB002 est de (2680/1800)=1.4889 alors que celui utilisé avec les données de la station 02PB019 est de (2680/1550)=1.7290. La série reconstituée est donc composée des valeurs calculées de 1932 à 1965 au moyen de la station 02PB002, de valeurs calculées de 1965 à 1979 et de 1981 à 1998 au moyen de la station 02PB019 et des valeurs mesurées entre 1979 et 1981. La série, affichée à la Figure 66, est complète sauf pour les mois de novembre et de décembre 1998 (48 valeurs manquantes).

Afin de pallier, en partie, à la faible corrélation de la station 02PB002 avec la 02PB037, une deuxième série a été générée au moyen d'une équation de régression basée sur la forte corrélation entre la station 02PC002 sur la Jacques-Cartier et la 02PB037 sur la Sainte-Anne (R=0.8723). La relation utilisée est la suivante :

$$02PB037Calcule = (1.13887 * 02PC002) + 6.08637$$

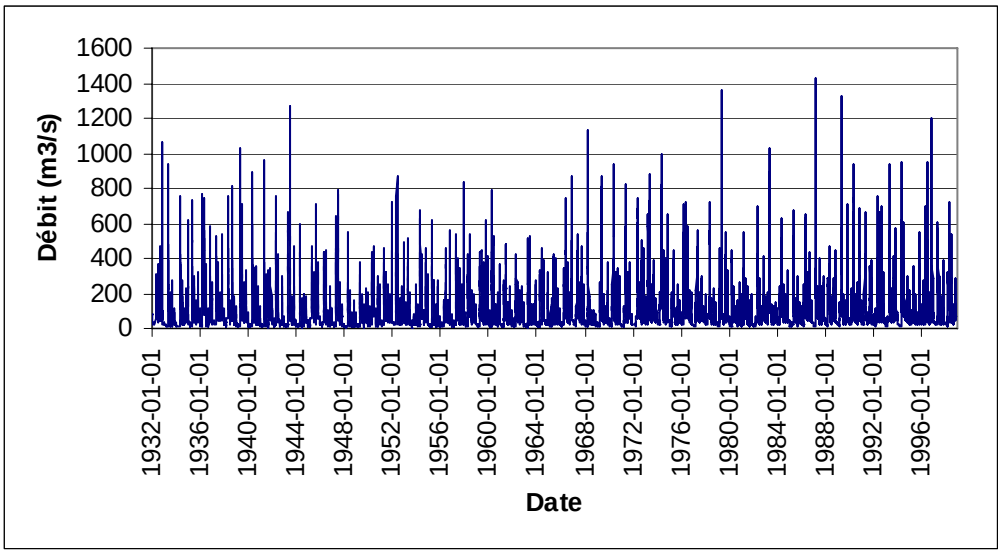

Figure 66 : Série de débits totale sur la rivière Sainte-Anne reconstituée selon la méthode 1.

Les caractéristiques de la relation sont : R^2=0.7609, RMSE=36.2789 et la moyenne des différences entre les valeurs publiées et calculées est de 0.000055 m^3/s. La série totale ainsi générée est composée des valeurs calculées à partir de la relation ci-haut pour les périodes de 1932 à 1979 et de 1981 à 1998. Les valeurs manquantes induites par la série de données de la station 02PC002 ont été comblées d'une part par la série calculée à partir de la station 02PB002 (période de 1957 à 1963) et, pour la période de 1964 à 1998, à partir de la station 02PB019. La série complète (sauf pour 48 valeurs manquantes en novembre et décembre 1998) apparaît à la Figure 67.

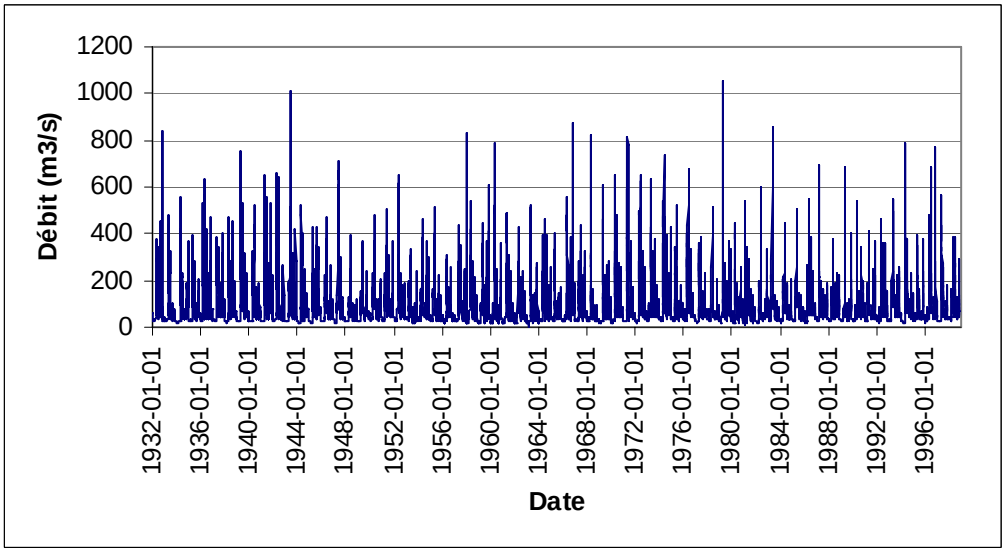

Figure 67 : Série de débits totale sur la rivière Sainte-Anne reconstituée selon la méthode 2.

Sur la base des distributions statistiques, la deuxième méthode est préférable à la première qui a

tendance à exagérer les extrêmes en période de crue (Figure 68). En moyenne, les débits produits par la méthode 1 sont de 7 m^3/s supérieurs à ceux produits par la méthode 2. Par contre, les deux séries de données reconstituées sont fortement corrélées (R=0.9193). Les Figures 69 à 71 présentent les relations ayant servi à produire la série de débits reconstitués sur la rivière Sainte-Anne par la méthode 2. La relation avec la 02PB002 (Figure 69) produit des débits qui sont supérieurs aux débits publiés par une moyenne de 16.3196 m^3/s. Pour ce qui est de la relation avec la 02PB019, les débits calculés sont supérieurs aux débits publiés de l'ordre de 12.4731 m^3/s en moyenne (Figure 70).

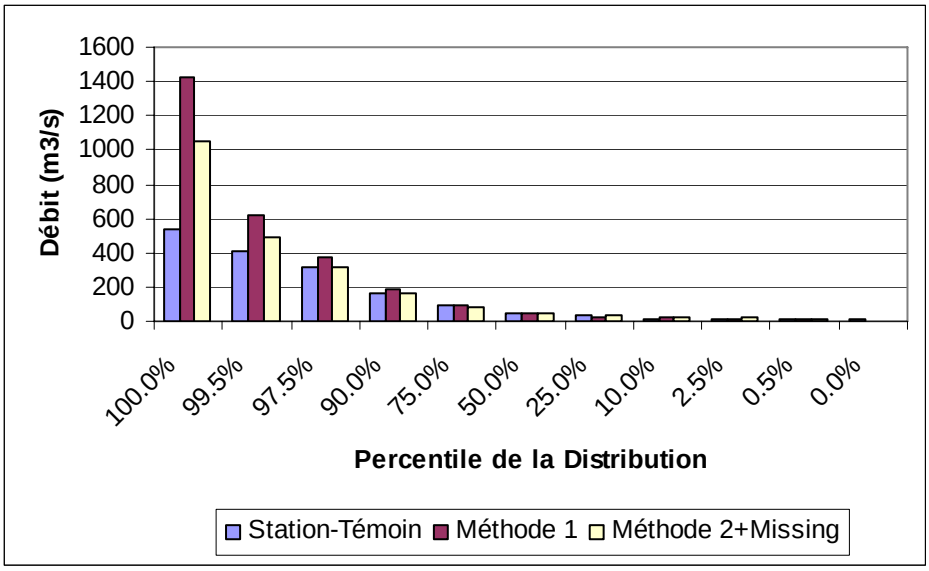

Figure 68 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

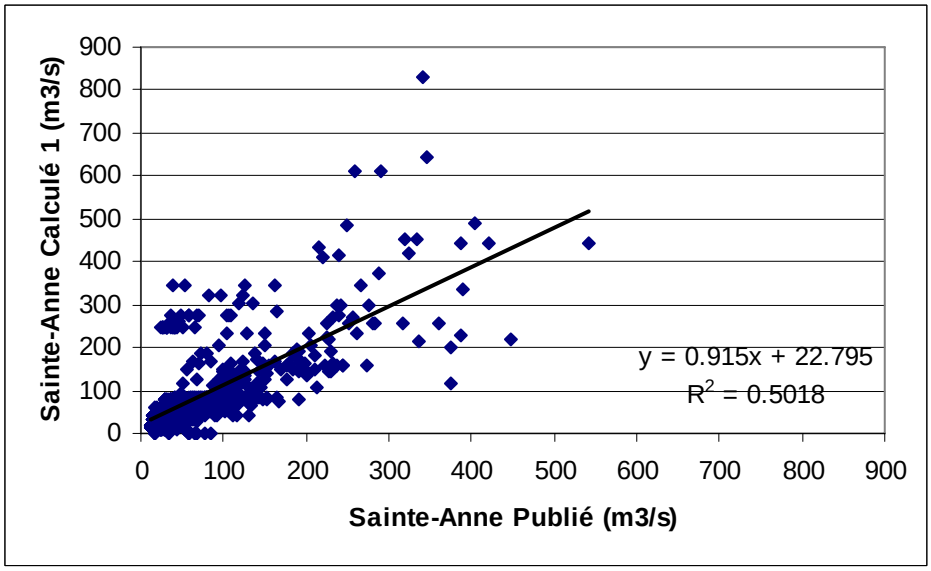

Figure 69 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PB002 et des débits publiés à la station-témoin.

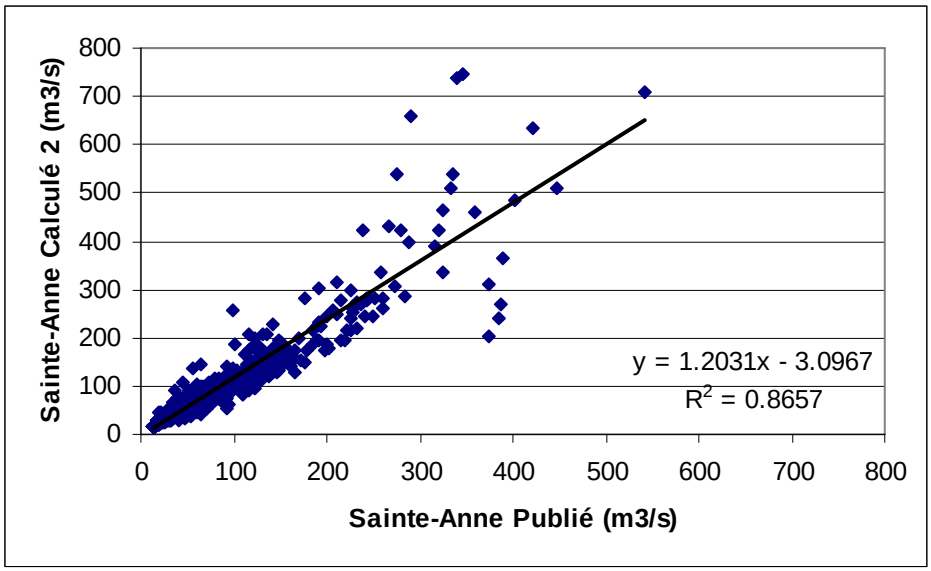

Figure 70 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PB019 et des débits publiés à la station-témoin.

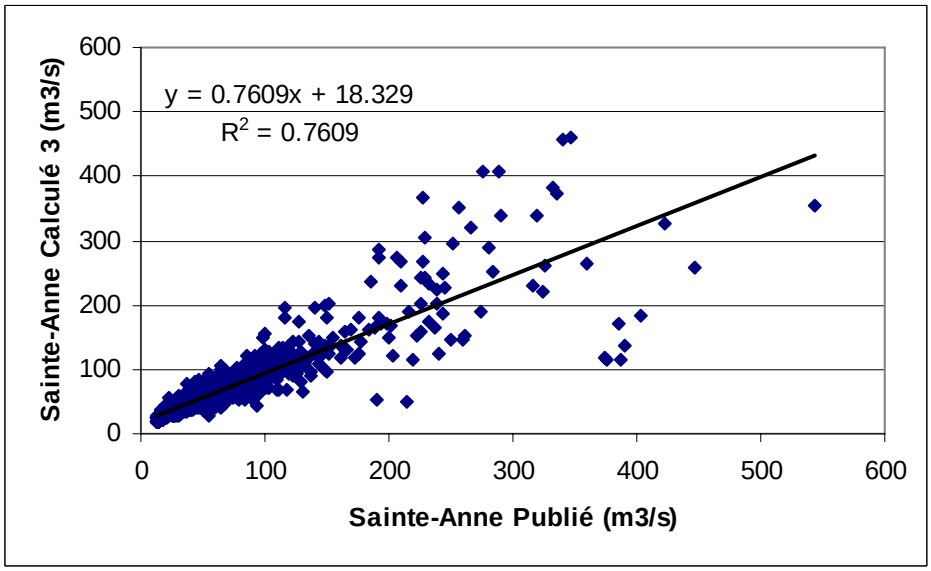

Figure 71 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PC002 et des débits publiés à la station-témoin.

2.15 Portneuf

La série de données publiées pour la station-témoin (02PC009) s'échelonne de 1966 à 1998 (Figure 72). On doit donc générer une série de débits pour la période pré-1966 et il faut remplir plusieurs trous importants dans les données en 1966 et en 1983.

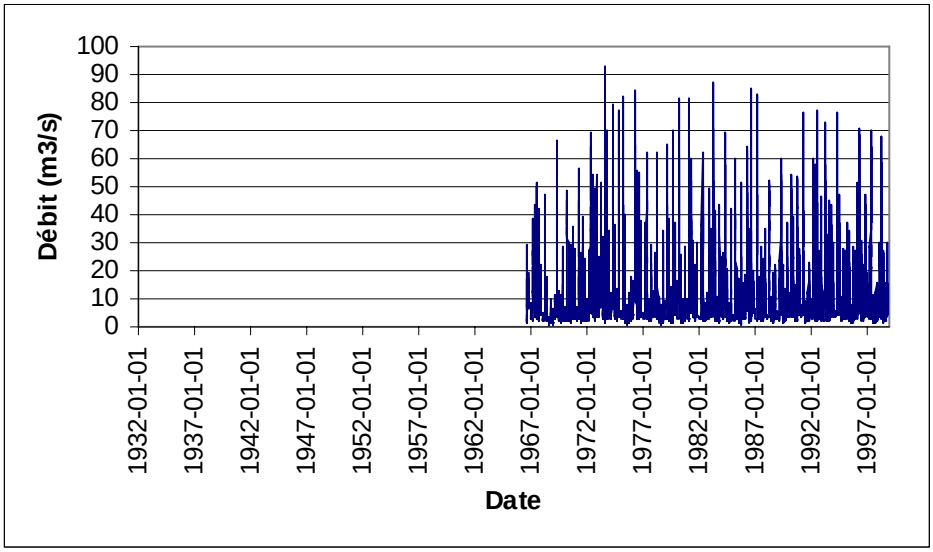

Figure 72 : Série de débits publiés pour la station 02PC009 sur la rivière Portneuf.

Il n'y a pas d'autres stations hydrométriques utilisables pour faire le travail dans le bassin de la rivière Portneuf. De plus, il y a très peu de stations sur des rivières adjacentes qui sont fortement corrélées à la Portneuf tout en possédant des séries de données longues. Les seules possibilités sont la 02PJ005 (Chaudière, R=0.7638) et la 02PH004 (Etchemin, R=0.8116), situées sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Le premier essai de reconstitution a donc été d'utiliser la moyenne interannuelle journalière calculée à partir des données publiées à la station 02PC009 mais seulement pour la période de 1960 à 1966. Le résultat affiché à la Figure 73 n'est pas vraiment satisfaisant.

La deuxième étape a été de générer une autre série à partir de l'équation de régression avec la station sur la Etchemin. La station sur la Chaudière a été éliminée car la relation affichait trop de dispersion. L'équation utilisée est la suivante :

$$\text{Portneuf02PC009} = (0.18011 * \text{Etchemin02PH004}) + 3.21761$$

Le R^2 de la relation est de 0.659 et le RMSE de 5.987. La différence moyenne entre valeurs publiées et calculées est de 0.000112 m^3/s. La deuxième série reconstituée sur la Portneuf comprend donc les valeurs mesurées entre 1966 et 1998, les valeurs calculées au moyen du modèle de régression pour la période de 32 à 66 et 10 valeurs manquantes en 1983 remplies au moyen de la moyenne interannuelle journalière calculée avec la 02PC009 (Figure 74). Les seules données manquantes dans cette dernière série reconstituée sont pour les mois de novembre et de décembre 1998.

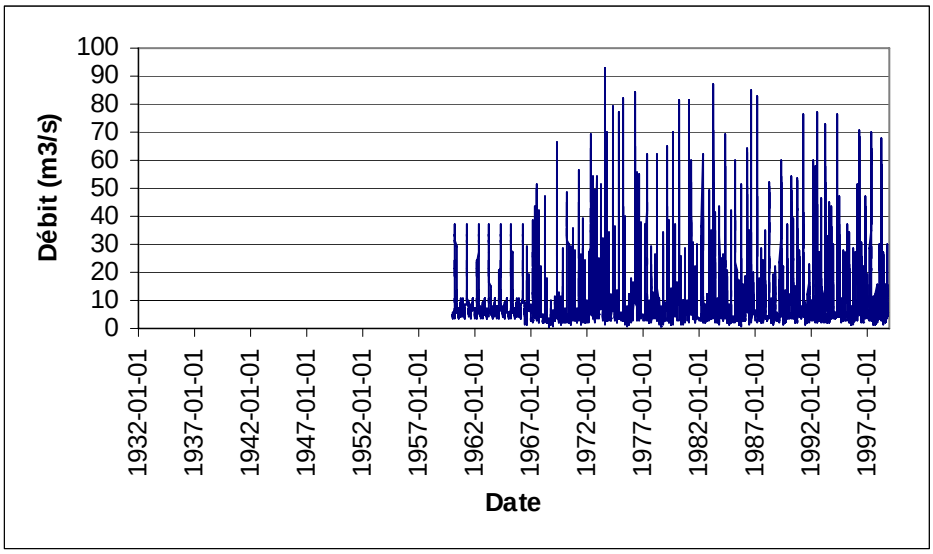

Figure 73 : Série de débits reconstitués jusqu'en 1960 sur la rivière Portneuf.

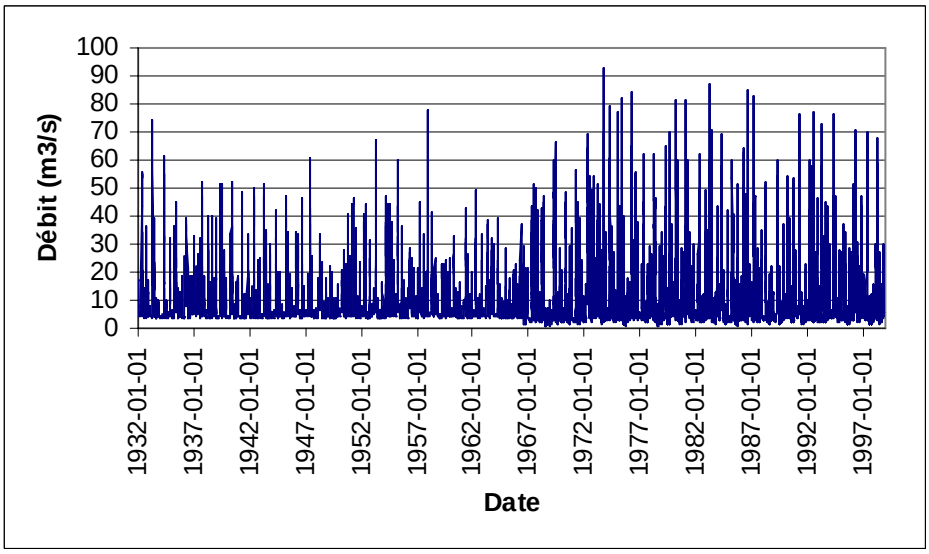

Figure 74 : Série de débits reconstitués jusqu'en 1932 sur la rivière Portneuf.

La comparaison des distributions des séries reconstituées avec celle des données d'origine indique que la deuxième méthode produit de meilleurs résultats bien que les données reconstituées semblent sous-estimées (Figure 75). La sous-estimation du débit n'aura qu'un effet minime sur le calcul du débit du fleuve Saint-Laurent à Québec. La comparaison des données calculées via régression et des données mesurées indique une moyenne des différences de 0.0001 m^3/s qui n'est pas significativement différente de 0 (test t de Student). La Figure 76 présente la relation ayant servie à produire la série de débits reconstitués sur la rivière Portneuf par la méthode 2.

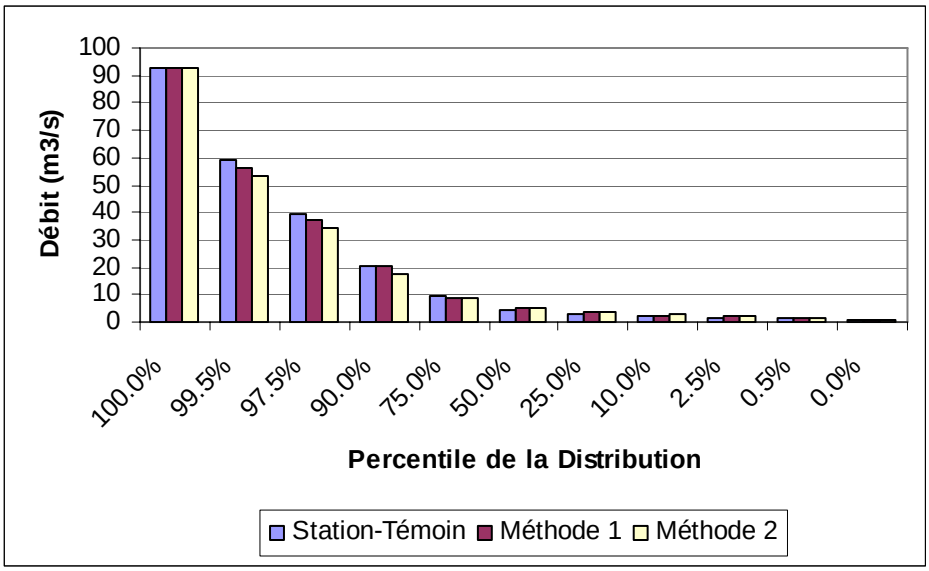

Figure 75 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

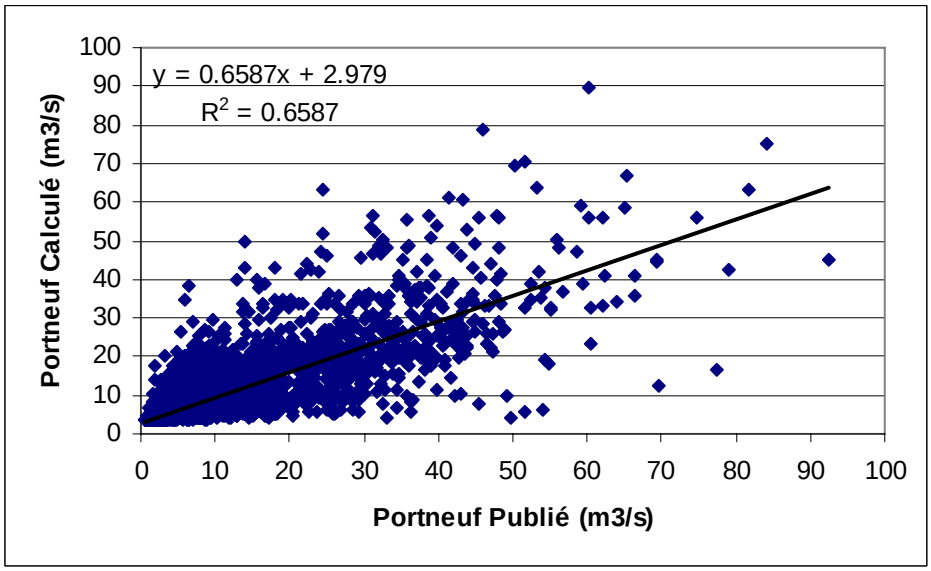

Figure 76 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PH004 et des débits publiés à la station-témoin.

2.16 Jacques-Cartier

La série de données publiées pour la station-témoin (02PC002) s'échelonne de 1932 à 1998 (Figure 77). Par contre, cette série compte de nombreux trous qui doivent être reconstitués. Ces trous sont : 01/10/57 au 31/12/63, 28/5/64 au 24/8/64, 15/6/66 au 10/11/66 et 30/4/71 au 8/7/71.

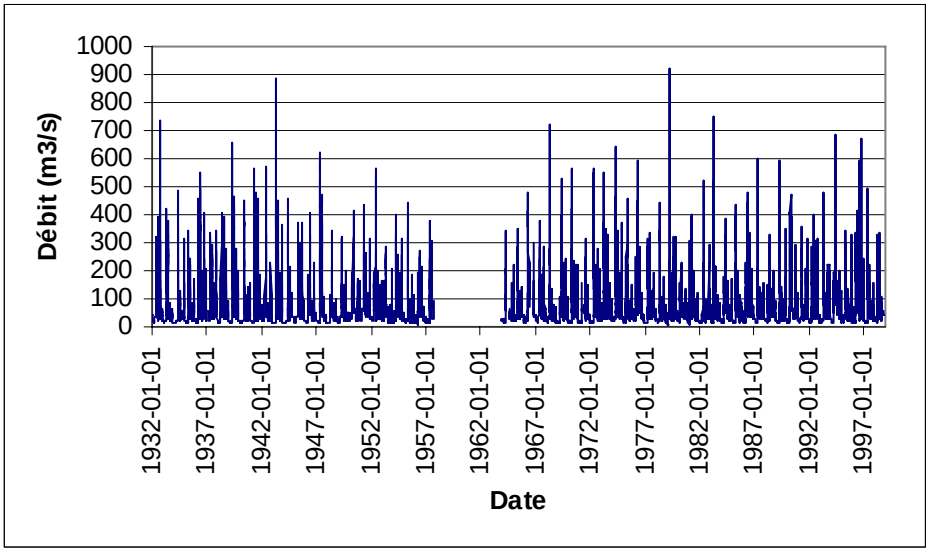

Figure 77 : Série de débits pour la station 02PC002 sur la rivière Jacques-Cartier.

Étant donné que la seule autre station hydrométrique disponible sur la Jacques-Cartier est inutilisable pour le travail de reconstitution (elle est trop loin en amont et elle est peu corrélée avec la station aval), notre seul choix pour la reconstitution est de faire appel aux stations sur la rivière Sainte-Anne qui sont fortement corrélées avec la station-témoin sur la Jacques-Cartier (02PC002 vs 02PB004 R=0.8682; 02PC002 vs 02PB006 R=0.9293; 02PC002 vs 02PB019 R=0.9259 et 02PC002 vs 02PB037 R=0.8723). Parmi ces relations, seule la dernière n'est pas utilisable en raison de la courte période de mesure (2 ans) pour la station 02PB037.

La première série reconstituée comprend donc les débits mesurés, les débits reconstitués pour la période 1957 à 1965 au moyen du modèle de régression avec la 02PB004, les débits reconstitués pour boucler les valeurs manquantes entre 1966 et 1998 au moyen du modèle de régression avec la 02PB006 et les valeurs manquantes de 1961, dues aux valeurs manquantes dans la série de données de 02PB004, comblées au moyen de la moyenne interannuelle journalière calculée à partir de la station-témoin. Les modèles de régression utilisés sont les suivants :

$$\text{Jacque-Cartier02PC002} = (2.14426 * \text{Sainte-Anne02PB004}) + 9.54533,\ R^2=0.754,\ \text{RMSE}=28.8$$

$$\text{Jacques-Cartier02PC002} = (2.77306 * \text{Sainte-Anne02PB006}) + 9.70424,\ R^2=0.864,\ \text{RMSE}=25.9$$

La série reconstituée apparaît à la Figure 78.

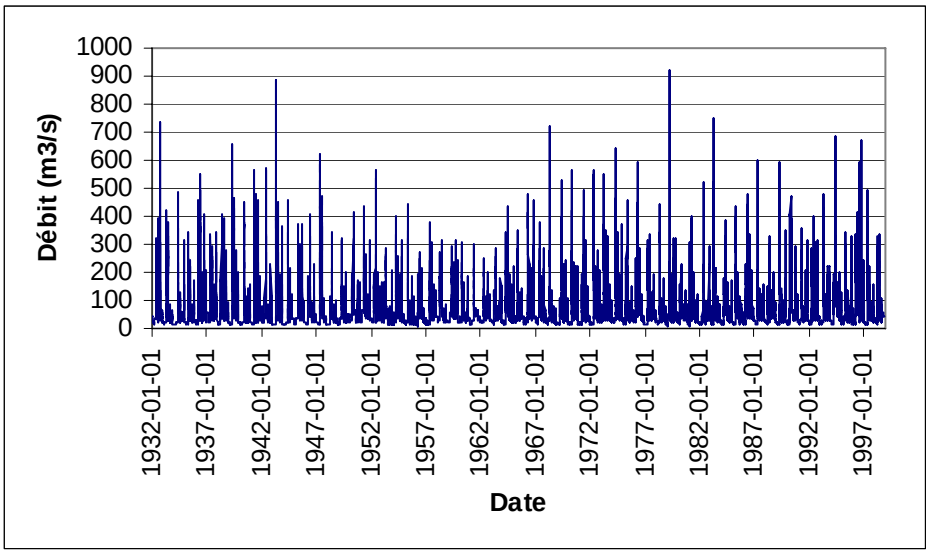

Figure 78 : Série de débits reconstitués sur la rivière Jacques-Cartier par la méthode 1.

La deuxième série reconstituée comprend les débits mesurés, les débits reconstitués pour la période 1957 à 1965 au moyen du modèle de régression avec la 02PB004, les débits reconstitués pour boucler les valeurs manquantes entre 1966 et 1998 au moyen du modèle de régression avec la 02PB019 et les valeurs manquantes de 1961, dues aux valeurs manquantes dans la série de données de 02PB004, comblées au moyen de la moyenne interannuelle journalière calculée à partir de la station-témoin. Le modèle de régression avec la 02PB019 est le suivant :

$$\text{Jacques-Cartier02PC002} = (1.04121 * \text{Sainte-Anne02PB019}) + 9.67222 \text{ , } R^2=0.857\text{, RMSE=26.4}$$

La série reconstituée apparaît à la Figure 79.

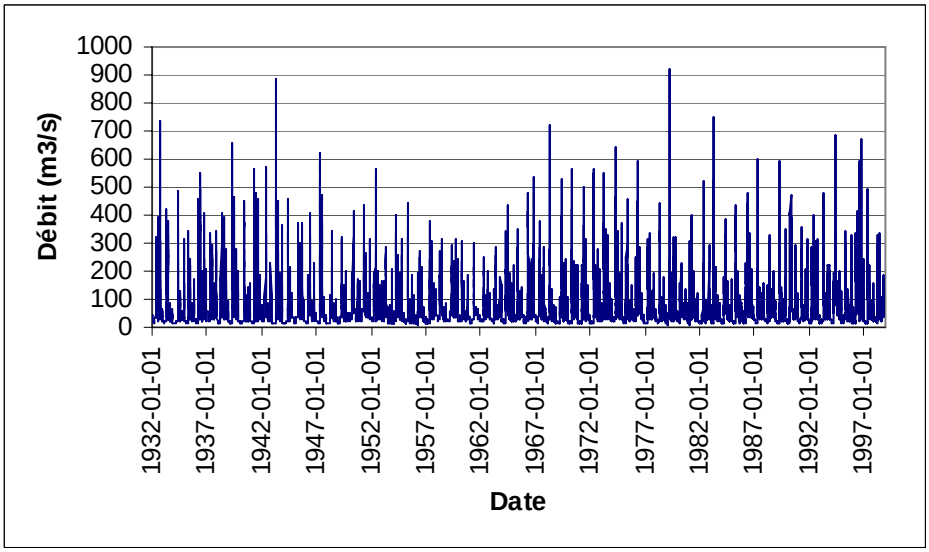

Figure 79 : Série de débits reconstitués sur la rivière Jacques-Cartier par la méthode 2.

Les deux méthodes produisent des séries dont la distribution statistique est très similaire à celle de la station-témoin (Figure 80). L'écart entre les diverses variables calculées et les données de la station-témoin n'est pas significativement différent de 0. La méthode 2 est donc retenue car la série de données résultante est plus complète (en fin d'année 1998). Les Figures 81 et 82 présentent les relations ayant servies à produire la série de débits reconstitués sur la rivière Jacques-Cartier par la méthode 2. La relation avec la 02PB004 produit des débits qui sont supérieurs en moyenne aux débits publiés pour la 02PC002 de l'ordre de 0.000033 m^3/s. Pour ce qui est de la relation avec la 02PB019, les débits calculés sont supérieurs aux débits publiés de l'ordre de 0.000145 m^3/s en moyenne.

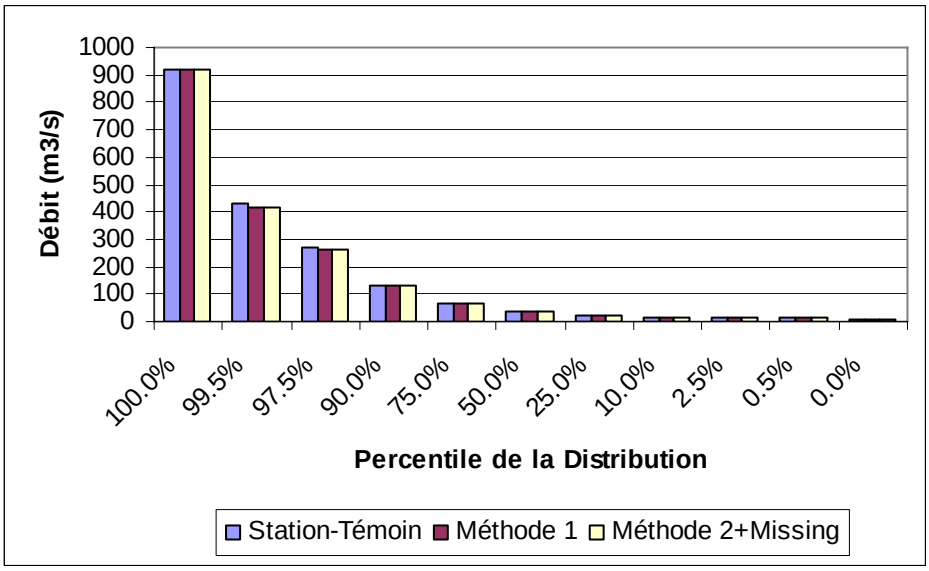

Figure 80 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

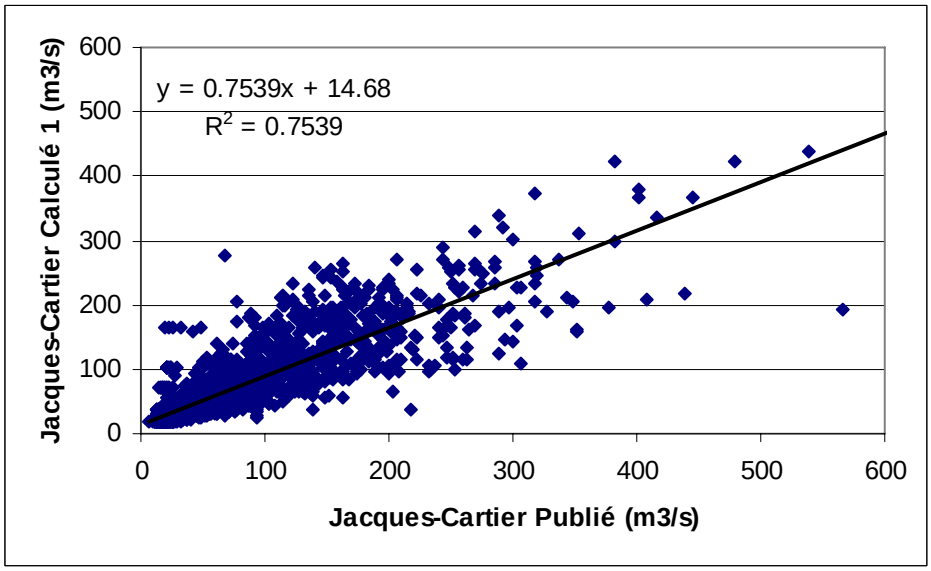

Figure 81 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PB004 et des débits publiés à la station-témoin.

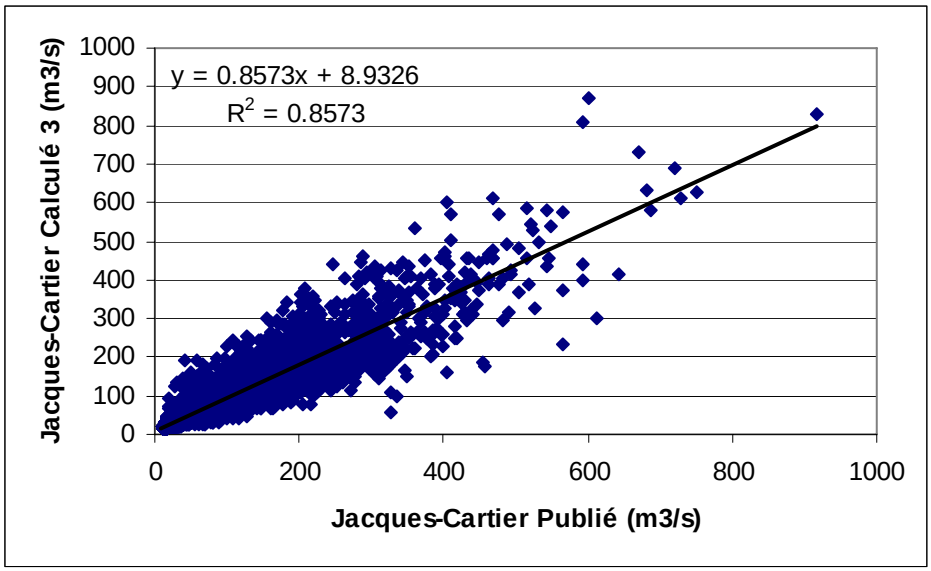

Figure 82 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PB019 et des débits publiés à la station-témoin.

2.17 Chaudière

La série de données publiées pour la station-témoin (02PJ005) s'échelonne de 1915 à 1998 (Figure 83). La série est complète sauf pour la période de 1932 à 1936. En raison de la courte période de données manquantes, nous avons choisi la méthode la plus simple. Celle-ci fait appel à une station amont qui est la 02PJ006 à Sainte-Marie et pour laquelle des données de débit sont disponibles de 1926 à 1936. Les débits de la station 02PJ006 ont été multipliés par le rapport des bassins versants drainés (5820/5570=1.045) puis intégrés avec les débits de la 02PJ005 pour former la série reconstituée affichée à la Figure 84. Les résultats sont très satisfaisants dans l'ensemble.

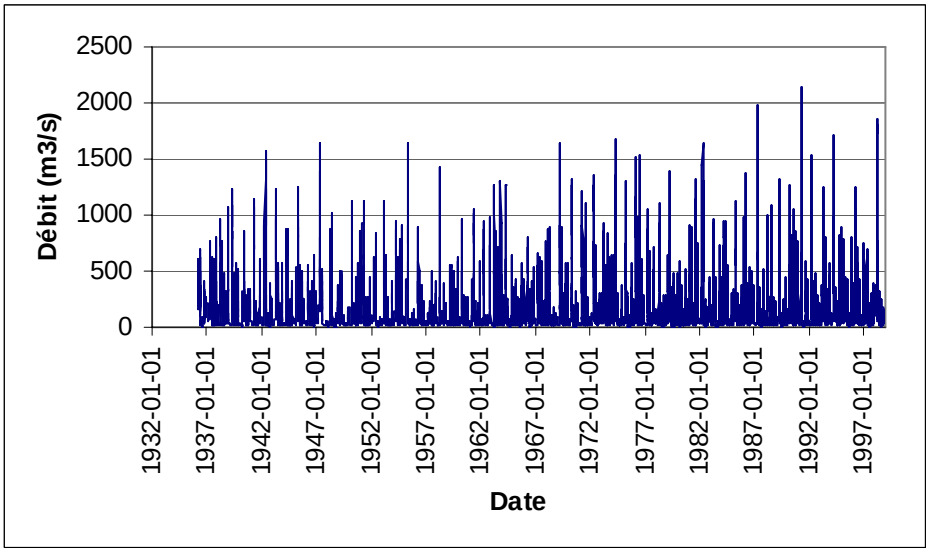

Figure 83 : Série de débits pour la station 02PJ005 sur la rivière Chaudière.

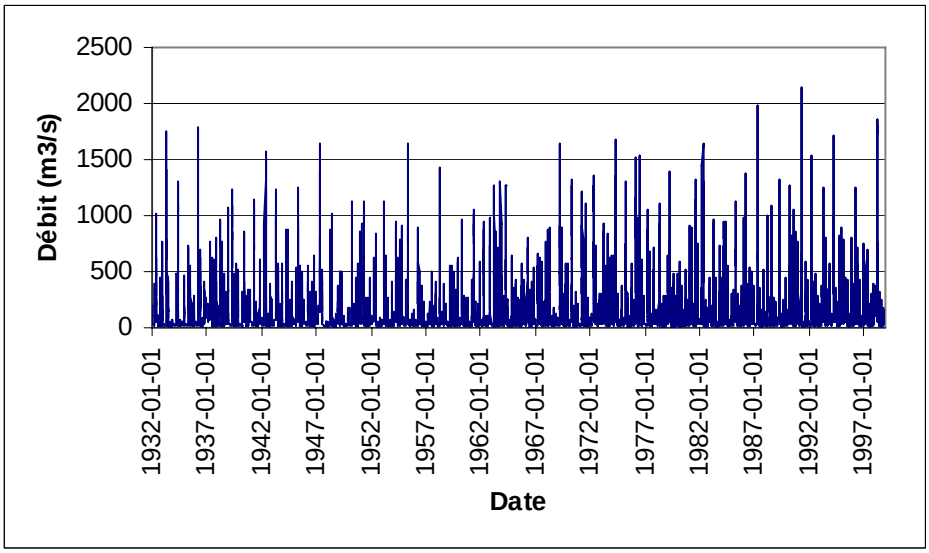

Figure 84 : Série de débits reconstitués sur la rivière Chaudière.

La distribution de la série reconstituée est pratiquement identique à celle de la station-témoin (Figure 85). De même, la relation entre la station 02PJ006 et la station-témoin est forte ce qui valide le choix de la méthode de reconstitution des débits (Figure 86). La moyenne des différences entre valeurs publiées et calculées est de 0.948907 m^3/s (Figure 86).

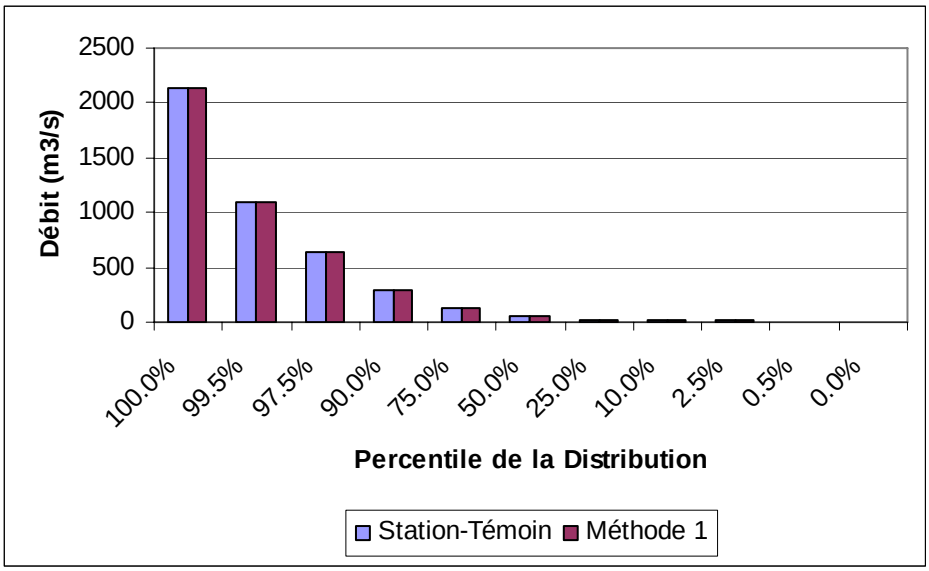

Figure 85 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

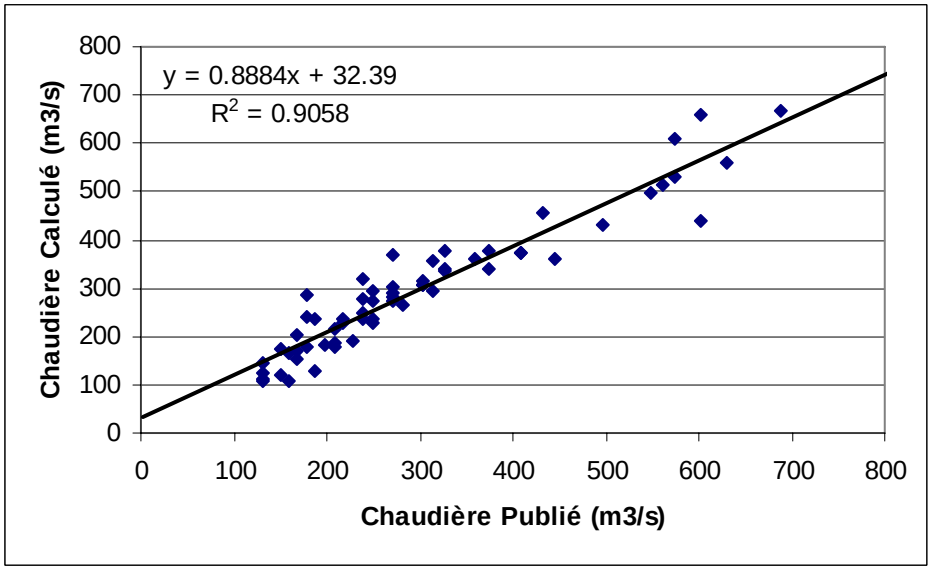

Figure 86 : Comparaison des débits calculés par rapport de bassin versant avec la station 02PJ006 et des débits publiés à la station-témoin.

2.18 Etchemin

La série de données publiées pour la station-témoin (02PH011) s'échelonne de 1980 à 1998 (Figure 87). Outre la période de 1932 à 1980, nous devons aussi reconstituer les valeurs manquantes présentes dans la série en 1980.

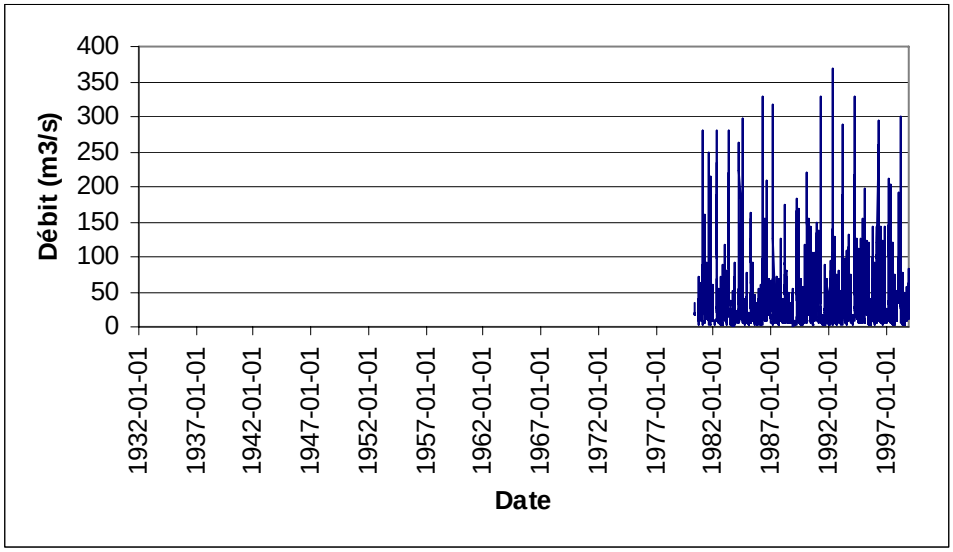

Figure 87 : Série de débits pour la station 02PH011 sur la rivière Etchemin.

Parmi les autres stations hydrométriques sur la rivière Etchemin, seule la 02PH004 est utilisable et seulement pour reconstituer la période de 1932 à 1979. La méthode est au moyen du rapport de bassins versants drainés qui est (1160/1130=1.0265). Quant aux valeurs manquantes en 1979 et en 1980, on a fait appel à la relation qui existe entre les données de la station-témoin (02PH011) et celles de la station 02PJ005 sur la Chaudière (R=0.8727). La relation est la suivante :

$$\text{Etchemin02PH011} = (0.17804 * \text{Chaudiere02PJ005}) + 6.88666\text{, } R^2\text{=0.762, RMSE=17.6}$$

La série reconstituée comprend donc les valeurs mesurées ainsi que les valeurs calculées au moyen du rapport de bassins versants avec la 02PH004 entre 1932 et 1979 et les valeurs calculées au moyen du modèle de régression avec la 02PJ005 entre 1979 et 1980. Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs calculées via le modèle de régression et les valeurs publiées à la station-témoin. La série reconstituée, qui est complète jusqu'à la fin 1998, apparaît à la Figure 88. Les distributions statistiques de la série reconstituée et de la série d'origine sont similaires (sauf en crue où les valeurs calculées sont plus fortes comparativement aux valeurs publiées) validant ainsi l'approche retenue (Figure 89). De même, la relation entre la station 02PJ005 et la station-témoin est bonne ce qui valide, en partie, le choix de la méthode de reconstitution des débits (Figure 90). La différence entre les données publiées et calculées au moyen de la relation avec la station 02PJ005 est de 0.000051 m^3/s en moyenne (Figure 90).

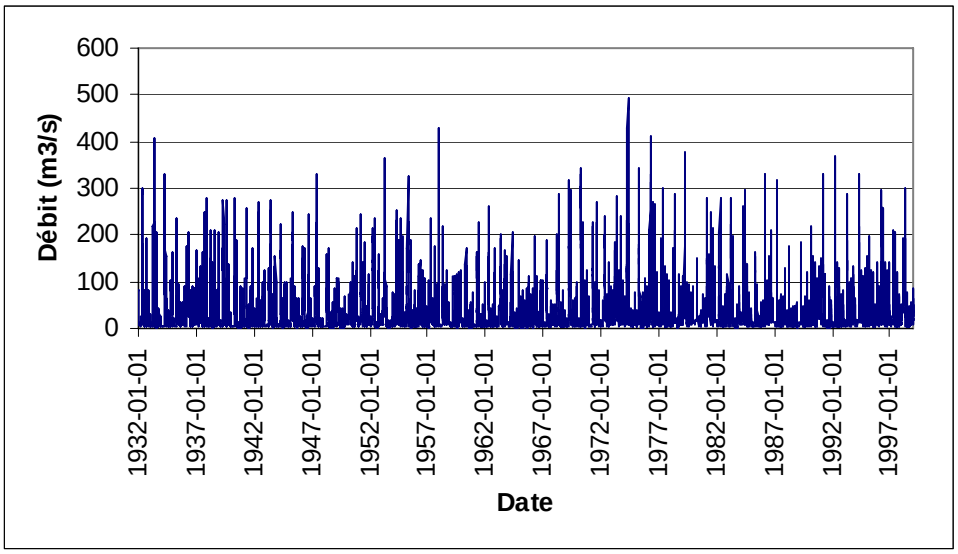

Figure 88 : Série de débits reconstitués sur la rivière Etchemin.

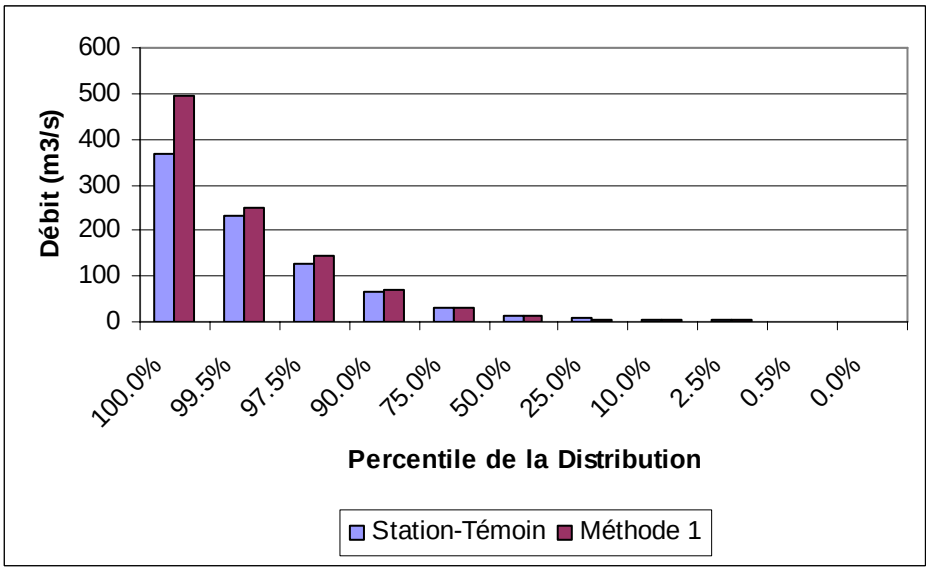

Figure 89 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

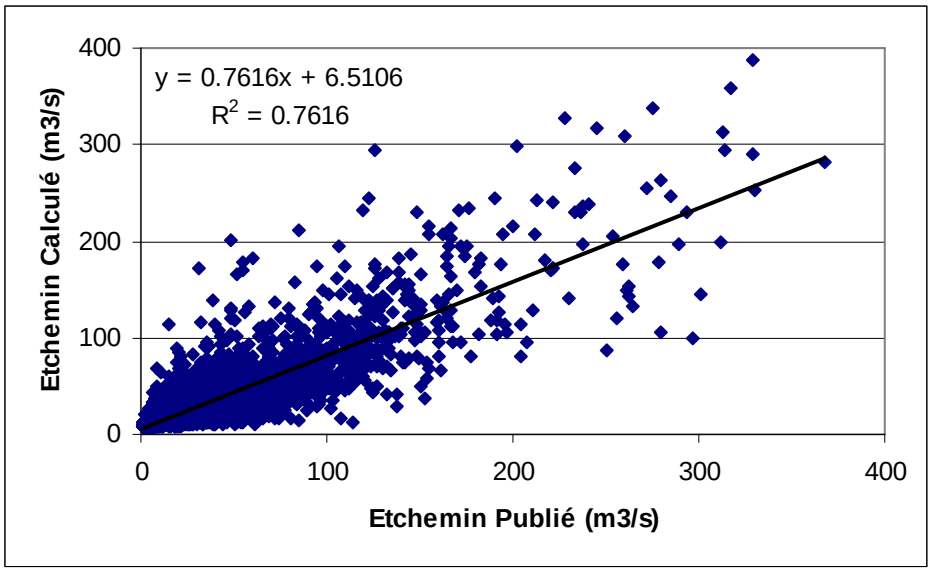

Figure 90 : Comparaison des débits calculés par régression avec la station 02PJ005 et des débits publiés à la station-témoin.

2.19 Saint-Charles

La série de données publiées pour la station-témoin (02PD010) s'échelonne de 1969 à 1998 (Figure 91). Outre la période de 1932 à 1969, nous devons aussi reconstituer les valeurs manquantes présentes dans la série en 1996.

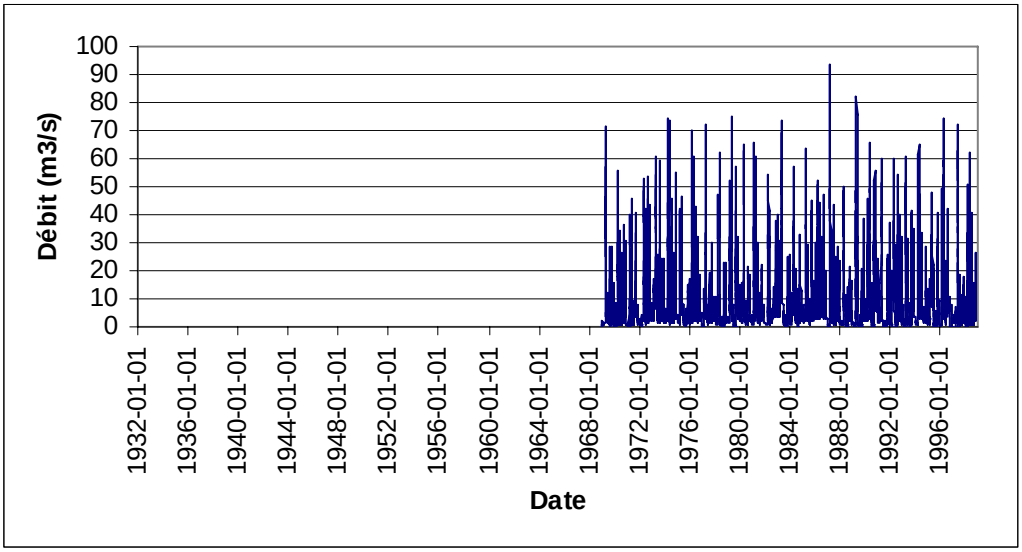

Figure 91 : Série de débits pour la station 02PD010 sur la rivière Saint-Charles.

En termes de relations avec d'autres rivières, il n'existe pas de corrélations utilisables pour effectuer le travail de reconstitution. Le seul choix à notre disposition est de reconstituer la période de 1953 à 1969 au moyen du rapport de bassins versants avec la station 02PD008 (357/339=1.053). Les données manquantes de la série (1932 à 1953 et autres valeurs manquantes) ont été remplacées par la moyenne interannuelle journalière calculée à partir de la station-témoin. La série reconstituée apparaît à la Figure 92. L'analyse des distributions statistiques de la série d'origine et de la série reconstituée démontre la similitude des deux distributions (Figure 93). La Figure 94 indique la bonne relation entre les débits reconstitués et les débits mesurés à la station 02PD010. La différence moyenne entre les débits publiés et calculés est de 1.14822 m^3/s (Figure 94).

Fait à noter, la station-témoin est probablement affectée par la prise d'eau de la ville de Québec de sorte qu'on devrait probablement l'exclure du calcul du débit du fleuve Saint-Laurent à Québec. Son apport est cependant négligeable de sorte que l'erreur induite par la prise d'eau se traduit par une sous-estimation mineure du débit total du fleuve à Québec.

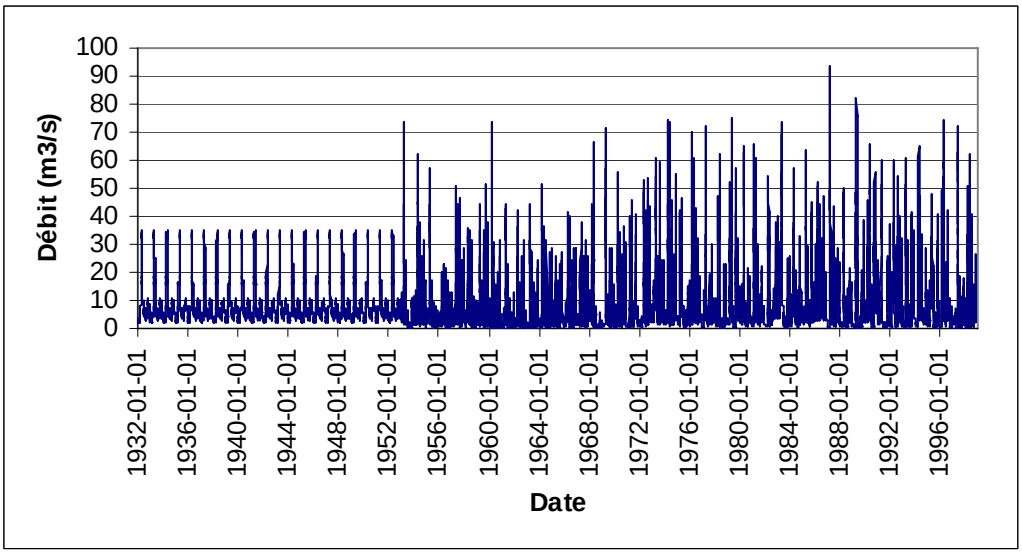

Figure 92 : Série de débits reconstitués sur la rivière Saint-Charles.

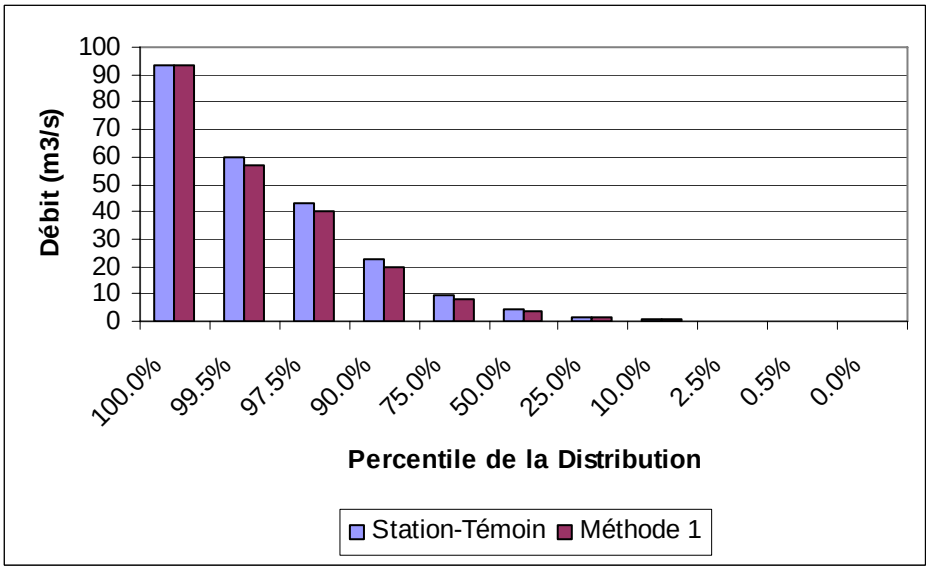

Figure 93 : Distribution statistique des données d'origine et de la série reconstituée.

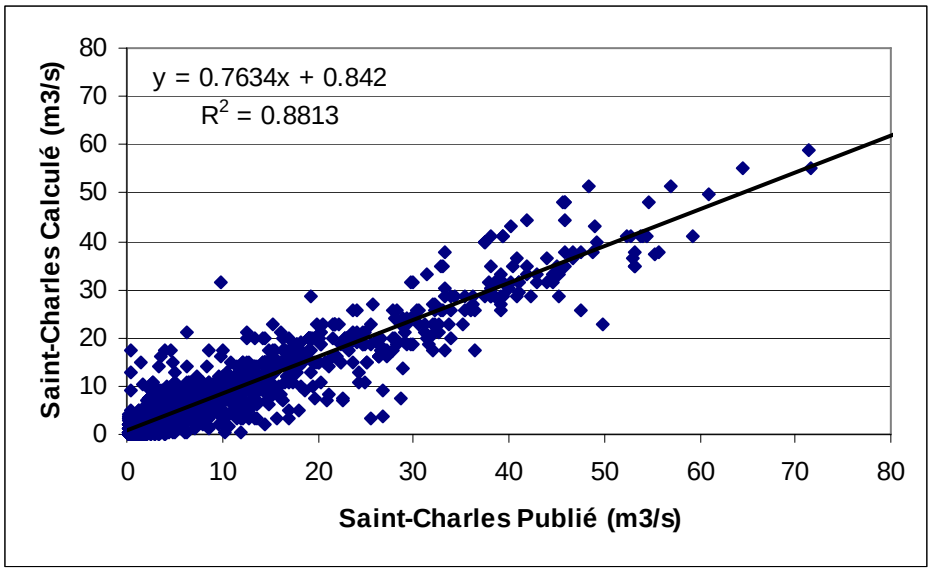

Figure 94 : Comparaison des débits calculés par moyenne interannuelle-journalière de la station 02PD010 et des débits publiés à la station-témoin.

4. Débits reconstitués à Sorel, Trois-Rivières et Québec

4.1 Présentation des séries de débit

Les Figures 95 à 97 présentent les séries hebdomadaires de débit à Sorel (Figure 95), Trois-Rivières (Figure 96) et Québec (Figure 97) calculées au moyen de la méthode exposée à la section 2 et des séries de débits reconstituées présentées à la section 3. Les données journalières ont été réduites en données hebdomadaires évitant ainsi le calcul d'un facteur de délai pour acheminer le débit de l'amont vers l'aval. De façon générale, le débit moyen du fleuve augmente de 1478 m^3/s entre LaSalle et Sorel, de 751 m^3/s entre Sorel et Trois-Rivières et de 1246 m^3/s entre Trois-Rivières et Québec. En période de crue, la différence de débit entre les sites identifiés ci-haut peut être aussi élevée que 5644 m^3/s (Sorel-LaSalle), 4070 m^3/s (Trois-Rivières-Sorel) et 7901 m^3/s (Québec-Trois-Rivières).

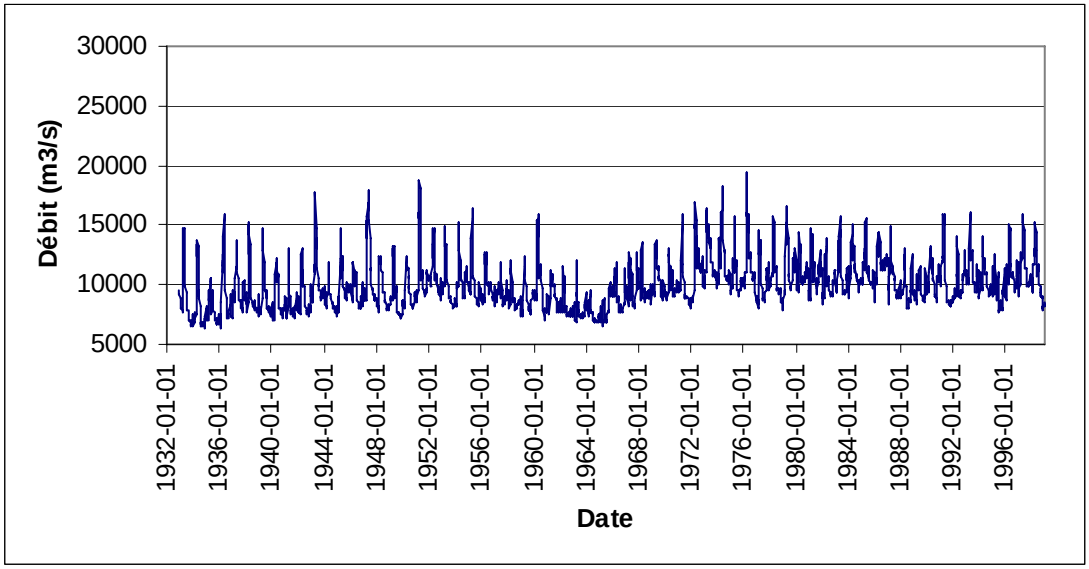

Figure 95 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Sorel.

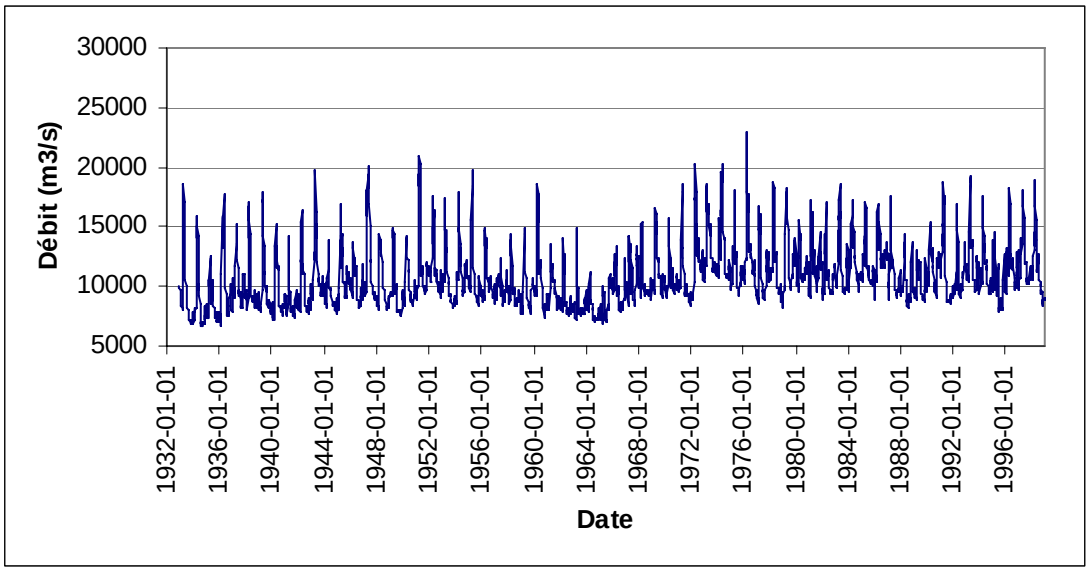

Figure 96 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Trois-Rivières.

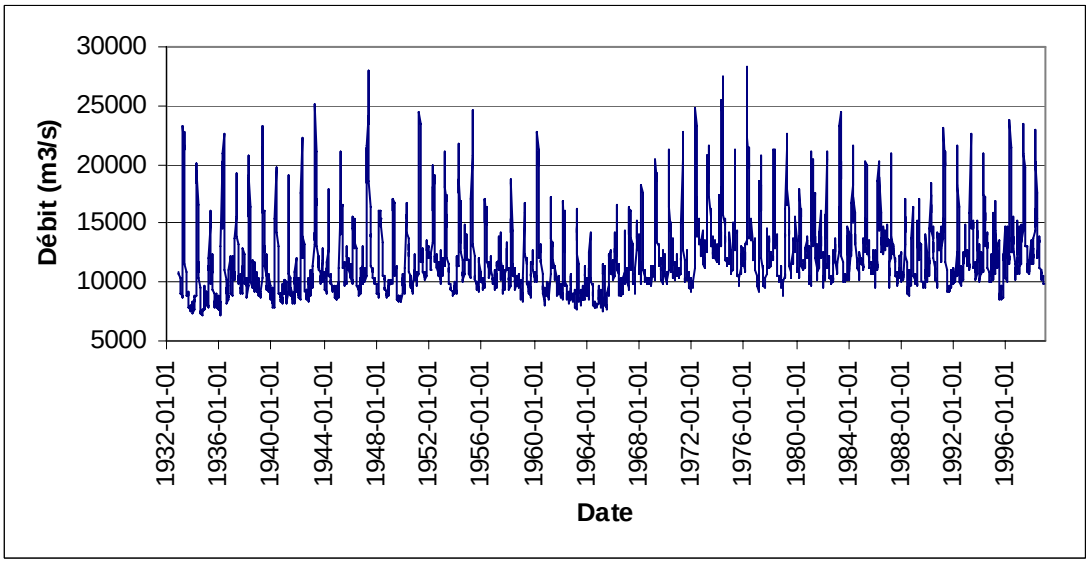

Figure 97 : Série hebdomadaire de débits reconstitués sur le fleuve Saint-Laurent à Québec.

4.2 Validation

La validation des séries présentées ci-haut peut se faire au moyen de la série de données de débits à Sorel apparaissant dans HYDAT sous le numéro 02OJ033 (Sorel sans Richelieu) et produite au

moyen de la méthodologie proposée par Carrier (1976). La Figure 98 présente la comparaison des débits publiés dans HYDAT et calculés dans la présente étude. Les deux séries sont fortement corrélées (R^2=0.9927) mais il existe une différence statistiquement significative de 124.7 m^3/s en moyenne, les données calculées dans le présent document étant plus élevées. Si on regarde cette différence en plus de détail, on remarque qu'elle est particulièrement importante en période de crue (figure 99). En moyenne, la différence entre les deux séries est d'environ 1% alors qu'en crue la différence est de l'ordre de 4% mais peut atteindre 10%. Cette différence est probablement le résultat de la méthode de calcul plus exhaustive utilisée ici, notamment au niveau du calcul des débits pour les secteurs non-jaugés. De manière générale, la série de débits à Sorel calculée dans la présente étude est de bonne qualité. Pour ce qui est de la série de débits à Trois-Rivières, il n'existe pas de données publiées à cet endroit de sorte qu'une comparaison ne peut être faite à ce moment-ci. Dans le cas de Québec, il serait souhaitable de comparer nos résultats avec ceux publiés par Bourgault et Koutitonsky (1998). Cependant, la série de données publiée par ces derniers est disponible à un pas de temps horaire et comprend l'effet de la marée. Le travail d'extraction du débit net et le calcul de moyennes hebdomadaires dépassent le cadre du présent rapport, surtout en ce qui a trait à l'effort de modélisation hydrodynamique qui cible le secteur du Port de Montréal jusqu'à Trois-Rivières.

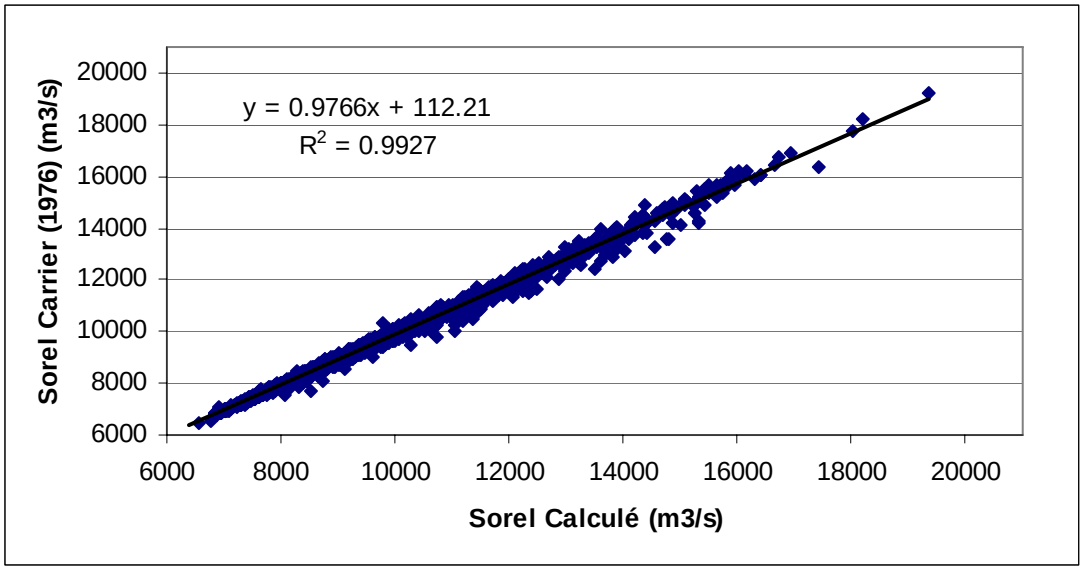

Figure 98 : Relation entre les débits à Sorel reconstitués dans la présente étude et les débits calculés par Carrier (1976).

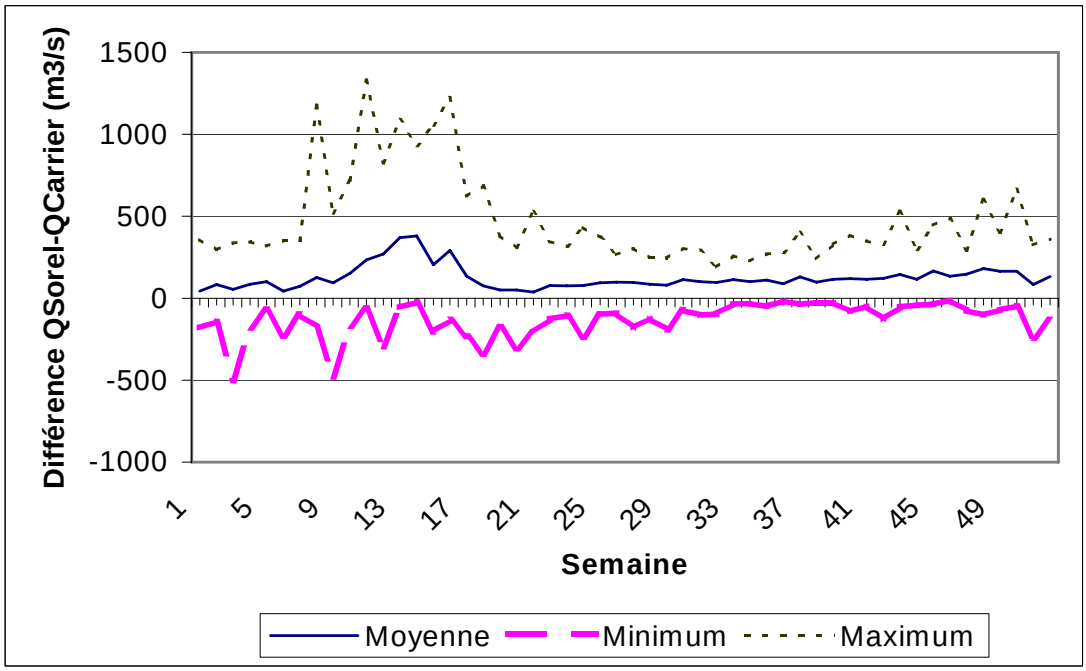

Figure 99 : Moyenne, minimum et maximum interannuels hebdomadaires des différences entre les débits calculés dans le présent rapport et ceux calculés par Carrier (1976).

Conclusion

L'exercice de reconstitution a nécessité un travail exhaustif de recherche de stations au sein des divers bassins versants à l'étude. Il en a été de même pour le travail de recherche de relations entre les diverses stations et pour la validation des séries finales. Quelques questionnements demeurent. Sur la rivière Saint-François, la station-témoin préconisée par Morse (1990) est opérée par Hydro-Québec et on remarque la présence de valeurs nulles dans les données archivées de HYDAT. En guise d'explication, il se pourrait que la station-témoin ne représente que le débit turbiné et non le débit total de la section.

Les données de 1998 devront être intégrées pour les stations suivantes : 02PA007, 02PC002, 02PC009, 02PJ005 et 02PD010 afin de clore le dossier pour les stations entre Trois-Rivières et Québec.

Le travail amorcé ici se veut évolutif dans la mesure où la banque de données accumulée devrait évoluer au fil des ans. À cet effet, il serait nécessaire de mettre sur pied un mécanisme de suivi et de mise à jour pour cette banque de données.

Dans une perspective d'avenir, il serait souhaitable de compléter la banque de données jusqu'à Cornwall et Carillon. Un élément important dans ce travail constitue la mise au point de relations niveau-débit fiables pour les chenaux de Sainte-Anne et de Vaudreuil. Ces relations pourront permettre les travaux suivants : 1) correction de la série de débits à Carillon publiée par Hydro-Québec (chenaux + Mille-Îles + Prairies – Apports 1, 2 et 3 de Morse) qui comporte une erreur pouvant atteindre 10%, 2) idem pour Beauharnois + Les Cèdres (LaSalle - Châteauguay – Chenaux), 3) reproduire une série d'apports latéraux pour le lac Saint-François à partir de la nouvelle série à Beauharnois/Les Cèdres en sachant que le débit à Cornwall est généralement reconnu comme étant précis. Ce dernier travail pourra compenser le fait qu'il existe très peu de stations de mesure de débit en temps réel pour les principaux tributaires du lac Saint-François. Du côté de Carillon, la série corrigée pourrait être combinée à la série de débits historiques à Grenville et pourrait ainsi constituer un outil précieux permettant d'évaluer l'impact de la régularisation du bassin de la rivière des Outaouais.

Références

BOURGAULT, D. et V.G. KOUTITONSKY (1998). Real-Time Monitoring of the Freshwater Discharge at the Head of the St. Lawrence Estuary. Article soumis à *Atmosphere-Ocean*.

CARRIER, Y. (1976). Reconstitution des débits du fleuve Saint-Laurent. Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'hydrométrie, Division de la diffusion de l'information hydrologique. 7 pages + annexes.

HOANG, V.D. (1980). Sommation des débits journaliers dans la région de Montréal et l'analyse statistique des débits maximaux journaliers consécutifs. Ministère des Richesses Naturelles, Service de l'Hydrométrie. 16 pages.

MORSE, B. (1990). St. Lawrence River Water-Levels Study: Application of the One-D Hydrodynamic Model. Transport Canada, Waterways Development Division, Canadian Coast Guard.