

**Record Number:** 11600  
**Author, Monographic:** Morin, G.//Sochanski, W.//Paquet, P.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Modélisation hydrologique et prévision en temps réel des apports des bassins versants Chute du diable et Mistassini à l'aide du modèle Cequeau  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1997  
**Original Publication Date:** Septembre 1997  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** xiv, 218  
**Packaging Method:** pages incluant 2 annexes  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 504  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-353-6  
**Notes:** Rapport annuel 1996-1997  
**Abstract:**  
**Call Number:** R000504  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

***Modélisation hydrologique et prévision en temps  
réel des apports des bassins versants Chute-Du-  
Diable et Mistassibi à l'aide du modèle  
CEQUEAU***

**MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET PRÉVISION EN TEMPS  
RÉEL DES APPORTS DES BASSINS VERSANTS CHUTE DU  
DIABLE ET MISTASSIBI À L'AIDE DU MODÈLE CEQUEAU**

par

Guy MORIN  
Wanda SOCHANSKI  
Pierre PAQUET

Rapport rédigé pour la Groupe ressources hydrauliques  
de la Société d'Électrolyse et de Chimie Alcan Ltée

Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau  
2800, rue Einstein, Case postale 7500, SAINTE-FOY (Québec), G1V 4C7

Septembre 1997

### ***Référence à citer***

Morin, G., Sochanska, W. et Paquet, P. (1997). Modélisation hydrologique et prévision en temps réel des apports des bassins versants Chute du Diable et Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU. INRS-Eau, rapport de recherche no 504, 221 pp.



# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1 MODÉLISATION DU RÉGIME HYDROLOGIQUE .....	5
1.1 MODÈLE HYDROLOGIQUE CEQUEAU .....	5
1.1.1 Schématisation du bassin versant .....	5
1.1.2 Données météorologiques .....	6
1.1.3 Le modèle .....	6
1.1.4 Calage du modèle .....	11
2 APPLICATION DU MODÈLE CEQUEAU À LA RIVIÈRE MISTASSIBI .....	17
2.1 Banque de données physiographiques et de drainage .....	17
2.2 Données hydro-météorologiques .....	18
2.3 Ajustement des paramètres du modèle hydrologique .....	18
2.4 Résultats des simulations hydrologiques du bassin Mistassibi .....	19
3 APPLICATION DU MODÈLE AU BASSIN DE CHUTE DU DIABLE .....	37
3.1 Banque de données physiographiques et de drainage .....	37
3.2 Données hydro-météorologiques .....	38
3.3 Ajustement des paramètres du modèle hydrologique .....	38
3.4 Résultats des simulations hydrologiques du bassin versant Chute du Diable .....	38
4 IMPACT DES RELEVÉS NIVOMÉTRIQUES SUR LES SIMULATIONS .....	65
4.1 Bassin versant de la rivière Mistassibi .....	66
4.1.1 Données nivométriques de janvier .....	66
4.1.2 Données nivométriques de février .....	67
4.1.3 Données nivométriques de mars .....	67
4.1.4 Données nivométriques d'avril .....	68
4.2 Bassin versant Chute du Diable .....	68
4.2.1 Données nivométriques de janvier .....	68
4.2.2 Données nivométriques de février .....	69
4.2.3 Données nivométriques de mars .....	69
4.2.4 Données nivométriques d'avril .....	69
4.2.5 Sous bassin versant: rivière Manouane .....	70
4.3 Conclusion .....	70
5 PRÉVISION DES DÉBITS À COURT TERME .....	107
5.1 Prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU sans mise à jour .....	108
5.1.1 Application à la rivière Mistassibi .....	109
5.1.2 Application au bassin versant Chute du Diable .....	112
5.2 Prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour statistique .....	113

5.2.1	Application à la rivière Mistassibi	114
5.3	Prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour déterministe	118
5.3.1	Application à la rivière Mistassibi	120
5.3.2	Application au bassin versant Chute du Diable	121
5.4	Conclusion	123

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU	13
Tableau 2.1	Données météorologiques et hydrométriques disponibles pour les bassins versant Chute du Diable et Mistassibi	21
Tableau 2.2	Coordonnées des stations météorologiques et hydrométriques utilisées pour le bassin versant de la rivière Mistassibi	22
Tableau 2.3	Valeurs finales des paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU pour la rivière Mistassibi	23
Tableau 2.4	Rivière Mistassibi critère numérique annuelle pour la période de calibration et de vérification	24
Tableau 3.1	Coordonnées des stations météorologiques et hydrométriques utilisées pour le bassin versant de Chute du Diable	41
Tableau 3.2	Valeurs finales des paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU pour le bassin versant Chute du Diable	42
Tableau 3.3	Chute du Diable critères numériques annuels pour la période de calibration et de vérification	43
Tableau 4.1	Équivalent en eau (mm) de la neige au sol sur les bassins versant de la rivière Mistassibi	73
Tableau 4.2	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier	74
Tableau 4.3	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier	75
Tableau 4.4	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février	76
Tableau 4.5	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février	77
Tableau 4.6	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars	78
Tableau 4.7	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars	79
Tableau 4.8	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril	80

Tableau 4.9	Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril . . . . .	81
Tableau 4.10	Équivalent en eau (mm) de la neige au sol sur les bassins versant Chute du Diable . . . . .	82
Tableau 4.11	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier . . . . .	83
Tableau 4.12	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier . . . . .	84
Tableau 4.13	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février . . . . .	85
Tableau 4.14	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février . . . . .	86
Tableau 4.15	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars . . . . .	87
Tableau 4.16	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars . . . . .	88
Tableau 4.17	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril . . . . .	89
Tableau 4.18	Chute-du-Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril . . . . .	90
Tableau 4.19	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier . . . . .	91
Tableau 4.20	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier . . . . .	92
Tableau 4.21	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février . . . . .	93
Tableau 4.22	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février . . . . .	94
Tableau 4.23	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars . . . . .	95
Tableau 4.24	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars . . . . .	96

Tableau 4.25	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril . . . . .	97
Tableau 4.26	Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril . . . . .	98
Tableau 5.1	Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour avec les données météorologiques observées sur le bassin versant . . . . .	127
Tableau 5.2	Caractéristiques des températures moyennes de l'air et des précipitations observées et prévues pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi . . . . .	128
Tableau 5.3	Latitude et longitude des points de grille utilisés pour le calcul des prévisions météorologiques . . . . .	128
Tableau 5.4	Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	129
Tableau 5.5	Statistiques des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour avec les données météorologiques observées sur le bassin versant . . . . .	130
Tableau 5.6	Caractéristiques des températures moyennes de l'air et des précipitations observées et prévues pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour le bassin versant Chute du Diable . . . . .	131
Tableau 5.7	Statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	132
Tableau 5.8	Autocorrélation des résidus pour le bassin versant de la rivière Mistassibi . . . . .	133
Tableau 5.9	Analyse statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique et les données météorologiques observées sur le bassin versant . . . . .	134
Tableau 5.10	Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	135
Tableau 5.11	Autocorrélation des résidus pour le bassin versant Chute du Diable . . . . .	136
Tableau 5.12	Analyse statistique des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique et les données météorologiques observées sur le bassin versant . . . . .	137
Tableau 5.13	Analyse statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	138

Tableau 5.14	Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe et les données météorologiques observées sur le bassin versant . . .	139
Tableau 5.15	Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	140
Tableau 5.16	Influence du nombre de jours entre les mises à jours des réserves et du nombre de jours utilisés pour le calcul de l'erreur entre les débits simulés et les débits reconstitués pour la mise à jour déterministe du bassin versant Chute du diable . . . . .	141
Tableau 5.17	Statistique des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe et les données météorologiques observées sur le bassin versant . . . . .	142
Tableau 5.18	Statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 . . . . .	143
Tableau 5.19	Critères de Nash des débits prévus pour les jours 1, 2 et 3 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi sans mise à jour, avec mise à jour statistique et avec mise à jour déterministe, pour la période de 1985 - 1994 . . . . .	144
Tableau 5.20	Critères de Nash des débits prévus pour les jours 1, 2 et 3 pour le bassin versant Chute du Diable sans mise à jour, avec mise à jour statistique et mise à jour déterministe, pour la période de simulation 1985 - 1995 . . . . .	145

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Schéma de production du modèle CEQUEAU . . . . .	8
Figure 1.2	Schématisation de la fonction de transfert . . . . .	10
Figure 2.1	Schématisation du bassin versant de la rivière Mistassibi . . . . .	25
Figure 2.2	Emplacement de la rivière Mistassibi et ses principaux tributaires par rapport à la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU . . . . .	27
Figure 2.3	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	29
Figure 2.4	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	30
Figure 2.5	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	31

Figure 2.6	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	32
Figure 2.7	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	33
Figure 2.8	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi . . . . .	34
Figure 2.9	Débits journaliers classés, observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi pour la période complète (1985-1994) suivi du nom de l'imprimante . . . . .	35
Figure 3.1	Schématisation du bassin versant de la centrale Chute du Diable . . .	45
Figure 3.2	Emplacement de la rivière Péribonca et ses principaux tributaires par rapport à la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU . . . . .	47
Figure 3.3	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	49
Figure 3.4	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	50
Figure 3.5	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	51
Figure 3.6	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	52
Figure 3.7	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés, pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	53
Figure 3.8	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés, pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute-du-Diable . . . . .	54
Figure 3.9	Débits journaliers classés, observés et calculés sur le bassin versant de Chute-du-Diable, pour la période complète (1985-1995) . . . . .	55
Figure 3.10	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période 1985-1994 à la station 062209 de la rivière Manouane . . . . .	56
Figure 3.11	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période 1985-1994 à la station 062209 de la rivière Manouane . . . . .	57
Figure 3.12	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période 1985-1994 à la station 062209 de la rivière Manouane . . . . .	58
Figure 3.13	Débits journaliers classés, observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane pour la période 1985-1995 . . . . .	59

Figure 3.14	Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période 1991-1994 à la station 062214 de la rivière Serpent .....	60
Figure 3.15	Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période 1991-1994 à la station 062214 de la rivière Serpent .....	61
Figure 3.16	Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période 1991-1994 à la station 062214 de la rivière Serpent .....	62
Figure 3.17	Débits journaliers classés, observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent, pour la période 1991-1994 .....	63
Figure 4.1	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige. ....	99
Figure 4.2	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars. ....	99
Figure 4.3	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige. ....	100
Figure 4.4	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	100
Figure 4.5	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige .....	101
Figure 4.6	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	101
Figure 4.7	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige .....	102
Figure 4.8	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	102
Figure 4.9	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige ..	103
Figure 4.10	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	103
Figure 4.11	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige .....	104
Figure 4.12	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	104
Figure 4.13	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable , sans correction des stocks de neige ..	105

Figure 4.14	Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	105
Figure 4.15	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige .....	106
Figure 4.16	Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars .....	106
Figure 5.1	Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 .....	147
Figure 5.2	Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 ..	149
Figure 5.3	Autocorrélation des résidus des débits pour les périodes 1985-1989, 1990-1994 et 1985-1994 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi .....	151
Figure 5.4	Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 .....	153
Figure 5.5	Autocorrélation des résidus des débits pour les périodes 1985-1989, 1990-1995 et 1985-1995 pour le bassin versant Chute du Diable .....	155
Figure 5.6	Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique, pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 .....	157
Figure 5.7	Autocorrélation des résidus des débits du bassin versant Chute du Diable, à l'exutoire, à la station 062209 (Manouane) et à la station 062214 (Serpent) pour la période complète d'observation .	159
Figure 5.8	Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 .....	161
Figure 5.9	Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 .....	163
Figure 5.10	Histogrammes de l'erreur quadratique moyenne des débits prévus par les modèles PAYSAN et CEQUEAU avec et sans mise à jour pour le bassin versant de la rivière Mistassibi, pour la période de calibration et de vérification .....	165
Figure 5.11	Histogrammes de l'erreur quadratique moyenne des débits prévus par les modèles PAYSAN et CEQUEAU avec et sans mise à jour pour le bassin versant de Chute du Diable, pour la période de calibration et de vérification .....	167



Figure 5.12	Histogrammes des erreurs quadratiques moyennes des débits simulés avec les données météorologiques observées et prévues du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, pour les bassins versants Mistassibi et Chute du Diable .....	169
Figure 5.13	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 1 .....	171
Figure 5.14	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 2 .....	172
Figure 5.15	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 3 .....	173
Figure 5.16	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 4 .....	174
Figure 5.17	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 5 .....	175
Figure 5.18	Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 6 .....	176
Figure 5.19	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 1 .....	177
Figure 5.20	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 2 .....	178
Figure 5.21	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 3 .....	179
Figure 5.22	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 4 .....	180
Figure 5.23	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 5 .....	181
Figure 5.24	Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 6 .....	182

# ANNEXES

Annexe A Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 pour les années 1985 à 1994 .....	183
Annexe B Débits journaliers observés et calculés aux stations 962207, 62214 et 62209, pour les années 1985 à 1995 .....	195

# INTRODUCTION

---

La gestion optimale des aménagements hydro-électriques de la région du Saguenay-Lac Saint-Jean, opérés par la société d'électrolyse et de chimie ALCAN, nécessite la connaissance des apports futurs avec le plus de précision possible. Ainsi l'ALCAN peut gérer de façon sécuritaire les ressources hydriques dont elle dispose tout en minimisant les déversements non productifs. La gestion optimale et sécuritaire porte essentiellement sur

- le remplissage optimal des réservoirs tout en minimisant les déversements non productifs;
- les débits minimaux garantis durant les étiages;
- le laminage des événements extrêmes en deçà des limites d'opération;
- les niveaux d'eau, des réservoirs et du lac Saint-Jean, maintenus dans les limites déterminées selon la période de l'année.

Les objectifs du système à gérer étant quelquefois contradictoires, les apports prévus à court et moyen termes sont utilisés pour obtenir la meilleure gestion possible compte tenu des contraintes.

Le Groupe ressources hydrauliques de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée a confié à l'INRS-Eau l'étude de la modélisation et de la prévision à court et à moyen termes des apports naturels de deux bassins versants tributaires du Lac Saint-Jean.

L'objectif de l'étude est d'explorer le potentiel d'un modèle à discrétisation spatiale pour simuler les apports hydrauliques naturels journaliers du bassin versant régularisé (Chute du Diable) et du bassin non régularisé (Mistassibi). Le modèle une fois calibré pourra être utilisé pour la prévision à court terme (1 à 7 jours) et à moyen terme (1 mois).

Pour atteindre cet objectif les données hydrométriques et météorologiques disponibles de 1985 à 1989 seront utilisées comme données de calibration, et les données de 1990 à 1995 seront utilisées pour la vérification. Différentes procédures de mise à jour (*updating*) des prévisions d'apports seront développées et vérifiées dans le but de trouver la procédure qui minimise les erreurs de prévision selon la période de l'année.

Pour cette étude nous utilisons le modèle de simulation de Quantité-Qualité-CEQUEAU. Le modèle CEQUEAU est un modèle de type déterministe à distribution spatiale. Il a été développé à l'INRS-Eau et la partie hydrologique (Morin *et al.*, 1981, 1996) a été appliquée sur de nombreux bassins versants au Québec, en Europe et en Afrique. Le modèle CEQUEAU a également été utilisé dans deux projets d'intercomparaison des modèles hydrologiques parrainés par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le premier projet (OMM1986) a porté sur la modélisation des débits avec fonte de neige. Onze modèles provenant de huit pays différents ont été appliqués sur six bassins versants. Le second projet (OMM1992) a porté sur la comparaison des modèles pour la prévision en temps réel des débits. Quatorze modèles provenant de dix pays ont été appliqués sur quatre bassins versants.

Le modèle CEQUEAU permet de prendre en compte les données physiographiques en subdivisant le bassin versant en éléments sur lesquels on estime les principales données physiographiques. Le découpage du bassin versant en éléments permet de simuler les débits en n'importe quel point, et de tenir compte de la variation spatiale des caractéristiques physiques du bassin versant.

L'utilisation de l'approche déterministe pour cette étude est justifiée par la dimension des bassins versants. L'approche déterministe, qui demande une connaissance des processus physiques, utilise pour chaque élément les données physiographiques et les données météorologiques estimées par extrapolation des données mesurées aux stations météorologiques disponibles dans la région. Les données de la période de calibration sont utilisées pour ajuster les paramètres du modèle. Les données de la période de vérification sont utilisées pour déterminer la précision des simulations avec les paramètres ajustés.

L'étude comporte les étapes suivantes :

- formation d'une banque physiographique et de drainage pour les deux bassins versants;
- formation des banques de données hydro-météorologiques pour la période 1985 à 1995, en utilisant toutes les données météorologiques et hydrométriques disponibles;
- calibration des paramètres du modèle pour chaque bassin versant en utilisant les données de 1985 à 1989;
- vérification de la précision des simulations pour chaque bassin versant en utilisant les données de 1990 à 1995;
- impact des relevés nivométriques sur la précision des simulations;
- prévision des débits à court terme, estimation des paramètres et analyse des résultats pour la:

- 
- prévision des débits sans mise à jour;
  - prévision des débits avec mise à jour statistique;
  - prévision des débits avec mise à jour déterministe;
- 
- vérification de la précision des prévisions hydrologiques avec les données météorologiques prévues:
    - moyennes sur le bassin versant;
    - aux points de grille.



# 1

## MODÉLISATION DU RÉGIME HYDROLOGIQUE

---

Pour la modélisation du régime hydrologique nous utilisons le modèle de simulation de Quantité-Qualité-CEQUEAU. L'application du modèle CEQUEAU (Morin *et al.*, 1996) nécessite la schématisation du bassin versant, la préparation des banques de données météorologiques et hydrométriques et l'ajustement des paramètres pour reproduire le mieux possible les débits observés.

### 1.1 MODÈLE HYDROLOGIQUE CEQUEAU

Le modèle hydrologique CEQUEAU est un modèle qui prend en compte les caractéristiques physiques du bassin versant par le découpage de celui-ci en éléments de même dimension. Cette discrétisation spatiale du bassin versant permet de suivre l'évolution spatio-temporelle des phénomènes, de prévoir l'effet de toute modification physique du bassin versant et de prendre en compte les réservoirs réels ou fictifs. Enfin, le découpage du bassin versant facilite l'utilisation de la télédétection pour définir certaines caractéristiques physiographiques et estimer certaines variables telles que précipitations, couvert neigeux, etc.

#### 1.1.1 Schématisation du bassin versant

Le découpage dans l'espace d'un bassin versant peut être très varié dans sa forme et sa densité. Pour le modèle CEQUEAU, nous avons retenu des surfaces carrées de dimensions semblables. En pratique, cela se traduit par la superposition d'une grille délimitant des éléments de surface que nous appellerons "carreaux entiers". La dimension de chaque "carreau entier" dépend de la superficie du bassin versant étudié, de sa topographie et du nombre de stations météorologiques disponibles. On considère que pour un bassin versant

relativement homogène, un découpage donnant de 25 à 75 carreaux entiers nous permet d'obtenir des résultats satisfaisants.

Pour chaque "carreau entier", on évaluera les caractéristiques physiographiques (altitude du coin sud-ouest, % forêt, % lac, % marais) qui sont nécessaires pour effectuer le bilan hydrologique.

Un deuxième découpage est ensuite nécessaire pour reproduire le cheminement de l'eau dans les rivières. Ceci est fait en subdivisant chaque "carreau entier" en "carreaux partiels" à l'aide des lignes de partage des eaux des sous-bassins. La seule caractéristique physique liée au "carreau partiel" est sa superficie exprimée en pourcentage du "carreau entier" et le sens de l'écoulement.

Ce second découpage permet de :

- suivre dans l'espace et le temps la formation et l'évolution des écoulements;
- introduire toute modification artificielle de l'écoulement dans les cours d'eau;
- fournir les débits à n'importe quel point du réseau de drainage.

### **1.1.2 Données météorologiques**

En plus des données physiographiques des carreaux entiers, le modèle requiert, sur chacun de ces carreaux à un pas de temps journalier, les données suivantes:

- la précipitation liquide;
- la précipitation solide;
- la température maximale de l'air;
- la température minimale de l'air.

Ces données n'étant disponibles qu'à un nombre limité de stations, le modèle permet différentes options d'interpolation, qui sont : la régression, la pondération et le polygone de Thiessen.

Les données nivométriques ne seront pas utilisées pour l'ajustement du modèle. Par contre, elles seront utilisées pour déterminer l'influence de ces données sur la précision des simulations.

### **1.1.3 Le modèle**

Le modèle CEQUEAU comporte deux parties principales visant à décrire le mieux possible le cheminement de l'eau vers l'exutoire du bassin versant.

La première partie, qu'on appelle "fonction de production", concerne l'écoulement vertical de l'eau et a pour but d'effectuer sur chaque carreau entier le bilan de l'eau dans le sol, les lacs et marais.



La seconde partie, qu'on appelle "fonction de transfert", concerne l'écoulement dans le réseau de drainage et a pour but d'effectuer sur chaque carreau partiel le transfert de l'eau en rivière et de tenir compte, s'il y a lieu, des ouvrages de régularisation.

### 1.1.3.1 Fonction de production

La fonction de production a pour but de représenter de manière simple, mais réaliste, les différentes voies que suivra l'eau atmosphérique entre le moment où elle atteint le sol et celui où elle rejoint la rivière. L'origine de l'alimentation en eau atmosphérique du bassin versant est la pluie ou la neige.

Quelle que soit l'origine de l'eau atmosphérique entrant dans un carreau avant sa mise en disponibilité pour l'écoulement vers l'exutoire, elle sera soumise à divers processus qui auront une influence directe sur la formation de l'onde d'écoulement.

Ces processus sont schématisés dans le modèle CEQUEAU par la représentation du sol sous forme de réservoirs communiquant entre eux à l'aide de relations mathématiques reproduisant, à l'échelle journalière, les différents transferts de masse (figure 1.1). Le tableau 1.1 donne la description des variables utilisées dans la fonction de production.

La première étape de la fonction de production dans le modèle CEQUEAU consiste à calculer la hauteur d'eau disponible, au niveau du sol, sur chaque carreau entier. Cette eau peut avoir deux origines: l'eau de pluie, ou l'eau provenant de la fusion du manteau nival.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'eau de pluie disponible sur chaque carreau entier est obtenue directement par interpolation des précipitations liquides mesurées aux stations météorologiques de la région.

Pour calculer l'eau provenant de la fusion du manteau nival, le modèle effectue le bilan des stocks de neige sur chaque carreau entier, séparé en deux parties: une zone de forêt et une zone de clairière. Le bilan de la fonte est fait séparément sur chaque partie et la lame de fonte globale est la combinaison des deux lames produites, en forêt et en clairière, pondérées en fonction des surfaces respectives de chaque zone.

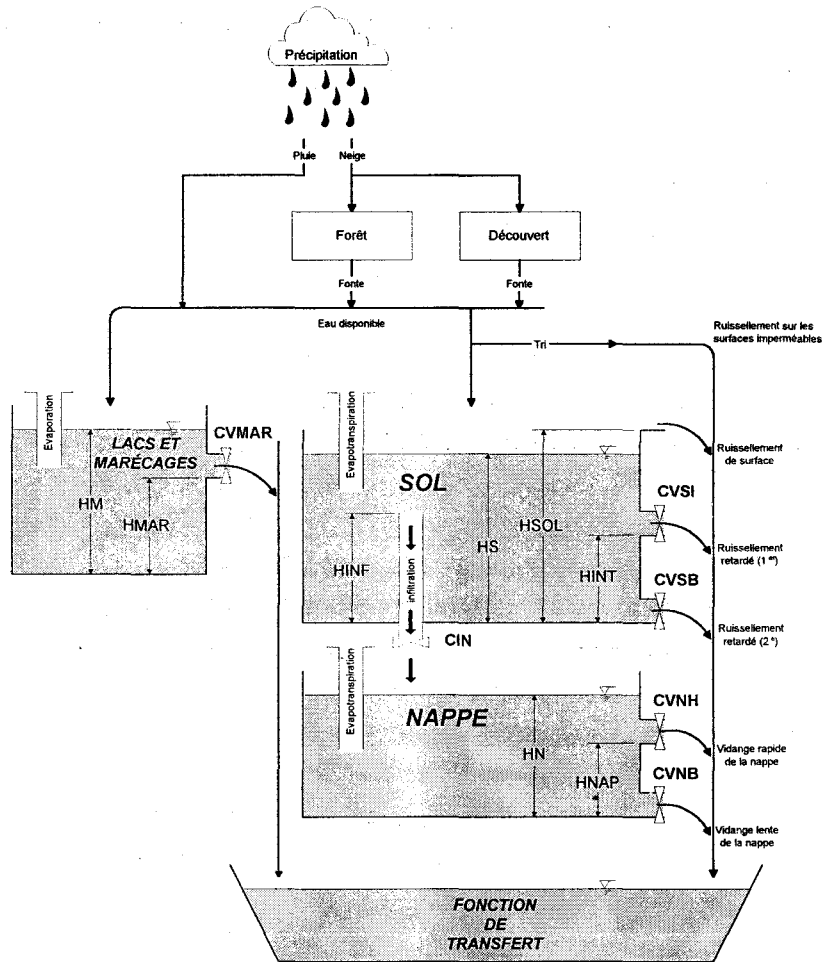


Figure 1.1 Schéma de production du modèle CEQUEAU

Les équations de base du calcul de la fonte sont tirées du rapport "*Runoff from Snowmelt*" du corps d'ingénieurs de l'armée américaine et utilisent une méthode simple de degré-jour qui permet d'estimer la fonte. On tient compte de deux phénomènes principaux qui retardent la disponibilité immédiate de l'eau de fonte, soit : le réchauffement du manteau nival qui a une faible conductivité thermique et le mûrissement du stock de neige pour que la lame de fonte qui se crée en surface puisse atteindre le niveau du sol.

Connaissant la fonte, on peut calculer l'eau disponible au niveau du sol en additionnant la précipitation liquide et la fonte.

S'il y a des surfaces imperméables sur le carreau entier, il y a du ruissellement qui est immédiatement disponible pour l'écoulement en rivière.

La lame restante est ajoutée au contenu antérieur du réservoir SOL. Le niveau d'eau dans le réservoir SOL est utilisé pour déterminer l'évaporation, l'infiltration et les évacuations qui reproduisent le ruissellement de surface et le ruissellement retardé.

La méthode utilisée pour le calcul de l'évaporation journalière est celle de Thornwaite, modifiée pour tenir compte de la durée potentielle d'ensoleillement en fonction de la latitude et du jour de l'année et de la saturation du sol.

Les évacuations sont déterminées en fonction des coefficients de vidange et des hauteurs de chaque orifice. Ces évacuations sont additionnées au ruissellement sur les surfaces imperméables pour donner un volume d'eau disponible pour l'écoulement en rivière, sauf la partie infiltration qui s'écoule dans le réservoir NAPPE.

Les écoulements issus du réservoir NAPPE dépendent du niveau d'eau dans le réservoir, des coefficients de vidange et de la hauteur de chaque orifice. Ces coefficients sont généralement très faibles puisque le réservoir NAPPE a pour but de reproduire les étiages.

Ceci complète les termes du bilan de l'eau sur la partie terrestre.

Le bilan en eau sur la partie eau libre s'évalue à l'aide du réservoir LACS et MARÉCAGES. Les écoulements issus de ce réservoir dépendent du niveau d'eau, de l'apport qui est la précipitation ajoutée à la fonte, de l'évaporation, du coefficient de vidange et de la hauteur de l'orifice.

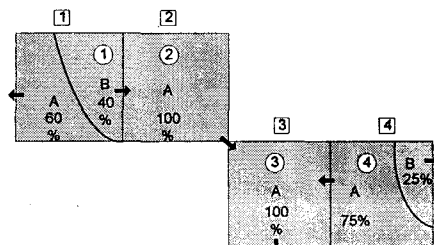
La hauteur et les coefficients de vidange de chaque orifice sont fixés à l'aide des vecteurs de données du modèle. Le calage du modèle a pour but de déterminer les valeurs de ces paramètres pour reproduire le mieux possible les débits mesurés.

### **1.1.3.2 Fonction de transfert**

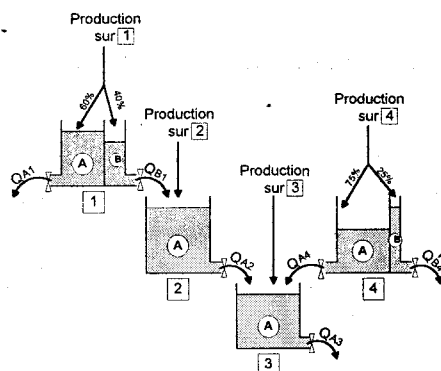
La fonction de production, qui vient d'être décrite, aboutit à l'obtention d'un volume d'eau disponible pour le transfert en rivière. Ce transfert est effectué de carreau partiel à carreau partiel.

Le volume d'eau disponible sur chaque carreau partiel est obtenu en multipliant le volume d'eau produit sur le carreau entier par le pourcentage de superficie du carreau partiel considéré. Ce volume est ajouté aux volumes entrant dans ce carreau depuis le ou les carreaux partiels directement en amont. Le volume résultant devient le volume disponible pour le transfert vers le carreau immédiatement en aval. La figure 1.2 montre la schématisation de la fonction de transfert.

Le volume  $V_i$  étant le volume emmagasiné dans le carreau partiel  $i$ , il se vidangera dans le carreau partiel immédiatement en aval d'une quantité  $v_i$  proportionnelle, d'une part, au volume  $V_i$  et, d'autre part, à un coefficient de transfert propre au carreau partiel  $i$ .



A) Vue en plan d'une partie du bassin



B) Schéma du transfert en rivière

**Figure 1.2** Schématisation de la fonction de transfert

Le coefficient de transfert de chaque carreau partiel est relié aux caractéristiques hydrauliques prépondérantes de l'écoulement, à savoir la capacité d'amortir l'onde par emmagasinement dans le réseau. Un bon index de cette capacité d'amortissement sur un carreau partiel est la superficie d'eau libre sur ce carreau. Un grand lac, par exemple, amortit l'écoulement; cependant, son influence dépend également de la superficie du bassin versant en amont. Un lac de  $10 \text{ km}^2$ , par exemple, a peu d'influence sur l'onde de crue d'un bassin versant de  $5\,000 \text{ km}^2$ . Par contre, si le bassin versant est de  $100 \text{ km}^2$ , ce lac devient très important. Le modèle CEQUEAU calcule le coefficient de transfert de chaque carreau partiel en considérant la superficie couverte d'eau sur le carreau partiel et la superficie en amont de ce carreau à l'aide de l'équation suivante :

$$XKT_i = 1 - \exp \left( -\min \left( 36, \frac{EXXKT \times RMA3}{\max (SL, SLAC)} \times \frac{100}{CEKM2} \right) \right)$$

où :

- XKT<sub>i</sub>* : coefficient de transfert du carreau partiel i pour le pas de temps d'une journée;
- EXXKT* : paramètre de calcul du coefficient de transfert;
- RMA3* : cumul des pourcentages de superficie des carreaux partiels en amont;
- SL* : superficie d'eau, estimée à l'aide du cumul des pourcentages des superficies en amont;
- SLAC* : pourcentage de superficie d'eau sur le carreau partiel. Cette superficie peut être modifiée pour tenir compte de lacs non sur le réseau.
- CEKM2* : superficie des carreaux entiers (km<sup>2</sup>).

Compte tenu que cette méthode de transfert peut être erronée pour des carreaux partiels particuliers (un grand lac ou encore une section en travers particulière), le modèle permet une solution plus rigoureuse qui consiste à introduire, d'une part, la courbe d'emmagasinement en fonction de la cote et, d'autre part, la loi de vidange de l'exutoire. Le modèle permet également de prendre en considération des barrages existants ou prévus en introduisant les principales caractéristiques des retenues et le mode d'exploitation.

#### 1.1.4 Calage du modèle

L'application d'un modèle paramétrique à un bassin versant nécessite l'ajustement des paramètres et constantes afin que le modèle reproduise le mieux possible les débits observés; cette opération est appelée "calage du modèle".

Les paramètres et constantes utilisés par le modèle CEQUEAU (tableau 1.1) peuvent être groupés suivant les différentes parties du cycle hydrologique dans lesquelles ils interviennent. Ces paramètres sont de trois types différents selon qu'ils sont déterminés, par

essai ou erreur, par la physique du phénomène ou considérés comme constantes déterminées à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques.

Notons que la schématisation du sol sous forme de différents réservoirs est conçue de façon à permettre la simulation de régime hydrologique très différente. Toutefois, si le régime est simple, on peut alléger cette schématisation en n'utilisant pas certains orifices. Ceci limite le nombre de paramètres et facilite le calage du modèle.

L'ajustement des paramètres se fait normalement par essai et erreur, ou par optimisation. La méthode essai et erreur consiste à analyser les résultats des simulations précédentes et modifier les paramètres pour améliorer les résultats; ceci est répété jusqu'à ce que les débits simulés soient comparables aux débits observés. Par optimisation un programme détermine automatiquement les valeurs des paramètres de façon à minimiser les différences entre les débits observés et calculés.

L'évaluation de la qualité des résultats d'une simulation consiste à vérifier si chacune des caractéristiques des écoulements observés est bien reproduite. Dans le modèle CEQUEAU, une approche semi-objective a été retenue. Le modèle fournit une série de tableaux et de graphiques présentant les débits observés et calculés à partir desquels on effectue les comparaisons entre les différents essais de simulation. La validité du calage est évaluée à partir de la comparaison des éléments suivants :

- la lame annuelle des débits observés et calculés;
- les lames mensuelles des débits observés et calculés;
- le débit journalier maximal observé et maximal calculé (débits de pointe, volumes, formes);
- le débit journalier minimal observé et minimal calculé;
- le synchronisme des débits observés et calculés.

Tableau 1.1

Paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU

Paramètres	Paramètre déterminé par essai et erreur			Description
	Paramètre déterminé selon la physique du phénomène			
	Constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques			
<b>Paramètres des réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS</b>				
CIN	●			coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVMAR	●			coefficient de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
CVNB	●			coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CVNH	●			coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	●			coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	●			coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
HINF	●			seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE
HINT	●			seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL
HMAR	●			seuil de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
HNAP	●			seuil de vidange du réservoir NAPPE
HRIMP	●			hauteur de précipitation pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces imperméables
HSOL	●			hauteur du réservoir SOL
<b>Paramètres régissant le fonte de neige</b>				
STRNE		●		seuil de transformation pluie-neige
TFC		●		taux de fonte en forêt
TFD		●		taux de fonte en clairière
TSC		●		seuil de température de fonte en forêt
TSD		●		seuil de température de fonte en clairière
TTD		●		coefficient de déficit calorifique de la neige
TTS		●		seuil de mûrissement du stock de neige
<b>Paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration</b>				
EVNAP	●			pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
HPOT	●			seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel
XAA		●		exposant de la formule de Thornthwaite
XIT		●		valeur de l'index thermique de Thornthwaite
<b>Paramètre et constante du transfert</b>				
EXXKT	●			paramètre d'ajustement du coefficient de transfert
ZN			●	temps de concentration du bassin
<b>Paramètres et constantes divers</b>				
COET		●		coefficient de correction des températures avec l'altitude
COEP		●		coefficient de correction des précipitations avec l'altitude
FACT	●			facteur modifiant les précipitations moyennes sur un ensemble de carreaux entiers
JOEVA	●			variables décalant la date d'insolation potentielle maximale respectivement pour
JONEI	●			l'évapotranspiration et pour la neige
XINFMA		●		infiltration maximale par jour
XLA			●	latitude moyenne du bassin versant
TRI			●	pourcentage de surface imperméable

Afin de quantifier la précision des résultats, le modèle calcule également deux critères d'ajustement :

- le coefficient de corrélation, défini par :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - \bar{q}_c) (q_{oi} - \bar{q}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - \bar{q}_c)^2 \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2}}$$

où:

$q_{ci}$  et  $q_{oi}$  débits calculés et observés du jour  $i$ ;

$\bar{q}_c$  et  $\bar{q}_o$  moyennes respectives de  $q_{ci}$  et  $q_{oi}$  sur les  $n$  jours servant au calcul du coefficient;

Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1. Il indique surtout la covariance entre les valeurs calculées et observées. Il est sensible aux déphasages. En effet, une valeur élevée de  $R$  peut signifier simplement un comportement homothétique des deux populations :

- le coefficient de Nash<sup>1</sup> (NTD), défini par :

$$NTD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2}$$

Il représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés. Il vaut 1 lorsque les débits simulés  $q_{ci}$  sont identiques aux débits observés  $q_{oi}$ . À mesure que la différence entre les débits calculés et observés s'accroît, le coefficient décroît et peut même devenir négatif.

---

<sup>1</sup> Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970). "Riverflow forecasting through conceptual model". Journal of Hydrology, 10: 282-290.



---

Les critères numériques nous permettent d'obtenir un indice global de la précision des simulations mais ils ne nous indiquent pas la partie du cycle hydrologique qui est simulée correctement. Des graphiques tels que l'hydrogramme, l'hyétogramme, la courbe des débits classés, etc, peuvent nous permettre l'analyse des simulations pour déterminer la précision des simulations des composantes spécifiques telles que: les étiages, les crues, la fonte de neige, le synchronisme des débits calculés par rapport aux débits observés, etc. Pour faciliter cette étude, CEQUEAU permet de produire différents graphiques des débits observés et calculés, des données météorologiques et des données spatiales utilisées pour les simulations.



# 2

## APPLICATION DU MODÈLE CEQUEAU À LA RIVIÈRE MISTASSIBI

---

Le bassin versant de la rivière Mistassibi est situé au nord du lac Saint-Jean et est orienté nord sud. Le bassin versant a une superficie de 9 320 km<sup>2</sup> et l'altitude varie de 200 à 600 mètres.

### 2.1 Banque de données physiographiques et de drainage

Le bassin versant de la rivière Mistassibi a été schématisé à l'aide d'une grille à base carrée de 10 km par 10 km correspondant à celle utilisée par Alcan. La dimension de la maille élémentaire est justifiée par la densité du réseau météorologique disponible pour la région et par la superficie et la topographie du bassin versant.

La figure 2.1 montre la schématisation du bassin versant naturel de la rivière Mistassibi. Les caractéristiques physiographiques, pourcentage de forêt, de lac et marais, l'altitude de chaque "carreau entier" et les données de drainage de chaque "carreau partiel" ont été extraites à partir des cartes topographiques au 1:250 000.

Le pourcentage de forêt déterminé, pour chaque carreau entier, à l'aide des cartes topographiques produites en 1978, 1982 et 1990 ne tient pas compte des coupes forestières effectuées depuis quelques années. Cependant, l'ajustement des paramètres prend en compte cette imprécision.

Pour faciliter la visualisation de la Mistassibi et de ses principaux tributaires, la figure 2.2 montre les principaux cours d'eau du bassin versant avec la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU.

## 2.2 Données hydro-météorologiques

La mise en opération du modèle hydrologique CEQUEAU nécessite l'utilisation des données météorologiques journalières disponibles sur le bassin versant. Le tableau 2.1 donne la liste des stations météorologiques et hydrométriques et la période d'observation utilisées. Ces données proviennent du Groupe ressources hydrauliques de la Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée. Le tableau 2.2 donne la position de ces stations par rapport au grillage utilisé pour la schématisation du bassin versant et les principales caractéristiques. Le pourcentage d'influence varie selon que l'on affecte les stations météorologiques au carreau entier par la méthode de Thiessen ou par pondération des trois stations le plus près. Pour la calibration nous avons utilisé la méthode des trois stations les plus près. Cette méthode permet d'obtenir une meilleure approximation des données météorologiques sur chaque carreau entier. Le tableau 2.2 donne le poids relatif de chaque station météorologique pour chaque méthode d'affectation.

Les positions des stations météorologiques par rapport au bassin versant de la rivière Mistassibi sont montrées sur les figures 2.1 et 2.2. Les données météorologiques utilisées sont les températures de l'air maximum et minimum, les précipitations liquides et les précipitations solides. Les données de précipitations solides ont été mesurées en équivalent en eau de la neige.

## 2.3 Ajustement des paramètres du modèle hydrologique

L'ajustement des paramètres a été fait, par essai et erreur pour une première approximation, en utilisant les débits observés à la station 062101 pour la période 1985 à 1989. Nous avons utilisé la période 1985-1989 pour la calibration du modèle dans le but de garder une période (1990-1995) suffisamment longue pour la vérification de l'ajustement. De plus, les données météorologiques et hydrométriques des années 1985 à 1989 sont représentatives des données de 1955 à 1995. Cependant, pour la période de 1985 à 1995, le réseau est plus complet et les données sont de meilleure qualité. Cet ajustement a pour but d'estimer les paramètres non déterminés par la physique du phénomène, c'est-à-dire les paramètres du type (a) tel que définis au tableau 1.1. Si les premiers essais permettent d'obtenir rapidement des simulations satisfaisantes, les améliorations ultérieures peuvent n'être que locales, c'est-à-dire qu'une crue mieux représentée pour une certaine valeur d'un paramètre peut l'être au détriment d'une autre et réciproquement. À ce point de l'ajustement, il est nécessaire d'utiliser des critères numériques pour s'assurer que les modifications de paramètres améliorent l'ensemble des simulations. On utilise normalement le critère de Nash ou la somme des différences aux carrés entre les débits observés et calculés.

L'ajustement final des paramètres a été fait par optimisation en utilisant la période 1985 à 1989. Nous avons optimisé en minimisant la somme des différences aux carrés entre les débits observés et les débits calculés. L'utilisation d'une longue période, cinq ans, a pour but de minimiser l'influence d'une année particulière sur la valeur des paramètres.

Le tableau 2.3 montre les valeurs finales des paramètres du modèle hydrologique CEQUEAU ajusté au bassin versant de la rivière Mistassibi.

## **2.4 Résultats des simulations hydrologiques du bassin Mistassibi**

Les résultats numériques des simulations, pour la période de calibration (1985-1989) et la période de vérification (1990-1994), sont présentés au tableau 2.4. Ce tableau donne les valeurs des coefficients de Nash et de corrélation calculés annuellement à la station 062101 sur la rivière Mistassibi. Les lames annuelles observées et calculées sur le bassin versant sont également montrées sur ce tableau.

L'étude du tableau 2.4, et en particulier les valeurs du coefficient de Nash, montre que les résultats obtenus pour la période de vérification sont aussi précis que ceux obtenus pour la période de calibration. Pour les deux périodes, on observe quatre ans sur cinq avec des coefficients de Nash supérieurs à 0.90. Le critère de Nash est par contre beaucoup plus faible pour les années 1987 et 1994. Les lames annuelles des débits calculés ne montrent pas d'erreur systématique par rapport aux lames des débits observés.

Les graphiques des figures 2.3 à 2.9 sont utilisés pour montrer les résultats des simulations pour la période de calibration et la période de vérification.

Les figures 2.3 et 2.4 montrent les débits journaliers, moyenne interannuelle, pour la période de calibration et de vérification. Les courbes de ces figures montrent que la précision des simulations est comparable pour les deux périodes, même si le coefficient de Nash pour la période de vérification est légèrement plus faible que celui de la période de calibration.

Les figures 2.5 et 2.6 montrent les moyennes interannuelles et les débits moyens mensuels, pour la période de calibration et de vérification. Ces figures montrent qu'il n'y a pas d'erreurs importantes et que les débits calculés sont valables pour tous les mois.

Les figures 2.7 et 2.8 montrent la dispersion des débits moyens mensuels observés par rapport aux débits moyens mensuels calculés. Ces figures montrent que les débits moyens

mensuels calculés n'ont pas d'erreur systématique parce qu'ils se situent de part et d'autre de la droite à 45°.

Finalement la figure 2.9 montre une bonne similitude entre les courbes des débits journaliers, observés et calculés, classés pour la période complète.

Les courbes annuelles, des débits journaliers observés et calculés sur la rivière Mistassibi à la station 062101, sont montrées sur les figures de l'annexe A. Ces figures montrent que la précision des débits calculés par rapport aux débits observés est satisfaisante, sauf pour les années 1987 et 1994.

L'analyse des critères numériques et des graphiques des débits observés et calculés nous permet de conclure que les paramètres retenus permettent de bien représenter le cycle hydrologique de la rivière Mistassibi. Ces paramètres seront utilisés pour la prévision des débits à court et à moyen terme.

**Tableau 2.1** Données météorologiques et hydrométriques disponibles pour les bassins versant Chute du Diable et Mistassibi

Station	Année											Bassin versant (1)	
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995		
<b>MÉTÉO</b>													
Bonnard 7060825													C, M
Ch. des Passes 7061541													C, M
Ch. du Diable 7061560													C, M
Lac Benoit 0622090													M
Lac de Cygnes 0621050													M
Lac Long 0619050													M
Lac Machique 0621060													C, M
Mistassibi 2 7064993													C, M
Normandin 7065640													M
<b>APPORTS NATURELS</b>													
Mistassibi 062101													M
Ch. du Diable 969907													C
Manouane 062209													C
Serpent 062214													C

(1) C: Chute du Diable M: Mistassibi

**Tableau 2.2** Coordonnées des stations météorologiques et hydrométriques utilisées pour le bassin versant de la rivière Mistassibi

	I <sup>(1)</sup>	J <sup>(1)</sup>	Altitude (m)	Tmoy ° C	Préc moy (mm)	Poids <sup>(2)</sup> %	Poids <sup>(3)</sup> %
<b>MÉTÉO</b>							
Bonnard 7060825	29	37	495	-1.81	960.03	10.53	1.03
Ch.des Passes 7061541	27	28	174	-0.06	911.17	16.82	18.21
Ch.du Diable 7061560	23	16	174	1.49	838.44	3.40	0.00
Lac Benoit 0622090	28	46	543	-2.50	864.62	2.19	0.00
Lac de Cygnes 0621050	15	28	468	-0.78	875.55	8.24	2.38
Lac Long 0619050	15	35	468	-1.15	858.46	9.80	5.36
Lac Machiste 0621060	23	39	543	-2.24	900.91	29.06	45.74
Mistassibi 2 7064993	22	22	244	0.93	870.51	18.53	26.20
Normandin 7065640	17	17	42	0.62	826.24	1.42	1.09
<b>DÉBIT</b>							
Mistassibi 062101	20 - 18 A Bassin versant 9320.0 km <sup>2</sup>						

<sup>(1)</sup> Coordonnées pour CEQUEAU provenant de la base de données Alcan

<sup>(2)</sup> Par pondération des trois stations les plus près

<sup>(3)</sup> Par polygone de Thiessen



**Tableau 2.3** Valeurs finales des paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU pour la rivière Mistassibi.

Paramètres	Paramètre déterminé par essai et erreur			Description
	Paramètre déterminé selon la physique du phénomène			
	Constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques			
	Description			
<b>Paramètres des réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS</b>				
CIN	●		0.145	coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVMAR	●		0.020	coefficient de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
CVNB	●		0.014	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CVNH	●		0.340	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	●		0.000	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	●		0.256	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
HINF	●		64.4 mm	seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE
HINT	●		66.3 mm	seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL
HMAR	●		250.0 mm	seuil de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
HNAP	●		124.0 mm	seuil de vidange du réservoir NAPPE
HRIMP	●		10.0 mm	hauteur de précipitation pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces
HSOL	●		100.0 mm	hauteur du réservoir SOL
<b>Paramètres régissant le fonte de neige</b>				
STRNE		●	0.52°C	seuil de transformation pluie-neige
TFC		●	2.34 mm/°C	taux de fonte en forêt
TFD		●	6.05 mm/°C	taux de fonte en clairière
TSC		●	0.15°C	seuil de température de fonte en forêt
TSD		●	0.42	seuil de température de fonte en clairière
TTD		●	0.70	coefficient de déficit calorifique de la neige
TTS		●	-0.61°C	seuil de mûrissement du stock de neige
<b>Paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration</b>				
EVNAP	●		34.0%	pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
HPOT	●		92.0 mm	seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel
XAA		●	0.786	exposant de la formule de Thornthwaite
XIT		●	26.3	valeur de l'index thermique de Thornthwaite
<b>Paramètre et constante du transfert</b>				
EXXKT	●		0.0111	transfert aval amont NPJO=6 carreaux/ jour paramètre d'ajustement du coefficient de transfert
ZN		●	5 jours	temps de concentration du bassin
<b>Paramètres et constantes divers</b>				
COET		●	-2.5°C/100m	coefficient de correction des températures avec l'altitude
COEP		●	0.75 mm/m	coefficient de correction des précipitations avec l'altitude
FACT	●		1.0	facteur modifiant les précipitations moyennes sur un ensemble de
JOEVA	●		80 jours	variables décalant la date d'insolation potentielle maximale
JONEI	●		80 jours	l'évapotranspiration et pour la neige
XINFMA		●	30.0 mm/jour	infiltration maximale par jour
XLA		●	4950	latitude moyenne du bassin versant
TRI		●	5.0%	pourcentage de surface imperméable

**Tableau 2.4** Rivière Mistassibi critère numérique annuelle pour la période de calibration et de vérification

Années	Mistassibi (062101)			
	Critère		Lame (mm)	
	Nash	Corrélation	Observée	Calculée
<b>Calibration</b>				
1985	0.963	0.98	652.74	662.80
1986	0.905	0.95	615.39	579.71
1987	0.760	0.91	623.46	548.88
1988	0.958	0.98	668.44	668.16
1989	0.949	0.97	588.02	603.87
1985-1989	0.968	0.96	629.54	612.64
<b>Vérification</b>				
1990	0.950	0.97	686.66	682.68
1991	0.949	0.98	583.33	642.53
1992	0.947	0.97	693.55	701.72
1993	0.932	0.97	787.24	793.00
1994(*)	0.792	0.90	612.14	670.58
1990-1994(*)	0.963	0.96	702.68	727.98

(\*) Manque de données

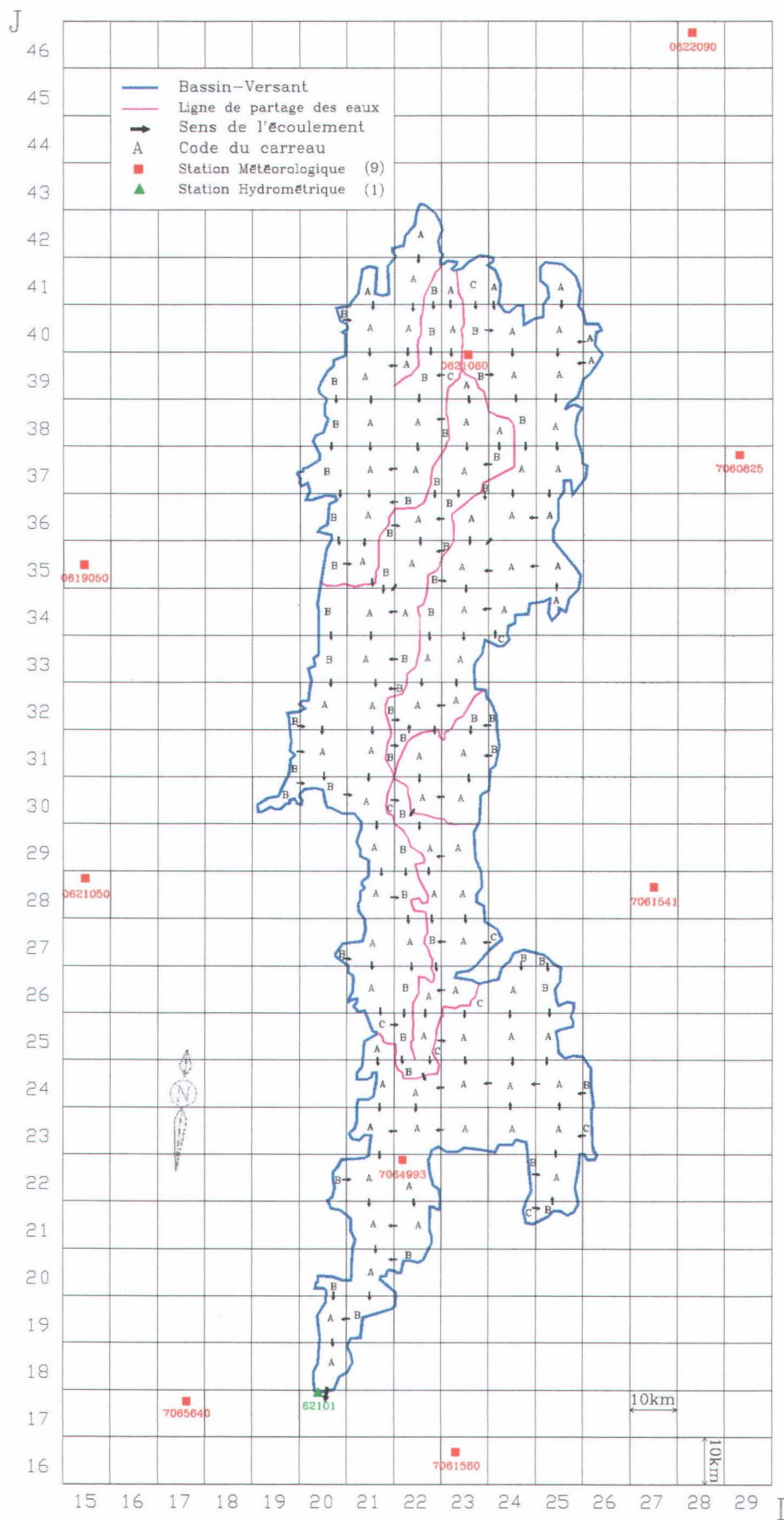


Figure 2.1

Schématisme du bassin versant de la rivière Mistassibi (MISBI).



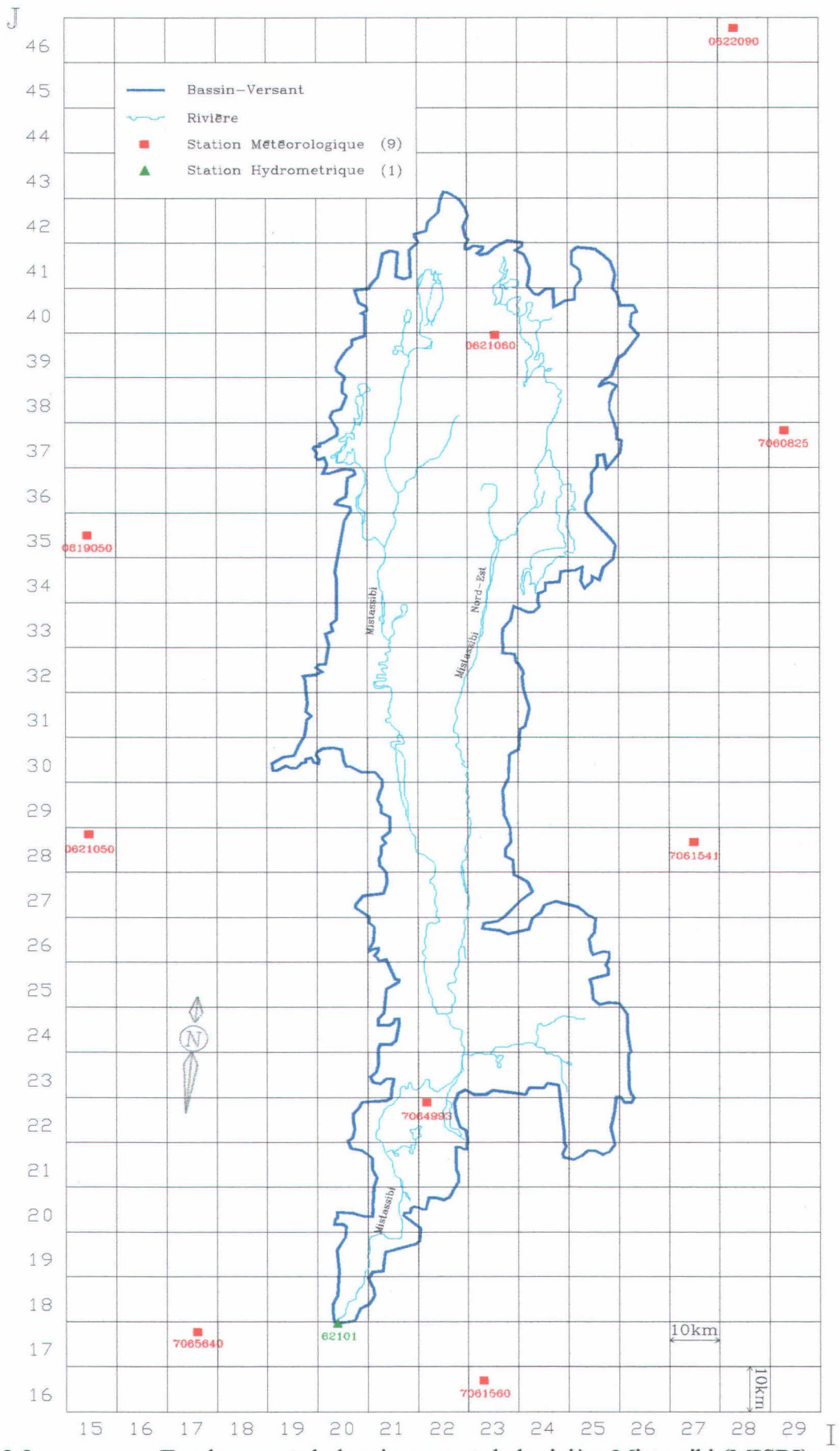


Figure 2.2

Emplacement du bassin versant de la rivière Mistassibi (MISBI) et de ses principaux tributaires par rapport à la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU.



## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9683

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 186.05 • cal.: 181.06  
Lame interannuelle (mm) obs.: 629.54 • cal.: 612.64

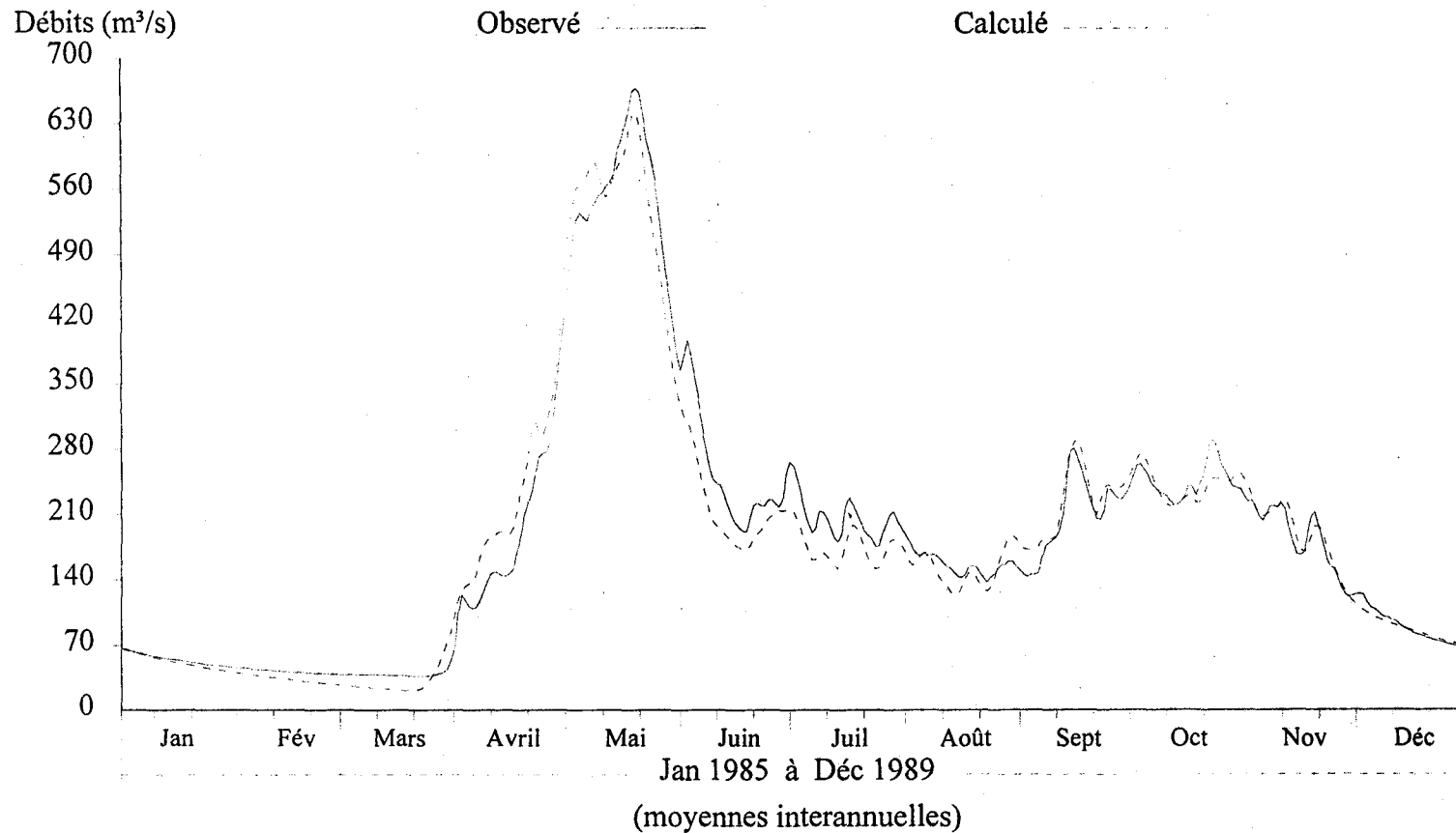


Figure 2.3 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9629

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 207.67 • cal.: 215.14  
Lame interannuelle (mm) obs.: 702.68 • cal.: 727.98

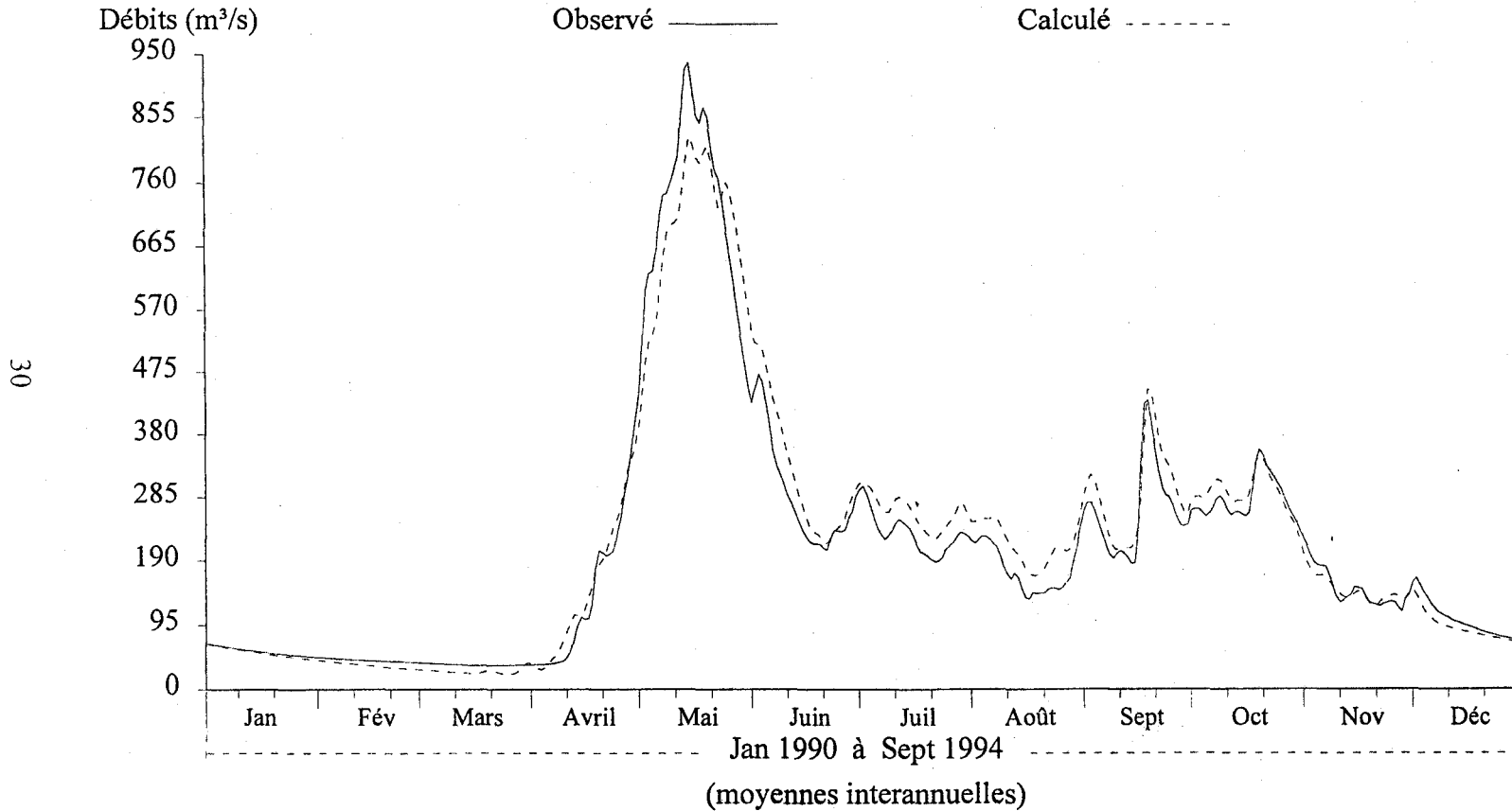


Figure 2.4 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.



## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9796

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 186.05 • cal.: 181.05  
Lame interannuelle (mm) obs.: 629.53 • cal.: 612.62

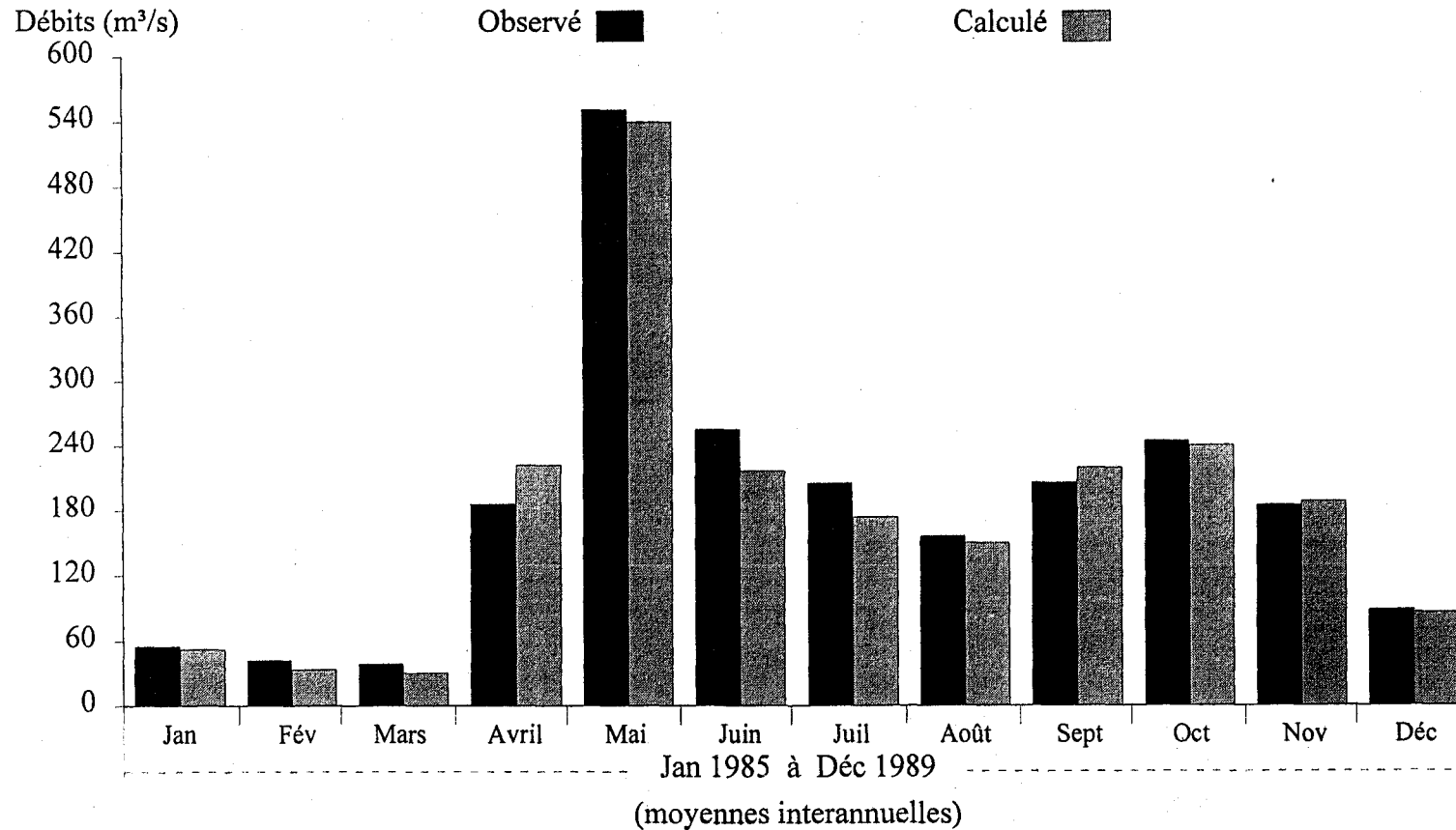


Figure 2.5 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9829

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 207.66 • cal.: 215.14  
Lame interannuelle (mm) obs.: 702.67 • cal.: 727.96

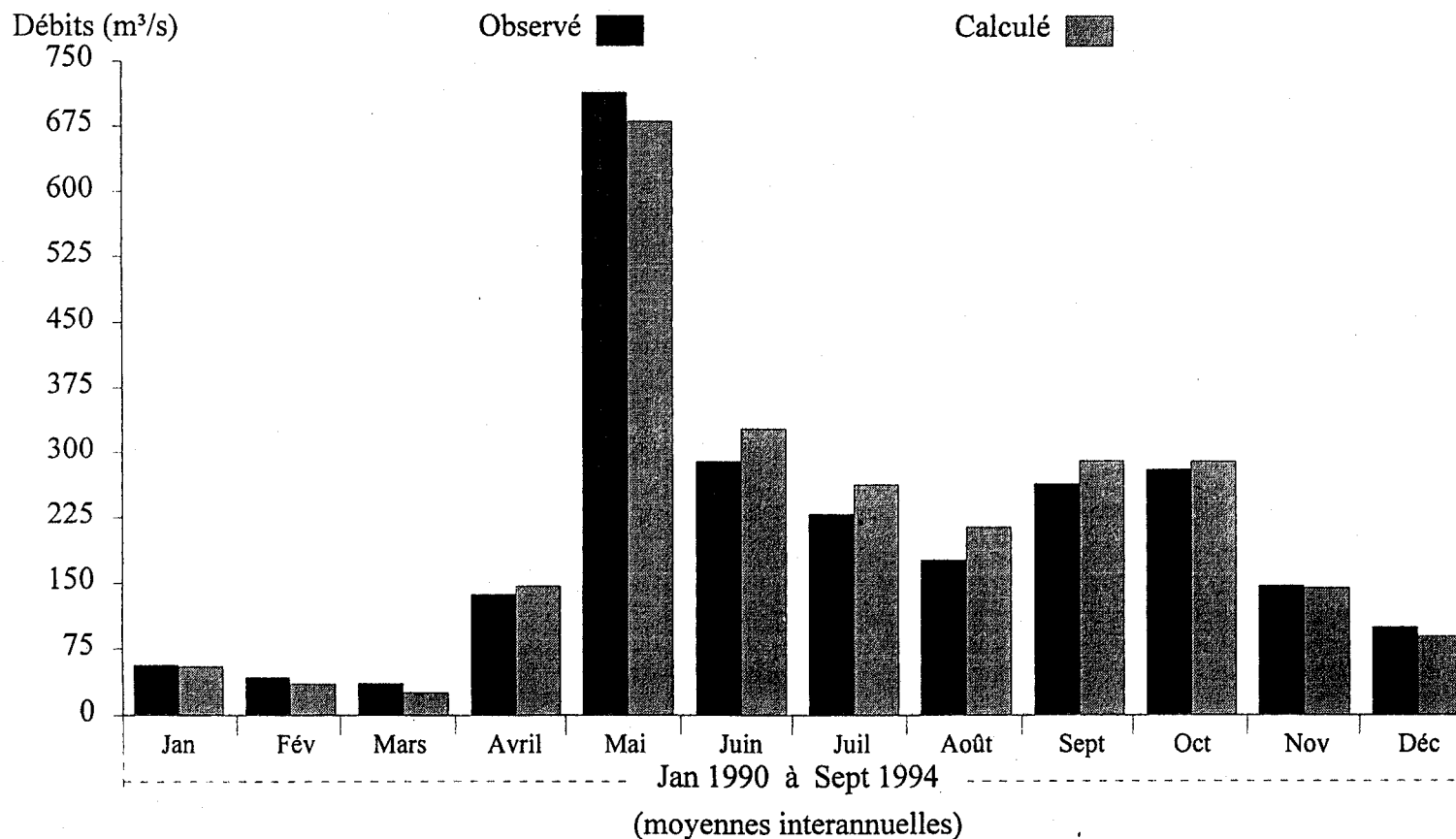


Figure 2.6 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.948

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 185.97 • cal.: 180.97  
Lame (mm) obs.: 3148.1 • cal.: 3063.4

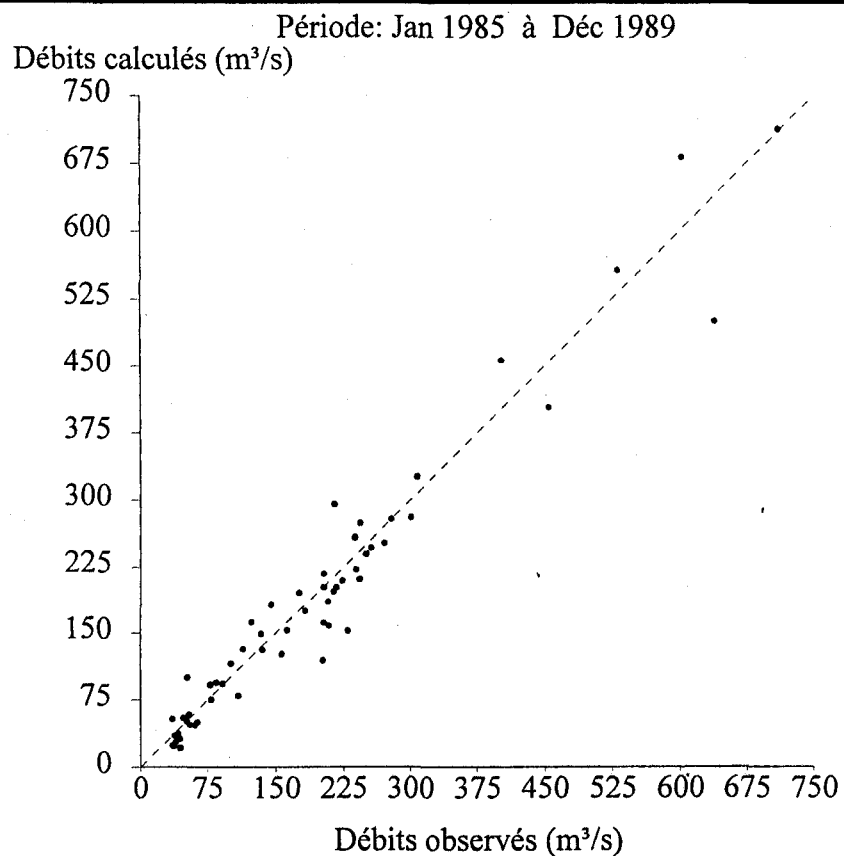


Figure 2.7 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de calibration (1985-1989) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9668

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 209.2 • cal.: 217.14  
Lame (mm) obs.: 3362.9 • cal.: 3490.5

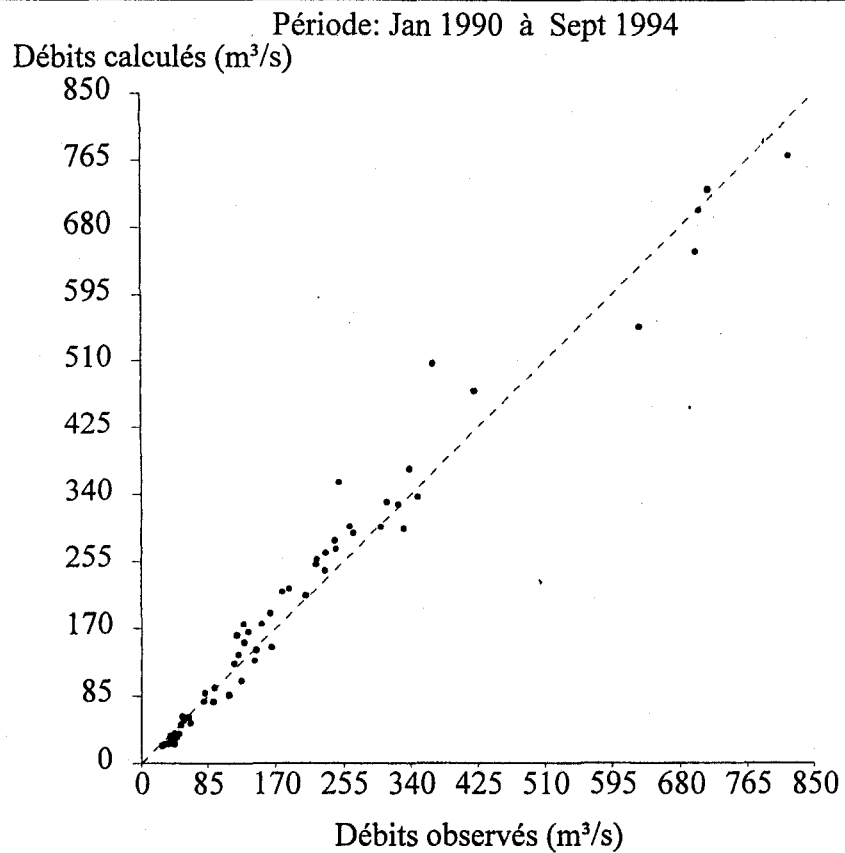


Figure 2.8 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de vérification (1990-1994) à la station 062101 de la rivière Mistassibi.

## Débits journaliers classés

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9968

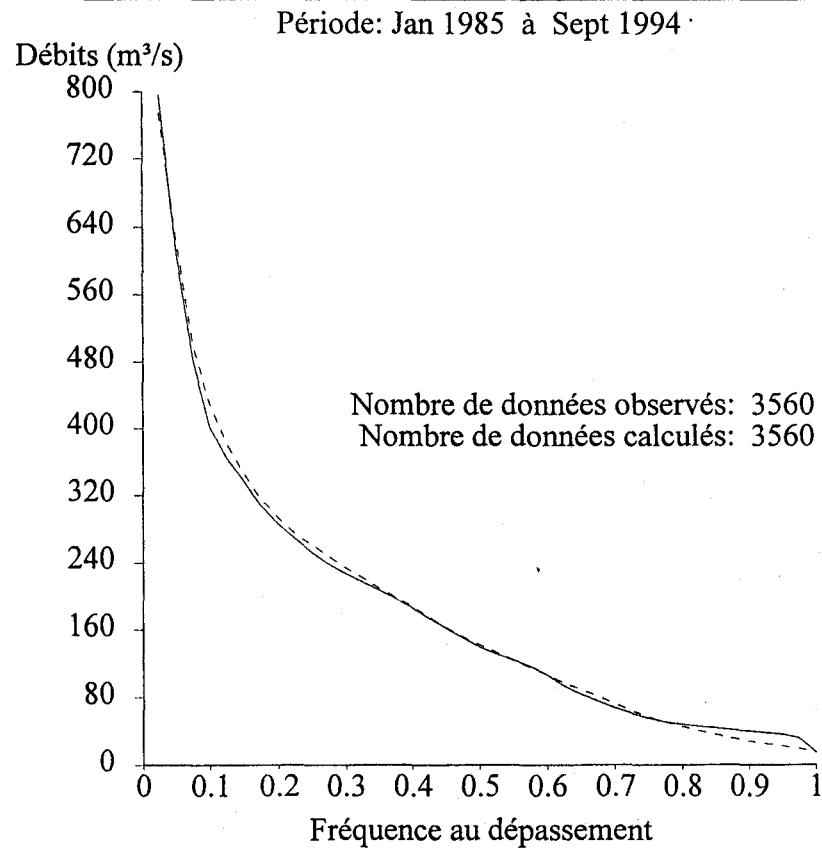


Figure 2.9 Débits journaliers classés, observés et calculés, à la station 062101 de la rivière Mistassibi pour la période complète (1985-1994).



# 3

## APPLICATION DU MODÈLE AU BASSIN DE CHUTE DU DIABLE

---

Le bassin versant à la centrale Chute du Diable a une superficie de 9 700 km<sup>2</sup> et représente la partie aval du bassin versant de la rivière Péribonka. Les apports hydrauliques naturels journaliers à la centrale Chute du Diable sont les valeurs reconstituées par le GRH d'ALCAN, en tenant compte des débits de la centrale Chute des Passes et des variations d'emménagement dans le réservoir de Chute du Diable. Deux stations hydrométriques sur des sous-bassins sont également disponibles. La première (station 062209) est située sur la rivière Manouane et a un bassin versant de 3 600 km<sup>2</sup>, la seconde (station 062214) est située sur la rivière Serpent et draine un bassin versant de 2 200 km<sup>2</sup>.

### 3.1 Banque de données physiographiques et de drainage

Le bassin versant de la rivière Péribonka a été schématisé à l'aide d'une grille à base carrée de 10 km par 10 km établie par Alcan. La figure 3.1 montre la schématisation du bassin versant en aval de la centrale Chute des Passes. Les caractéristiques physiographiques et les données de drainage ont été extraites à partir des cartes topographiques au 1:250 000.

Le pourcentage de forêt déterminé, pour chaque carreau entier, à l'aide des cartes topographiques produites en 1978, 1982 et 1990 ne tient pas compte des coupes forestières effectuées depuis quelques années. Cependant, l'ajustement des paramètres prend en compte cette imprécision.

La figure 3.2 montre les principaux cours d'eau du bassin versant avec la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU.

## **3.2 Données hydro-météorologiques**

Le tableau 2.1 donne la liste des stations météorologiques et hydrométriques, et la période d'observation disponible. Le tableau 3.1 donne les principales caractéristiques et la position des stations météorologiques et hydrométriques, par rapport au grillage utilisé pour la schématisation du bassin versant. Pour la calibration nous avons, de la même façon que pour la rivière Mistassibi, utilisé la méthode des trois stations météorologiques les plus près pour estimer les données météorologiques sur chaque carreau entier.

Les positions des stations météorologiques par rapport au bassin versant en amont de Chute du Diable sont montrées sur les figures 3.1 et 3.2.

## **3.3 Ajustement des paramètres du modèle hydrologique**

L'ajustement des paramètres a été fait par essai et erreur pour une première approximation en utilisant les débits observés à la station Chute du Diable (969902) pour la période 1985 à 1989.

L'ajustement final des paramètres a été fait par optimisation en utilisant les données de la même station (962207) pour la période 1985 à 1989. Les données des stations 062209 et 062214 des rivières Manouane et Serpent n'ont pas été utilisées pour l'ajustement des paramètres, mais les données disponibles pour chacune de ces stations seront cependant utilisées pour analyser la précision des simulations sur les sous-bassins.

Le tableau 3.2 montre les valeurs finales des paramètres du modèle hydrologique CEQUEAU ajusté au bassin versant en amont de la station Chute du Diable.

## **3.4 Résultats des simulations hydrologiques du bassin versant Chute du Diable**

Les résultats numériques des simulations, pour la période de calibration (1985-1989) et la période de vérification (1990-1995), sont présentés au tableau 3.3. Ce tableau donne les valeurs des coefficients de Nash et de corrélation calculés annuellement aux stations Chute du Diable (962207), Manouane (062209) et Serpent (062214). Les lames annuelles observées et calculées sur ces trois bassins versants sont également montrées sur ce tableau.



L'étude du tableau 3.3 montre que les coefficients de Nash sont en général un peu plus faibles pour la bassin versant Chute du Diable que ceux obtenus pour la rivière Mistassibi (tableau 2.4). Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les débits de Chute de Diable sont des débits reconstitués. Pour la station principale les coefficients de Nash varient de 0.67 à 0.92 pour la période de calibration et de 0.86 à 0.94 pour la période de vérification. Les lames d'écoulement annuelles calculées ne montrent pas d'erreur systématique par rapport aux lames d'écoulement observées pour la station principale à Chute du Diable et à la station 062209 sur la rivière Manouane. Sur la rivière Serpent les données de débits sont complètes pour les années 1992 et 1993 seulement. Les lames calculées pour ces années sont sur-estimées pour les deux années.

Les graphiques des figures 3.3 à 3.9 montrent les principaux résultats des simulations pour la période de calibration et de vérification pour la station principale. Les figures 3.10 à 3.16 montrent les principaux résultats pour les stations 062209 de la rivière Manouane et 062214 de la rivière Serpent.

Les figures 3.3 et 3.4 montrent les débits journaliers, moyenne interannuelle, pour la période de calibration et de vérification de Chute du Diable. Les courbes de ces figures montrent que la précision des simulations est comparable pour les deux périodes même si le coefficient de Nash pour la période de vérification est légèrement plus faible que celui de la période de calibration. L'on observe également sur ces deux figures que la crue printanière est assez différente pour les deux périodes. La crue moyenne de la période de vérification est plus élevée que la crue de la période de calibration; par contre la crue de la période de vérification dure plus longtemps. Les deux crues sont cependant bien reproduites par les débits simulés.

Les figures 3.5 et 3.6 montrent les moyennes interannuelles et les débits moyens mensuels pour la période de calibration et de vérification. Ces figures montrent qu'il n'y a pas d'erreurs importantes et que les débits calculés sont valables pour tous les mois.

Les figures 3.7 et 3.8 montrent la dispersion des débits moyens mensuels observés par rapport aux débits moyens mensuels calculés. Sur la figure 3.8 on observe que les débits calculés intermédiaires, c'est-à-dire entre 150 et 500 m<sup>3</sup>/s, sont légèrement sur-estimés parce que les points se situent au-dessus de la droite à 45°.

La figure 3.9 montre une bonne similitude entre les courbes des débits journaliers, observés et calculés, classés pour la période complète.

Les figures 3.10 à 3.13 montrent les mêmes graphiques que précédemment, pour les débits de la station 062209 de la rivière Manouane. Toutes ces courbes montrent que les débits

simulés pour ce sous-bassin versant sont comparables à ceux observés. Comme les données de ce sous-bassin n'ont pas été utilisées pour la calibration des paramètres du modèle, une seule période est utilisée et correspond à une période de vérification.

Les figures 3.14 à 3.17 montrent les mêmes graphiques, pour les débits de la station 062214 de la rivière Serpent pour toute la période de données observées, soit de 1991 à 1994. Cette période est considérée comme une période de vérification parce que les données de cette station n'ont pas été utilisées pour la calibration des paramètres du modèle. Les figures 3.15 et 3.16 montrent que les débits moyens mensuels sont sur-estimés. Les débits de la crue du printemps et d'étiage d'hiver sont assez bien reproduits comme on peut le voir sur la figure 3.14.

Les courbes annuelles des débits journaliers, observés et calculés sur le bassin versant Chute du Diable et des rivières Mañouane et Serpent, sont montrées sur les figures de l'annexe B.

L'analyse des critères numériques et des graphiques des débits observés et calculés nous permet de conclure que les paramètres retenus permettent de bien représenter le cycle hydrologique du bassin versant de Chute du Diable. Ces paramètres seront utilisés pour la prévision des débits à court et à moyen terme.

**Tableau 3.1** Coordonnées des stations météorologiques et hydrométriques utilisées pour le bassin versant de Chute du Diable

	I <sup>(1)</sup>	J <sup>(1)</sup>	Altitude (m)	Tmoy °C	Préc. moy (mm)	Poids <sup>(2)</sup> %	Poids <sup>(3)</sup> %
<b>MÉTÉO</b>							
Bonnard 7060825	29	37	495	-1.81	960.03	21.04	20.11
Ch.des Passes 7061541	27	28	174	-0.06	911.17	44.95	63.48
Ch.du Diable 7061560	23	16	174	1.49	838.44	10.56	11.55
Lac Machique 0621060	23	39	543	-2.24	900.91	7.96	0.19
Mistassibi 7064993	22	22	244	0.93	870.51	15.48	4.68
<b>APPORTS NATURELS</b>							
Ch.du Diable 969907	24 -16 A Bassin versant 9700.0 km <sup>2</sup>						
Manouane 062209	30 - 28 A Bassin versant 3600.0 km <sup>2</sup>						
Serpent 062214	27 - 25 A Bassin versant 2200.0 km <sup>2</sup>						

<sup>(1)</sup> Coordonnées pour CEQUEAU provenant de la base de données Alcan

<sup>(2)</sup> Par régression

<sup>(3)</sup> Par polygones de Thiessen

**Tableau 3.2 Valeurs finales des paramètres et constantes intervenant dans le modèle CEQUEAU pour le bassin versant Chute du Diable**

Paramètres	Paramètre déterminé par essai et erreur			Description
	Paramètre déterminé selon la physique du phénomène			
	Constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques			
<b>Paramètres des réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS</b>				
CIN	●		0.208	coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVMAR	●		0.020	coefficient de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
CVNB	●		0.010	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CVNH	●		0.000	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	●		0.000	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	●		0.146	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
HINF	●		60.0 mm	seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE
HINT	●		55.7 mm	seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL
HMAR	●		250.0 mm	seuil de vidange du réservoir LACS et MARÉCAGES
HNAP	●		100.0 mm	seuil de vidange du réservoir NAPPE
HRIMP	●		10.0 mm	hauteur de précipitation pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces imperméables
HSOL	●		100.0 mm	hauteur du réservoir SOL
<b>Paramètres régissant le fonte de neige</b>				
STRNE		●	-2.48 °C	seuil de transformation pluie-neige
TFC		●	2.48 mm/°C	taux de fonte en forêt
TFD		●	5.50 mm/°C	taux de fonte en clairière
TSC		●	-0.06°C	seuil de température de fonte en forêt
TSD		●	0.17 °C	seuil de température de fonte en clairière
TTD		●	0.70	coefficient de déficit calorifique de la neige
TTS		●	-0.85°C	seuil de mûrissement du stock de neige
<b>Paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration</b>				
EVNAP	●		92.9 %	pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
HPOT	●		100.0 mm	seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel
XAA		●	0.770	exposant de la formule de Thornthwaite
XIT		●	16.0	valeur de l'index thermique de Thornthwaite
<b>Paramètre et constante du transfert</b>				
EXXKT	●		0.0262	transfert aval amont NPJO=7 carreaux/jour paramètre d'ajustement du coefficient de transfert
ZN		●	5 jours	temps de concentration du bassin
<b>Paramètres et constantes divers</b>				
COET		●	-2.5 °C/100 m	coefficient de correction des températures avec l'altitude
COEP		●	1.0 mm/m	coefficient de correction des précipitations avec l'altitude
FACT	●		1.0	facteur modifiant les précipitations moyennes sur un ensemble de carreaux entiers
JOEVA	●		80 jours	variables décalant la date d'insolation potentielle maximale
JONEI	●		80 jours	respectivement pour l'évapotranspiration et pour la neige
XINFMA		●	15.0 mm/jour	infiltration maximale par jour
XLA		●	4950	latitude moyenne du bassin versant
TRI		●	14.0 %	pourcentage de surface imperméable

**Tableau 3.3** Chute du Diable critères numériques annuels pour la période de calibration et de vérification

Années	Chute de Diable (962207)				Manouane (062209)				Serpent (062214)			
	Critère		Lame (mm)		Critère		Lame (mm)		Critère		Lame (mm)	
	Nash	Corrélation	Observée	Calculée	Nash	Corrélation	Observée	Calculée	Nash	Corrélation	Observée	Calculée
<b>Calibration</b>												
1985	0.924	0.96	641.52	641.97	0.881	0.94	658.54	657.24				
1986	0.924	0.96	617.37	573.19	0.898	0.95	604.51	561.37				
1987	0.671	0.85	563.60	520.28	0.507	0.76	651.82	571.94				
1988	0.897	0.95	644.94	676.21	0.859	0.93	673.64	660.72				
1989	0.916	0.97	653.86	609.69	0.889	0.95	681.79	589.17				
1985-1989	0.971	0.94	624.22	606.21	0.9365	0.91	653.97	608.03				
<b>Vérification</b>												
1990	0.869	0.94	603.64	650.83	0.633	0.84	610.81	681.38				
1991	0.947	0.97	578.77	606.74	0.922	0.96	609.77	605.43	0.723	0.90	309.96 <sup>(1)</sup>	626.22
1992	0.949	0.98	759.54	701.97	0.900	0.96	827.60	699.60	0.860	0.95	651.30	726.41
1993	0.894	0.95	761.96	714.61	0.861	0.93	851.60	845.49	0.755	0.92	667.83	850.94
1994	0.860	0.94	716.81	762.55	0.833 <sup>(1)</sup>	0.91	646.64 <sup>(1)</sup>	646.72	0.764 <sup>(1)</sup>	0.95	537.11 <sup>(1)</sup>	695.55
1995	0.827	0.91	692.30	753.52								
1990-1995	0.955	0.95	685.52	718.33	0.943 <sup>(1)</sup>	0.92	738.74 <sup>(1)</sup>	724.54	0.8978 <sup>(1)</sup>	0.93	623.44 <sup>(1)</sup>	764.5

<sup>(1)</sup> Manque de données.



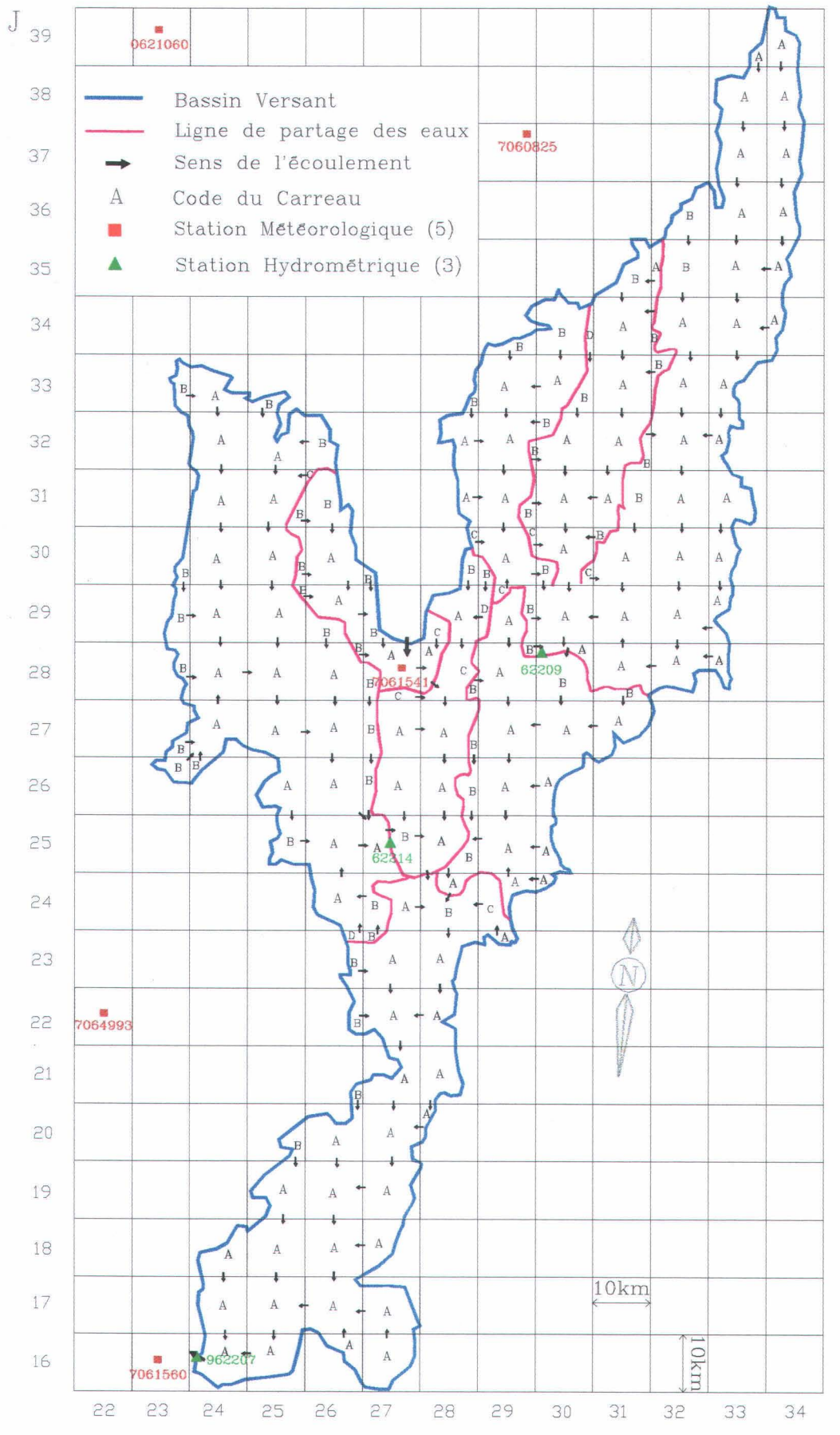


Figure 3.1 Schématisation du bassin versant de la centrale Chutes du Diable (CD).

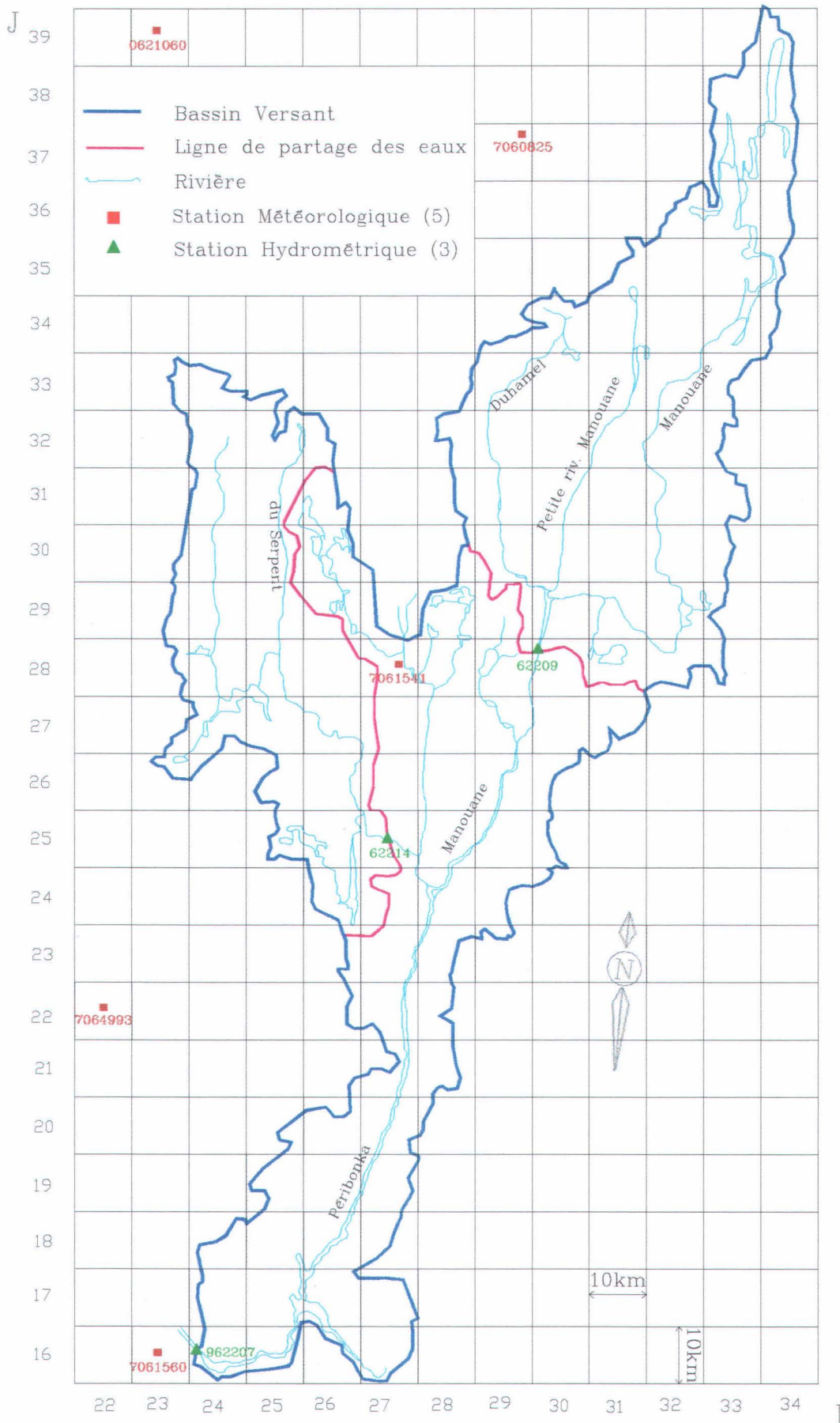


Figure 3.2 Emplacement du bassin versant de la centrale Chutes du Diable (CD) et ses principaux tributaires par rapport à la schématisation utilisée par le modèle CEQUEAU.



## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.971\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 192\* • cal.: 186.46  
Lame interannuelle (mm) obs.: 624.22\* • cal.: 606.21

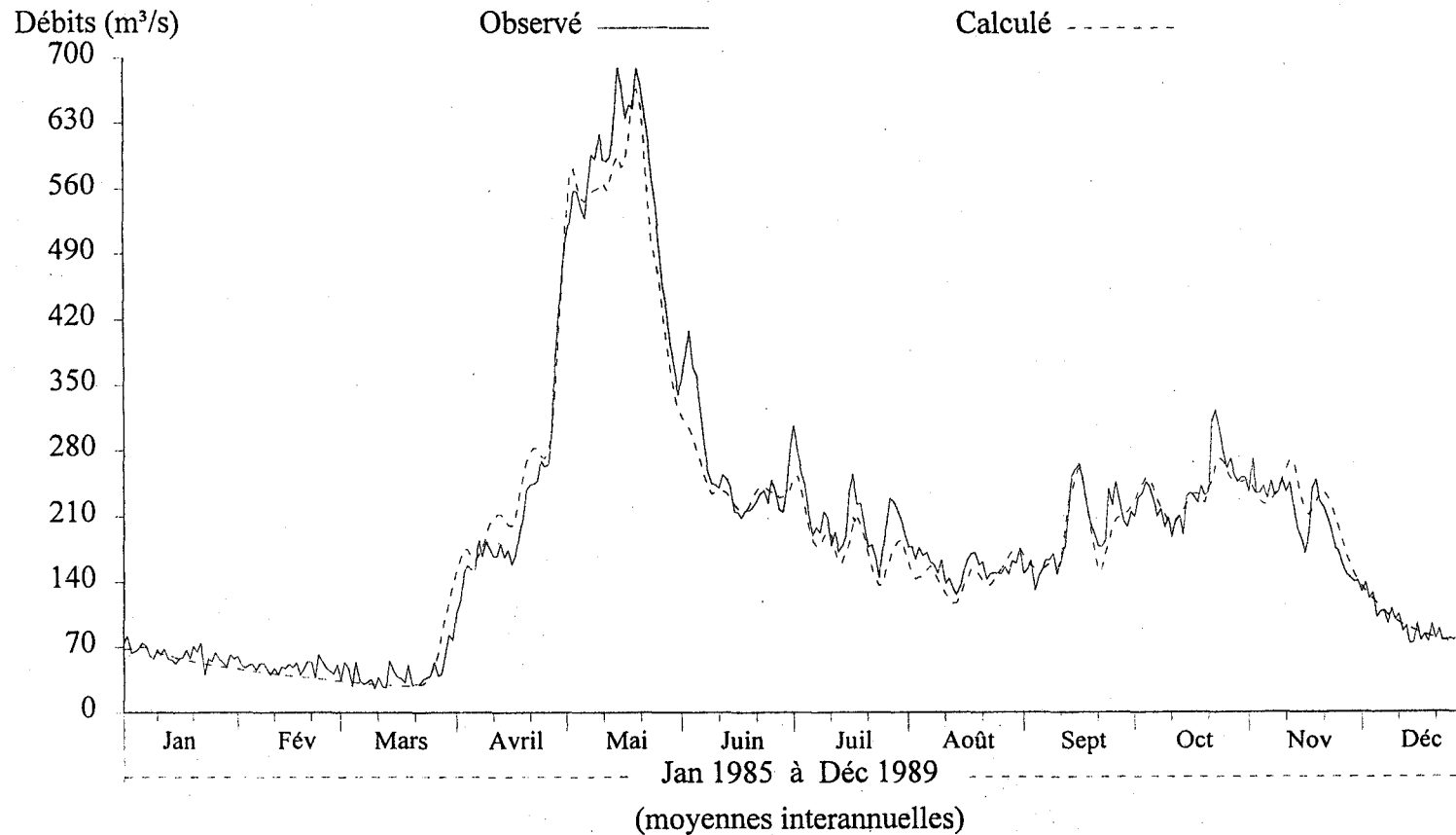


Figure 3.3 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute du Diable.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9553\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 210.86\* • cal.: 220.95  
Lame interannuelle (mm) obs.: 685.52\* • cal.: 718.33

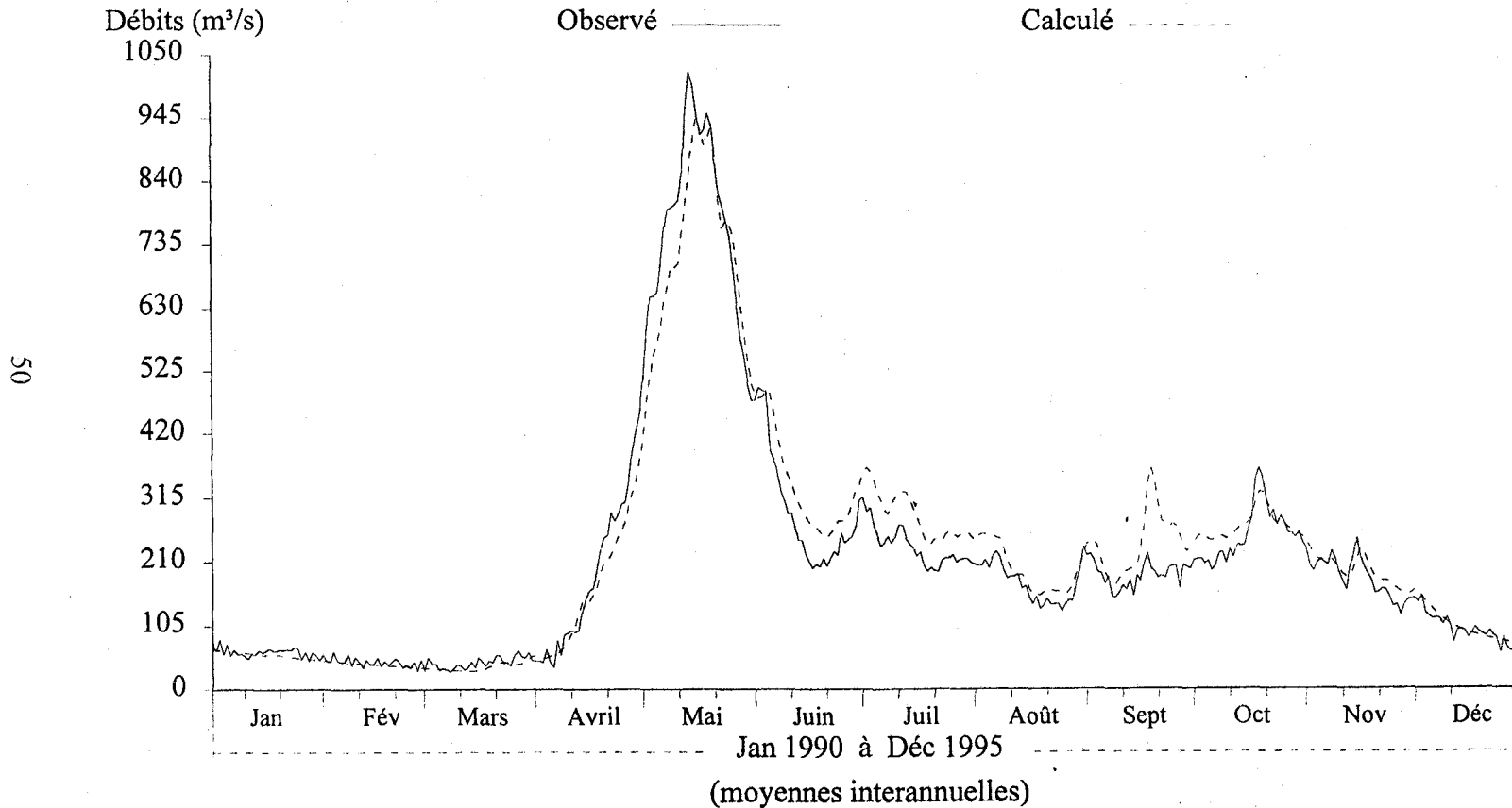


Figure 3.4 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute du Diable.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9888\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 192.02\* • cal.: 186.46  
Lame interannuelle (mm) obs.: 624.28\* • cal.: 606.2

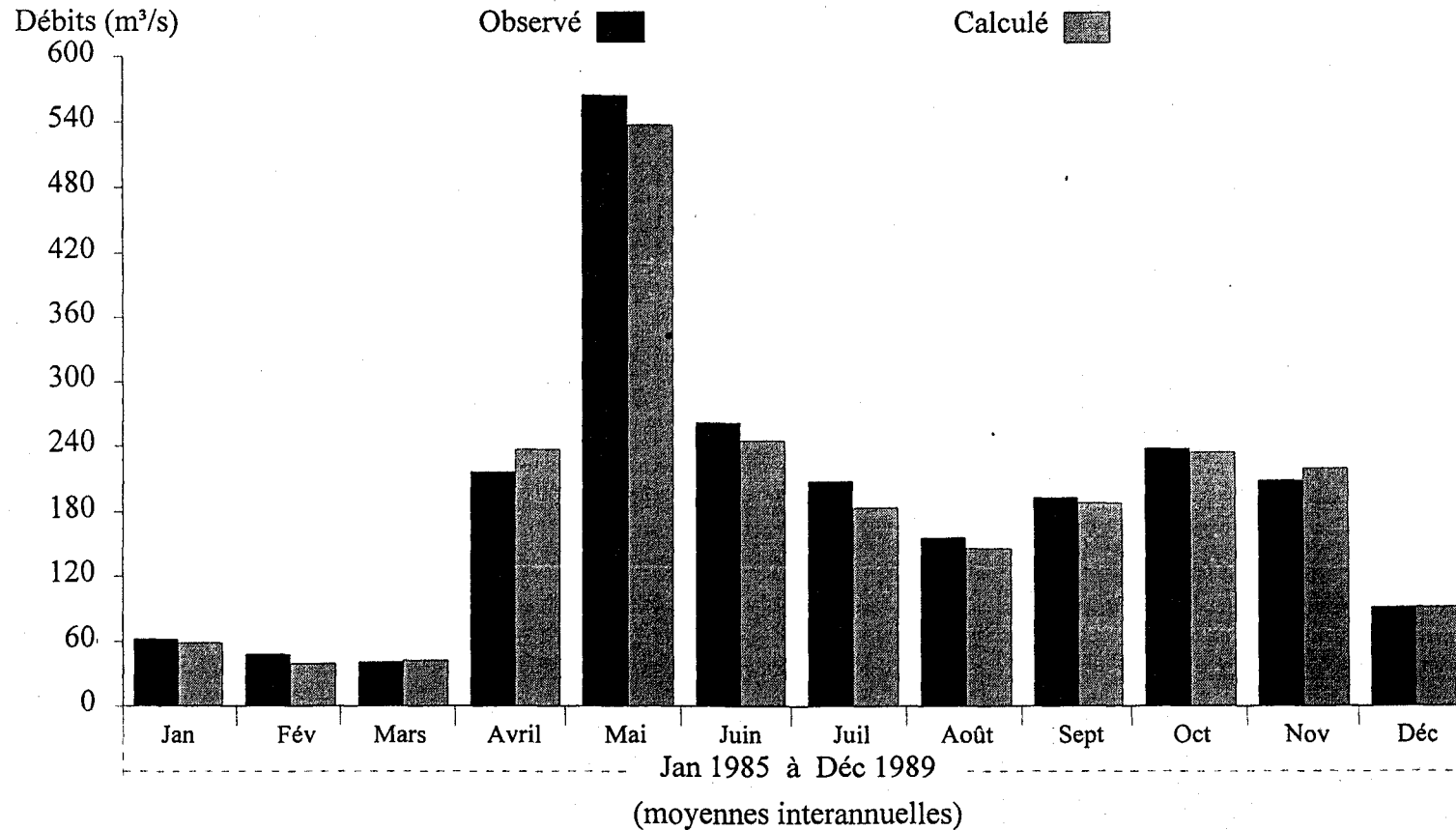


Figure 3.5 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute-du-Diable.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9722\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 210.85\* • cal.: 220.95  
Lame interannuelle (mm) obs.: 685.51\* • cal.: 718.32

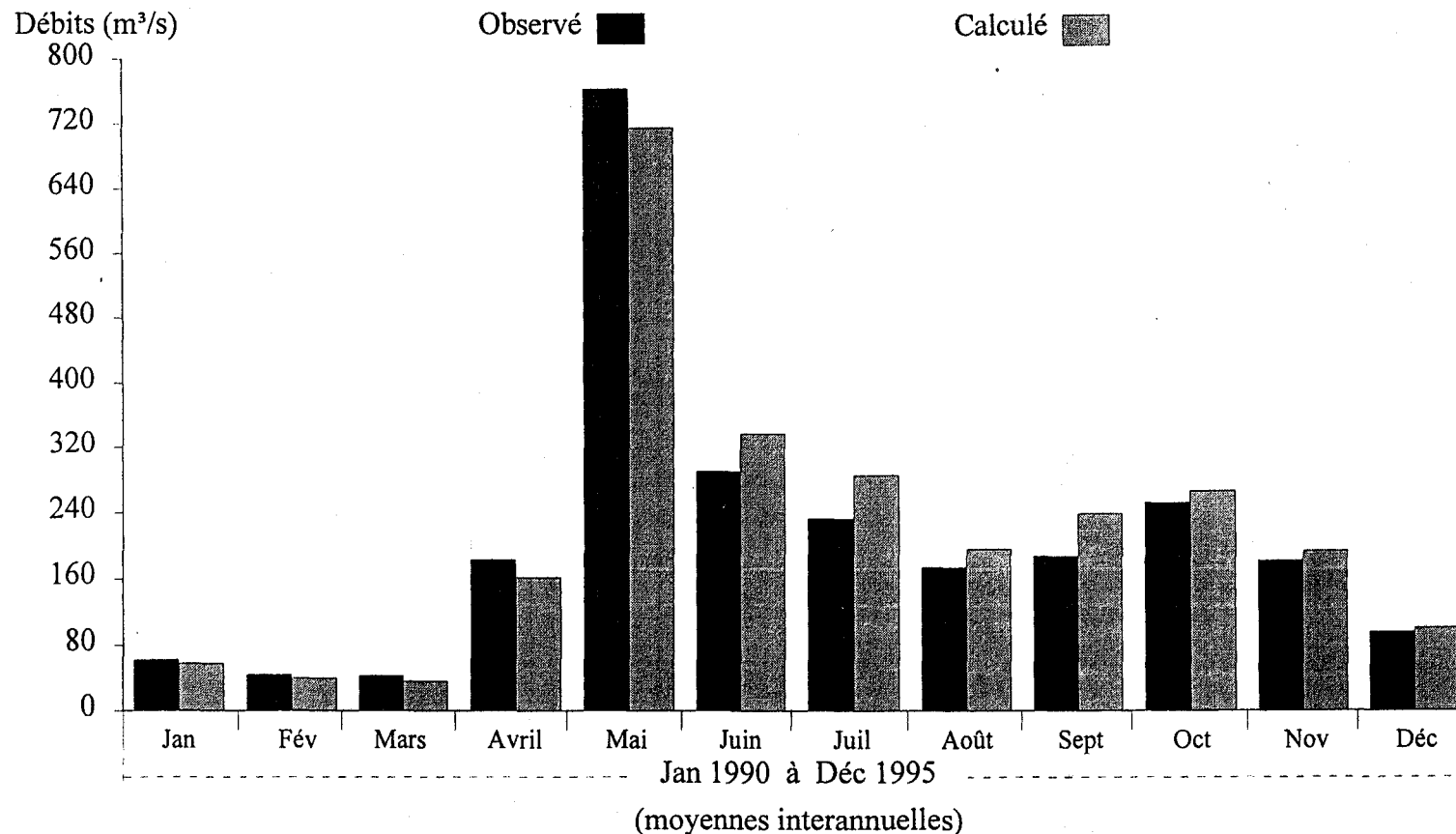


Figure 3.6 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute-du-Diable.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9457\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 191.94\* • cal.: 186.38  
Lame (mm) obs.: 3121.8\* • cal.: 3031.3

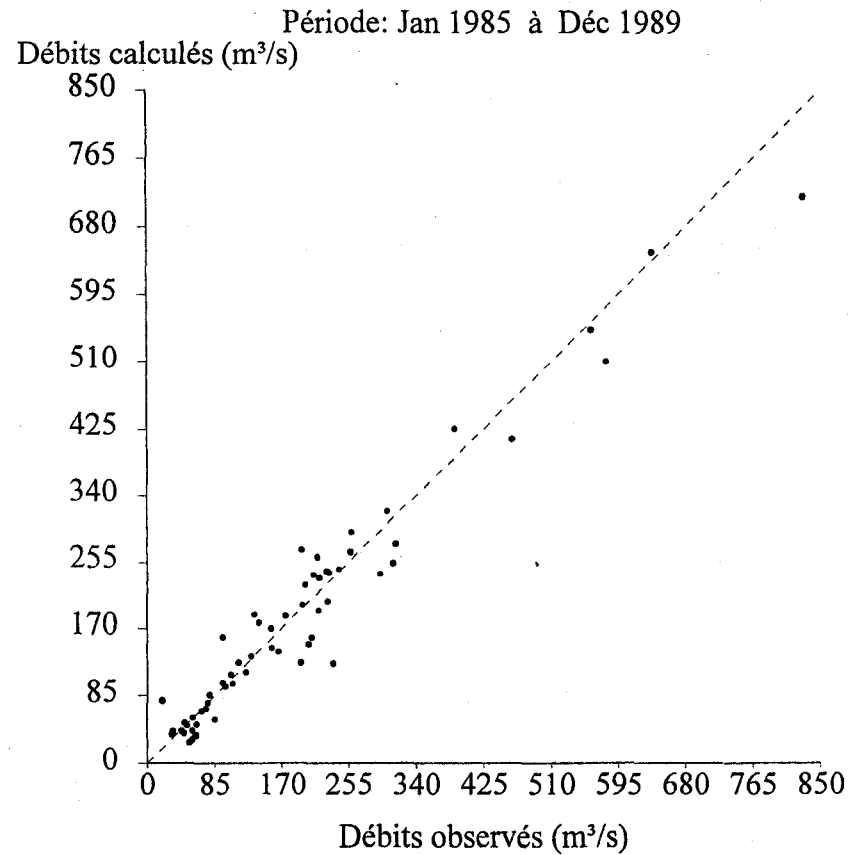


Figure 3.7 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de calibration (1985-1989) sur le bassin versant de Chute-du-Diable.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.949\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 210.78\* • cal.: 220.86  
Lame (mm) obs.: 4113.5\* • cal.: 4310.2

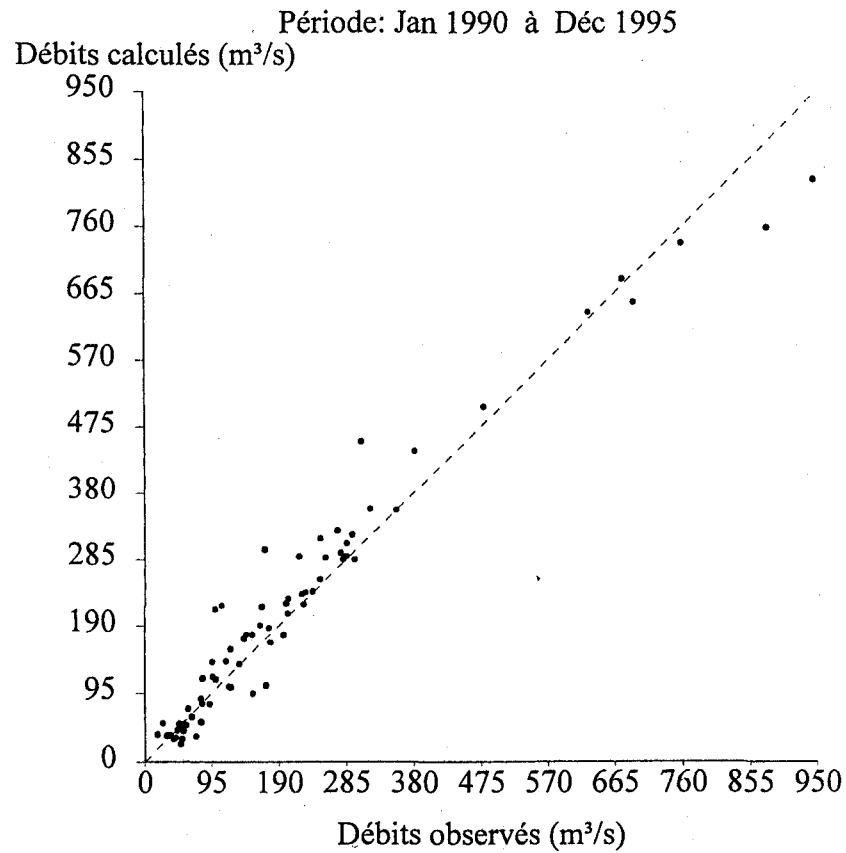


Figure 3.8 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période de vérification (1990-1995) sur le bassin versant de Chute-du-Diable.

## Débits journaliers classés

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9932\*

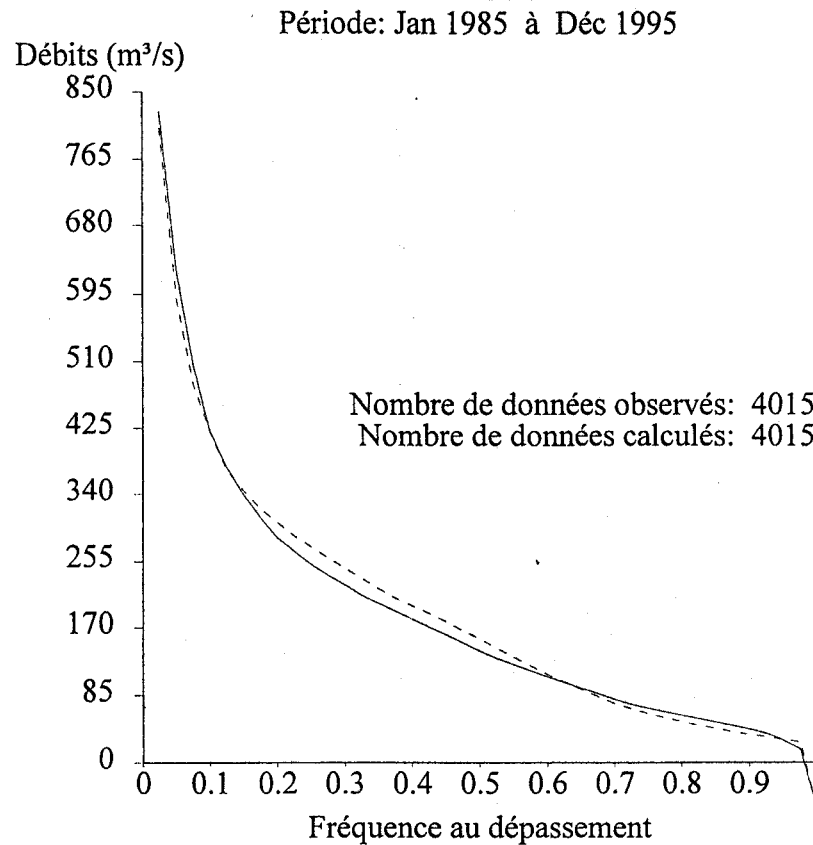


Figure 3.9 Débits journaliers classés, observés et calculés sur le bassin versant de Chute-du-Diable, pour la période 1985-1995.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9674

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 79.494 • cal.: 76.028  
Lame interannuelle (mm) obs.: 696.37 • cal.: 666.01

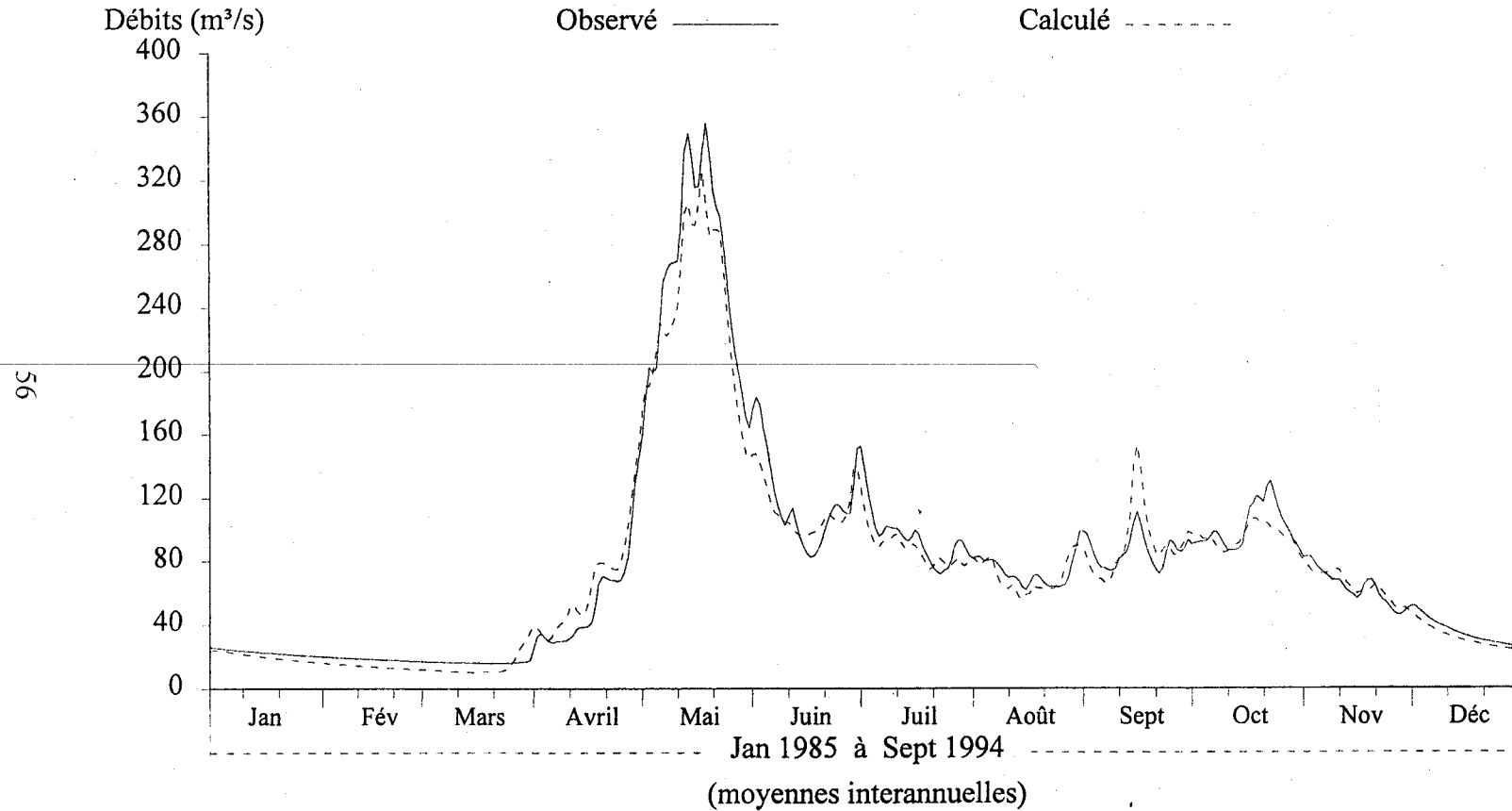


Figure 3.10 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de (1985-1994) à la station 062209 de la rivière Manouane.



## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9836

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 79.494 • cal.: 76.027  
Lame interannuelle (mm) obs.: 696.36 • cal.: 666

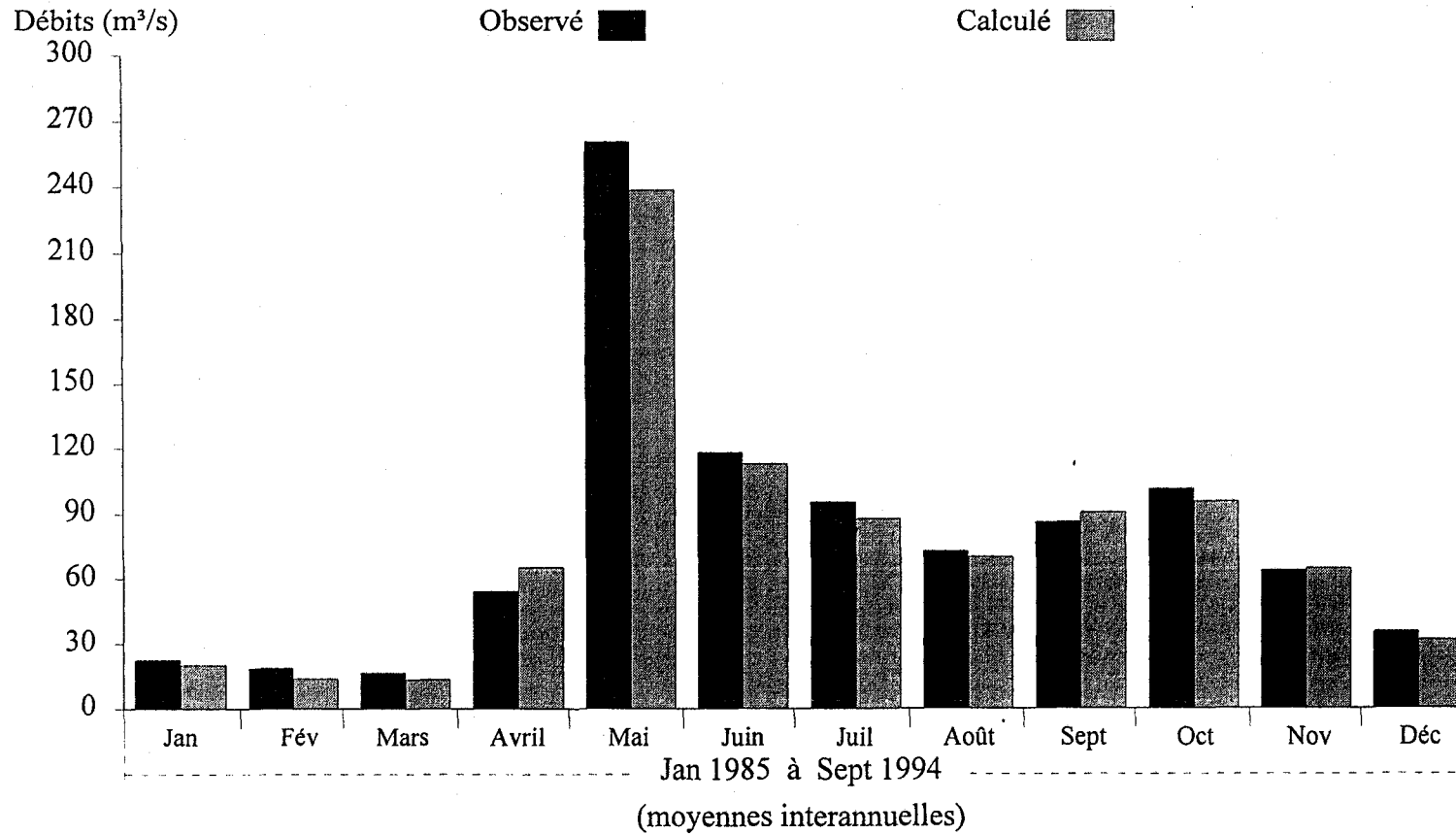


Figure 3.11 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période (1985-1994) à la station 062209 de la rivière Manouane.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9366

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 79.784 • cal.: 76.3  
Lame (mm) obs.: 6816.7 • cal.: 6519.1

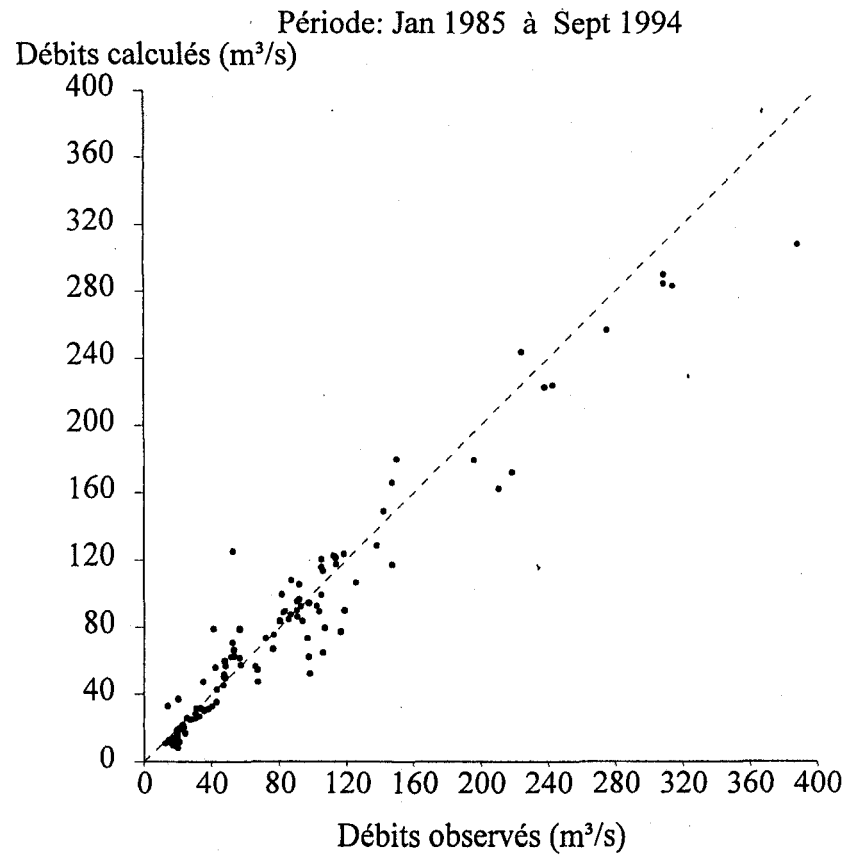


Figure 3.12 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période 1985-1994 à la station 062209 de la rivière Manouane.

## Débits journaliers classés

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9859

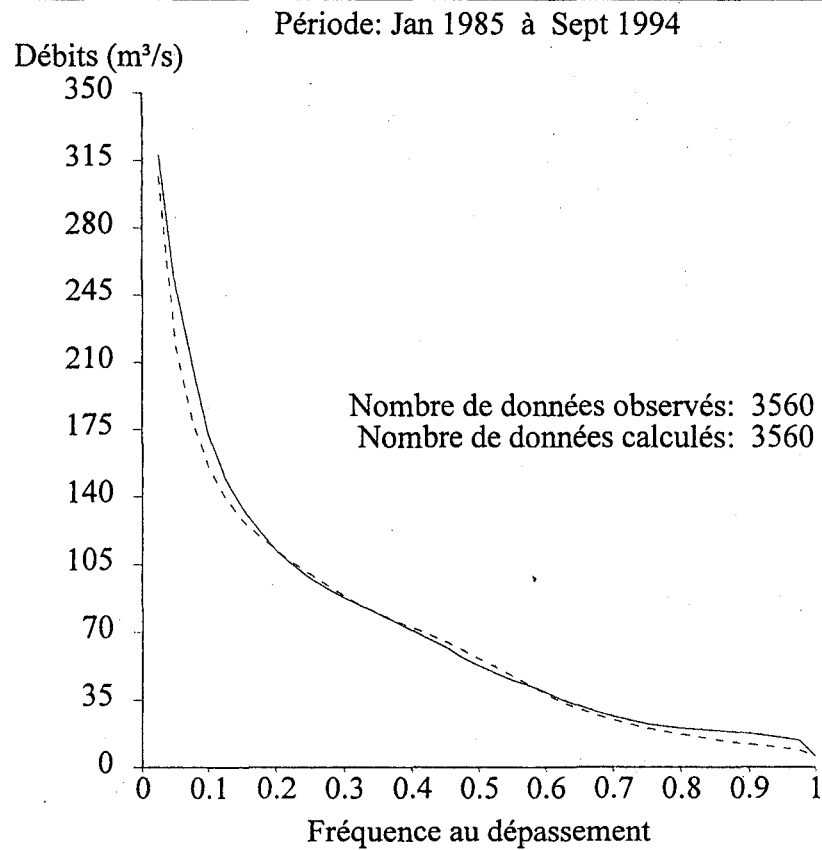


Figure 3.13 Débits journaliers classés, observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane, pour la période 1985-1994.

## Débits journaliers

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8978

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 43.492 • cal.: 53.332  
Lame interannuelle (mm) obs.: 623.44 • cal.: 764.5

09

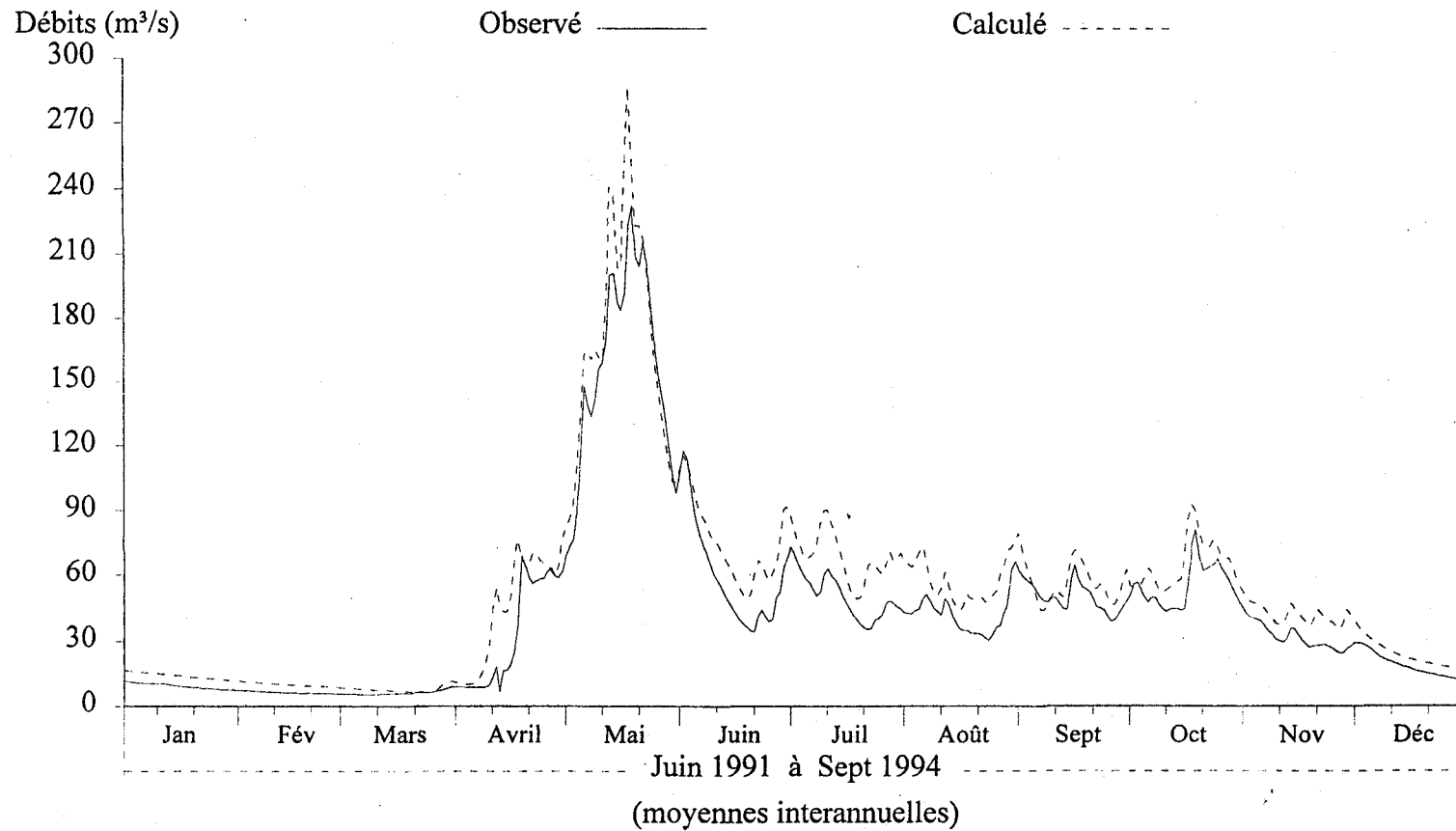


Figure 3.14 Débits journaliers observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période de (1991-1994) à la station 062214 de la rivière Serpent.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9176

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 43.491 • cal.: 53.331  
Lame interannuelle (mm) obs.: 623.42 • cal.: 764.48

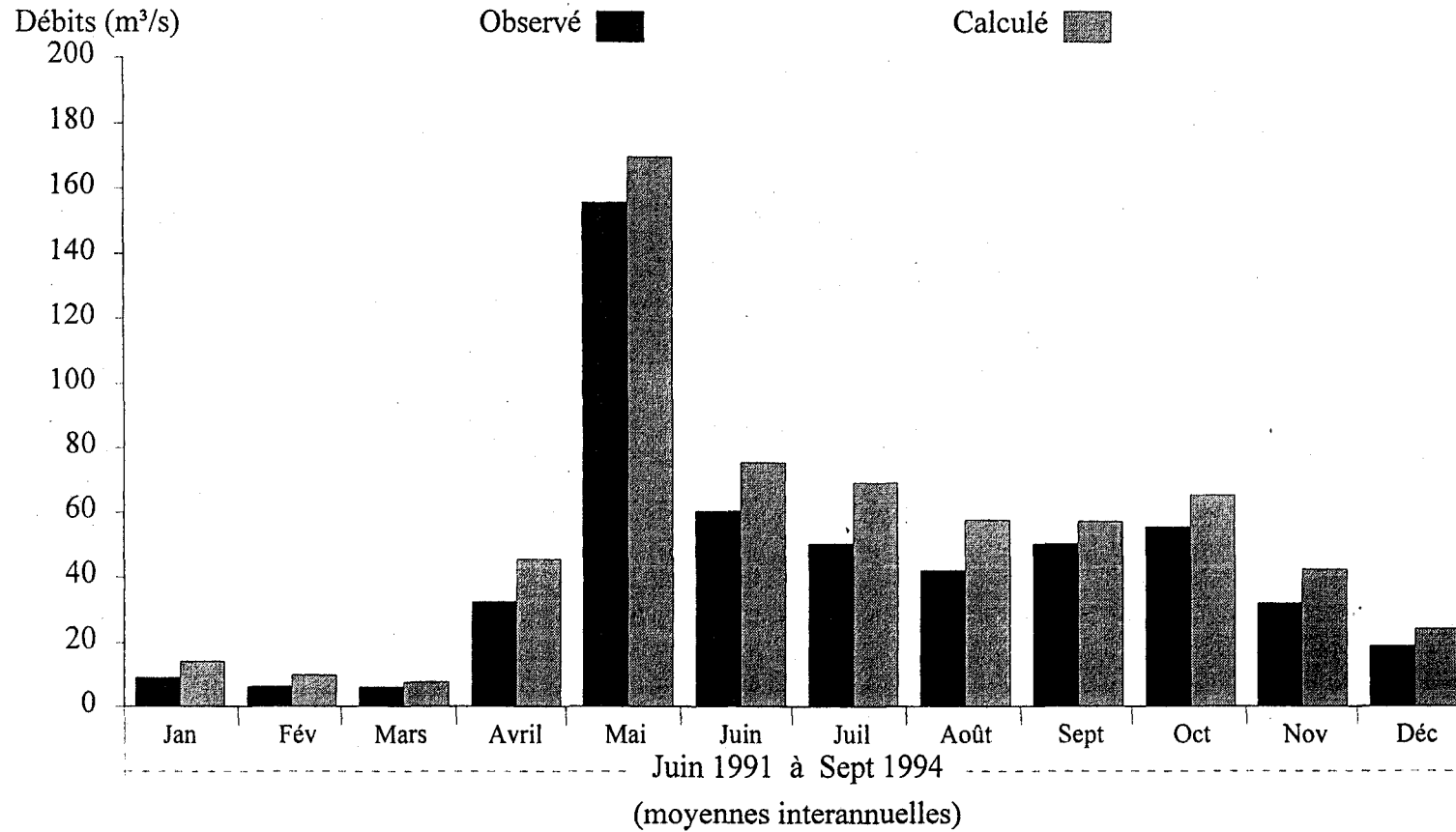


Figure 3.15 Débits moyens mensuels observés et calculés, moyennes interannuelles pour la période (1991-1994) à la station 062214 de la rivière Serpent.

## Débits moyens mensuels

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8639

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 44.169 • cal.: 54.418  
Lame (mm) obs.: 2112.8 • cal.: 2603

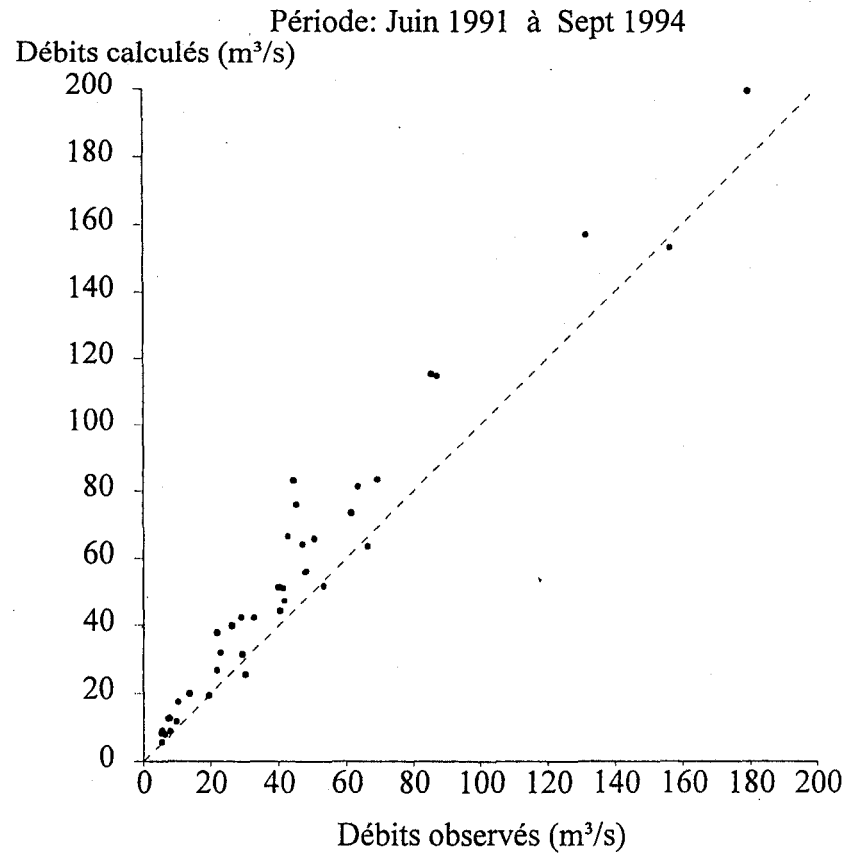


Figure 3.16 Dispersion des débits moyens mensuels, observés et calculés pour la période 1991-1994 à la station 062214 de la rivière Serpent.

## Débits journaliers classés

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9136

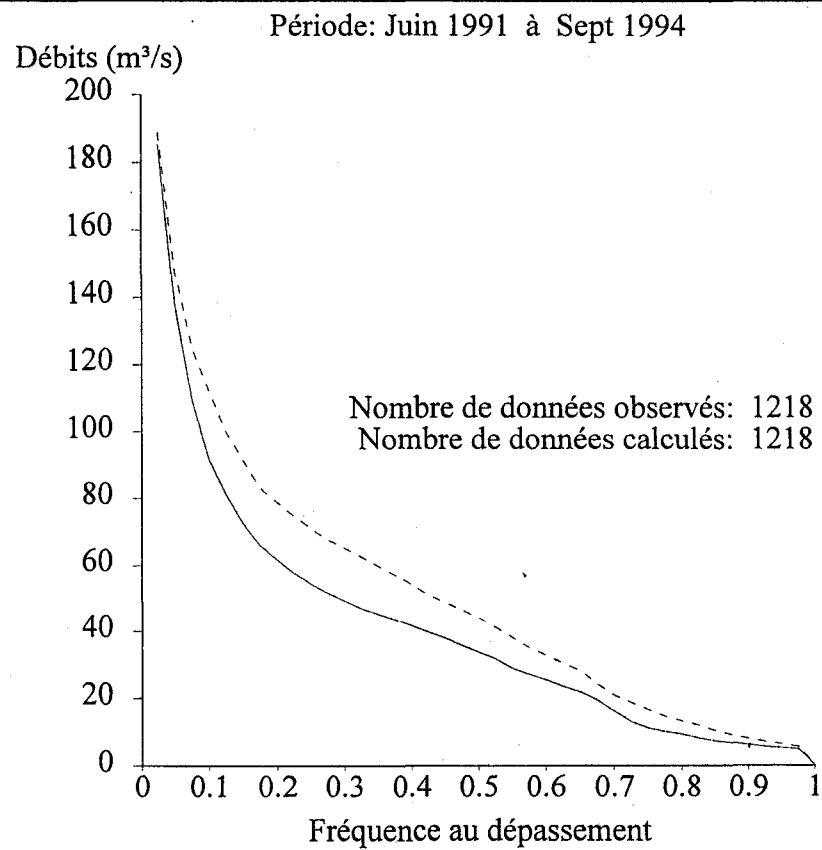


Figure 3.17 Débits journaliers classés, observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent, pour la période 1991-1994.





# 4

## IMPACT DES RELEVÉS NIVOMÉTRIQUES SUR LES SIMULATIONS

---

L'Alcan mesure, à la fin des mois de janvier, février, mars et d'avril, l'épaisseur de neige au sol et son équivalent en eau à différents endroits sur ses bassins versants, pour ainsi être en mesure de mieux prévoir les écoulements durant la crue de fonte de neige. Ces données de relevés de neige au sol sont appelées données nivométriques. Le but de cette partie d'étude est d'utiliser les équivalents d'eau estimés pour l'ensemble du bassin comme données d'entrée du modèle CEQUEAU, dans le but de quantifier la variation de précision qu'on peut obtenir avec ces données pour la prévision hydrologique.

Pour effectuer l'étude, les débits sont simulés à l'aide du modèle CEQUEAU en introduisant l'équivalent d'eau de la neige sur le bassin estimé à partir des données nivométriques mesurées à une date comme données d'entrée du modèle. Durant la simulation, le modèle s'arrête à la date où il y a un relevé nivométrique et corrige l'équivalent d'eau de la neige au sol, simulée par le modèle sur chaque carreau entier, pour que l'équivalent d'eau moyen de la neige au sol simulé soit égal à l'estimé fait à partir des relevés nivométriques. Le modèle écrit le pourcentage de correction qu'il a fait et la simulation se continue. Le même pourcentage de correction est appliqué à tous les carreaux, ainsi la variation spatiale des stocks de neige au sol est respectée. Les critères numériques d'ajustement des débits simulés, avec correction des stocks de neige, sont calculés et comparés avec les critères numériques des débits simulés sans données nivométriques (résultats des chapitres 2 et 3). La variation de précision est faite indépendamment pour chacun des mois où il y a des relevés nivométriques soit pour janvier, février, mars et avril pour les années où les données sont disponibles. La variation de précision est calculée pour deux périodes soit pour l'année complète et pour la période de crue de fonte de neige c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin inclusivement.

## 4.1 Bassin versant de la rivière Mistassibi

Les données moyennes d'équivalent d'eau de la neige au sol sur le bassin versant de la rivière Mistassibi, à la fin des mois de janvier, février, mars et avril des années 1985 à 1995, sont données sur le tableau 4.1.

### 4.1.1 Données nivométriques de janvier

Les simulations des débits de 1985 à 1994 ont été faites avec le modèle CEQUEAU en utilisant les paramètres ajustés précédemment et en introduisant, le 31 janvier de chaque année, la quantité de neige estimée au sol. Les résultats de ces simulations, comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol, sont donnés sur les tableaux 4.2 et 4.3. Le tableau 4.2 présente, pour chacune des années, les principaux critères numériques calculés pour la période annuelle, des débits observés et des débits simulés sans correction des stocks de neige et avec correction des stocks de neige au sol à la fin de janvier de chaque année. Le tableau 4.3 présente les mêmes critères numériques calculés pour la période de fonte de neige c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin seulement.

Les colonnes 2 et 3 de ces tableaux donnent, pour chaque année, les débits moyens observés en mètre cube par seconde et la lame d'eau correspondante d'écoulement, en millimètres, sur le bassin versant. Les colonnes 4 et 5 donnent les mêmes informations pour les débits simulés sans correction des quantités de neige au sol. La colonne 6 donne les coefficients de Nash calculés à l'aide des débits journaliers observés et des débits journaliers simulés sans correction des quantités de neige au sol. Les colonnes huit à dix donnent les mêmes informations pour les simulations avec correction des stocks de neige au sol. La colonne 7 indique, en pourcentage, la correction des stocks de neige qui a été faite par le modèle, le 31 janvier de chaque année. La colonne 11 donne la différence des coefficients de Nash calculés pour les simulations avec et sans correction des stocks de neige. Les deux dernières colonnes donnent la différence des lames d'écoulement calculée avec et sans correction des stocks de neige par rapport aux lames d'écoulement observées.

Sur les tableaux 4.2 et 4.3 on voit que les coefficients de corrections varient d'une année à l'autre. Annuellement les coefficients de corrections varient de 0.73 à 1.32, la correction moyenne pour les dix ans est de 1.00.

Les coefficients de Nash, qu'on considère comme un indice de la qualité des simulations, montrent que pour quelques années les simulations sont meilleures si on fait la correction des stocks de neige, alors que pour les autres les simulations sont moins précises. Ainsi, pour la période année complète (tableau 4.2) on observe une détérioration des simulations pour cinq ans ( les différences de Nash négatifs ) et une amélioration pour les cinq autres années. Pour la période de crue nivale, c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin (tableau 4.3), on observe une détérioration pour six ans et une amélioration pour quatre ans.

De la même façon la comparaison de la différence des lames d'écoulement, calculées avec et sans correction des stocks de neige par rapport aux lames d'écoulement observées, montre qu'il n'y a pas d'amélioration systématique et significative pour l'estimation des volumes d'eau écoulée. Ainsi, pour la période annuelle (tableau 4.2) la différence de lames, pour la période 1985 à 1989, est de -16.90 mm si on ne corrige pas les stocks de neige au sol, et de -14.86 mm si on corrige les stocks de neige. Pour toutes les années, soit de 1985 à 1994, la différence des lames passe de 4.21 mm à 2.16 mm, pour l'année complète. Si on considère la période d'écoulement nival (tableau 4.3), la différence des lames écoulées passe de -0.21 mm à -1.24 mm pour toutes les années.

L'étude complète des tableaux 4.2 et 4.3 montre que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin de janvier de chaque année, a pour effet d'améliorer quelques années et de détériorer les autres. En général les variations du critère Nash et des lames écoulées ne sont pas significatives et on ne peut pas conclure que la correction des stocks de neige au sol, à la fin de janvier, nous permet d'améliorer la précision des simulations avec le modèle CEQUEAU.

#### **4.1.2 Données nivométriques de février**

Les mêmes simulations ont été faites en introduisant dans le modèle la quantité de neige estimée au sol, le 28 février de chaque année. Les résultats de ces simulations, comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol, sont donnés sur les tableaux 4.4 et 4.5. Le tableau 4.4 présente, pour chacune des années, les principaux critères numériques, calculés pour la période annuelle, des débits observés et des débits simulés sans correction des stock de neige et avec correction des stocks de neige au sol, à la fin de février de chaque année. Le tableau 4.5 présente les mêmes critères numériques, calculés pour la période de fonte de neige seulement, c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin.

L'analyse des deux tableaux montre que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin de février de chaque année, a pour effet, comme avec les corrections de janvier, d'améliorer quelques années et de détériorer les autres. Les différences du critère Nash ou de lames écoulées ne sont pas significatives et, comme précédemment, on ne peut conclure que la correction des stocks de neige au sol, à la fin du mois de février, améliore la précision des simulations.

#### **4.1.3 Données nivométriques de mars**

La troisième série de simulation a été faite en introduisant dans le modèle la quantité de neige estimée au sol le 31 mars de chaque année. Les résultats de ces simulations comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol, sont donnés sur les tableaux 4.6 et 4.7. Le tableau 4.6 présente, pour chacune des années, les principaux critères numériques calculés, pour la période annuelle, des débits observés et

des débits simulés sans correction des stocks de neige et avec correction des stocks de neige au sol, à la fin de mars chaque année. Le tableau 4.7 présente les mêmes critères numériques calculés pour la période de fonte de neige seulement, c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin.

L'analyse de ces deux tableaux montre, comme précédemment, que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin du mois de mars de chaque année, n'a pas pour effet d'améliorer la précision des simulations.

#### **4.1.4 Données nivométriques d'avril**

Depuis 1991 Alcan mesure la quantité de neige au sol à la fin du mois d'avril de chaque année. Pour estimer l'influence de cette série de données, les simulations ont été faites pour les années 1991 à 1994 en introduisant dans le modèle la quantité de neige mesurée au sol le 30 avril de chaque année. Les résultats de ces simulations sont donnés sur les tableaux 4.8, pour la période annuelle, et 4.9 pour la période de fonte.

Même si on a simulé seulement quatre ans, l'analyse de ces deux tableaux montre, comme précédemment, que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin du mois d'avril de chaque année, n'a pas pour effet d'améliorer significativement la précision des simulations.

Par exemple, pour la lame d'écoulement de la fonte nivale (tableau 4.9) on avait un surplus d'eau de 4.84 mm pour les simulations sans corrections des stocks de neige en avril, et un manque de 14.08 mm si on fait la correction des stocks de neige au sol. Pour le critère Nash on voit une légère amélioration pour 1991 et 1992, une faible détérioration pour 1993 et une bonne amélioration pour 1994.

## **4.2 Bassin versant Chute du Diable**

Pour le bassin versant en amont de Chute du Diable, les simulations des débits de 1985 à 1995 ont été faites en utilisant les paramètres ajustés précédemment pour ce bassin versant et en introduisant l'équivalent d'eau estimé à partir des mesures nivométriques à la fin des mois de janvier à avril, tel que montré sur le tableau 4.10.

### **4.2.1 Données nivométriques de janvier**

Les simulations des débits de 1985 à 1995 ont été faites en introduisant l'équivalent en eau estimé sur l'ensemble du bassin le 31 janvier de chaque année. Les résultats de ces simulations comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol (Chapitre 3), sont donnés sur les tableaux 4.11 et 4.12. Le tableau 4.11 présente, pour chacune des années, les principaux critères numériques calculés, pour la période annuelle, des débits observés et des débits simulés sans correction des stocks de neige et avec

correction des stocks de neige au sol, à la fin de janvier de chaque année. Le tableau 4.12 présente les mêmes critères numériques calculés pour la période de fonte de neige, c'est-à-dire pour les mois d'avril à juin seulement.

Comme pour le bassin versant de la rivière Mistassibi, on observe que la correction des stocks de neige apporte peu de modifications sur les débits simulés. Les années améliorées ne sont pas nécessairement les mêmes que celles observées pour la rivière Mistassibi. Par exemple, pour l'année 1987, pour la rivière Mistassibi on observe une détérioration de 0.13 pour le coefficient de Nash (tableau 4.2) alors que pour le bassin de Chute du Diable on observe une amélioration de 0.0022 (tableau 4.11). Pour Chute du Diable on observe, si on corrige les stocks de neige, une détérioration du coefficient annuel de Nash pour huit ans sur onze. Pour la période fonte de neige (tableau 4.12) le coefficient de Nash annuel est détérioré pour neuf ans sur onze. La variation du coefficient de Nash n'est cependant pas toujours significative et ne peut pas conclure à une détérioration de la précision des simulations si on corrige les stocks de neige au sol en fonction des relevés nivométriques de janvier.

#### **4.2.2 Données nivométriques de février**

Les mêmes simulations ont été faites en introduisant dans le modèle la quantité de neige estimée au sol, le 28 février de chaque année. Les résultats de ces simulations, comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol sont donnés sur les tableaux 4.13 et 4.14.

Comme précédemment les corrections des stocks de neige au sol, à la fin de février de chaque année, n'apportent pas de changement significatif dans la précision des simulations.

#### **4.2.3 Données nivométriques de mars**

La troisième série de simulation a été faite en introduisant dans le modèle la quantité de neige mesurée au sol, le 31 mars de chaque année. Les résultats de ces simulations, comparés aux résultats des simulations sans correction des quantités de neige au sol sont donnés sur les tableaux 4.15 et 4.16.

Dans ce cas on observe, que la lame d'écoulement pour la période 1985 à 1991 passe de 9.70 à -4.42 mm pour la période annuelle (tableau 4.15) et de -6.35 à -16.92 mm pour la période d'avril à juin (tableau 4.16).

#### **4.2.4 Données nivométriques d'avril**

Finalement, les simulations ont été faites pour les années 1991 à 1995 en introduisant dans le modèle la quantité de neige estimée au sol, le 30 avril de chaque année. Les résultats

de ces simulations sont donnés sur les tableaux 4.17 pour la période annuelle, et 4.18 pour la période de fonte.

L'analyse de ces deux tableaux montre, comme précédemment, que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin du mois d'avril de chaque année, n'a pas pour effet d'améliorer significativement la précision des simulations.

#### **4.2.5 Sous bassin versant: rivière Manouane**

L'analyse de l'influence de la prise en compte des relevés nivométriques a également été faite sur la rivière Manouane un sous bassin versant de Chute du Diable. Le sous bassin versant a une superficie de 3600 km<sup>2</sup> et les apports sont mesurés à la station 062209.

Les tableaux 4.19 à 4.26 présentent les résultats des simulations, pour la période annuelle et pour la période de fonte de neige, si on introduit les relevés nivométriques des mois de janvier à avril de chaque année. L'analyse de ces tableaux montre, comme précédemment, que les corrections des stocks de neige au sol, à la fin des mois de janvier, février, mars et d'avril de chaque année, n'a pas pour effet d'améliorer significativement la précision des simulations sur le bassin versant de la rivière Manouane.

### **4.3 Conclusion**

L'analyse des critères numériques, coefficient de Nash et lame d'écoulement, nous renseigne d'une façon objective sur la précision globale des simulations; cependant il est difficile de concevoir les changements sur l'hydrogramme simulé, si le critère de Nash augmente ou diminue. Par contre, l'analyse des hydrogrammes, même si elle peut être subjective, nous permet de percevoir par comparaison tous les changements sur les débits simulés. Ainsi, pour compléter notre analyse d'impact des relevés nivométriques sur la précision des simulations, il est intéressant de comparer quelques hydrogrammes. Les figures 4.1 à 4.16 montrent les hydrogrammes annuels et les hydrogrammes de la période de crue nivale (avril à juin), observés et simulés avec et sans correction des stocks de neige, pour deux années, sur les bassins versants Mistassibi et Chute du Diable. Pour chaque bassin versant on a choisi une année où la correction des stocks de neige de mars a permis d'améliorer les simulations, coefficient de Nash plus élevé, et une année où la correction des stocks de neige du même mois a détérioré la précision des simulations.

On retient les années 1985 et 1986 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi. Pour l'année 1985, la prise en compte du relevé de neige de mars a fait baisser le coefficient de Nash de 0.0524 pour la période annuelle (tableau 4.6) et de 0.09 pour la période d'avril à juin (tableau 4.7). Pour 1986, on observe une augmentation du coefficient de Nash de 0.0426, pour la période annuelle, et de 0.0695 pour la période d'avril à juin. Les figures 4.1 et 4.2 montrent, pour l'année 1985, les hydrogrammes annuels observés et simulés à la station

062101 avec et sans correction des stocks. Les figures 4.3 et 4.4 montrent, pour la station 062101, les hydrogrammes pour la période d'avril à juin 1985, observés et simulés avec et sans correction des stocks de neige. Les figures 4.5 à 4.8 montrent les mêmes hydrogrammes pour l'année 1986.

Pour le bassin versant de Chute du Diable les années 1993 et 1994 sont retenues. Pour l'année 1993, la prise en compte du relevé de neige de mars a fait baisser le coefficient de Nash de 0.0151 pour la période annuelle (tableau 4.15) et de 0.0412 pour la période d'avril à juin (tableau 4.16). Pour 1994, on observe une augmentation du coefficient de Nash de 0.0526 pour la période annuelle et de 0.1177 pour la période d'avril à juin. Les figures 4.9 et 4.10 montrent, pour 1993, les hydrogrammes annuels observés et simulés à la station 962207, avec et sans correction des stocks de neige. Les figures 4.11 et 4.12 montrent, pour la station 962207, les hydrogrammes observés et simulés pour la période d'avril à juin 1993, avec et sans correction des stocks de neige. Les figures 4.13 à 4.16 montrent les mêmes hydrogrammes pour 1994.

Sur les figures 4.1 à 4.4 l'on voit que la correction des stocks de neige, à la fin de mars 1985 sur le bassin versant de la rivière Mistassibi, a fait baisser les coefficients de Nash de 0.9626 à 0.9272 pour la période annuelle, et de 0.9561 à 0.8955 pour la période d'avril à juin. On observe sur ces figures que le débit maximum simulé est légèrement plus faible et la décrue est sous estimée pour la simulation avec correction des stocks de neige (figure 4.2 et 4.4). Sur les figures 4.5 à 4.8, qui montrent les hydrogrammes de 1986, année où le Nash a été amélioré par la correction des stocks de neige en mars, on observe l'inverse, c'est-à-dire une augmentation du débit de pointe simulé et une meilleure simulation de la décrue.

Pour le bassin versant de Chute du Diable, pour l'année 1993, sur les figures 4.9 à 4.12 l'on voit que la pointe de l'hydrogramme et la décrue sont mieux reproduites si on ne fait pas les corrections de neige à la fin de mars. Pour l'année 1994, l'on observe (figures 4.13 à 4.16) que si on fait la correction des stocks de neige en mars, il y a peu de changement sur la simulation de la pointe du 10 mai. La pointe du 15 mai est mieux reproduite alors que la crue du début de juin est moins bien reproduite (figures 4.15 et 4.16).

L'analyse des hydrogrammes montre que la correction des stocks de neige au sol, en fonction des relevés nivométriques, modifie l'hydrogramme simulé pour les mois de mai et de juin seulement. Pour les autres mois les variations ne sont pas visibles.

L'analyse de tous les tableaux et figures montre que la précision des débits simulés varie peu si on corrige les stocks de neige au sol en fonction des relevés nivométriques des mois de janvier, février, mars et avril. Les simulations de quelques années sont améliorées, alors que pour d'autres il y a détérioration. Les modifications obtenues sont la plupart du temps très faibles et non significatives.



Tableau 4.1 Équivalent en eau (mm) de la neige au sol sur les bassins versant de la rivière Mistassibi.

Année	Janvier	Février	Mars	Avril
1985	140.	178.	233.	
1986	202.	227.	276.	
1987	205.	220.	174.	
1988	132.	217.	288.	
1989	227.	277.	298.	
1990	208.	264.	266.	
1991	192.	236.	275.	222.
1992	176.	240.	288.	295.
1993	185.	219.	231.	158.
1994	205.	235.	267.	262.
1995	146.	202.	241.	256.

Tableau 4.2 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	192.91	652.74	195.88	662.80	0.9627	0.73	182.06	616.03	0.9127	-0.0500	10.06	-36.71
1986	181.87	615.39	171.32	579.71	0.9051	1.17	179.12	606.08	0.9415	0.0364	-35.68	-9.31
1987	184.25	623.46	162.21	548.88	0.7598	1.32	176.33	596.66	0.6298	-0.1300	-74.58	-26.80
1988	197.01	668.44	196.92	668.16	0.9582	0.80	187.79	637.18	0.9360	-0.0222	-0.28	-31.26
1989	173.78	588.02	178.47	603.87	0.9491	1.07	182.55	617.68	0.9574	0.0083	15.85	29.66
1985-1989	186.05	629.54	181.06	612.64	0.9683	1.02	181.66	614.68	0.9396	-0.0287	-16.90	-14.86
1990	202.93	686.66	201.76	682.68	0.9497	1.25	213.24	721.54	0.9255	-0.0242	-3.98	34.88
1991	172.39	583.33	189.89	642.53	0.9494	0.89	183.46	620.77	0.9495	0.0001	59.20	37.44
1992	204.41	693.55	206.82	701.72	0.9474	0.88	199.60	677.24	0.9525	0.0051	8.17	-16.31
1993	232.66	787.24	234.36	793.00	0.9317	0.97	232.41	786.41	0.9286	-0.0031	5.76	-0.83
1994	241.88	612.14	264.97	670.58	0.7917	0.92	258.38	653.91	0.8299	0.0382	58.44	41.77
1990-1994	207.67	702.68	215.14	727.98	0.9629	0.98	213.33	721.85	0.9661	0.0032	25.30	19.17
1985-1994	196.81	665.96	198.06	670.17	0.9880	1.00	197.45	668.12	0.9848	-0.0032	4.21	2.16

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.3 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	375.74	316.98	380.59	321.07	0.9562	0.73	336.30	283.70	0.8703	-0.0859	4.09	-33.28
1986	356.00	300.32	320.98	270.78	0.8608	1.17	347.40	293.07	0.9202	0.0594	-29.54	-7.25
1987	291.74	246.11	275.47	232.39	0.5609	1.32	326.98	275.84	-0.0883	-0.64924	-13.72	29.73
1988	314.81	265.57	327.77	276.50	0.9448	0.80	297.11	250.64	0.8923	-0.0525	10.93	-14.93
1989	331.38	279.56	342.55	288.97	0.9462	1.07	356.91	301.09	0.9593	0.0131	9.41	21.53
1985-1989	333.93	281.71	329.47	277.94	0.9449	1.02	332.940	280.870	0.8716	-0.0733	-3.77	-0.84
1990	365.79	308.58	364.93	307.85	0.9272	1.25	403.56	340.45	0.8790	-0.0482	-0.73	31.87
1991	359.92	303.63	380.83	321.27	0.9591	0.89	358.26	302.23	0.9568	-0.0023	17.64	-1.40
1992	397.89	335.67	389.68	328.73	0.9346	0.88	364.66	307.63	0.9411	0.0065	-6.94	-28.04
1993	429.91	362.68	425.90	359.29	0.8886	0.97	419.17	353.62	0.8812	-0.0074	-3.39	-9.06
1994	366.80	309.44	381.08	321.48	0.6818	0.92	364.94	307.87	0.7509	0.0691	12.04	-1.57
1990-1994	384.06	324.00	388.48	327.72	0.9505	0.98	382.12	322.36	0.9559	0.0054	3.72	-1.64
1985-1994	359.00	302.85	358.98	302.83	0.9844	1.00	357.53	301.61	0.9773	-0.0071	-0.02	-1.24

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.4 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	192.91	652.74	195.88	662.80	0.9627	0.76	180.67	611.33	0.9049	-0.0578	10.06	-41.41
1986	181.87	615.39	171.32	579.71	0.9051	1.19	181.03	612.56	0.9469	0.0418	-35.68	-2.83
1987	184.25	623.46	162.21	548.88	0.7598	1.31	177.07	599.15	0.6192	-0.1406	-74.58	-24.31
1988	197.01	668.44	196.92	668.16	0.9582	1.00	196.81	667.78	0.9584	0.0002	-0.28	-0.66
1989	173.78	588.02	178.47	603.87	0.9491	1.14	188.24	636.94	0.9534	0.0043	15.85	48.92
1985-1989	186.05	629.54	181.06	612.64	0.9683	1.08	184.86	625.50	0.9468	-0.0215	-16.90	-4.04
1990	202.93	686.66	201.76	682.68	0.9497	1.19	213.51	722.46	0.9248	-0.0249	-3.98	35.80
1991	172.39	583.33	189.89	642.53	0.9494	0.99	189.56	641.43	0.9500	0.0006	59.20	58.10
1992	204.41	693.55	206.82	701.72	0.9474	1.09	212.46	720.86	0.9258	-0.0216	8.17	27.31
1993	232.66	787.24	234.36	793.00	0.9317	0.99	233.86	791.32	0.9305	-0.0012	5.76	4.08
1994	241.88	612.14	264.97	670.58	0.7917	0.90	255.53	646.70	0.8403	0.0486	58.44	34.56
1990-1994	207.67	702.68	215.14	727.98	0.9629	1.03	217.07	734.50	0.9587	-0.0042	25.30	31.82
1985-1994	196.81	665.96	198.06	670.17	0.9880	1.06	200.92	679.85	0.9881	0.0001	4.21	13.89

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.5 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	375.74	316.98	380.59	321.07	0.9562	0.76	331.70	297.82	0.8568	-0.0994	4.09	-19.16
1986	356.00	300.32	320.98	270.78	0.8608	1.19	353.84	298.50	0.9290	0.0682	-29.54	-1.82
1987	291.74	246.11	275.47	232.39	0.5609	1.31	329.50	277.97	-0.1384	-0.6993	-13.72	31.86
1988	314.81	265.57	327.77	276.50	0.9448	1.00	327.16	275.99	0.9451	0.0003	10.93	10.42
1989	331.38	279.56	342.55	288.97	0.9462	1.14	376.34	279.56	0.9536	0.0074	9.41	0.00
1985-1989	333.93	281.71	329.47	277.94	0.9449	1.08	343.71	289.95	0.8882	-0.0567	-3.77	8.24
1990	365.79	308.58	364.93	307.85	0.9272	1.19	404.40	341.15	0.8776	-0.0496	-0.73	32.57
1991	359.92	303.63	380.83	321.27	0.9591	0.99	379.44	320.09	0.9600	0.0009	17.64	16.46
1992	397.89	335.67	389.68	328.73	0.9346	1.09	409.10	345.11	0.9027	-0.0319	-6.94	9.44
1993	429.91	362.68	425.90	359.29	0.8886	0.99	424.05	357.73	0.8860	-0.0026	-3.39	-4.95
1994	366.80	309.44	381.08	321.48	0.6818	0.90	358.06	302.06	0.7689	0.0871	12.04	-7.38
1990-1994	384.06	324.00	388.48	327.72	0.9505	1.03	395.01	333.23	0.9431	-0.0074	3.72	9.23
1985-1994	359.00	302.85	358.98	302.83	0.9844	1.06	369.36	311.60	0.9850	0.0006	-0.02	8.75

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.6 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	192.91	652.74	195.88	662.80	0.9627	0.85	184.28	623.56	0.9272	-0.0355	10.06	-29.18
1986	181.87	615.39	171.32	579.71	0.9051	1.15	181.15	612.96	0.9477	0.0426	-35.68	-2.43
1987	184.25	623.46	162.21	548.88	0.7598	1.24	171.70	580.98	0.7000	-0.0598	-74.58	-42.48
1988	197.01	668.44	196.92	668.16	0.9582	1.08	203.16	689.31	0.9358	-0.0224	-0.28	20.87
1989	173.78	588.02	178.47	603.87	0.9491	1.08	184.94	625.79	0.9581	0.0090	15.85	37.77
1985-1989	186.05	629.54	181.06	612.64	0.9683	1.08	185.15	626.49	0.9549	-0.0134	-16.90	-3.05
1990	202.93	686.66	201.76	682.68	0.9497	1.06	203.44	688.38	0.9483	-0.0014	-3.98	1.72
1991	172.39	583.33	189.89	642.53	0.9494	0.92	183.41	620.62	0.9506	0.0012	59.20	37.29
1992	204.41	693.55	206.82	701.72	0.9474	0.99	205.55	697.43	0.9501	0.0027	8.17	3.88
1993	232.66	787.24	234.36	793.00	0.9317	0.98	233.17	788.98	0.9296	-0.0021	5.76	1.74
1994	241.88	612.14	264.97	670.58	0.7917	0.90	253.56	641.72	0.8476	0.0559	58.44	29.58
1990-1994	207.67	702.68	215.14	727.98	0.9629	0.97	211.98	717.28	0.9668	0.0039	25.30	14.60
1985-1994	196.81	665.96	198.06	670.17	0.9880	1.03	198.51	671.77	0.9888	0.0008	4.21	5.81

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.7 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de Lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	375.74	316.98	380.59	321.07	0.9562	0.85	343.41	298.70	0.8955	-0.0607	4.09	-18.28
1986	356.00	300.32	320.98	270.78	0.8608	1.15	354.09	298.71	0.9303	0.0695	-29.54	-1.61
1987	291.74	246.11	275.47	232.39	0.5609	1.24	308.88	260.57	0.2680	-0.2929	-13.72	14.46
1988	314.81	265.57	327.77	276.50	0.9448	1.08	348.40	293.91	0.8906	-0.0542	10.93	28.34
1989	331.38	279.56	342.55	288.97	0.9462	1.08	364.68	307.65	0.9605	0.0143	9.41	28.09
1985-1989	333.93	281.71	329.47	277.94	0.9449	1.08	343.89	290.11	0.9088	-0.0361	-3.77	8.40
1990	365.79	308.58	364.93	307.85	0.9272	1.02	370.33	312.41	0.9245	-0.0027	-0.73	3.83
1991	359.92	303.63	380.83	321.27	0.9591	0.92	358.43	302.38	0.9588	-0.0003	17.64	-1.25
1992	397.89	335.67	389.68	328.73	0.9346	0.99	385.41	325.14	0.9385	0.0039	-6.94	-10.53
1993	429.91	362.68	425.90	359.29	0.8886	0.98	421.76	355.80	0.8837	-0.0049	-3.39	-6.88
1994	366.80	309.44	381.08	321.48	0.6818	0.90	353.36	298.10	0.7814	0.0996	12.04	-11.34
1990-1994	384.06	324.00	388.48	327.72	0.9505	0.96	377.86	318.77	0.9563	0.0058	3.72	-5.23
1985-1994	359.00	302.85	358.98	302.83	0.9844	1.02	360.88	304.44	0.9320	-0.0524	-0.02	1.59

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.8 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	192.91	652.74	195.88	662.80	0.9627							
1986	181.87	615.39	171.32	579.71	0.9051							
1987	184.25	623.46	162.21	548.88	0.7598							
1988	197.01	668.44	196.92	668.16	0.9582							
1989	173.78	588.02	178.47	603.87	0.9491							
1985-1989	186.05	629.54	181.06	612.64	0.9683							
1990	202.93	686.66	201.76	682.68	0.9497							
1991	172.39	583.33	189.89	642.53	0.9494	0.93	184.95	625.80	0.9572	0.0078	59.20	42.47
1992	204.41	693.55	206.82	701.72	0.9474	0.98	205.27	696.47	0.9513	0.0039	8.17	2.92
1993	232.66	787.24	234.36	793.00	0.9317	0.98	233.56	790.28	0.9310	-0.0007	5.76	3.04
1994	241.88	612.14	264.97	670.58	0.7917	0.78	237.99	602.32	0.8814	0.0897	58.44	-9.82
1990-1994	207.67	702.68	215.14	727.98	0.9629	0.92	211.42	715.39	0.9701	0.0072	25.30	12.71
1985-1994	196.81	665.96	198.06	670.17	0.9880							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige



Tableau 4.9 Rivière Mistassibi, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit des corrections de stocks de neige au sol le 30 avril

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différenc de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	375.74	316.98	380.59	321.07	0.9562							
1986	356.00	300.32	320.98	270.78	0.8608							
1987	291.74	246.11	275.47	232.39	0.5609							
1988	314.81	265.57	327.77	276.50	0.9448							
1989	331.38	279.56	342.55	288.97	0.9462							
1985-1989	333.93	281.71	329.47	277.94	0.9449							
1990	365.79	308.58	364.93	307.85	0.9272							
1991	359.92	303.63	380.83	321.27	0.9591	0.93	363.64	306.77	0.9706	0.0115	17.64	3.14
1992	397.89	335.67	389.68	328.73	0.9346	0.98	384.43	324.31	0.9402	0.0056	-6.94	-11.36
1993	429.91	362.68	425.90	359.29	0.8886	0.98	423.07	356.91	0.8870	-0.0016	-3.39	-5.77
1994	366.80	309.44	381.08	321.48	0.6818	0.78	316.63	267.11	0.8354	0.1536	12.04	-42.33
1990-1994	384.06	324.00	388.48	327.72	0.9505	0.92	371.94	313.78	0.9659	0.0423	4.84	-14.08
1985-1994	359.00	302.85	358.98	302.83	0.9844							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.10 Équivalent en eau (mm) de la neige au sol sur les bassins versant Chute du Diable.

Année	Janvier	Février	Mars	Avril
1985	158.	205.	249.	
1986	196.	224.	281.	
1987	176.	205.	159.	
1988	128.	213.	301.	
1989	242.	320.	306.	
1990	227.	266.	283.	
1991	205.	221.	278.	219.
1992	193.	261.	295.	327.
1993	175.	210.	226.	140.
1994	213.	235.	277.	277.
1995	150.	213.	254.	266.

Tableau 4.11 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	197.86	641.52	197.46	641.97	0.9239	1.06	199.64	649.06	0.9209	-0.003	0.45	7.54
1986	189.89	617.37	176.31	573.19	0.9245	0.95	173.90	565.38	0.9169	-0.0076	-44.18	-51.99
1987	173.36	563.60	163.11	530.28	0.6706	1.08	166.36	540.87	0.6728	0.0022	-33.32	-22.73
1988	197.83	644.94	207.42	676.21	0.8974	0.79	198.46	647.00	0.8486	-0.0488	31.27	2.06
1989	201.12	653.86	187.53	609.69	0.9156	1.07	191.57	622.83	0.9236	0.008	-44.17	-31.03
1985-1989	192.00	624.22	186.46	606.21	0.9710	0.99	186.08	604.97	0.9651	-0.0059	-18.01	-19.25
1990	186.18	603.64	200.19	650.83	0.8688	1.09	205.03	666.59	0.8519	-0.0169	47.19	62.95
1991	178.02	578.77	186.63	606.74	0.9473	0.84	176.52	573.88	0.9269	-0.0204	27.97	-4.89
1992	232.98	759.54	215.33	701.97	0.9491	0.86	206.65	673.67	0.9202	-0.0289	-57.57	-85.87
1993	234.37	761.96	250.56	814.61	0.8939	0.91	245.64	798.62	0.8847	-0.0092	52.65	36.66
1994	220.48	716.81	240.70	782.55	0.8599	0.94	236.94	770.32	0.8816	0.0217	65.74	53.51
1995	212.94	692.30	231.77	753.52	0.8266	1.13	238.97	776.94	0.7823	-0.0443	61.22	84.64
1990-1995	212.86	685.52	220.95	718.33	0.9553	0.96	218.37	709.96	0.9502	-0.0051	32.81	24.44
1985-1995	202.29	657.66	205.27	667.36	0.9807	0.98	197.45	668.12	0.9848	0.0041	9.70	10.46

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.12 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correctio %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	398.04	322.64	332.64	304.11	0.9079	1.06	381.54	309.26	0.9035	-0.0044	-18.53	-13.38
1986	373.11	302.43	328.82	266.53	0.9037	0.95	320.67	259.93	0.8908	-0.0129	-35.90	-42.50
1987	269.26	218.25	278.84	226.02	0.6246	1.08	291.43	236.22	0.5836	-0.041	7.77	17.97
1988	327.68	265.60	353.74	286.73	0.8480	0.79	322.91	261.74	0.7383	-0.1097	21.13	-3.86
1989	383.47	310.83	375.48	304.35	0.9238	1.07	389.16	315.44	0.9372	0.0134	-6.48	4.61
1985-1989	350.31	283.95	333.90	277.55	0.8416	0.99	341.14	276.52	0.8107	-0.0309	-6.40	-7.43
1990	383.38	310.75	389.10	315.39	0.9592	1.09	403.68	327.20	0.9340	-0.0252	4.64	16.45
1991	389.78	315.87	381.78	309.45	0.9651	0.84	348.77	282.70	0.9238	-0.0413	-6.42	-33.17
1992	471.84	382.45	410.59	332.80	0.9359	0.86	380.66	308.55	0.8906	-0.0453	-49.65	-73.90
1993	422.74	342.65	434.85	352.47	0.8540	0.91	418.88	339.52	0.8281	-0.0259	9.82	-3.13
1994	379.52	307.62	396.63	321.49	0.7460	0.94	386.19	313.03	0.7943	0.0483	13.87	5.41
1995	451.53	365.99	436.1	355.91	0.8026	1.13	462.13	374.58	0.7306	-0.072	-10.08	8.59
1990-1995	416.47	337.56	408.18	331.25	0.8771	0.96	400.05	324.26	0.8502	-0.0269	-6.30	-13.29
1985-1995	386.40	313.19	374.42	306.84	0.8610	0.98	373.27	302.56	0.8323	-0.0287	-6.35	-10.63

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.13 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	197.86	641.52	197.46	641.97	0.9239	0.99	196.99	640.45	0.9243	0.0004	0.45	-1.07
1986	189.89	617.37	176.31	573.19	0.9245	1.00	176.17	572.26	0.9241	-0.0004	-44.18	-45.11
1987	173.36	563.60	163.11	530.28	0.6706	1.16	170.56	554.52	0.6544	-0.0162	-33.32	-9.08
1988	197.83	644.94	207.42	676.21	0.8974	0.90	201.10	655.58	0.8742	-0.0232	31.27	10.64
1989	201.12	653.86	187.53	609.69	0.9156	1.21	202.88	659.59	0.9044	-0.0112	-44.17	5.73
1985-1989	192.00	624.22	186.46	606.21	0.9710	1.05	189.63	616.52	0.9714	0.0004	-18.01	-7.70
1990	186.18	603.64	200.19	650.83	0.8688	0.96	197.50	642.09	0.8727	0.0039	47.19	38.45
1991	178.02	578.77	186.63	606.74	0.9473	0.85	176.13	572.61	0.9259	-0.0214	27.97	-6.16
1992	232.98	759.54	215.33	701.97	0.9491	1.09	221.18	721.05	0.9495	0.0004	-57.57	-38.49
1993	234.37	761.96	250.56	814.61	0.8939	0.91	245.12	796.90	0.8831	-0.0108	52.65	34.94
1994	220.48	716.81	240.70	782.55	0.8599	0.85	229.61	746.49	0.9136	0.0537	65.74	29.68
1995	212.94	692.30	231.77	753.52	0.8266	0.85	221.47	720.02	0.8546	0.0280	61.22	27.72
1990-1995	212.86	685.52	220.95	718.33	0.9553	0.92	215.25	699.82	0.9549	-0.0004	32.81	14.30
1985-1995	202.29	657.66	205.27	667.36	0.9807	0.99	203.61	661.95	0.9778	-0.0029	9.70	4.29

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.14 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	398.04	322.64	332.64	304.11	0.9079	0.99	373.82	303.00	0.9086	0.0007	-18.53	-19.64
1986	373.11	302.43	328.82	266.53	0.9037	1.00	328.39	266.18	0.9031	-0.0006	-35.90	-36.25
1987	269.26	218.25	278.84	226.02	0.6246	1.16	307.96	249.62	0.4260	-0.1986	7.77	31.37
1988	327.68	265.60	353.74	286.73	0.8480	0.90	331.89	269.01	0.7965	-0.0515	21.13	3.41
1989	383.47	310.83	375.48	304.35	0.9238	1.21	427.40	346.43	0.9072	-0.0166	-6.48	35.60
1985-1989	350.31	283.95	333.90	277.55	0.8416	1.05	353.89	286.85	0.7883	-0.0533	-6.40	2.90
1990	383.38	310.75	389.10	315.39	0.9592	0.96	380.57	308.48	0.9634	0.0042	4.64	-2.27
1991	389.78	315.87	381.78	309.45	0.9651	0.85	347.72	281.85	0.9218	-0.0433	-6.42	-34.02
1992	471.84	382.45	410.59	332.80	0.9359	1.09	431.03	349.37	0.9367	0.0008	-49.65	-33.08
1993	422.74	342.65	434.85	352.47	0.8540	0.91	416.92	337.94	0.8238	-0.0302	9.82	-4.71
1994	379.52	307.62	396.63	321.49	0.7460	0.85	365.37	296.15	0.8662	0.1202	13.87	-11.47
1995	451.53	365.99	436.1	355.91	0.8026	0.85	406.03	329.11	0.8418	0.0392	-10.08	-36.88
1990-1995	416.47	337.56	408.18	331.25	0.8771	0.92	391.27	317.15	0.8923	0.0151	-6.30	-20.40
1985-1995	386.40	313.19	374.42	306.84	0.8610	0.98	374.28	303.38	0.8450	-0.0160	-6.35	-9.81

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.15 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	197.86	641.52	197.46	641.97	0.9239	0.97	195.28	634.88	0.9244	0.0005	0.45	-6.64
1986	189.89	617.37	176.31	573.19	0.9245	1.00	176.56	574.04	0.9252	0.0007	-44.18	-43.33
1987	173.36	563.60	163.11	530.28	0.6706	1.30	171.75	558.39	0.6300	-0.0406	-33.32	-5.21
1988	197.83	644.94	207.42	676.21	0.8974	1.04	210.69	689.87	0.8940	-0.0034	31.27	44.93
1989	201.12	653.86	187.53	609.69	0.9156	1.02	189.13	614.88	0.9190	0.0034	-44.17	-38.98
1985-1989	192.00	624.22	186.46	606.21	0.9710	1.07	188.78	613.75	0.9711	0.0001	-18.01	-10.47
1990	186.18	603.64	200.19	650.83	0.8688	0.91	192.15	627.94	0.8736	0.0048	47.19	24.30
1991	178.02	578.77	186.63	606.74	0.9473	0.85	173.77	564.94	0.9170	-0.0303	27.97	-13.83
1992	232.98	759.54	215.33	701.97	0.9491	0.94	210.13	685.04	0.9360	-0.0131	-57.57	-74.50
1993	234.37	761.96	250.56	814.61	0.8939	0.90	243.68	792.24	0.8788	-0.0151	52.65	30.28
1994	220.48	716.81	240.70	782.55	0.8599	0.88	229.92	747.49	0.9125	0.0526	65.74	30.68
1995	212.94	692.30	231.77	753.52	0.8266	0.81	215.14	699.46	0.8542	0.0276	61.22	7.16
1990-1995	212.86	685.52	220.95	718.33	0.9553	0.88	211.05	689.14	0.9475	-0.0078	32.81	3.62
1985-1995	202.29	657.66	205.27	667.36	0.9807	0.97	200.93	653.24	0.9743	-0.0064	9.70	-4.42

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.16 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correctio %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	398.04	322.64	332.64	304.11	0.9079	0.97	368.86	298.98	0.9101	0.0022	-18.53	-23.66
1986	373.11	302.43	328.82	266.53	0.9037	1.00	329.72	267.25	0.9050	0.0013	-35.90	-35.18
1987	269.26	218.25	278.84	226.02	0.6246	1.30	309.99	251.26	0.3857	-0.2389	7.77	33.01
1988	327.68	265.60	353.74	286.73	0.8480	1.04	364.92	295.79	0.8393	-0.0087	21.13	30.19
1989	383.47	310.83	375.48	304.35	0.9238	1.02	380.77	308.63	0.9295	0.0057	-6.48	-2.20
1985-1989	350.31	283.95	333.90	277.55	0.8416	1.07	350.85	284.38	0.7939	-0.0477	-6.40	0.43
1990	383.38	310.75	389.10	315.39	0.9592	0.91	367.53	297.90	0.9607	0.0015	4.64	-12.85
1991	389.78	315.87	381.78	309.45	0.9651	0.85	340.30	275.83	0.9050	-0.0601	-6.42	-40.04
1992	471.84	382.45	410.59	332.80	0.9359	0.94	392.82	318.40	0.9153	-0.0206	-49.65	-64.05
1993	422.74	342.65	434.85	352.47	0.8540	0.90	412.45	334.32	0.8128	-0.0412	9.82	-8.33
1994	379.52	307.62	396.63	321.49	0.7460	0.88	366.32	296.92	0.8637	0.1177	13.87	-10.70
1995	451.53	365.99	436.10	355.91	0.8026	0.81	386.97	313.66	0.8335	0.0309	-10.08	-52.33
1990-1995	416.47	337.56	408.18	331.25	0.8771	0.88	377.73	306.17	0.8818	0.0047	-6.30	-31.38
1985-1995	386.40	313.19	374.42	306.84	0.8610	0.97	365.51	296.27	0.8419	-0.0191	-6.35	-16.92

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige



Tableau 4.17 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	197.86	641.52	197.46	641.97	0.9239						0.45	
1986	189.89	617.37	176.31	573.19	0.9245						-44.18	
1987	173.36	563.60	163.11	530.28	0.6706						-33.32	
1988	197.83	644.94	207.42	676.21	0.8974						31.27	
1989	201.12	653.86	187.53	609.69	0.9156						-44.17	
1985-1989	192.00	624.22	186.46	606.21	0.9710						-18.01	
1990	186.18	603.64	200.19	650.83	0.8688						47.19	
1991	178.02	578.77	186.63	606.74	0.9473	0.85	176.82	574.87	0.9369	-0.0104	27.97	-3.90
1992	232.98	759.54	215.33	701.97	0.9491	0.94	209.92	684.34	0.9360	-0.0131	-57.57	-75.20
1993	234.37	761.96	250.56	814.61	0.8939	1.19	256.76	834.75	0.8923	-0.0016	52.65	72.79
1994	220.48	716.81	240.70	782.55	0.8599	0.74	216.68	704.47	0.9238	0.0639	65.74	-12.34
1995	212.94	692.30	231.77	753.52	0.8266	0.66	197.00	640.47	0.8088	-0.0178	61.22	-51.83
1990-1995	210.86	685.52	220.95	718.33	0.9553	0.88	209.64	681.58	0.9517	-0.0036	32.81	-3.94
1985-1994	196.81	665.96	198.06	670.17	0.9880							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.18 Chute du Diable, comparaison des résultats des simulations, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correctio %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	398.04	322.64	332.64	304.11	0.9079							
1986	373.11	302.43	328.82	266.53	0.9037							
1987	269.26	218.25	278.84	226.02	0.6246							
1988	327.68	265.60	353.74	286.73	0.8480							
1989	383.47	310.83	375.48	304.35	0.9238							
1985-1989	350.31	283.95	333.90	277.55	0.8416							
1990	383.38	310.75	389.10	315.39	0.9592							
1991	389.78	315.87	381.78	309.45	0.9651	0.85	350.03	283.72	0.9419	-0.0232	-6.42	-32.15
1992	471.84	382.45	410.59	332.80	0.9359	0.94	392.13	317.84	0.9152	-0.0207	-49.65	-64.61
1993	422.74	342.65	434.85	352.47	0.8540	1.19	454.61	368.48	0.8580	0.004	9.82	25.83
1994	379.52	307.62	396.63	321.49	0.7460	0.74	326.82	264.91	0.8887	0.1427	13.87	-42.71
1995	451.53	365.99	436.10	355.91	0.8026	0.66	331.41	268.83	0.7295	-0.0731	-10.08	-97.16
1990-1995	416.47	337.56	408.18	331.25	0.8771	0.88	371.00	300.76	0.8667	-0.0105	-6.30	-36.80
1985-1995	386.40	313.19	374.42	306.84	0.8610							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.19 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c-Lo
1985	75.18	658.54	75.03	657.24	0.8807	1.06	75.80	664.04	0.8809	0.0002	-1.30	5.50
1986	69.01	604.51	64.08	561.37	0.8980	0.95	63.25	554.06	0.8888	-0.0092	-43.14	-50.45
1987	74.41	651.82	65.29	571.94	0.5069	1.08	66.58	583.27	0.5090	0.0021	-79.88	-68.55
1988	76.69	673.64	75.22	660.72	0.8592	0.79	71.58	628.77	0.7867	-0.0725	-12.92	-44.87
1989	77.83	681.79	67.26	589.17	0.8888	1.07	68.89	603.48	0.8958	0.0070	-92.62	-78.31
1985-1989	74.65	653.97	69.41	608.03	0.9365	0.99	69.26	606.67	0.9307	-0.0058	-45.94	-47.30
1990	69.73	610.81	77.78	681.38	0.6334	1.09	79.50	696.41	0.6181	-0.0153	70.57	85.60
1991	69.61	609.77	69.11	605.43	0.9218	0.84	65.61	574.75	0.9106	-0.0112	-4.34	-35.02
1992	94.22	827.60	79.65	699.60	0.9003	0.86	76.39	670.98	0.8400	-0.0603	-128.00	-156.62
1993	97.22	851.60	96.52	845.49	0.8610	0.91	94.55	828.26	0.8569	-0.0041	-6.11	-23.34
1994*	98.69	646.64	98.71	646.72	0.8328	0.94	96.98	635.42	0.8498	0.0170	0.08	-11.22
1990-1994	84.33	738.74	82.71	724.54	0.9431	0.93	80.57	709.92	0.9321	-0.0110	-14.20	-28.82
1985-1994	79.49	696.37	76.03	666.01	0.9674	0.96	75.12	658.03	0.9552	-0.0122	-30.36	-38.34

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

\* : année incomplète

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.20 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 janvier.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	152.21	332.43	141.57	309.19	0.8375	1.06	143.64	313.72	0.8392	0.0017	-23.24	-18.71
1986	130.52	285.05	123.47	269.66	0.8760	0.95	120.72	263.66	0.8618	-0.0142	-15.39	-21.39
1987	111.87	244.32	110.96	242.33	0.2296	1.08	116.20	253.78	0.1736	-0.0560	-1.99	9.46
1988	128.38	280.38	133.41	291.37	0.8322	0.79	120.78	263.78	0.7078	-0.1244	10.99	-16.60
1989	142.40	310.99	141.35	308.71	0.9198	1.07	146.94	320.91	0.9292	0.0094	-2.28	9.92
1985-1989	133.08	290.63	130.15	284.25	0.7390	0.99	129.66	283.17	0.9006	0.1616	-6.38	-7.46
1990	139.88	305.50	142.69	311.63	0.9043	1.09	147.62	322.41	0.8852	-0.0191	6.13	16.91
1991	148.33	323.95	139.65	305.00	0.9268	0.84	128.46	280.56	0.9063	-0.0205	-18.95	-43.39
1992	191.79	418.86	152.39	332.83	0.8796	0.86	141.19	308.36	0.7948	-0.0848	-86.03	-110.50
1993	171.04	373.54	170.27	371.87	0.8136	0.91	164.03	358.25	0.8049	-0.0087	-1.67	-15.29
1994	142.49	311.20	145.47	317.70	0.7354	0.94	141.90	309.91	0.7730	0.0376	6.50	-1.29
1990-1994	158.70	346.61	150.09	327.81	0.9431	0.93	144.64	315.90	0.9228	-0.0203	-18.80	-30.71
1985-1994	145.89	318.62	140.12	306.03	0.9573	0.96	137.15	299.53	0.9336	0.0706	-12.59	-19.09

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.21 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	75.18	658.54	75.03	657.24	0.8807	0.99	74.87	655.83	0.8807	0.0000	-1.30	-2.71
1986	69.10	604.51	64.08	561.37	0.8980	1.00	64.04	560.97	0.8975	-0.0005	-43.14	-43.54
1987	74.41	651.82	65.29	571.94	0.5069	1.16	68.29	598.18	0.4823	-0.0246	-79.88	-53.64
1988	76.69	673.64	75.22	660.72	0.8592	0.90	72.86	640.04	0.8234	-0.0358	-12.92	-33.60
1989	77.83	681.79	67.26	589.17	0.8888	1.21	73.26	641.79	0.8646	-0.0242	-92.62	-40.00
1985-1989	74.65	653.97	69.41	608.03	0.9365	1.05	70.70	619.30	0.9351	-0.0014	-45.94	-34.67
1990	69.73	610.81	77.78	681.38	0.6334	0.96	76.83	673.07	0.6362	0.0028	70.57	62.26
1991	69.61	609.77	69.11	605.43	0.9218	0.85	65.39	572.81	0.9089	-0.0129	-4.34	-36.96
1992	94.22	827.60	79.65	699.60	0.9003	1.09	81.83	718.80	0.9187	0.0184	-128.00	-108.80
1993	97.22	851.60	96.52	845.49	0.8610	0.91	94.37	826.72	0.8568	-0.0042	-6.11	-24.88
1994*	98.69	646.64	98.71	646.72	0.8328	0.85	93.61	613.35	0.8739	0.0411	0.08	-33.29
1990-1994	84.33	738.74	82.71	724.54	0.9431	0.93	81.17	709.71	0.9332	-0.0099	-14.20	-29.03
1985-1994	79.49	696.37	76.03	666.01	0.9674	0.99	75.83	664.25	0.9615	-0.0059	-30.36	-32.12

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

\* : année incomplète

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.22 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 28 février.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	152.21	332.43	141.57	309.19	0.8375	0.99	141.14	308.24	0.8372	-0.0003	-23.24	-24.19
1986	130.52	285.05	123.47	269.66	0.8760	1.00	123.33	269.35	0.8752	-0.0008	-15.39	-15.70
1987	111.87	244.32	110.96	242.33	0.2296	1.16	122.99	268.60	-0.0174	-0.24697	-1.99	24.28
1988	128.38	280.38	133.41	291.37	0.8322	0.90	125.22	273.47	0.7719	-0.0603	10.99	-6.91
1989	142.40	310.99	141.35	308.71	0.9198	1.21	161.71	353.18	0.8789	-0.0409	-2.28	42.19
1985-1989	133.08	290.63	130.15	284.25	0.9150	1.05	134.88	294.57	0.9067	-0.0083	-6.38	3.93
1990	139.88	305.50	142.69	311.63	0.9043	0.96	139.72	305.14	0.9056	0.0013	6.13	-0.36
1991	148.33	323.95	139.65	305.00	0.9268	0.85	127.85	279.23	0.9036	-0.0232	-18.95	-44.72
1992	191.79	418.86	152.39	332.83	0.8796	1.09	160.05	349.55	0.9053	0.0257	-86.03	-69.31
1993	171.04	373.54	170.27	371.87	0.8136	0.91	163.38	356.81	0.8046	-0.0090	-1.67	-16.73
1994	142.49	311.20	145.47	317.70	0.7354	0.85	134.74	294.26	0.8291	0.0937	6.50	-16.94
1990-1994	158.71	346.61	150.09	327.81	0.9431	0.93	145.15	317.00	0.9246	-0.0185	-18.80	-29.61
1985-1994	145.89	318.62	140.12	306.03	0.9573	0.99	140.01	305.78	0.9461	-0.0112	-12.59	-12.84

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.23 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de Lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	75.18	658.54	75.03	657.24	0.8807	0.97	74.27	650.60	0.8803	-0.0004	-1.30	-7.94
1986	69.10	604.51	64.08	561.37	0.8980	1.00	64.17	562.14	0.8991	0.0011	-43.14	-42.37
1987	74.41	651.82	65.29	571.94	0.5069	1.30	69.20	606.15	0.4468	-0.0601	-79.88	-45.67
1988	76.69	673.64	75.22	660.72	0.8592	1.04	76.46	671.59	0.8576	-0.0016	-12.92	-2.05
1989	77.83	681.79	67.26	589.17	0.8888	1.02	67.90	594.77	0.8907	0.0019	-92.62	-87.02
1985-1989	74.65	653.97	69.41	608.03	0.9365	1.07	70.43	616.99	0.9308	-0.0057	-45.94	-36.98
1990	69.73	610.81	77.78	681.38	0.6334	0.91	75.20	658.78	0.6317	-0.0017	70.57	47.97
1991	69.61	609.77	69.11	605.43	0.9218	0.85	64.47	564.72	0.9006	-0.0212	-4.34	-45.05
1992	94.22	827.60	79.65	699.60	0.9003	0.94	77.70	682.51	0.8702	-0.0301	-128.00	-145.09
1993	97.22	851.60	96.52	845.49	0.8610	0.90	93.80	821.71	0.8544	-0.0066	-6.11	-29.89
1994*	98.69	646.64	98.08	646.72	0.8328	0.88	93.71	613.98	0.8736	0.0408	0.08	-32.66
1990-1994	84.33	738.74	82.71	720.43	0.9431	0.90	79.57	697.04	0.9208	-0.0223	-18.31	-41.70
1985-1994	79.49	696.37	75.83	666.01	0.9674	0.98	74.97	656.78	0.9534	-0.0140	-30.36	-39.59

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

\* : année incomplète

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.24 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 31 mars.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	152.21	332.43	141.57	309.19	0.8375	0.97	139.53	304.74	0.8356	-0.0019	-23.24	-27.69
1986	130.52	285.05	123.47	269.66	0.8760	1.00	123.77	270.32	0.8771	0.0011	-15.39	-14.73
1987	111.87	244.32	110.96	242.33	0.2296	1.30	125.06	273.13	-0.0828	-0.3124	-1.99	28.81
1988	128.38	280.38	133.41	291.37	0.8322	1.04	137.68	300.69	0.8271	-0.0051	10.99	20.31
1989	142.40	310.99	141.35	308.71	0.9198	1.02	143.50	313.41	0.9221	0.0023	-2.28	2.42
1985-1989	133.08	290.63	130.15	284.25	0.9150	1.07	133.46	292.46	0.8993	-0.0157	-6.38	1.82
1990	139.88	305.50	142.69	311.63	0.9043	0.91	135.04	294.92	0.8923	-0.0120	6.13	-10.58
1991	148.33	323.95	139.65	305.00	0.9268	0.85	125.04	273.08	0.8901	-0.0367	-18.95	-50.87
1992	191.79	418.86	152.39	332.83	0.8796	0.94	145.82	318.48	0.8374	-0.0422	-86.03	-100.38
1993	171.04	373.54	170.27	371.87	0.8136	0.90	161.67	353.08	0.7998	-0.0138	-1.67	-20.46
1994	142.49	311.20	145.47	317.70	0.7354	0.88	134.97	294.77	0.8283	0.0929	6.50	-16.43
1990-1994	158.71	346.61	150.09	327.81	0.9431	0.90	140.51	306.87	0.9021	-0.0410	-18.80	-39.74
1985-1994	145.89	318.62	140.12	306.03	0.9573	0.98	137.21	299.66	0.9310	-0.0263	-12.59	-18.96

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige



Tableau 4.25 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période annuelle, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	75.18	658.54	75.03	657.24	0.8807							
1986	69.10	604.51	64.08	561.37	0.8980							
1987	74.41	651.82	65.29	571.94	0.5069							
1988	76.69	673.64	75.22	660.72	0.8592							
1989	77.83	681.79	67.26	589.17	0.8888							
1985-1989	74.65	653.97	69.41	608.03	0.9365							
1990	69.73	610.81	77.78	681.38	0.6334							
1991	69.61	609.77	69.11	605.43	0.9218	0.85	64.77	567.39	0.9106	-0.0112	-4.34	-42.38
1992	94.22	827.60	79.65	699.60	0.9003	0.94	77.47	680.53	0.8665	-0.0338	-128.00	-147.07
1993	97.22	851.60	96.52	845.49	0.8610	1.19	99.80	874.22	0.8603	-0.0007	-6.11	22.62
1994*	98.69	646.64	98.71	646.72	0.8328	0.74	87.01	570.10	0.8798	0.0470	0.08	-76.54
1991-1994	87.95	770.47	83.89	734.87	0.9522	0.93	80.88	708.57	0.9306	-0.0216	-35.60	-61.90
1985-1994	79.49	696.37	75.83	666.01	0.9674							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

\* : année incomplète

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

Tableau 4.26 Rivière Manouane, comparaison des résultats des simulations à la station 062209, pour la période avril à juin, si on introduit les corrections de stocks de neige au sol le 30 avril.

Année	Débits observés		Débits simulés sans correction des stocks de neige			Débits simulés avec correction des stocks de neige				Différence de Nash	Différence de lame	
	Qo m.c.s.	Lo mm	Qc m.c.s.	Lc mm	Nash N	Correction %	Q'c m.c.s.	L'c mm	Nash N'	N' - N	Lc - Lo	L'c - Lo
1985	152.21	332.43	141.57	309.19	0.8375							
1986	130.52	285.05	123.47	269.66	0.8760							
1987	111.87	244.32	110.96	242.33	0.2296							
1988	128.38	280.38	133.41	291.37	0.8322							
1989	142.40	310.99	141.35	308.71	0.9198							
1985-1989	133.08	290.63	130.15	284.25	0.9150							
1990	139.88	305.50	142.69	311.63	0.9043							
1991	148.33	323.95	139.65	305.00	0.9268	0.85	125.77	274.69	0.9059	-0.0209	-18.95	-49.26
1992	191.79	418.86	152.39	332.83	0.8796	0.94	145.06	316.81	0.8322	-0.0474	-86.03	-102.05
1993	171.04	373.54	170.27	371.87	0.8136	1.19	180.60	394.42	0.8141	0.0005	-1.67	20.88
1994	142.49	311.20	145.47	317.70	0.7354	0.74	119.81	261.67	0.8569	0.1215	6.50	-49.53
1991-1994	163.41	356.89	151.95	331.85	0.9355	0.93	142.81	311.90	0.8979	-0.0376	-25.04	-44.99
1985-1994	145.89	318.62	140.12	306.03	0.9573							

Qo : débits observés

Qc : débits simulés

Q'c : débits simulés avec correction de neige

Lo : lames observées

Lc : lames simulées

L'c : lames simulées avec correction de neige

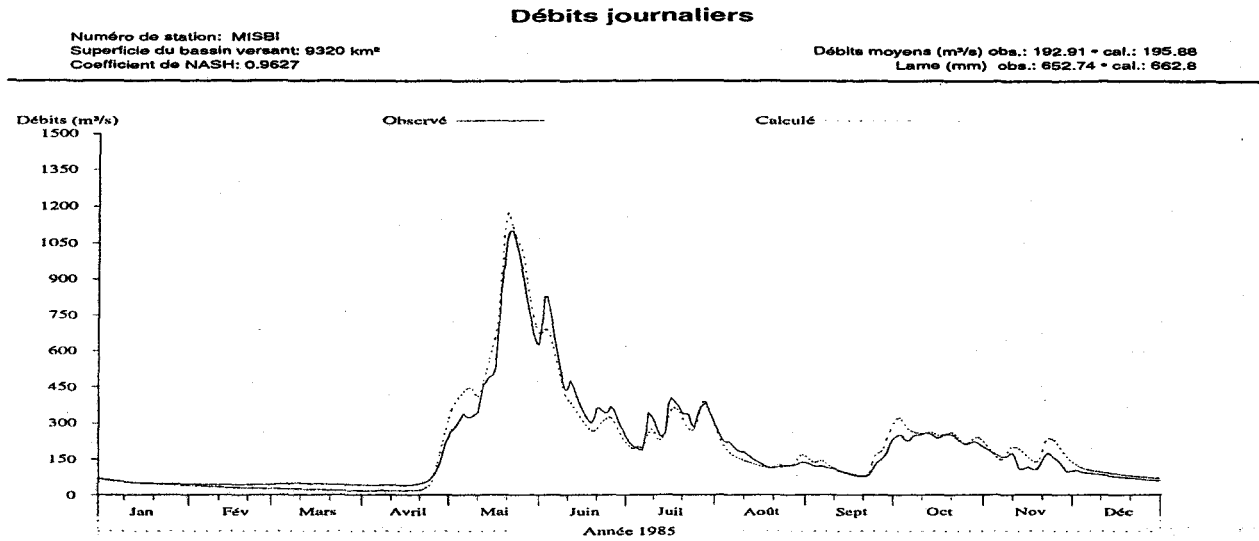


Figure 4.1 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige.

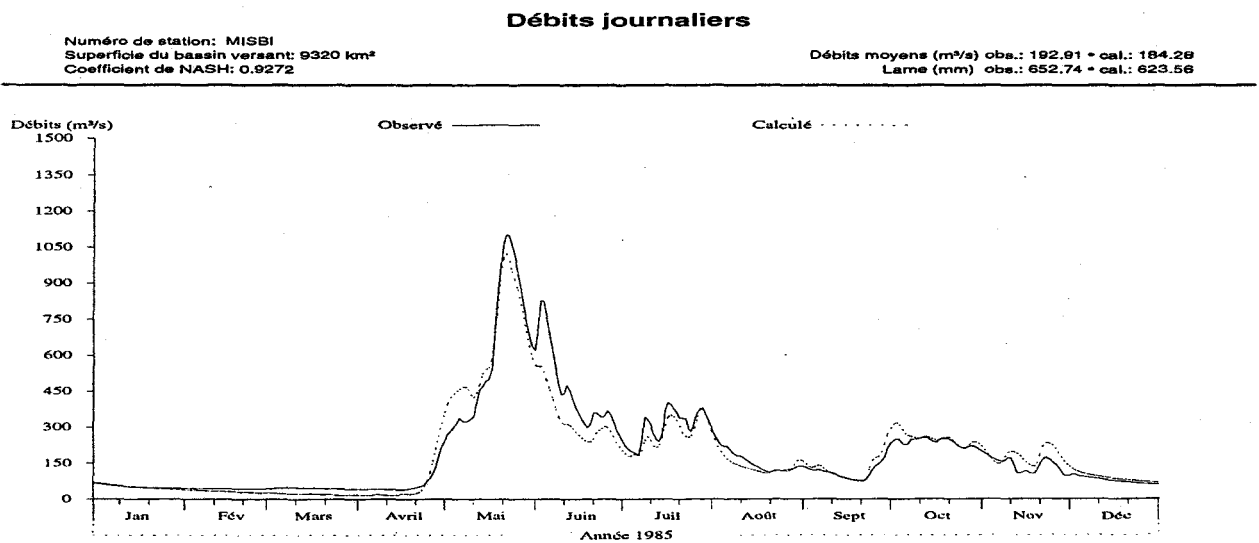


Figure 4.2 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

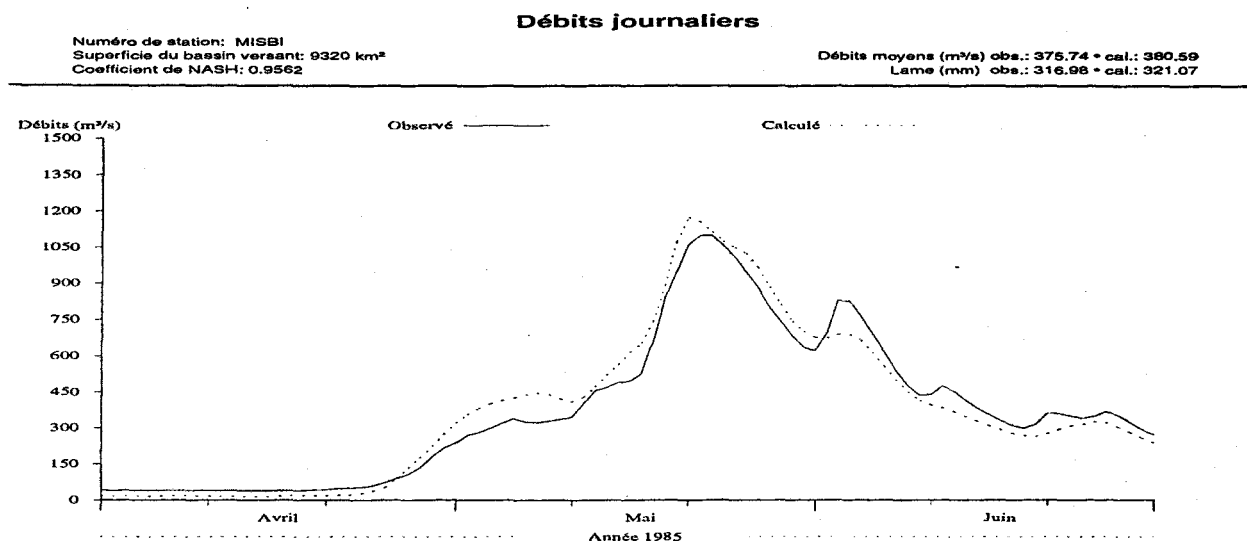


Figure 4.3 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige.

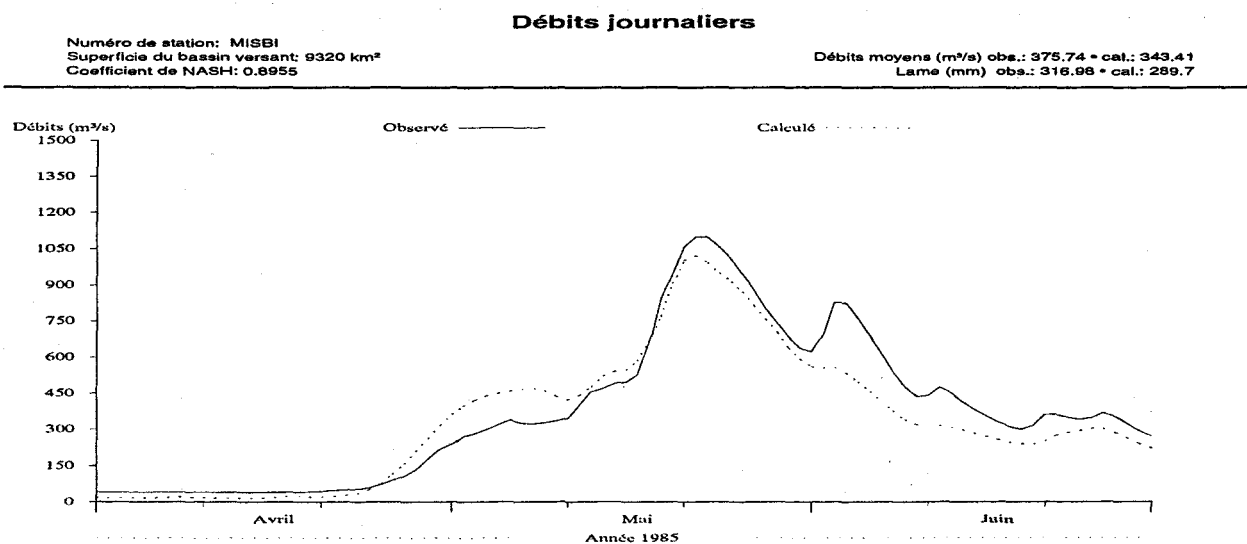


Figure 4.4 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1985 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

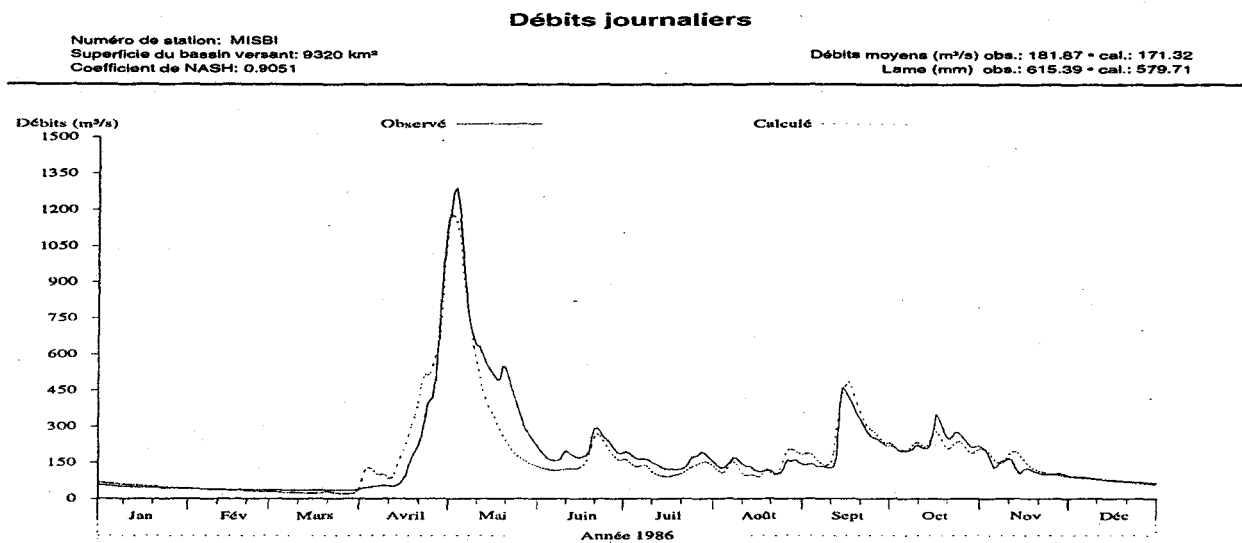


Figure 4.5 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige.

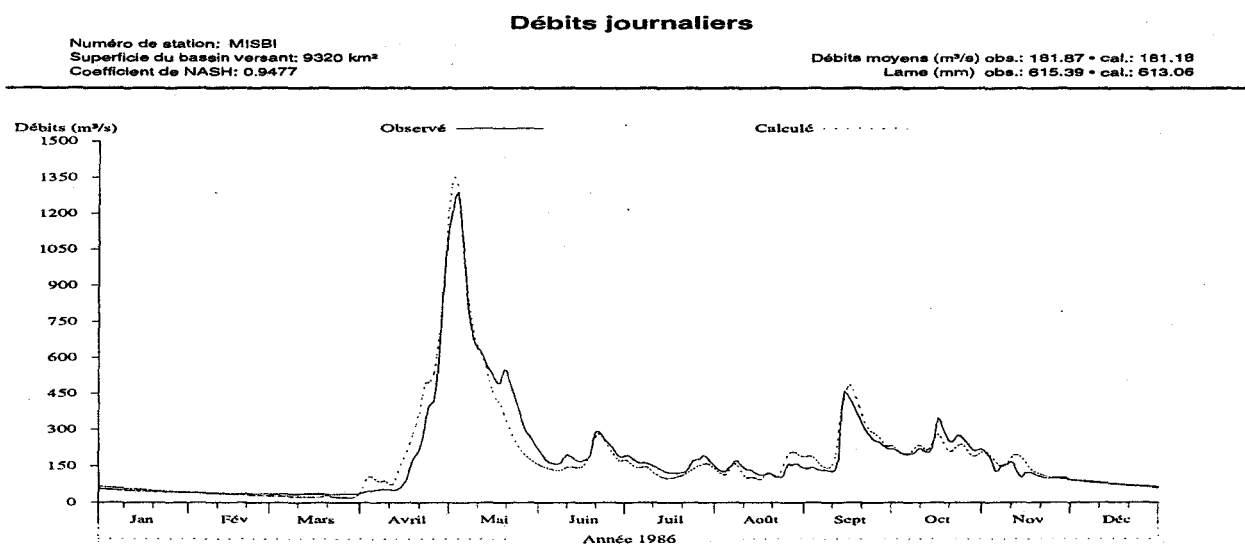


Figure 4.6 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

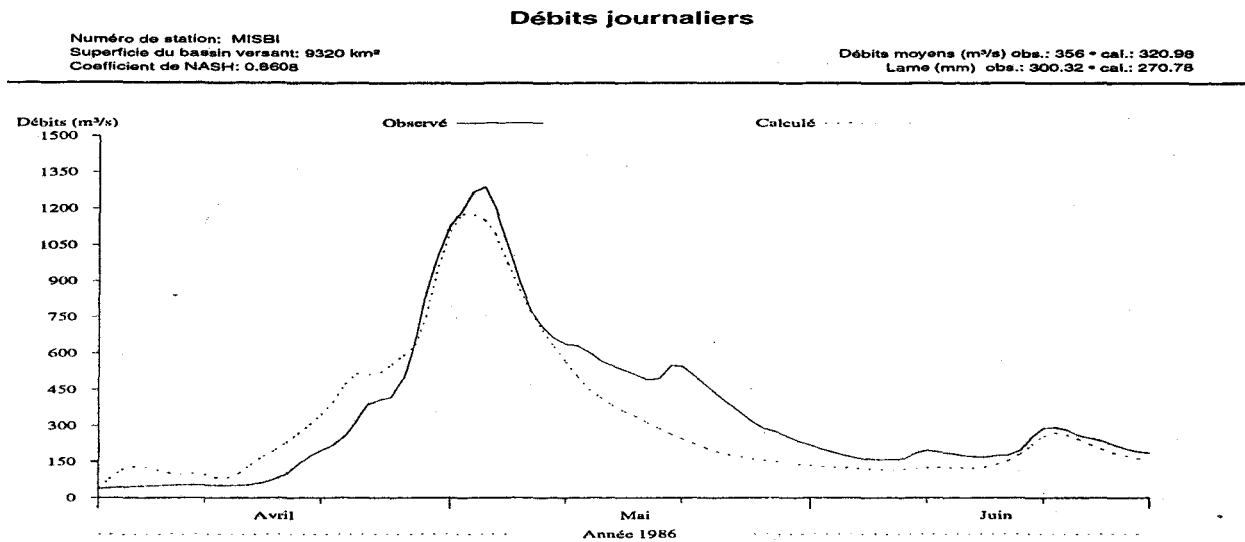


Figure 4.7 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, sans correction des stocks de neige.

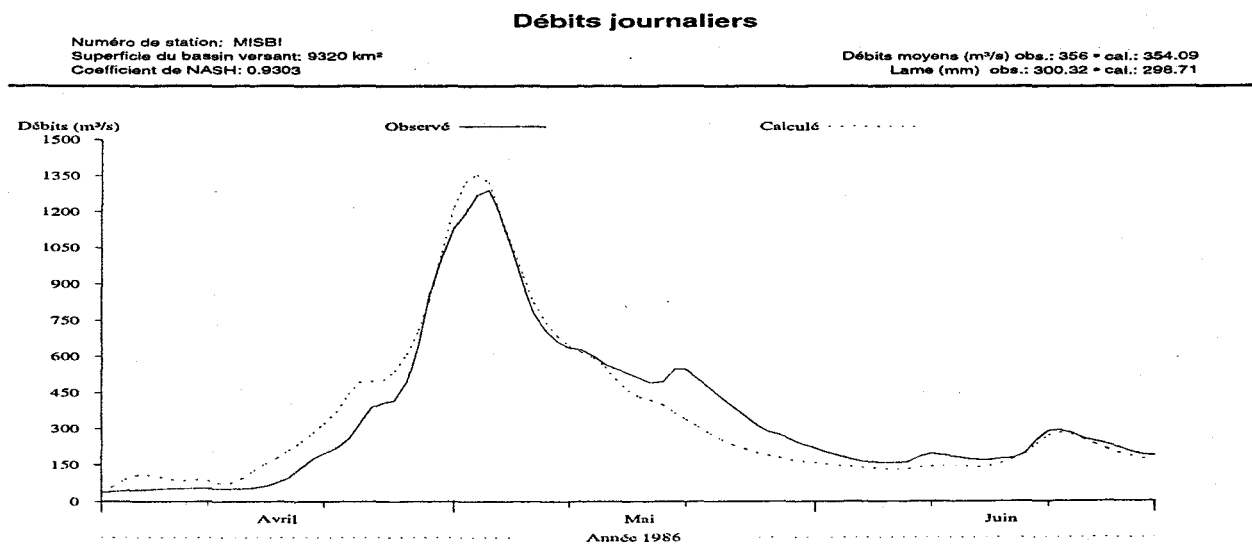


Figure 4.8 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1986 à la station 062101 de la rivière Mistassibi, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

### Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0,8939

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 234.37 - cal.: 250.56  
Lame (mm) obs.: 761.96 - cal.: 814.61

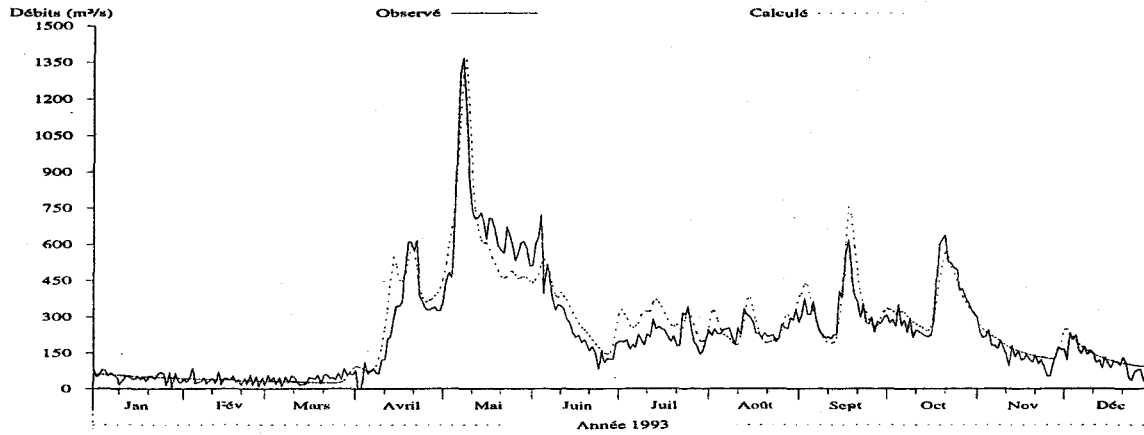


Figure 4.9 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige.

### Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0,8788

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 234.37 - cal.: 243.68  
Lame (mm) obs.: 761.96 - cal.: 792.24

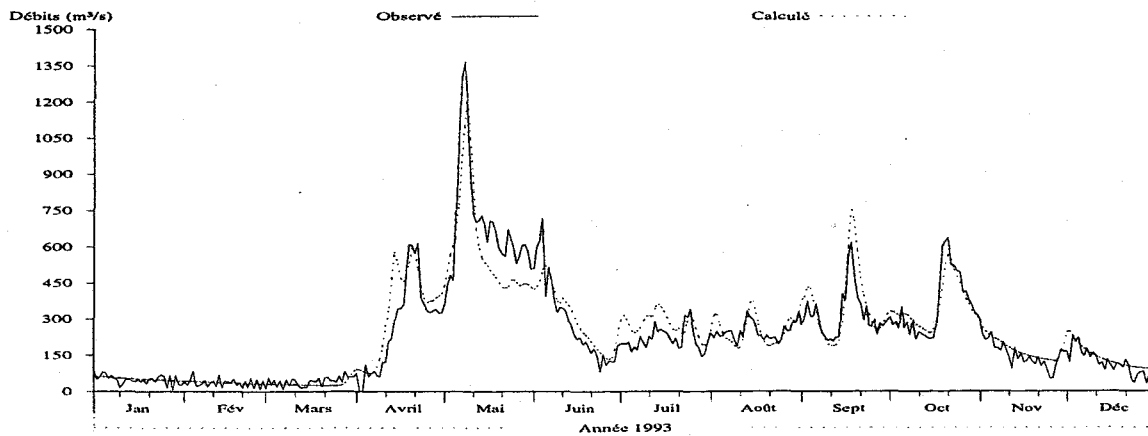


Figure 4.10 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

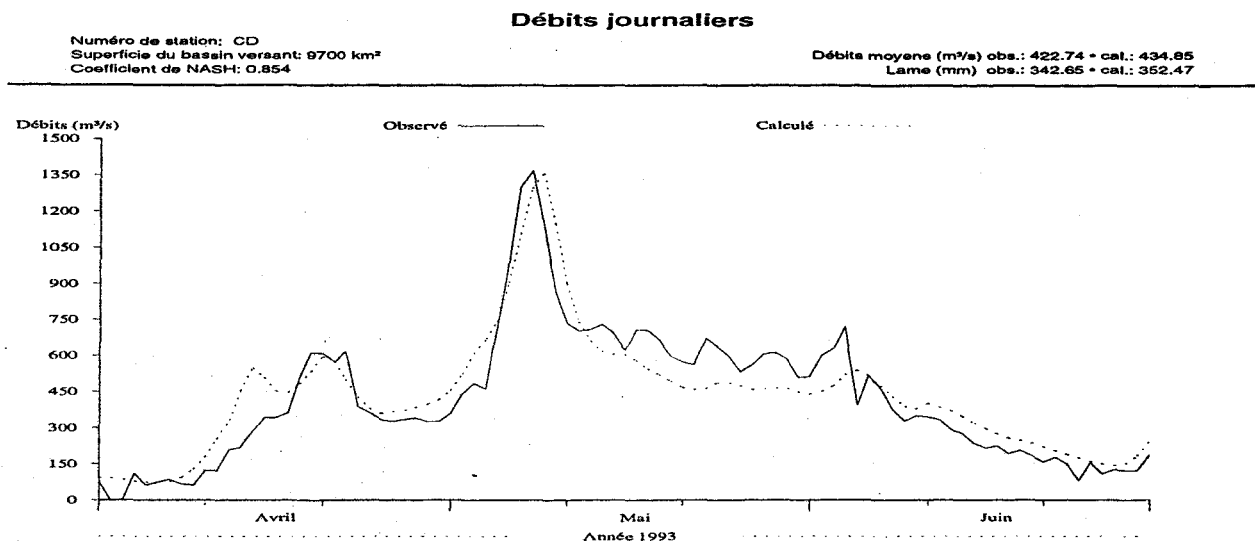


Figure 4.11 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige.

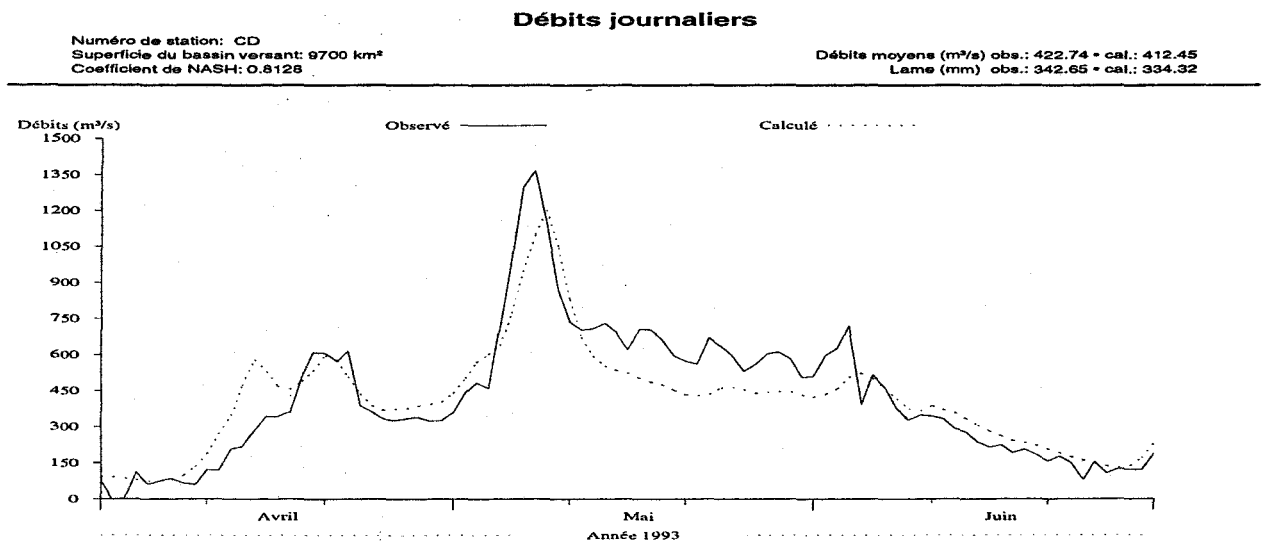


Figure 4.12 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1993 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars.



### Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8599

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 220.48 • cal.: 240.7  
Lame (mm) obs.: 716.81 • cal.: 782.55

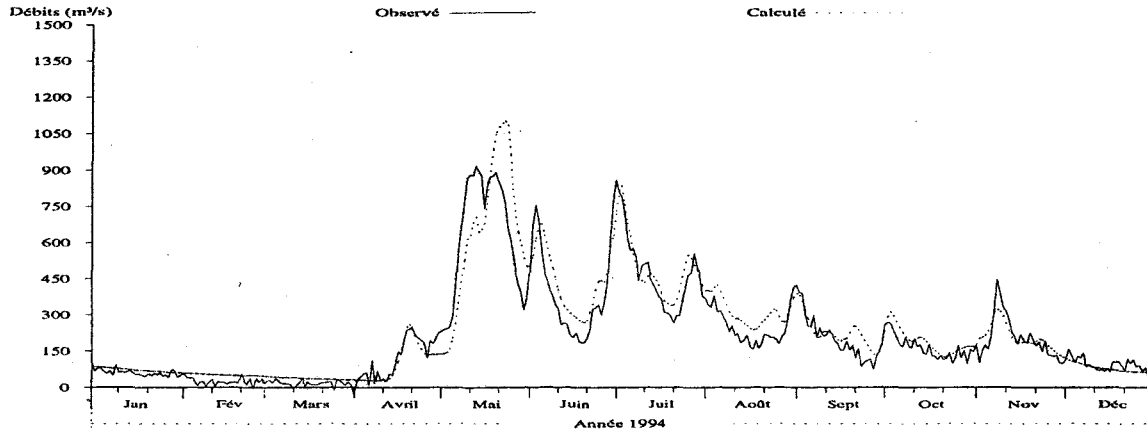


Figure 4.13 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige.

### Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9125

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 220.48 • cal.: 229.92  
Lame (mm) obs.: 716.81 • cal.: 747.49

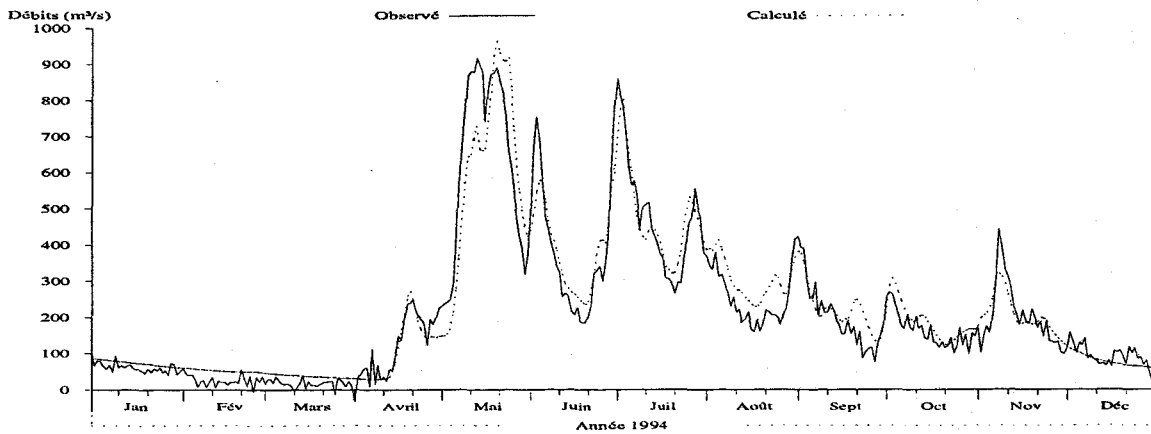


Figure 4.14 Hydrogrammes observé et simulé pour l'année 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

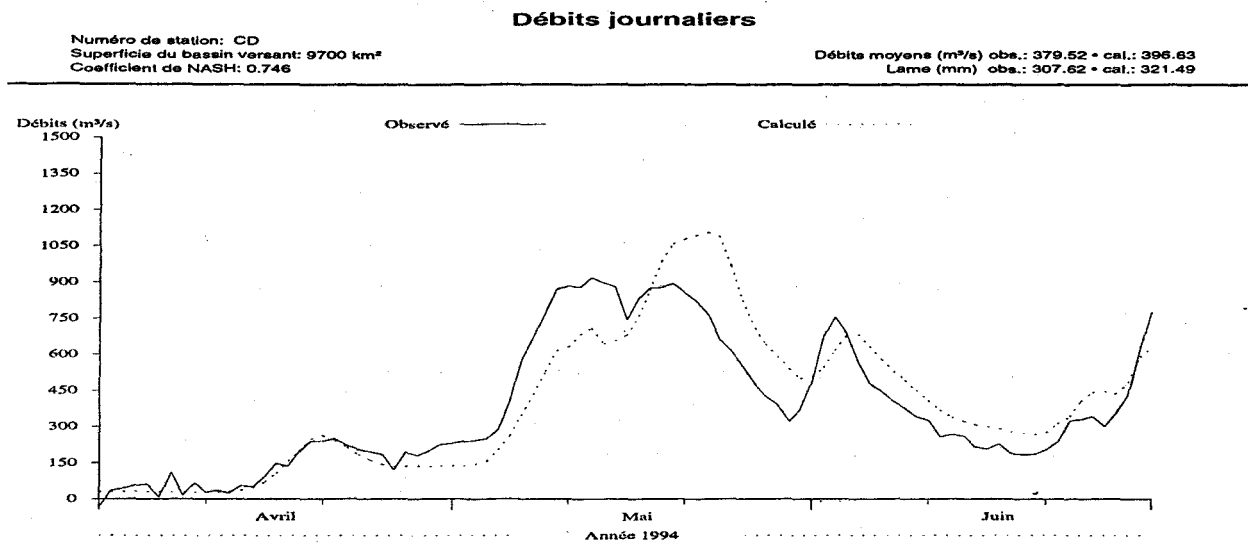


Figure 4.15 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, sans correction des stocks de neige.

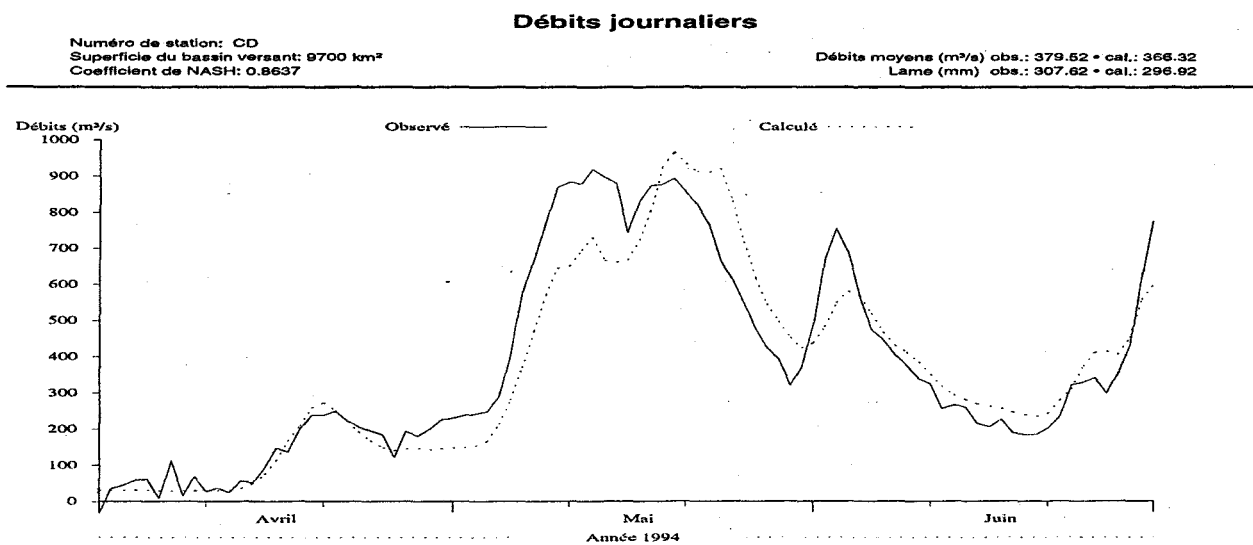


Figure 4.16 Hydrogrammes observé et simulé pour la période avril à juin 1994 sur le bassin versant de Chute du Diable, avec correction des stocks de neige le 31 mars.

# 5

## PRÉVISION DES DÉBITS À COURT TERME

---

Ce chapitre a pour but de décrire les résultats de l'utilisation du modèle CEQUEAU pour la prévision des débits à court terme, c'est-à-dire de 1 à 7 jours, pour différentes méthodes de mise à jour. De plus, pour quantifier la précision des prévisions météorologiques par rapport aux données observées, des simulations seront faites avec des données météorologiques observées et prévues, moyennes sur le bassin versant et aux points de grille. La précision de chaque simulation sera analysée et on comparera la prévision de CEQUEAU par rapport au modèle "PAYSAN". Le modèle "PAYSAN" suppose que les débits des jours J+1 à J+N sont égaux au débit du jour J. Dans le but de quantifier le gain de précision des différentes méthodes pour la prévision en temps réel, nous présentons, pour chaque bassin versant étudié, trois méthodes différentes :

- La prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU sans mise à jour.
- la prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour statistique;
- la prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour déterministe.

Les paramètres de mise à jour statistique et déterministe sont estimés en utilisant la période de calibration qui s'étend de 1985 à 1989. La précision des prévisions est analysée en utilisant la période de vérification où l'on utilise les données météorologiques et les débits mesurés pour la période 1990 à 1994 sur le bassin versant de la rivière Mistassibi et 1990 à 1995 sur le bassin versant de Chute du Diable. En utilisant les observations météorologiques, l'erreur des débits prévus par rapport aux débits observés dépend de la précision du modèle et des procédures de mise à jour seulement. Elle ne contient pas d'erreurs de prévisions météorologiques puisque l'on utilise les données météorologiques

mesurées sur le bassin versant. Ces débits prévus correspondent à ce que l'on peut obtenir lorsque les prévisions météorologiques sont identiques aux données mesurées aux stations. Dans le cas des simulations avec mise à jour, la détérioration de la précision avec le temps dépend de la mise à jour seulement. De plus, pour analyser la précision des débits que l'on peut effectivement obtenir en temps réel, on doit utiliser les données météorologiques prévues. Pour cette analyse, nous utiliserons les données météorologiques prévues par le service météorologique d'Environnement Canada pour 1 à 6 jours selon le modèle global. Ces données sont les moyennes par bassin versant ainsi que les valeurs aux points de grille. Elles nous ont été transmises par le groupe de recherche hydraulique d'Alcan et sont disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994. Pour chaque jour, les données comportent deux séries de prévisions soient la série originale faite à 00:00 et une série révisée faite à 12:00.

En plus de comparer les différentes méthodes de mises à jour pour la prévision des débits en temps réel, il est intéressant de comparer les résultats que l'on obtient par rapport au modèle "PAYSAN" ou "NAIF" tel que définit par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM 1992).

Le modèle PAYSAN, tel qu'utilisé par l'OMM, suppose que le débit du jour J+1 est égal au débit du jour J. Ainsi, si nous n'avons pas de modèle sur un bassin versant, la meilleure estimation des débits à venir consiste à supposer que les débits d'aujourd'hui se reproduiront demain et les jours suivants. Ceci est d'autant plus vrai que le bassin versant est grand et que l'autocorrélation des débits est forte. Donc, la précision des modèles hydrologiques doit être meilleure que celle du modèle PAYSAN, sinon il s'avère inutile de faire les prévisions avec des modèles hydrologiques complexes. Dans l'intercomparaison des modèles hydrologiques pour la prévision des débits en temps réel, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM 1992) a comparé les résultats des modèles de simulation avec le modèle PAYSAN. Dans l'ensemble, les modèles hydrologiques donnent de meilleurs résultats bien que pour quelques cas la prévision avec le modèle PAYSAN soit plus précise.

L'analyse de la précision des prévisions faites avec les modèles CEQUEAU et PAYSAN, pour chaque méthode décrite précédemment, sera effectuée en utilisant deux critères numériques. Ces critères sont le critère de NASH, défini à la section 1.1.4, et l'erreur quadratique moyenne (RMSE).

## **5.1 Prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU sans mise à jour**

Cette première méthode consiste à utiliser les simulations normales du modèle CEQUEAU. Cela consiste à simuler normalement jusqu'au jour actuel (appelé le jour J) puis à introduire

les données météorologiques observées ou prévues. On continue ensuite les simulations hydrologiques, sans aucune mise à jour, pour les jours J+1 à J+N, où N représente le nombre de jours pour lesquels on désire prévoir les débits.

### 5.1.1 Application à la rivière Mistassibi

Les données de 1985 à 1994 sont utilisées pour déterminer la précision des prévisions des débits sur ce bassin versant en supposant que les prévisions météorologiques sont identiques à celles mesurées aux stations. Le tableau 5.1 montre, pour la période de calibration et de vérification, les critères de performance de la prévision des débits par les modèles CEQUEAU et PAYSAN par rapport aux débits observés. On retrouve sur ce tableau les débits observés et prévus moyens, l'erreur quadratique moyenne et le critère de Nash pour les sept jours de prévision en fonction des débits calculés avec CEQUEAU et PAYSAN. On observe que la précision des débits prévus avec CEQUEAU ne se dégrade pas avec le temps. Ce phénomène s'explique par l'utilisation des données météorologiques mesurées sur le bassin versant. On observe également que les débits prévus sont un peu moins précis pour la période de vérification que pour la période de calibration. Cela est normal puisque les données de la période de calibration ont été utilisées pour l'ajustement des paramètres du modèle. La comparaison des critères numériques RMSE et NASH pour les modèles CEQUEAU et PAYSAN montre que la prévision pour la première journée est plus précise si on utilise PAYSAN. Pour le jour 2, la prévision est légèrement meilleure avec PAYSAN pour la période de calibration alors que pour la période de vérification c'est l'inverse. Les débits prévus pour les jours 3 à 7 sont plus précis si on utilise le modèle CEQUEAU.

Pour analyser la précision des débits prévisibles en temps réel, nous avons utilisé les données météorologiques prévues par le Service météorologique d'Environnement Canada pour 1 à 6 jours à l'aide du modèle global. Quatre séries de données de prévisions météorologiques sont disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994. La première série faite à 00:00 donne les prévisions moyennes (température et pluie) sur les bassins versants pour les six jours suivants. La deuxième série, mise à jour à midi, donne les prévisions moyennes par bassin. Les séries 3 et 4 donnent les mêmes informations mais à différents points de grille. Pour analyser le gain de précision d'une série de données par rapport aux autres, les simulations ont été faites avec ces quatre séries de données et avec les données météorologiques mesurées pour cette même période.

Avant d'utiliser les données météorologiques prévues par le Service météorologique d'Environnement Canada, nous avons tout d'abord analysé la précision des prévisions de température de l'air et des précipitations par rapport aux valeurs mesurées sur le bassin versant. Le tableau 5.2 montre les moyennes des valeurs mesurées et prévues pour la température de l'air et pour les précipitations pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 ainsi que l'erreur quadratique moyenne (RMSE) entre les valeurs observées et prévues. Ce tableau montre que les précipitations prévues sont assez précises. On observe

que les moyennes des précipitations observées et calculées sont équivalentes pour les six jours alors que l'erreur quadratique augmente avec les jours, ce qui indique qu'il y a dégradation avec le temps. Par exemple, l'erreur quadratique moyenne des précipitations passe de 2,77 pour la prévision du jour 1 et croît jusqu'à 5,43 pour le jour 6. Pour les températures de l'air, la différence entre les températures moyennes observées et calculées varie avec les jours et l'erreur quadratique moyenne montre qu'il y a également une dégradation de la précision avec le temps. On observe pour la température de l'air, une surestimation des températures prévues et l'erreur quadratique moyenne varie de 2,70 à 5,21 respectivement, pour les jours 1 et 6. Cette dégradation de la précision des prévisions de la précipitation et des températures de l'air est normale mais aura une influence sur la précision des débits prévus.

Les quatre séries de données de prévisions météorologiques ont été utilisées comme données d'entrées du modèle CEQUEAU pour prévoir les débits de 1 à 6 jours à l'avance. L'introduction des prévisions météorologiques comme données d'entrées du modèle a été faite de la façon suivante:

- pour les prévisions moyennes par bassin, nous avons fourni ces valeurs moyennes à toutes les stations météorologiques utilisées par le modèle qui a extrapolé ces valeurs à chacun des carreaux entiers en tenant compte de l'orographie;
- pour les prévisions aux points de grille, nous avons calculé les données météorologiques à chaque station utilisée par le modèle en considérant les prévisions des trois points de grille les plus près, pondérés par un poids inversement proportionnel à la distance entre la station et ces points de grille. L'estimation des données météorologiques prévues sur chaque carreau entier a été faite comme précédemment en tenant compte de l'orographie. Les points de grille utilisés pour le calcul des données météorologiques aux stations sont données au tableau 5.3.

Les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulations, sans mise à jour, sont données au tableau 5.4. La première partie de ce tableau montre les débits moyens observés pour la période étudiée, soit du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour les jours 1 à 6. La seconde partie du tableau donne les caractéristiques statistiques si on utilise pour la prévision le modèle PAYSAN tel que définit précédemment. À la troisième partie du tableau, on présente les résultats pour les débits prévus par CEQUEAU en utilisant les données météorologiques observées. Les quatre dernières parties du tableau 5.4 présentent les caractéristiques statistiques des débits prévus par le modèle CEQUEAU en utilisant les données météorologiques prévues moyennes sur le bassin versant à 00:00 et à 12:00 et les données météorologiques prévues aux points de grille à 00:00 et à 12:00.

Les résultats du tableau 5.4 peuvent être interprétés à l'aide de la figure 5.1 qui présente les données de ce tableau sous forme d'histogramme. Sur la première partie de la figure 5.1, qui représente l'erreur quadratique moyenne, on observe que, pour les jours 1 et 2, les prévisions avec PAYSAN donnent de meilleurs résultats. Par contre, pour les jours 3 à 6, les débits prévus avec CEQUEAU sont plus précis. Sur ce graphique on observe que l'erreur quadratique moyenne des débits prévus en utilisant les données météorologiques observées est à peu près égale pour les jours 1 à 6. Cela est normal parce qu'il n'y a pas de dégradation dans la précision des données météorologiques utilisées. Les prévisions avec les quatre séries de données météorologiques prévues montrent qu'on obtient, pour les premiers jours, des débits prévus semblables à ceux obtenus en utilisant les données météorologiques observées et que, pour les derniers jours, il y a une légère augmentation de l'erreur quadratique qui est due à l'augmentation de l'imprécision des prévisions météorologiques. Finalement, on note que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats identiques.

Les deuxième et troisième parties de la figure 5.1 montrent le critère de NASH et les débits moyens qui présentent des variations semblables à celles observées pour la première partie.

L'analyse du tableau 5.4 et de la figure 5.1 nous donc permet de conclure:

- que l'utilisation des prévisions météorologiques moyennes sur le bassin permet de prévoir les débits avec la même précision que si l'on utilise les prévisions météorologiques aux points de grille. Il pourrait cependant arriver que pour un événement particulier, fortement distribué dans l'espace, les prévisions aux points de grille performant mieux.
- que les données des prévisions météorologiques corrigées à 12:00 h présentent peu de changement dans les prévisions hydrologiques par rapport à celles faites avec les données météorologiques prévues à 00:00 h;
- que les données météorologiques prévues permettent d'estimer les débits avec autant de précision qu'avec les données météorologiques observées pour les deux premiers jours et qu'après la dégradation croît avec les jours;
- que le modèle PAYSAN permet de prévoir les débits avec plus de précision pour les jours 1 et 2. Pour les jours suivants le modèle CEQUEAU permet une meilleure prévision des débits.

### 5.1.2 Application au bassin versant Chute du Diable

Les données de 1985 à 1995 sont utilisées pour déterminer la précision des prévisions des débits sur ce bassin versant en supposant que les prévisions météorologiques sont identiques à celles mesurées aux stations. Le tableau 5.5 montre, pour la période de calibration et de vérification, les critères numériques des débits prévus par CEQUEAU et PAYSAN par rapport aux débits observés.

La comparaison des critères numériques RMSE et NASH pour les modèles CEQUEAU et PAYSAN montre que la prévision pour la première journée est plus précise si on utilise PAYSAN. Pour le jour 2, la prévision est légèrement meilleure avec CEQUEAU pour la période de calibration alors que pour la période de vérification PAYSAN donne la meilleure prévision. La précision des débits prévus pour les jours 3 à 7 est plus précise si on utilise le modèle CEQUEAU.

Les caractéristiques des données météorologiques prévues sur le bassin versant de Chute du Diable par rapport aux données météorologiques mesurées sur ce bassin versant sont données au tableau 5.6 pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994. Comme pour le bassin versant de la rivière Mistassibi, on observe que les précipitations moyennes observées et prévues sont semblables mais l'erreur quadratique fait ressortir la dégradation de la précision avec le temps. Pour les températures moyennes observées et prévues, on observe la surestimation de la prévision, les différences variant de 1,35°C à 1,72°C, et l'erreur quadratique moyenne indique qu'il y a une dégradation de précision avec le temps.

Si on compare les tableaux 5.2 et 5.6 qui donnent respectivement les caractéristiques des données météorologiques prévues pour les bassins versants Mistassibi et Chute du Diable par rapport aux données météorologiques observées sur ces mêmes bassins versants, on observe que la précision et la dégradation avec le temps sont comparables. La comparaison de la précipitation prévue pour le 5<sup>ème</sup> jour par rapport aux autres jours montre que la moyenne est plus faible pour ce jour pour les deux bassins versants.

Le tableau 5.7 donne les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulations, sans mise à jour, pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour les jours 1 à 6. Les résultats de ce tableau peuvent être interprétés à l'aide de la figure 5.2.

Sur la première partie de la figure, qui représente l'erreur quadratique moyenne, on observe que pour le jour 1 les prévisions avec PAYSAN donnent de meilleurs résultats. Par contre, pour les jours 2 à 6, les débits prévus avec CEQUEAU sont plus précis. Sur ce graphique, on observe également que l'erreur quadratique des débits prévus en utilisant les données météorologiques observées est à peu près égale pour les jours 1 à 6. Les prévisions avec les quatre séries de données météorologiques prévues montrent qu'on obtient pour les



premiers jours des débits prévus semblables à ceux obtenus en utilisant les données météorologiques observées. Par la suite, il y a une légère augmentation de l'erreur quadratique qui est due à l'augmentation de l'imprécision des prévisions météorologiques. Finalement, comme dans le cas de la rivière Mistassibi, on observe sur la figure que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats à peu près identiques.

## 5.2 Prédiction des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour statistique

Pour cette seconde méthode on suppose que si le débit calculé par le modèle est surestimé ou sous estimé pour le jour J, il est probable que le débit prévu pour le jour J+1 sera également surestimé ou sous estimé. On peut corriger cette erreur en utilisant les relations mathématiques reliant les résidus précédents le jour J et les résidus qui suivent le jour J. Les résidus sont la différence entre les débits observés et les débits calculés par le modèle.

Pour établir les relations mathématiques entre les résidus, on utilise la période de calibration qui sert à déterminer par régression les coefficients qui s'appliquent pour les jours J+1 à J+N. On a les relations suivantes:

$$\Delta_{J+1} = cte + A_1 \Delta_J + A_2 \Delta_{J-1} + A_3 \Delta_{J-2} + \dots$$

$$\Delta_{J+2} = cte + B_1 \Delta_J + B_2 \Delta_{J-1} + B_3 \Delta_{J-2} + \dots$$

$$\Delta_{J+N} = cte + X_1 \Delta_J + X_2 \Delta_{J-1} + X_3 \Delta_{J-2} + \dots$$

où:

$\Delta$  : résidu (différence entre le débit observé et le débit calculé par le modèle)

cte : constante

A, B, X : coefficients

J : jour précédent la prévision

N : nombre de jours à prévoir

S'il n'y a pas d'erreur systématique entre les débits observés et calculés, la constante est nulle. Si on utilise un processus d'ordre 1, les coefficients  $A_1, B_1, \dots, X_1$  sont les coefficients d'autocorrélation des résidus.

Les débits prévus pour les jours  $J+1$  à  $J+N$  sont alors obtenus par les équations suivantes:

$$Q_{S_{J+1}} = Q_{J+1} + \rho_1 \Delta_J$$

$$Q_{S_{J+2}} = Q_{J+2} + \rho_2 \Delta_J$$

$$Q_{S_{J+N}} = Q_{J+N} + \rho_N \Delta_J$$

où:

- $Q_S$  : débits prévus avec mise à jour statistique pour les jours  $J+1$  à  $J+N$
- $Q$  : débits simulés par le modèle pour les jours  $J+1$  à  $J+N$
- $\rho$  : coefficient d'autocorrélation des résidus d'ordre 1 à  $N$
- $J$  : jour du début de la prévision
- $N$  : nombre de jours à prévoir

Les coefficients d'autocorrélation des résidus sont estimés avec les données de la période de calibration.

### 5.2.1 Application à la rivière Mistassibi

Le tableau 5.8 présente les coefficients d'autocorrélation des résidus pour les périodes de calibration (1985-1989), de vérification (1990-1994) et pour la période totale (1985-1994). Les résidus constituent la différence entre les débits calculés par le modèle hydrologique CEQUEAU et les débits observés. Sur ce tableau et sur la figure 5.3 qui présente les coefficients d'autocorrélation des trois périodes, on observe que l'autocorrélation des résidus est très forte pour le jour 1 et décroît régulièrement pour les jours suivants. L'autocorrélation calculée pour les trois périodes est à peu près égale pour le jour 1 mais par la suite on observe que l'autocorrélation calculée avec la période de vérification décroît plus rapidement que celle calculée avec la période de calibration.

Pour la suite de l'étude, les coefficients d'autocorrélation estimés avec la période de calibration (1985-1989) seront utilisés pour estimer la précision des débits prévus avec mise à jour statistique. Les coefficients des autres périodes ont été calculés dans le but de vérifier la variation des coefficients d'autocorrélation pour les périodes de calibration, de vérification et la période totale.

Comme précédemment, les données de 1985 à 1994 sont utilisées pour déterminer la précision des prévisions avec mise à jour statistique des débits du bassin versant de la rivière Mistassibi en supposant que les prévisions météorologiques sont identiques à celles mesurées aux stations. Le tableau 5.9 montre, pour la période de calibration et de vérification, les critères numériques des débits prévus par PAYSAN et CEQUEAU corrigés avec la mise à jour statistique.

La comparaison des critères numériques RMSE et NASH pour les modèles CEQUEAU et PAYSAN montre que la prévision des débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour statistique est plus précise. On observe sur ce tableau que l'erreur quadratique moyenne augmente avec les jours. Comme on a utilisé pour les calculs de ce tableau les données météorologiques réelles, cette augmentation de l'erreur provient seulement de la dégradation de l'autocorrélation des résidus utilisés pour la mise à jour statistique.

Si on compare les résultats des prévisions sans mise à jour (tableau 5.1) avec les résultats des prévisions avec mise à jour statistique (tableau 5.9), on observe que l'erreur quadratique moyenne du premier jour de prévision passe de 47,64 à 16,10 pour la période de calibration et de 61,96 à 22,97 pour la période de vérification. Pour les jours suivants, la différence entre les erreurs quadratiques diminue parce que la correction des résidus par l'autocorrélation est de moins en moins précise.

Les quatre séries de données de prévisions météorologiques, disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, ont été utilisées comme données d'entrées du modèle CEQUEAU pour prévoir les débits de 1 à 6 jours à l'avance. L'introduction des prévisions météorologiques comme données d'entrées du modèle a été faite de la façon décrite précédemment. Le tableau 5.10 donne les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulations, avec mise à jour statistique, s'appliquant à la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, pour les jours de prévision 1 à 6.

Les résultats du tableau 5.10 peuvent être interprétés à l'aide de la figure 5.4 qui présente les données de ce tableau sous forme d'histogramme. Sur la première partie de la figure 5.4, représentant l'erreur quadratique moyenne, on observe que les débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour statistique sont plus précis que ceux prévus avec PAYSAN. Sur cette même figure, on observe que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats identiques. On observe également que les données météorologiques prévues permettent d'estimer les débits avec autant de précision qu'avec les données météorologiques observées pour les premiers jours et qu'après il y a une dégradation de précision qui croît avec les jours. Dans ce cas, la dégradation de la précision est reliée à deux causes: la dégradation de la précision des prévisions météorologiques et la dégradation de l'autocorrélation des résidus qui sont utilisés pour la mise à jour statistique.

## 5.2.2 Application au bassin versant Chute du Diable

Le tableau 5.11 présente pour les périodes de calibration (1985-1989), de vérification (1990-1995) et la période totale (1985-1995), les coefficients d'autocorrélation des résidus qui représentent la différence entre les débits calculés par le modèle hydrologique CEQUEAU et les débits observés. Les résidus utilisés pour le calcul des coefficients d'autocorrélation ont été obtenus en utilisant les débits reconstitués à l'aval du bassin versant. Comme les débits sont reconstitués en fonction des évacuations et des niveaux d'eau dans le réservoir, ils présentent de légères fluctuations qui peuvent diminuer l'autocorrélation des résidus. Au tableau 5.11 et à la figure 5.5 qui présentent les coefficients d'autocorrélation des trois périodes, on observe que l'autocorrélation des résidus est forte pour le jour 1 et décroît régulièrement pour les jours suivants.

Pour la suite de l'étude, les coefficients d'autocorrélation estimés avec la période de calibration (1985-1989) seront utilisés pour estimer la précision des débits prévus avec mise à jour statistique.

Comme précédemment, les données de 1985 à 1994 sont utilisées pour déterminer la précision des prévisions, avec mise à jour statistique, des débits du bassin versant de la rivière Mistassibi en supposant que les prévisions météorologiques sont identiques à celles mesurées aux stations. Le tableau 5.12 montre, pour la période de calibration et de vérification, les critères numériques des débits prévus par PAYSAN et CEQUEAU corrigés avec la mise à jour statistique.

La comparaison des critères numériques RMSE et NASH pour les modèles CEQUEAU et PAYSAN montre que les débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour statistique sont plus précis. On observe sur ce tableau que l'erreur quadratique moyenne augmente avec les jours. Comme on a utilisé pour les calculs de ce tableau les données météorologiques réelles, cette augmentation de l'erreur provient seulement de la dégradation de l'autocorrélation des résidus utilisés pour la mise à jour statistique.

Si on compare les résultats des prévisions sans mise à jour (tableau 5.5) et les résultats des prévisions avec mise à jour statistique (tableau 5.12), on observe que l'erreur quadratique moyenne du premier jour de prévision passe de 58,32 à 34,97 pour la période de calibration et de 72,65 à 39,24 pour la période de vérification. Pour les jours suivants, la différence entre les erreurs quadratiques diminue parce que la correction des résidus par l'autocorrélation est de moins en moins précise.

Les quatre séries de données de prévisions météorologiques, disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, ont également été utilisées comme données d'entrées du modèle CEQUEAU pour prévoir les débits des 6 prochains jours. Le tableau 5.13 donne les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulation,

avec mise à jour statistique, pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, pour les jours de prévision 1 à 6.

La figure 5.6 présente sous forme d'histogramme les résultats du tableau 5.13. Sur la première partie de la figure, qui représente l'erreur quadratique moyenne, on observe que les débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour statistique sont plus précis que ceux prévus avec PAYSAN pour tous les jours. Sur cette même figure, on observe que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats identiques pour l'erreur quadratique moyenne et le coefficient de NASH alors que les résultats sont légèrement différents pour les moyennes. Comme dans le cas du bassin versant de la rivière Mistassibi, on observe que les données météorologiques prévues permettent d'estimer les débits avec autant de précision qu'avec les données météorologiques observées pour les premiers jours et qu'après, il y a une dégradation de précision qui croît avec les jours. Comme on l'a vu précédemment, la dégradation de précision est reliée à deux causes: la dégradation de la précision des prévisions météorologiques et la dégradation de l'autocorrélation des résidus qui sont utilisés pour la mise à jour statistique.

Dans le but d'analyser l'influence des débits reconstitués sur la précision du calcul des coefficients d'autocorrélation, les données de deux sous-bassins versants (062209 et 062214) ont également été utilisées pour calculer les coefficients d'autocorrélation des résidus. Ces deux bassins versants intermédiaires sont non influencés et peuvent être utilisés pour comparer l'effet de la superficie des bassins versants et des débits reconstitués sur la précision des coefficients d'autocorrélation. Les coefficients que l'on a obtenus pour la période complète (1985-1994) de la station 062209 (Manouane) qui draine un bassin versant de 3600 km<sup>2</sup> sont respectivement pour les 7 premiers jours de: 0,866, 0,650, 0,518, 0,449, 0,383, 0,308 et 0,255. Pour la station 062214 qui draine un bassin versant de 2200 km<sup>2</sup>, les données sont disponibles du 22 mai 1991 au 30 septembre 1994 et les coefficients d'autocorrélation que l'on obtient sont: 0,874, 0,694, 0,594, 0,525, 0,424, 0,302 et 0,218. L'analyse de la figure 5.7, qui présente les coefficients d'autocorrélation des résidus calculés à l'exutoire du bassin et aux deux stations intermédiaires, montre peu de différence dans l'autocorrélation des résidus. Il est donc difficile de déterminer l'influence de la superficie du bassin versant et de la variation des débits reconstitués sur la variation de l'autocorrélation.

### 5.3 Prévision des débits avec le modèle hydrologique CEQUEAU avec mise à jour déterministe

Cette méthode consiste à simuler les débits jusqu'au jour J pour ensuite faire la mise à jour (updating), si nécessaire, des variables d'état du modèle en utilisant au besoin toutes les données antérieures au jour J, y compris les débits mesurés pour les jours précédents. Il s'agit ensuite de continuer la simulation pour quelques jours en introduisant les prévisions météorologiques comme données d'entrées.

Les variables d'états que l'on corrige sont la quantité d'eau dans les réservoirs SOL et NAPPE pour chacun des carreaux entiers ainsi que la quantité d'eau dans les tronçons de rivière de chacun des carreaux partiels. Les quantités d'eau dans les réservoirs sont corrigées en fonction du résidu entre le débit observé et le débit calculé par le modèle hydrologique pour le ou les jours précédents le jour J. La difficulté de cette méthode de mise à jour consiste à déterminer la quantité d'eau que l'on doit ajouter ou soustraire aux réservoirs ainsi que la détermination du ou des réservoirs dont les niveaux doivent être corrigés. Par exemple, en période d'étiage, le débit est produit par le réservoir NAPPE et la correction des réserves d'eau doit être faite dans les réservoirs TRANSFERT et NAPPE. En période de crue, l'écoulement provient principalement du réservoir SOL et la correction doit être faite dans les réservoirs TRANSFERT et SOL. Pour déterminer le réservoir devant faire l'objet d'une correction, on calcule les précipitations antérieures pour une période donnée. Si ces précipitations dépassent un certain seuil, on suppose que l'écoulement provient principalement du réservoir SOL. Dans le cas contraire, on considère que le modèle est en étiage et l'écoulement provient du réservoir NAPPE. La quantité d'eau à ajouter ou à soustraire des réservoirs est estimée de la façon suivante:

- on calcule l'erreur moyenne entre les débits observés et calculés pour les N jours précédents le jour J (N est une variable lue sur le vecteur PREVISION et peut varier de 1 à 10 jours):

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{ci} - q_{oi})}{N}$$

$q_{ci}$  et  $q_{oi}$  : débits calculés et observés du jour i;

N : nombre de jours, précédant le jour de prévision J, utilisés pour calculer l'erreur.

- on calcule le débit observé moyen pour les N jours précédant le jour J:

$$QM = \sum_{i=1}^N \frac{(q_{oi})}{N}$$

- on calcule l'erreur relative pour les N jours précédant le jour J:

$$ERR = \frac{\Delta}{QM}$$

- on corrige les réserves d'eau dans le réservoir TRANSFERT qui représente l'eau disponible dans chaque tronçon des cours d'eau sur le bassin versant:

$$VOLCP_i = VOLCP_i + (VOLCP_i \times ERR) \times FACTRA$$

- VOLCP<sub>i</sub> : volume d'eau dans le tronçon du carreau partiel i;  
 FACTRA : coefficient d'ajustement à déterminer par essais et erreurs;  
 i : indice du carreau partiel (varie de 1 à NBCP).

- si les précipitations antérieures sont inférieures au seuil fixé, on suppose que les écoulements proviennent de la NAPPE et on modifie le volume d'eau dans ce réservoir pour tous les carreaux entiers de la façon suivante:

$$VOLNAP_j = VOLNAP_j + \frac{\Delta}{FCBV} \times CORNAP$$

$$FCBV = 0.01157 \times BV$$

- VOLNAP<sub>j</sub> : volume d'eau dans le réservoir NAPPE du carreau entier j;  
 CORNAP : coefficient d'ajustement à déterminer par essais et erreurs;  
 j : indice du carreau entier varie de 1 à NBCE;  
 BV : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>);  
 0.01157 : débit en m<sup>3</sup>/s.j pour 1 mm d'écoulement sur 1 km<sup>2</sup>.

- si les précipitations antérieures sont supérieures au seuil fixé, on suppose que les écoulements proviennent du réservoir SOL et on modifie le volume d'eau dans ce réservoir pour tous les carreaux entiers de la façon suivante:

$$VOLSOL_j = VOLSOL_{j-1} + \frac{\Delta}{FCBV} \times CORSOL$$

$$FCBV = 0.01157 \times BV$$

- $VOLSOL_j$  : volume d'eau dans le réservoir SOL du carreau entier  $j$ ;  
 $CORSOL$  : coefficient d'ajustement à déterminer par essais et erreurs;  
 $j$  : indice du carreau entier (varie de 1 à NBCE);  
 $BV$  : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>);  
0.0157 : débit en m<sup>3</sup>/s·j pour 1 mm d'écoulement sur 1 km<sup>2</sup>.

Les coefficients d'ajustement FACTRA, CORNAP et CORSOL sont déterminés par essais et erreurs ou par optimisation en utilisant les données de la période de calibration.

### 5.3.1 Application à la rivière Mistassibi

Pour ce bassin versant, nous avons fixé le seuil des précipitations antérieures à 10 mm sur trois jours pour déterminer les coefficients de mise à jour déterministe tel que décrit précédemment. Les valeurs obtenues par optimisation pour la période de calibration de 1985 à 1989 sont de 5,46 pour CORNAP et de 1,53 pour FACTRA. Si on tente de déterminer le paramètre CORSOL par optimisation, la valeur obtenue est négative. Compte tenu que cette valeur négative n'a pas de sens d'un point de vue physique, nous avons utilisé 0,0 comme valeur pour le paramètre CORSOL.

Le tableau 5.14 montre les critères numériques des débits prévus par PAYSAN et CEQUEAU corrigés avec la mise à jour déterministe, pour les périodes de calibration et de vérification. La comparaison de ces critères numériques pour les modèles CEQUEAU et PAYSAN montre que la prévision des débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour déterministe est plus précise. On observe sur ce tableau que l'erreur quadratique moyenne augmente avec les jours. Étant donné que ce sont les données météorologiques réelles qui ont été utilisées pour les calculs de ce tableau, on peut conclure que cette augmentation de l'erreur provient seulement de la dégradation de la mise à jour des réservoirs.

Si on compare les résultats des prévisions sans mise à jour (tableau 5.1) et les résultats des prévisions avec mise à jour déterministe (tableau 5.14), on observe que les erreurs



quadratiques moyennes du premier jour sont respectivement de 47,64 et 14,96 pour la période de calibration et de 61,96 et 24,17 pour la période de vérification. Pour les jours suivants, la différence entre les erreurs quadratiques diminue parce que la correction des réserves d'eau dans les réservoirs a de moins en moins d'influence.

Les quatre séries de données de prévisions météorologiques disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 ont également été utilisées comme données d'entrées du modèle CEQUEAU pour prévoir les débits de 1 à 6 jours. L'introduction des prévisions météorologiques comme données d'entrées a été faite de la façon décrite précédemment.

Le tableau 5.15 montre les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulations avec mise à jour déterministe, pour les jours de prévision 1 à 6. Les résultats de ce tableau peuvent être interprétés à l'aide de la figure 5.8 qui présente les mêmes données sous la forme d'un histogramme. Sur la première partie de la figure 5.8 représentant l'erreur quadratique moyenne, on observe que les débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour déterministe sont plus précis que ceux prévus avec PAYSAN. Sur cette même figure, on observe également que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats identiques. De plus, les données météorologiques prévues permettent d'estimer les débits avec autant de précision qu'avec les données météorologiques observées pour les premiers jours. On note ensuite une dégradation de précision qui croît avec les jours. Dans ce cas, la dégradation de la précision est attribuée à deux causes: la dégradation de la précision des prévisions météorologiques et la dégradation de l'influence des corrections des réserves d'eau dans les réservoirs. Sur la figure 5.8, on observe également les variations des coefficients de Nash et de la moyenne pour les jours 1 à 6.

### 5.3.2 Application au bassin versant Chute du Diable

Pour ce bassin versant, nous avons également fixé le seuil des précipitations antérieures à 10 mm sur trois jours pour déterminer les coefficients de mise à jour déterministe tel que décrit précédemment.

Les débits utilisés pour la mise à jour sur ce bassin versant sont les débits reconstitués à la centrale Chute du Diable. Ces débits journaliers reconstitués présentent des fluctuations qui peuvent avoir une influence sur le calcul des corrections des réserves d'eau. La principale erreur peut provenir du calcul de la différence entre le débit reconstitué et le débit simulé pour le jour J. Cette différence de débit pour le jour J est utilisée pour déterminer la quantité d'eau à introduire ou à enlever dans les réservoirs et peut entraîner des fluctuations dans les corrections. Une façon d'atténuer ces fluctuations des débits reconstitués est d'utiliser la moyenne de quelques jours précédents le jour J pour estimer l'erreur entre les débits reconstitués et simulés. Nous avons fait les calculs par optimisation pour différentes périodes afin de déterminer s'il est préférable d'estimer les corrections des réserves d'eau dans les réservoirs en utilisant plus d'une journée pour calculer l'erreur entre les débits simulés et les

débits reconstitués. Le tableau 5.16 présente les résultats des optimisations faites pour la période de calibration.

Sur ce tableau on retrouve les informations suivantes:

- NJMAJ : nombre de jours entre les mises à jours des réserves;
- NJDEL : nombre de jours utilisés pour le calcul de l'erreur entre les débits simulés et les débits reconstitués;
- CUMUL : seuil des précipitations antérieures pour déterminer si la correction des réserves doit être faite dans le réservoir SOL ou NAPPE;
- CORNAP: coefficient d'ajustement des réserves d'eau dans le réservoir NAPPE;
- CORSOL: coefficient d'ajustement des réserves d'eau dans le réservoir SOL;
- FACTRA: coefficient d'ajustement des réserves d'eau dans le réservoir TRANSFERT;
- NASH : critère d'ajustement de NASH calculé pour la période 1985-1989;
- F : valeur de la fonction objective (somme des différences au carré entre les débits simulés et reconstitués) pour la période 1985-1989

L'analyse du tableau 5.16 montre que les meilleurs résultats sont obtenus en utilisant le nombre de jours minimum pour le calcul de l'erreur entre les débits simulés et reconstitués. Par exemple, on voit que lors de la mise à jour à tous les jours (NJMAJ=1) utilisant deux paramètres (CORNAP et FACTRA), la somme des différences au carré (F) est de 2 507 282 si on utilise un seul jour pour le calcul de l'erreur entre les débits simulés et reconstitués et respectivement de 3 047 888 et 3 669 648 si on utilise deux ou trois jours. Si on fait la mise à jour déterministe (NJMA sur le tableau 5.16) à 2, 3 ou 7 jours, on observe que la prévision la plus précise est toujours obtenue avec NJDEL égal à 1. On observe aussi que pour une simulation sans mise à jour, le coefficient de NASH et la somme des différences au carré sont respectivement de 0,898 et 6 211 364 alors que ces valeurs sont de 0,960 et 2 476 118 lors de la mise à jour déterministe. De plus, le paramètre CORSOL est souvent négatif et n'augmente pas beaucoup la précision des prévisions. Par exemple, si on fait la mise à jour à l'aide des paramètres CORNAP, CORSOL et FACTRA à tous les jours en utilisant un jour pour calculer la différence entre les débits simulés et ceux reconstitués, on obtient un coefficient de NASH de 0,960 et une somme des différences au carré de 2 476 118. Si on utilise deux paramètres, soient CORNAP et FACTRA, on obtient un coefficient de NASH de 0,959 et une somme des différences au carré de 2 507 282.

Ainsi, pour la suite de l'étude, nous utiliserons seulement deux paramètres pour la mise à jour déterministe, soient 9,923 pour CORNAP et 0,636 pour FACTRA.

Le tableau 5.17 montre les critères numériques des débits prévus par PAYSAN et CEQUEAU corrigés avec la mise à jour déterministe pour les périodes de calibration et de vérification. On observe que l'erreur quadratique moyenne augmente avec les jours. Puisque

l'on a utilisé les données météorologiques réelles, cette augmentation de l'erreur provient seulement de la dégradation de la mise à jour des réserves d'eau dans les réservoirs.

Si on compare les résultats des prévisions sans mise à jour (tableau 5.5) et les résultats des prévisions avec mise à jour déterministe (tableau 5.17), on observe que l'erreur quadratique moyenne du premier jour est respectivement de 58,32 et 37,07 pour la période de calibration et de 72,65 et 41,24 pour la période de vérification. Pour les jours suivants, la différence entre les erreurs quadratiques diminue parce que la correction des réserves d'eau dans les réservoirs a de moins en moins d'influence.

Les quatre séries de données de prévisions météorologiques disponibles pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 ont également été utilisées comme données d'entrées du modèle CEQUEAU pour prévoir les débits de 1 à 6 jours.

Le tableau 5.18 donne les caractéristiques statistiques des débits observés et des débits prévus par simulations avec mise à jour déterministe, pour les jours de prévision 1 à 6. Ces résultats peuvent être interprétés à l'aide de la figure 5.9 qui présente les mêmes données sous la forme d'histogrammes. Sur la première partie de la figure 5.9, représentant l'erreur quadratique moyenne, on observe que les débits prévus par CEQUEAU avec mise à jour déterministe sont plus précis que ceux prévus avec PAYSAN. On observe également que les quatre séries de prévisions météorologiques donnent des résultats identiques. Comme précédemment, on observe que les données météorologiques prévus permettent d'estimer les débits avec autant de précision que dans le cas des données météorologiques observées pour les premiers jours. On note également ici une dégradation de précision qui croît avec les jours. Dans ce cas, la dégradation de la précision est attribuée à deux causes: la dégradation de la précision des prévisions météorologiques et la dégradation de l'influence des corrections des réserves d'eau dans les réservoirs. Sur la figure 5.9, on observe également les variations des coefficients de Nash et de la moyenne pour les jours 1 à 6.

## 5.4 Conclusion

L'analyse des tableaux et des figures précédentes nous a renseigné sur la précision de chacune des trois méthodes de prévision des débits à court terme. Pour comparer les trois méthodes, nous utiliserons les tableaux et les figures résumant les résultats.

Pour le bassin versant de la rivière Mistassibi, le tableau 5.19 présente les critères de Nash calculés avec les débits prévus sans mise à jour et avec mise à jour statistique et déterministe, pour les jours 1, 2 et 3, pour la période 1985 à 1994. Si on compare les critères de Nash pour les simulations sans mise à jour et avec mise à jour, on observe que les critères de Nash sont beaucoup plus précis (plus près de 1) si on fait la mise à jour statistique ou déterministe. Par contre, la différence de précision obtenue entre les méthodes

de mise à jour statistique et déterministe est très faible. De plus, pour le jour 1, la mise à jour déterministe permet d'obtenir des coefficients de Nash légèrement supérieurs à ceux obtenus avec la mise à jour statistique alors que l'inverse se produit pour les jours 2 et 3 où les critères de Nash sont légèrement supérieurs avec la mise à jour statistique.

Pour le bassin versant Chute du Diable, le tableau 5.20 présente les critères de Nash calculés avec les débits prévus sans mise à jour et avec mise à jour statistique et déterministe, pour les jours 1, 2 et 3, pour la période 1985 à 1995. Comme précédemment, on note que la précision des débits prévus est meilleure si on fait la mise à jour. La différence de précision obtenue entre les méthodes de mise à jour statistique et déterministe est également très faible. Cependant, les résultats sont en moyenne légèrement meilleurs pour les trois jours si on utilise la méthode de mise à jour statistique.

Les figures 5.10 et 5.11 présentent, sous la forme d'histogrammes, l'erreur quadratique moyenne des débits prévus par PAYSAN et CEQUEAU, avec et sans mise à jour, pour le bassin versant de la rivière Mistassibi et le bassin versant de Chute du Diable pour les périodes de calibration et de vérification. On observe que la précision des prévisions avec PAYSAN se dégrade rapidement avec les jours. De plus, on constate que la précision des prévisions avec mise à jour statistique est à peu près la même que celle avec mise à jour déterministe pour les deux bassins versants. On observe également que la mise à jour statistique ou déterministe permet de prévoir les débits avec plus de précision, principalement pour les premiers jours.

Pour les bassins versants Mistassibi et Chute du Diable, la figure 5.12 présente les histogrammes des erreurs quadratiques moyennes des débits simulés avec les données météorologiques observées et prévues du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994. La série de données météorologiques prévues utilisée est la moyenne sur le bassin versant à 00:00. On voit bien que la mise à jour statistique effectuée sur cette période pour les bassins versants de la rivière Mistassibi et de Chute du Diable permet d'obtenir des débits prévus plus précis, à la seule exception du jour 1 sur le bassin versant de la rivière Mistassibi.

L'analyse des critères numériques tel le coefficient de Nash et l'erreur quadratique moyenne nous renseigne d'une façon objective sur la précision globale des prévisions. Cependant, il est difficile de concevoir les différences sur les débits simulés. Par contre, l'analyse des hydrogrammes des débits observés et prévus, même si elle peut être subjective, nous permet de percevoir tous les changements sur les débits prévus découlant de l'utilisation d'une méthode plutôt qu'une autre. Ainsi, pour compléter notre analyse des trois méthodes de prévision des débits, il est intéressant de comparer les hydrogrammes des débits observés avec les hydrogrammes des débits prévus sans mise à jour, avec mise à jour statistique et avec mise à jour déterministe. Les figures 5.13 à 5.18 permettent cette comparaison pour le bassin versant de la rivière Mistassibi tandis que les figures 5.19 à 5.24 s'appliquent au bassin versant Chute du Diable. La période considérée dans ces graphiques

s'étend du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 et les données météorologiques utilisées pour ces simulations sont les prévisions moyennes sur le bassin versant à 00:00.

Si on compare les hydrogrammes des débits prévus sans mise à jour avec les hydrogrammes des débits prévus avec mise à jour statistique ou déterministe, on voit bien le gain de précision obtenu par rapport aux débits observés. La comparaison des hydrogrammes des débits prévus avec mise à jour statistique avec ceux prévus avec mise à jour déterministe montre bien de légères différences mais ces dernières ne sont certainement pas significatives. L'analyse successive des figures, par exemple les figures 5.19 à 5.24, fait ressortir la dégradation de la précision des prévisions avec les jours.

Suite à l'analyse des tableaux et figures de ce chapitre on peut donc affirmer que:

- la précision des débits prévus est meilleure si on utilise le modèle CEQUEAU avec mise à jour;
- il n'y a pas de différence significative de précision entre les débits prévus avec mise à jour statistique et ceux prévus avec mise à jour déterministe;
- les données météorologiques prévus permettent d'obtenir des débits prévus comparables aux débits observés pour les premiers jours;
- la précision des débits prévus décroît de jour en jour;
- on obtient de meilleurs résultats si on utilise seulement 1 jour pour estimer l'erreur entre les débits observés et calculés.



Tableau 5.1 Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour avec les données météorologiques observées sur le bassin versant.

	PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)						
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo (m <sup>3</sup> /s)	185.97	185.97	185.96	185.96	185.96	185.96	185.96
Qc (m <sup>3</sup> /s)	180.99	180.99	180.98	180.96	180.92	180.86	180.77
RMSE CEQ	47.64	47.64	47.63	47.60	47.55	47.49	47.40
RMSE PAY	24.55	45.51	63.12	78.07	90.97	102.34	112.64
NASH CEQ	0.927	0.927	0.927	0.927	0.927	0.928	0.928
NASH PAY	0.981	0.934	0.872	0.805	0.735	0.664	0.593
	PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1994)						
Qo (m <sup>3</sup> /s)	209.35	209.43	209.52	209.60	209.67	209.75	209.82
Qc (m <sup>3</sup> /s)	217.12	217.22	217.33	217.40	217.45	217.45	217.42
RMSE CEQ	61.96	61.97	61.97	61.99	62.02	62.08	62.15
RMSE PAY	35.98	66.06	89.80	108.95	125.14	139.07	151.05
NASH CEQ	0.919	0.919	0.919	0.919	0.919	0.919	0.919
NASH PAY	0.973	0.908	0.830	0.750	0.670	0.592	0.519

Tableau 5.2 Caractéristiques des températures moyennes de l'air et des précipitations observées et prévues pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi.

Jour	Température de l'air ( °C )			Précipitation ( mm )		
	Moyenne val. observées	Moyenne val. prévues	RMSE	Moyenne val. observées	Moyenne val. prévues	RMSE
1	1.56	3.05	2.70	3.37	3.56	2.77
2	1.59	3.22	2.91	3.37	3.62	3.66
3	1.63	3.45	3.33	3.37	3.59	4.38
4	1.65	3.49	3.69	3.38	3.50	4.76
5	1.67	3.48	3.98	3.39	3.16	5.05
6	1.69	3.12	5.21	3.42	3.55	5.43

Tableau 5.3 Latitude et longitude des points de grille utilisés pour le calcul des prévisions météorologiques

Numéro	Points de grille			
	Latitude	Longitude	I	J
1	72 30	51 30	19	46
2	72 30	50 30	19	35
3	72 30	49 30	18	24
4	71 30	49 30	25	24
5	71 30	50 30	28	35
6	71 30	51 30	26	46
7	71 30	48 30	25	13
8	70 30	48 30	32	13
9	70 30	49 30	33	24
10	70 30	50 30	35	35



Tableau 5.4 Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	270.81	271.10	271.37	271.63	271.88	272.12
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.21	275.04	274.78	274.47	274.16	273.85
		RMSE	42.23	77.67	105.53	127.38	145.16	159.88
		NASH	0.963	0.876	0.770	0.665	0.565	0.473
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	284.02	284.36	284.67	284.95	285.17	285.32
		RMSE	86.29	86.31	86.33	86.36	86.42	86.49
		NASH	0.846	0.846	0.846	0.845	0.845	0.844
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	284.13	284.85	286.12	288.40	292.21	297.01
		RMSE	86.45	87.37	90.08	96.62	100.37	109.80
		NASH	0.846	0.842	0.832	0.814	0.791	0.749
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	284.09	284.65	285.53	287.40	291.03	295.75
		RMSE	84.63	87.29	90.10	95.07	100.71	109.28
		NASH	0.846	0.842	0.832	0.812	0.789	0.751
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	284.13	284.84	286.06	288.24	291.88	296.31
		RMSE	86.46	87.41	90.14	94.80	100.62	109.96
		NASH	0.846	0.842	0.832	0.814	0.790	0.748
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	284.03	284.37	284.89	286.43	289.85	294.29
		RMSE	86.42	87.15	89.90	95.34	101.87	110.39
		NASH	0.846	0.843	0.833	0.811	0.784	0.746

- (1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h  
(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h  
(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h  
(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.5 Statistiques des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour avec les données météorologiques observées sur le bassin versant.

PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)							
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo (m <sup>3</sup> /s)	192.01	192.00	191.99	192.96	191.96	191.96	191.92
Qc (m <sup>3</sup> /s)	186.40	186.40	186.38	186.35	186.28	186.17	186.03
RMSE CEQ	58.32	58.32	58.33	58.35	58.36	58.37	58.37
RMSE PAY	42.11	63.27	82.51	98.05	110.64	120.79	129.65
NASH CEQ	0.899	0.899	0.899	0.899	0.899	0.899	0.899
NASH PAY	0.948	0.882	0.799	0.716	0.639	0.569	0.504
PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1995)							
Qo (m <sup>3</sup> /s)	211.32	211.36	211.34	211.35	211.33	211.32	211.31
Qc (m <sup>3</sup> /s)	221.36	221.37	221.36	221.33	221.26	221.15	221.01
RMSE CEQ	72.65	72.68	72.70	72.76	72.83	72.92	72.99
RMSE PAY	46.17	70.21	91.74	108.36	122.69	135.90	148.15
NASH CEQ	0.895	0.895	0.895	0.895	0.894	0.894	0.894
NASH PAY	0.957	0.902	0.832	0.766	0.700	0.632	0.562

Tableau 5.6 Caractéristiques des températures moyennes de l'air et des précipitations observées et prévues pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994 pour le bassin versant Chute du Diable.

Jour	Température de l'air( °C )			Précipitation ( mm )		
	Moyenne val. observées	Moyenne val. prévues	RMSE	Moyenne val. observées	Moyenne val. prévues	RMSE
1	1.97	3.32	2.59	3.81	3.61	3.19
2	2.00	3.50	2.82	3.82	3.61	4.21
3	2.03	3.72	3.24	3.82	3.62	4.81
4	2.05	3.77	3.59	3.83	3.53	5.18
5	2.07	3.75	3.87	3.84	3.20	5.58
6	2.09	3.58	5.13	3.88	3.51	6.05

Tableau 5.7 Statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	272.77	272.97	272.98	273.01	273.10	273.22
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.40	275.36	275.22	275.13	274.92	274.84
		RMSE	57.23	88.24	116.20	136.68	152.12	164.58
		NASH	0.934	0.842	0.727	0.622	0.532	0.452
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	296.22	296.38	296.50	296.57	296.59	296.57
		RMSE	83.87	83.84	83.86	83.93	83.93	83.89
		NASH	0.857	0.857	0.857	0.857	0.857	0.857
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	296.55	297.88	299.73	302.20	305.60	308.83
		RMSE	84.20	85.50	88.54	94.97	106.42	116.79
		NASH	0.856	0.852	0.841	0.817	0.770	0.723
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	296.47	297.57	299.13	301.17	304.26	307.28
		RMSE	84.13	85.18	88.21	95.24	105.33	116.12
		NASH	0.857	0.853	0.842	0.816	0.775	0.726
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	296.53	297.83	299.73	302.29	305.80	308.81
		RMSE	84.19	85.45	88.46	95.03	106.47	116.72
		NASH	0.856	0.852	0.841	0.817	0.770	0.723
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	296.35	297.07	298.39	299.99	302.99	305.95
		RMSE	84.12	85.30	88.78	96.15	106.02	116.67
		NASH	0.857	0.852	0.840	0.812	0.772	0.723

- (1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h  
(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h  
(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h  
(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.8 Autocorrélation des résidus pour le bassin versant de la rivière Mistassibi

JOUR	PÉRIODES		
	CALIBRATION 1985-1989	VÉRIFICATION 1990-1994	TOTALE 1985-1994
1	0.940	0.928	0.934
2	0.834	0.794	0.812
3	0.747	0.683	0.712
4	0.684	0.592	0.633
5	0.631	0.504	0.559
6	0.584	0.423	0.492
7	0.539	0.363	0.439

Tableau 5.9 Analyse statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique et les données météorologiques observées sur le bassin versant.

PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)							
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo(m <sup>3</sup> /s)	185.97	185.97	185.96	185.96	185.96	185.96	185.96
Qc(m <sup>3</sup> /s)	185.68	185.15	184.71	184.38	184.07	183.77	183.46
RMSE CEQ	16.10	26.16	31.50	34.56	36.73	38.44	39.84
RMSE PAY	24.55	45.51	63.12	78.07	90.97	102.34	112.64
NASH CEQ	0.992	0.978	0.968	0.962	0.957	0.953	0.949
NASH PAY	0.981	0.934	0.872	0.805	0.735	0.664	0.593
PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1994)							
Qo(m <sup>3</sup> /s)	209.35	209.40	209.47	209.54	209.60	209.66	209.72
Qc(m <sup>3</sup> /s)	209.83	210.75	211.50	212.05	212.47	212.83	213.13
RMSE CEQ	22.97	37.44	45.14	49.95	53.80	56.72	58.50
RMSE PAY	35.98	66.06	89.80	108.95	125.14	139.07	151.05
NASH C EQ	0.989	0.971	0.957	0.948	0.939	0.932	0.928
NASH PAY	0.973	0.908	0.830	0.750	0.670	0.592	0.519

Tableau 5.10 Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	270.81	271.10	271.37	271.63	271.88	272.12
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.21	275.04	274.78	274.47	274.16	273.85
		RMSE	42.23	77.67	105.53	127.38	145.16	159.88
		NASH	0.963	0.876	0.770	0.665	0.565	0.473
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	271.64	273.37	274.83	275.94	276.86	277.64
		RMSE	28.96	47.94	58.36	64.79	69.88	74.05
		NASH	0.983	0.952	0.929	0.913	0.898	0.886
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	271.75	273.86	276.28	279.38	283.89	289.33
		RMSE	29.15	49.28	62.86	74.60	86.89	102.51
		NASH	0.982	0.950	0.918	0.885	0.843	0.781
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	271.70	273.66	275.69	278.39	282.71	288.07
		RMSE	29.12	49.21	62.96	75.08	87.02	101.74
		NASH	0.983	0.950	0.918	0.883	0.843	0.784
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	271.74	273.85	276.22	279.23	283.56	288.63
		RMSE	29.16	49.32	62.89	74.83	87.33	102.99
		NASH	0.982	0.950	0.918	0.884	0.841	0.779
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	271.64	273.38	275.05	277.42	281.54	286.61
		RMSE	29.13	49.05	62.79	75.57	88.48	103.07
		NASH	0.982	0.950	0.918	0.881	0.837	0.698

- (1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h  
(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h  
(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h  
(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.11 Autocorrélation des résidus pour le bassin versant Chute du Diable

JOUR	PÉRIODES		
	CALIBRATION 1985-1989	VÉRIFICATION 1990-1995	TOTALE 1985-1995
1	0.799	0.838	0.826
2	0.670	0.712	0.701
3	0.546	0.605	0.590
4	0.461	0.547	0.523
5	0.402	0.500	0.472
6	0.378	0.453	0.434
7	0.358	0.409	0.399



Tableau 5.12 Analyse statistique des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique et les données météorologiques observées sur le bassin versant.

PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)							
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo (m <sup>3</sup> /s)	192.01	192.00	191.99	191.96	191.96	191.96	191.92
Qc (m <sup>3</sup> /s)	191.32	190.54	189.78	189.22	188.79	188.53	188.26
RMSE CEQ	34.97	43.44	48.88	51.72	53.38	54.02	54.45
RMSE PAY	42.11	63.27	82.51	98.05	110.64	120.79	129.65
NASH CEQ	0.964	0.944	0.929	0.921	0.916	0.914	0.912
NASH PAY	0.948	0.882	0.799	0.716	0.639	0.569	0.504
PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1995)							
Qo(m <sup>3</sup> /s)	211.25	211.30	211.29	211.26	211.27	211.25	211.24
Qc(m <sup>3</sup> /s)	213.53	214.79	215.98	216.78	217.28	217.41	217.48
RMSE CEQ	39.24	50.51	57.50	60.77	63.02	64.77	66.21
RMSE PAY	46.17	70.21	91.74	108.36	122.69	135.90	148.15
NASH CEQ	0.969	0.949	0.934	0.926	0.921	0.916	0.913
NASH PAY	0.957	0.902	0.832	0.766	0.700	0.632	0.562

Tableau 5.13 Analyse statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	272.77	272.97	272.98	273.01	273.10	273.22
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.40	275.36	275.22	275.13	274.92	274.84
		RMSE	57.23	88.24	116.20	136.68	152.12	164.58
		NASH	0.934	0.842	0.727	0.622	0.532	0.452
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	277.94	281.05	284.00	286.02	287.39	287.92
		RMSE	47.90	61.89	70.94	74.98	76.88	78.13
		NASH	0.954	0.922	0.898	0.886	0.880	0.876
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	278.26	282.55	287.24	291.66	296.41	300.18
		RMSE	48.05	62.88	74.98	85.88	99.83	111.78
		NASH	0.953	0.920	0.886	0.850	0.797	0.746
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	278.19	282.24	286.64	290.63	295.06	298.63
		RMSE	48.08	62.81	74.82	86.51	99.02	111.37
		NASH	0.953	0.920	0.886	0.848	0.801	0.748
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	278.25	282.50	287.24	291.74	296.60	300.16
		RMSE	48.00	62.74	74.83	85.94	99.94	111.77
		NASH	0.953	0.920	0.886	0.850	0.797	0.746
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	278.07	281.74	285.90	289.44	293.79	297.30
		RMSE	48.12	63.13	75.61	87.66	99.97	112.09
		NASH	0.953	0.919	0.884	0.844	0.797	0.744

- (1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h  
(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h  
(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h  
(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.14 Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe et les données météorologiques observées sur le bassin versant.

PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)							
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo(m <sup>3</sup> /s)	185.97	185.97	185.96	185.96	185.96	185.96	185.96
Qc(m <sup>3</sup> /s)	185.03	185.22	185.43	185.44	185.32	185.16	184.96
RMSE CEQ	14.96	27.16	33.87	36.75	38.60	40.09	41.44
RMSEPAY	24.55	45.51	63.12	78.07	90.97	102.34	112.64
NASH CEQ	0.993	0.976	0.963	0.957	0.952	0.948	0.945
NASH PAY	0.981	0.934	0.872	0.805	0.735	0.664	0.593
PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1994)							
Qo(m <sup>3</sup> /s)	209.33	209.40	209.47	209.54	209.60	209.66	209.72
Qc(m <sup>3</sup> /s)	208.94	210.40	211.58	212.55	213.41	214.17	214.79
RMSE CEQ	24.17	42.29	51.36	54.33	55.81	57.49	58.58
RMSEPAY	35.98	66.06	89.80	108.95	125.14	139.07	151.05
NASH CEQ	0.988	0.962	0.945	0.938	0.934	0.930	0.928
NASH PAY	0.973	0.908	0.830	0.750	0.670	0.592	0.519

Tableau 5.15 Statistique des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	270.81	271.10	271.37	271.63	271.88	272.12
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.21	275.04	274.78	274.47	274.16	273.85
		RMSE	42.23	77.67	105.53	127.38	145.16	159.88
		NASH	0.963	0.876	0.770	0.665	0.565	0.473
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	270.57	273.34	275.51	277.21	278.68	279.93
		RMSE	26.68	51.21	64.59	70.23	73.98	77.33
		NASH	0.985	0.946	0.914	0.898	0.886	0.875
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	270.68	273.83	276.95	280.64	285.70	291.61
		RMSE	26.77	52.32	68.73	79.43	89.77	103.69
		NASH	0.985	0.943	0.902	0.869	0.832	0.776
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	270.64	273.63	276.36	279.64	284.53	290.35
		RMSE	26.76	52.32	68.98	80.24	90.45	103.44
		NASH	0.985	0.943	0.901	0.866	0.830	0.777
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	270.68	273.82	276.89	280.49	285.38	290.91
		RMSE	26.75	52.26	68.65	79.61	90.22	104.17
		NASH	0.985	0.944	0.902	0.868	0.831	0.774
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	270.58	273.35	275.72	278.68	283.35	288.90
		RMSE	26.76	52.12	68.71	80.54	91.72	104.63
		NASH	0.985	0.944	0.902	0.865	0.825	0.772

(1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h

(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h

(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h

(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.16 Influence du nombre de jours entre les mises à jours des réserves et du nombre de jours utilisés pour le calcul de l'erreur entre les débits simulés et les débits reconstitués pour la mise à jour déterministe du bassin versant Chute du diable.

Sans mise à jour						NASH	F
						0.898	6 211 364
Avec mise à jour							
NJMA	NJDEL	CUMUL	CORNAP	CORSOL	FACTRA	NASH	F
1	1	10	8.715	-1.917	0.648	0.960	2 476 118
1	1	10	9.923		0.636	0.959	2 507 282
1	2	10	11.177	-3.406	0.672	0.953	2 900 673
1	2	10	9.018		0.605	0.950	3 047 888
1	3	10	4.737	-0.357	0.339	0.940	3 665 438
1	3	10	5.174		0.331	0.940	3 669 648
2	1	10	14.743	-1.389	0.704	0.949	3 154 897
2	1	10	13.901		0.679	0.948	3 180 149
2	2	10	15.361	-3.690	0.902	0.947	3 235 946
2	2	10	13.210		0.781	0.946	3 314 143
2	3	10	9.901	-0.569	0.578	0.938	3 793 350
2	3	10	9.827		0.567	0.938	3 796 220
3	1	10	12.707	0.876	0.653	0.941	3 620 067
3	1	10	11.149		0.666	0.941	3 621 832
3	2	10	14.905	1.968	0.718	0.941	3 635 050
3	2	10	12.981		0.743	0.941	3 652 509
3	3	10	13.386	2.735	0.682	0.938	3 819 381
3	3	10	12.163		0.692	0.937	3 869 440
7	1	10	14.591	-1.850	1.002	0.935	3 900 236
7	1	10	17.135		0.937	0.935	3 936 044
7	2	10	14.154	-0.401	0.965	0.931	4 173 916
7	2	10	15.354		0.952	0.931	4 182 125
7	3	10	13.635	-1.865	1.042	0.928	4 353 739
7	3	10	13.479		0.992	0.928	4 374 952

Tableau 5.17 Statistique des débits prévus pour le bassin versant Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe et les données météorologiques observées sur le bassin versant.

PÉRIODE DE CALIBRATION (1985 - 1989)							
	JOURS						
	1	2	3	4	5	6	7
Qo(m <sup>3</sup> /s)	192.01	192.00	191.99	192.96	191.96	191.96	191.92
Qc(m <sup>3</sup> /s)	188.73	190.98	192.78	194.09	194.87	195.23	195.33
RMSE CEQ	37.07	44.66	49.65	52.44	53.77	54.44	54.97
RMSE PAY	42.11	63.27	82.51	98.05	110.64	120.79	129.65
NASH CEQ	0.959	0.941	0.927	0.919	0.914	0.912	0.911
NASH PAY	0.948	0.882	0.799	0.716	0.639	0.569	0.504
PÉRIODE DE VÉRIFICATION (1990 - 1995)							
Qo(m <sup>3</sup> /s)	211.25	211.30	211.29	211.26	211.27	211.25	211.24
Qc(m <sup>3</sup> /s)	209.78	213.94	217.48	220.30	222.35	223.68	224.48
RMSE CEQ	41.24	51.71	58.15	61.07	63.16	65.55	67.40
RMSE PAY	46.17	70.21	91.74	108.36	122.69	135.90	148.15
NASH CEQ	0.966	0.947	0.933	0.926	0.921	0.914	0.910
NASH PAY	0.957	0.902	0.832	0.766	0.700	0.632	0.562

Tableau 5.18 Statistique des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide du modèle CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.

DESCRIPTION			JOURS					
Modèle	Météo	Paramètres	1	2	3	4	5	6
		Qo (m <sup>3</sup> /s)	272.77	272.97	272.98	273.01	273.10	273.22
Paysan		Qc (m <sup>3</sup> /s)	275.40	275.36	275.22	275.13	274.92	274.84
		RMSE	57.23	88.24	116.20	136.68	152.12	164.58
		NASH	0.934	0.842	0.727	0.622	0.532	0.452
Cequeau	Obs.	Qc (m <sup>3</sup> /s)	273.15	278.67	283.23	286.82	289.37	291.01
		RMSE	51.66	66.57	75.46	78.72	79.16	79.96
		NASH	0.946	0.910	0.884	0.874	0.873	0.870
Cequeau	Prév. (1)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	273.47	280.15	286.45	292.45	298.40	303.34
		RMSE	51.77	67.59	79.85	90.29	103.67	115.97
		NASH	0.946	0.907	0.871	0.834	0.782	0.726
Cequeau	Prév. (2)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	273.40	279.84	285.84	291.42	297.06	301.79
		RMSE	51.80	67.55	79.80	91.02	102.98	115.59
		NASH	0.946	0.907	0.871	0.832	0.784	0.728
Cequeau	Prév. (3)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	273.46	280.11	286.46	292.54	298.59	303.31
		RMSE	51.73	67.48	79.74	90.38	103.81	115.95
		NASH	0.946	0.908	0.871	0.834	0.781	0.727
Cequeau	Prév. (4)	Qc (m <sup>3</sup> /s)	273.28	279.35	285.13	290.28	295.83	300.48
		RMSE	51.88	67.99	80.70	92.38	104.21	116.56
		NASH	0.945	0.906	0.868	0.827	0.779	0.724

(1) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 0:00 h

(2) : Météo moyenne sur le bassin versant, prévue à 12:00 h

(3) : Météo aux points de grille, prévue à 0:00 h

(4) : Météo aux points de grille, prévue à 12:00 h

Tableau 5.19 Critères de Nash des débits prévus pour les jours 1, 2 et 3 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi sans mise à jour, avec mise à jour statistique et avec mise à jour déterministe, pour la période de 1985 - 1994.

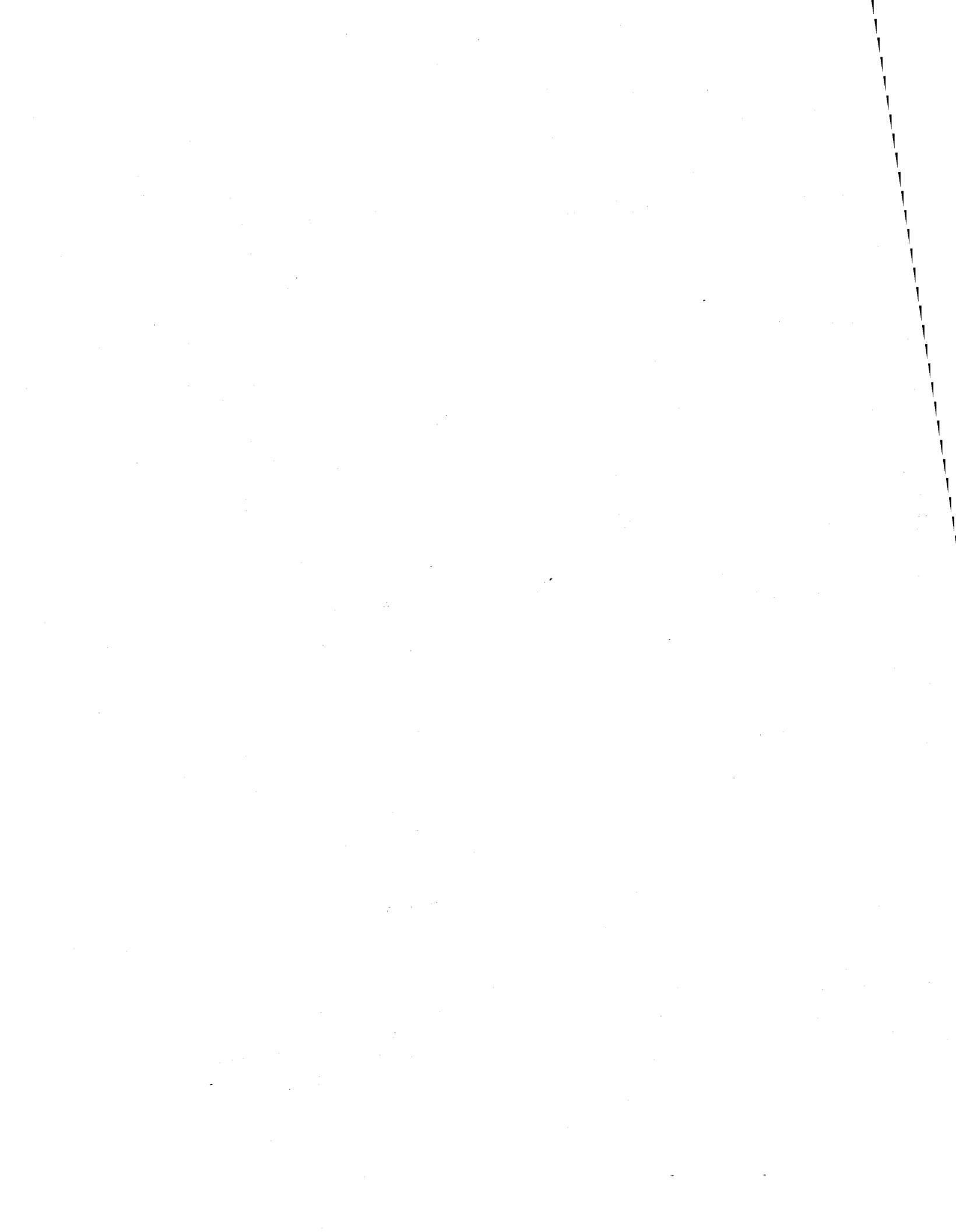
Années	Nash								
	Jour 1			Jour 2			Jour 3		
	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe
1985	0.9626	0.9949	0.9956	0.9626	0.9871	0.9860	0.9626	0.9820	0.9791
1986	0.9050	0.9927	0.9925	0.9050	0.9802	0.9755	0.9050	0.9708	0.9604
1987	0.7597	0.9767	0.9789	0.7595	0.9375	0.9293	0.7595	0.9075	0.8909
1988	0.9582	0.9913	0.9935	0.9583	0.9779	0.9775	0.9583	0.9691	0.9681
1989	0.9490	0.9924	0.9943	0.9490	0.9797	0.9816	0.9490	0.9704	0.9701
1990	0.9497	0.9866	0.9744	0.9497	0.9676	0.9384	0.9497	0.9570	0.9228
1991	0.9494	0.9948	0.9966	0.9495	0.9856	0.9880	0.9495	0.9777	0.9802
1992	0.9475	0.9923	0.9934	0.9475	0.9791	0.9782	0.9475	0.9688	0.9657
1993	0.9317	0.9828	0.9853	0.9317	0.9557	0.9461	0.9317	0.9404	0.9213
1994*	0.7920	0.9877	0.9899	0.7916	0.9628	0.9618	0.7911	0.9377	0.9307
1985-1989	0.9682	0.9979	0.9980	0.9682	0.9940	0.9931	0.9682	0.9911	0.9885
1990-1994*	0.9630	0.9971	0.9976	0.9630	0.9918	0.9909	0.9630	0.9875	0.9848
1985-1994*	0.9880	0.9987	0.9989	0.9880	0.9963	0.9961	0.9880	0.9945	0.9935

\* Année non complète



Tableau 5.20 Critères de Nash des débits prévus pour les jours 1, 2 et 3 pour le bassin versant Chute du Diable sans mise à jour, avec mise à jour statistique et mise à jour déterministe, pour la période de simulation 1985 - 1995.

Années	Nash								
	Jour 1			Jour 2			Jour 3		
	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe	Sans mise à jour	Mise à jour statistique	Mise à jour déterministe
1985	0.9239	0.9738	0.9710	0.9239	0.9582	0.9581	0.9238	0.9448	0.9460
1986	0.9245	0.9691	0.9640	0.9245	0.9510	0.9458	0.9243	0.9392	0.9350
1987	0.6706	0.9012	0.9117	0.6699	0.8646	0.8820	0.6703	0.8228	0.8371
1988	0.8974	0.9553	0.9517	0.8975	0.9343	0.9301	0.8974	0.9216	0.9135
1989	0.9156	0.9686	0.9613	0.9156	0.9497	0.9428	0.9157	0.9363	0.9304
1990	0.8688	0.9619	0.9694	0.8687	0.9337	0.9532	0.8687	0.9108	0.9335
1991	0.9473	0.9774	0.9735	0.9473	0.9648	0.9619	0.9472	0.9573	0.9561
1992	0.9491	0.9780	0.9741	0.9491	0.9649	0.9627	0.9490	0.9623	0.9623
1993	0.8939	0.9445	0.9338	0.8938	0.9192	0.9003	0.8938	0.9011	0.881
1994	0.8599	0.9682	0.9656	0.8601	0.9425	0.9393	0.8600	0.9185	0.9136
1995	0.8262	0.9731	0.9698	0.8261	0.9522	0.9489	0.8259	0.9296	0.9265
1985-1989	0.971	0.9891	0.9879	0.971	0.9839	0.9826	0.9710	0.9794	0.9774
1990-1994	0.9553	0.9921	0.9915	0.9552	0.9857	0.9859	0.9552	0.9805	0.9812
1985-1995	0.9807	0.9954	0.9950	0.9807	0.9923	0.9926	0.9806	0.9898	0.9900



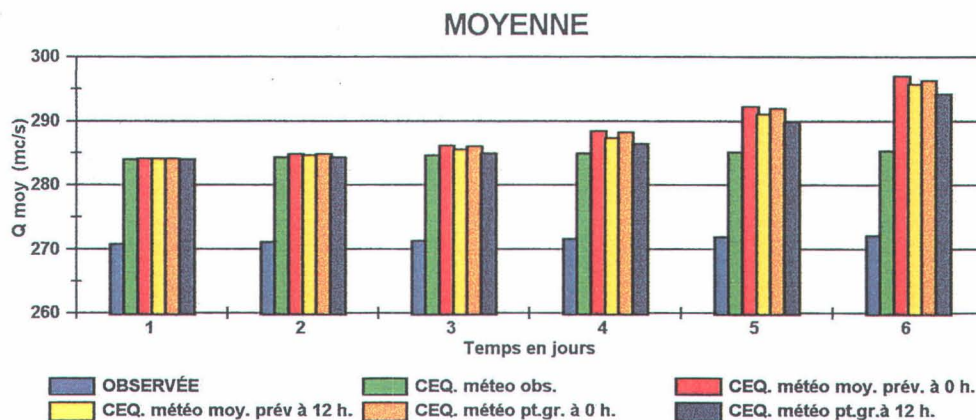
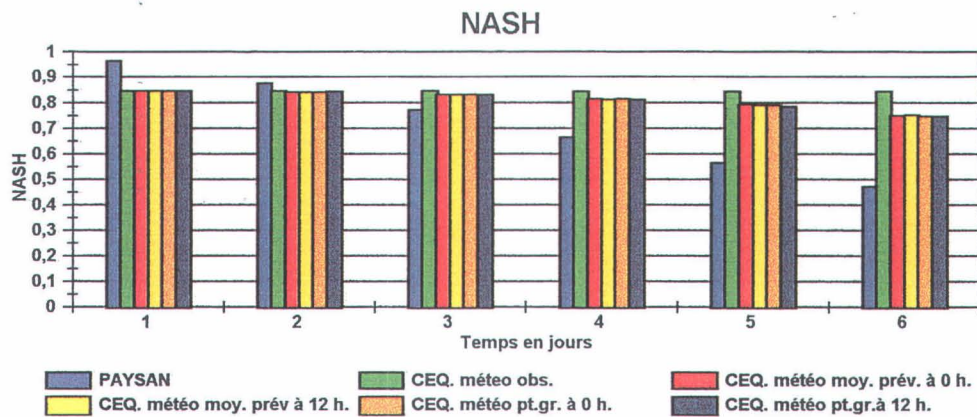
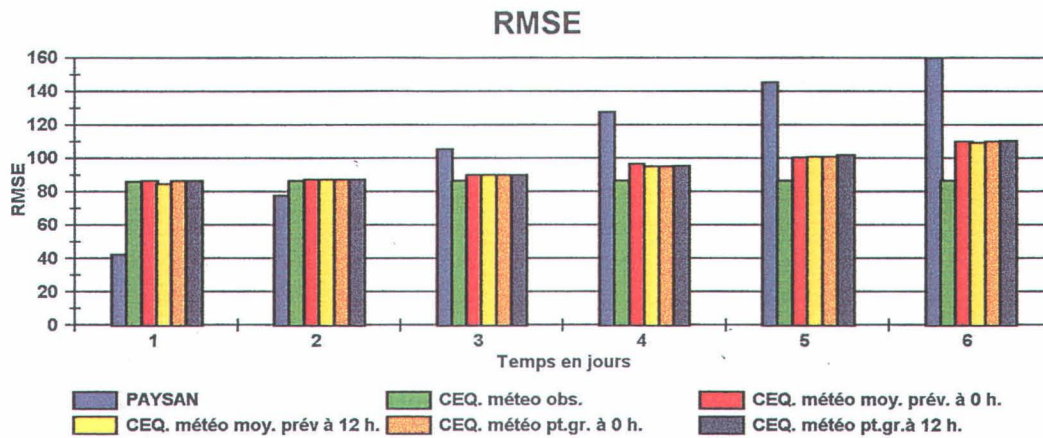


Figure 5.1 Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



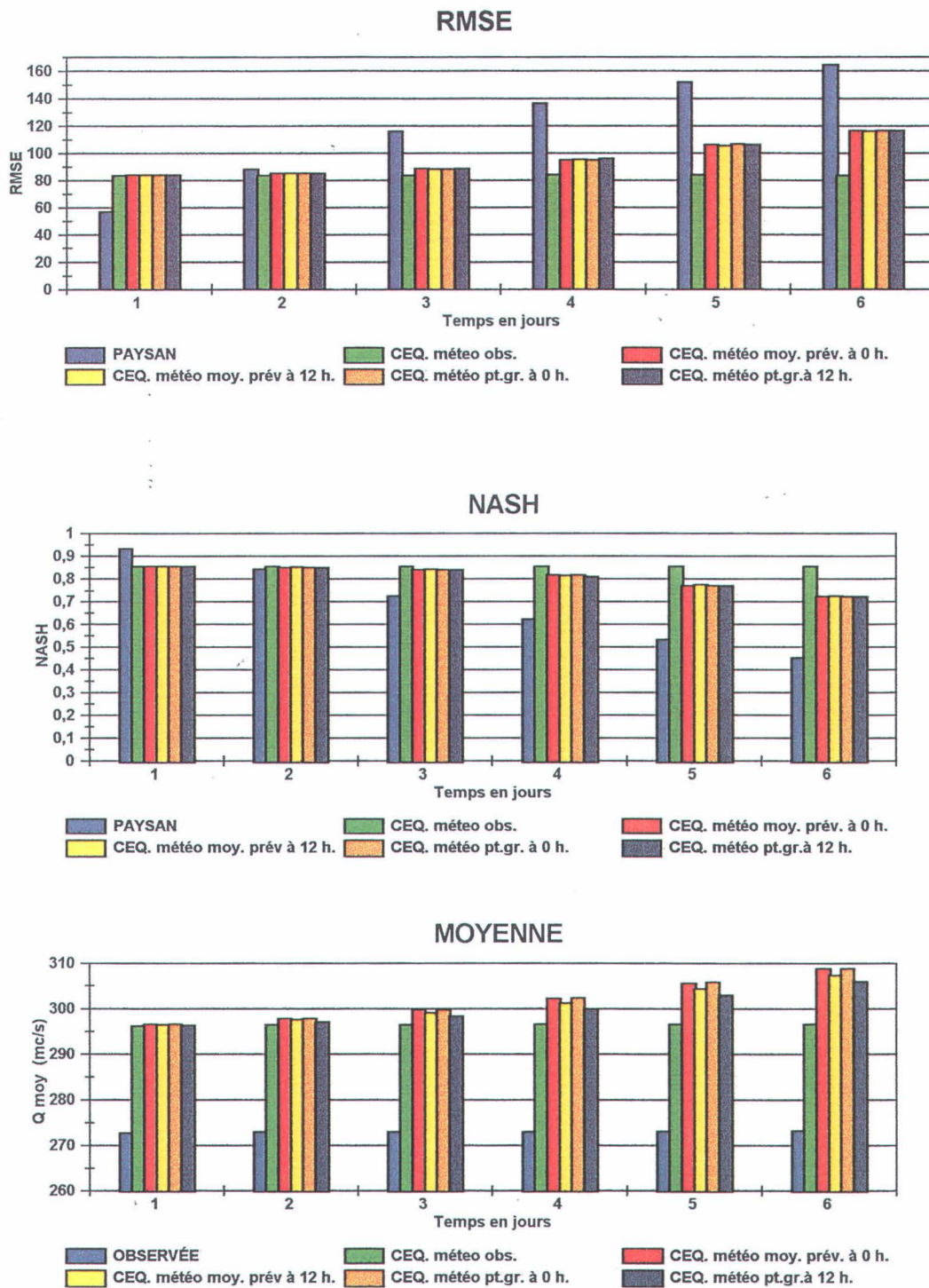


Figure 5.2 Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN sans mise à jour pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



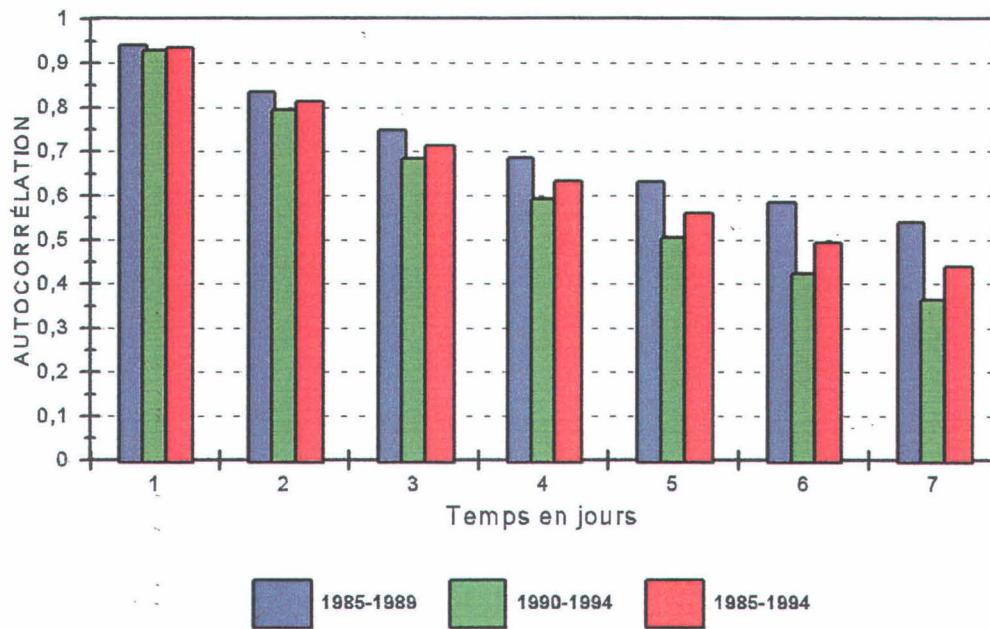


Figure 5.3 Autocorrélation des résidus des débits pour les périodes 1985-1989, 1990-1994 et 1985-1994 pour le bassin versant de la rivière Mistassibi.





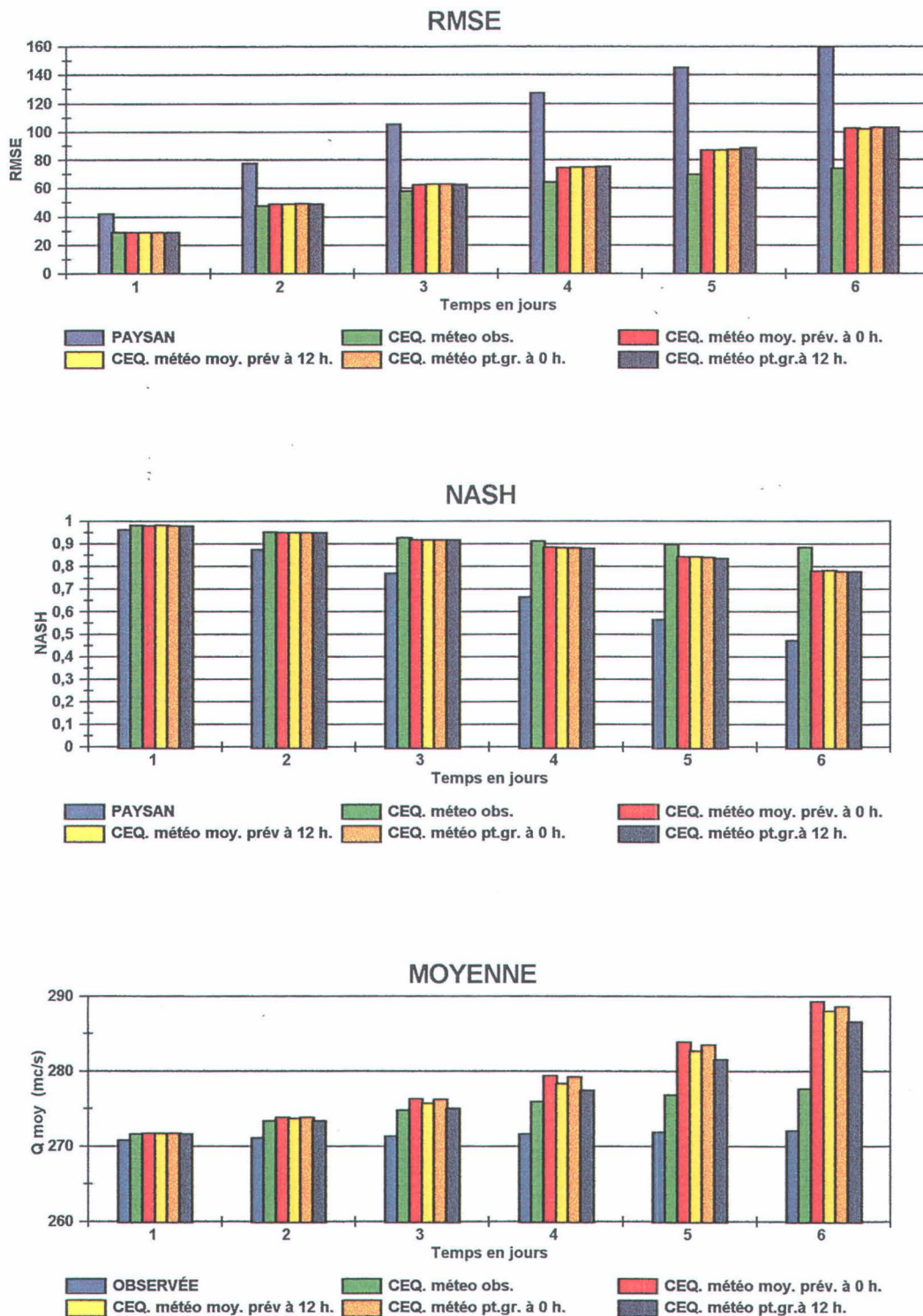


Figure 5.4 Statistiques des débits prévus pour la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



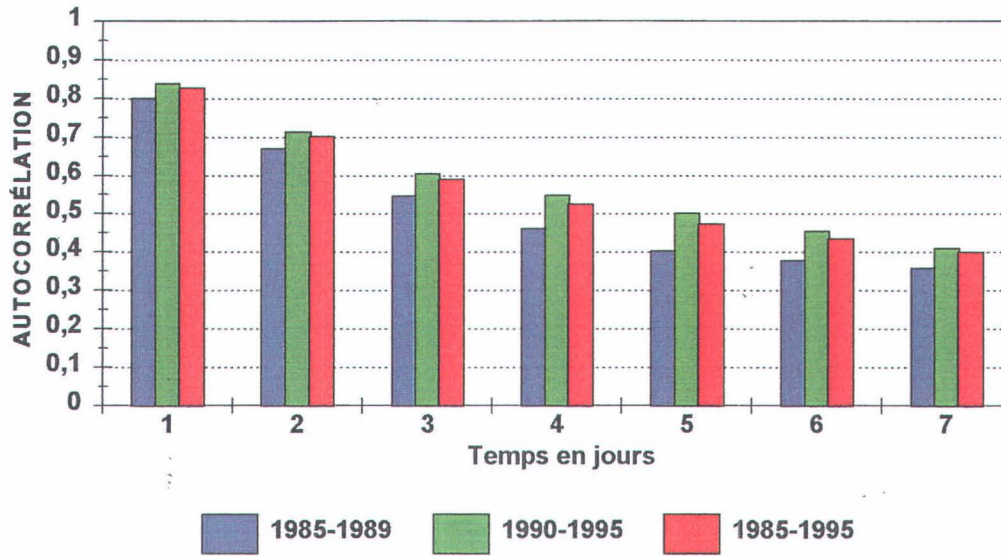


Figure 5.5 Autocorrélation des résidus des débits pour les périodes 1985-1989, 1990-1995 et 1985-1995 pour le bassin versant Chute du Diable.



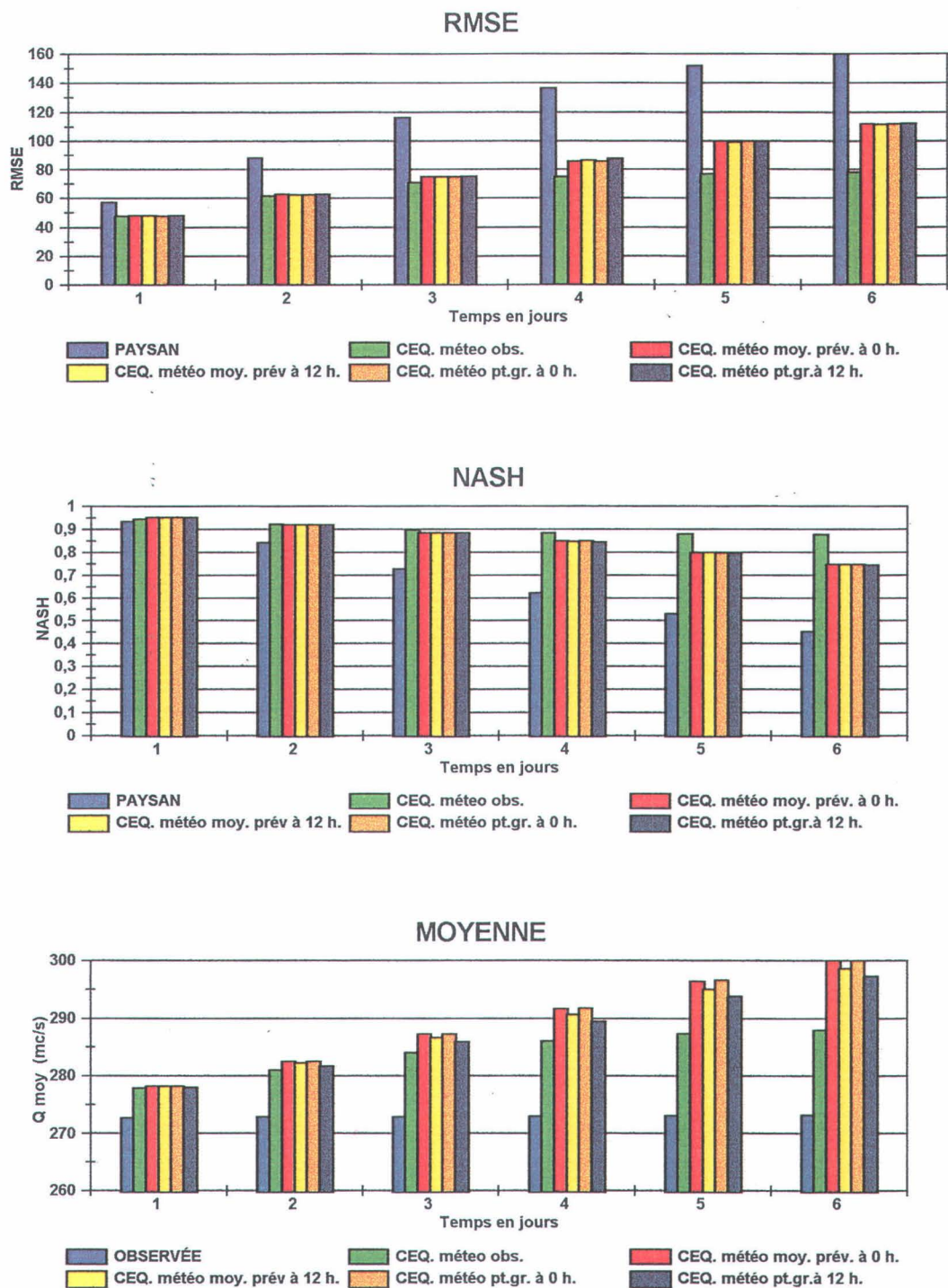


Figure 5.6 Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour statistique, pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



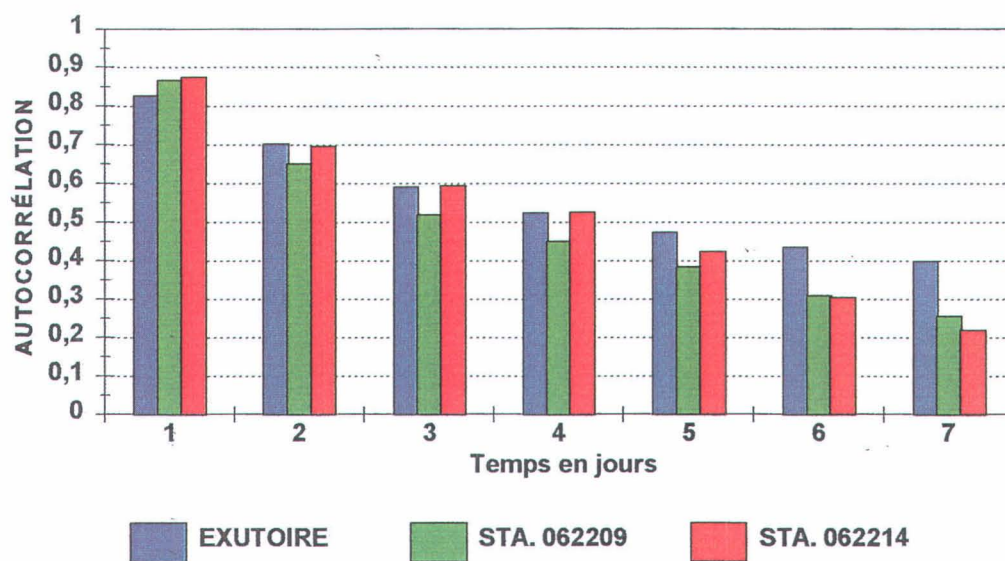


Figure 5.7 Autocorrélation des résidus des débits du bassin versant Chute du Diable, à l'exutoire, à la station 062209 (Manouane) et à la station 062214 (Serpent) pour la période complète d'observation.





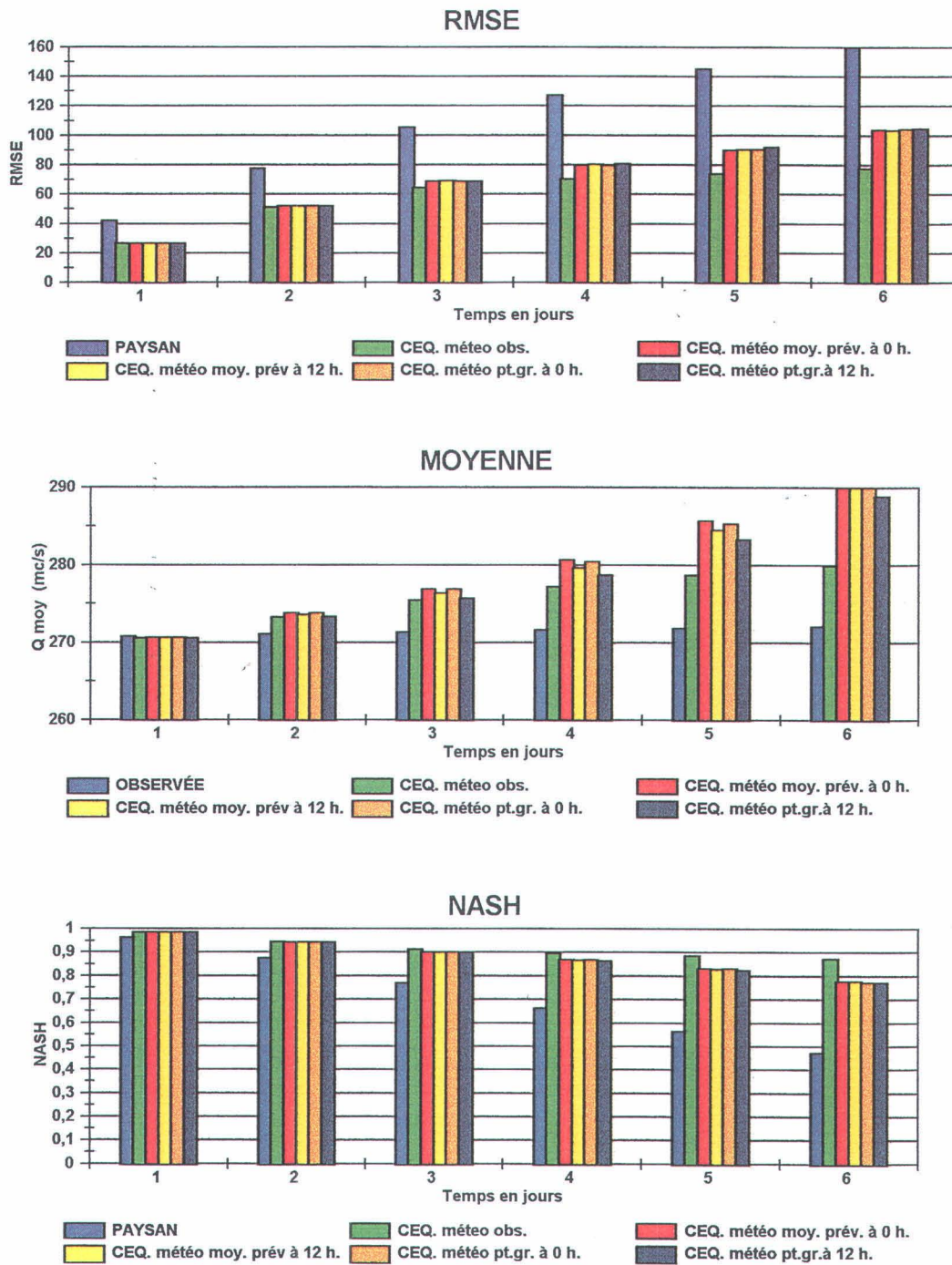


Figure 5.8 Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de la rivière Mistassibi à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



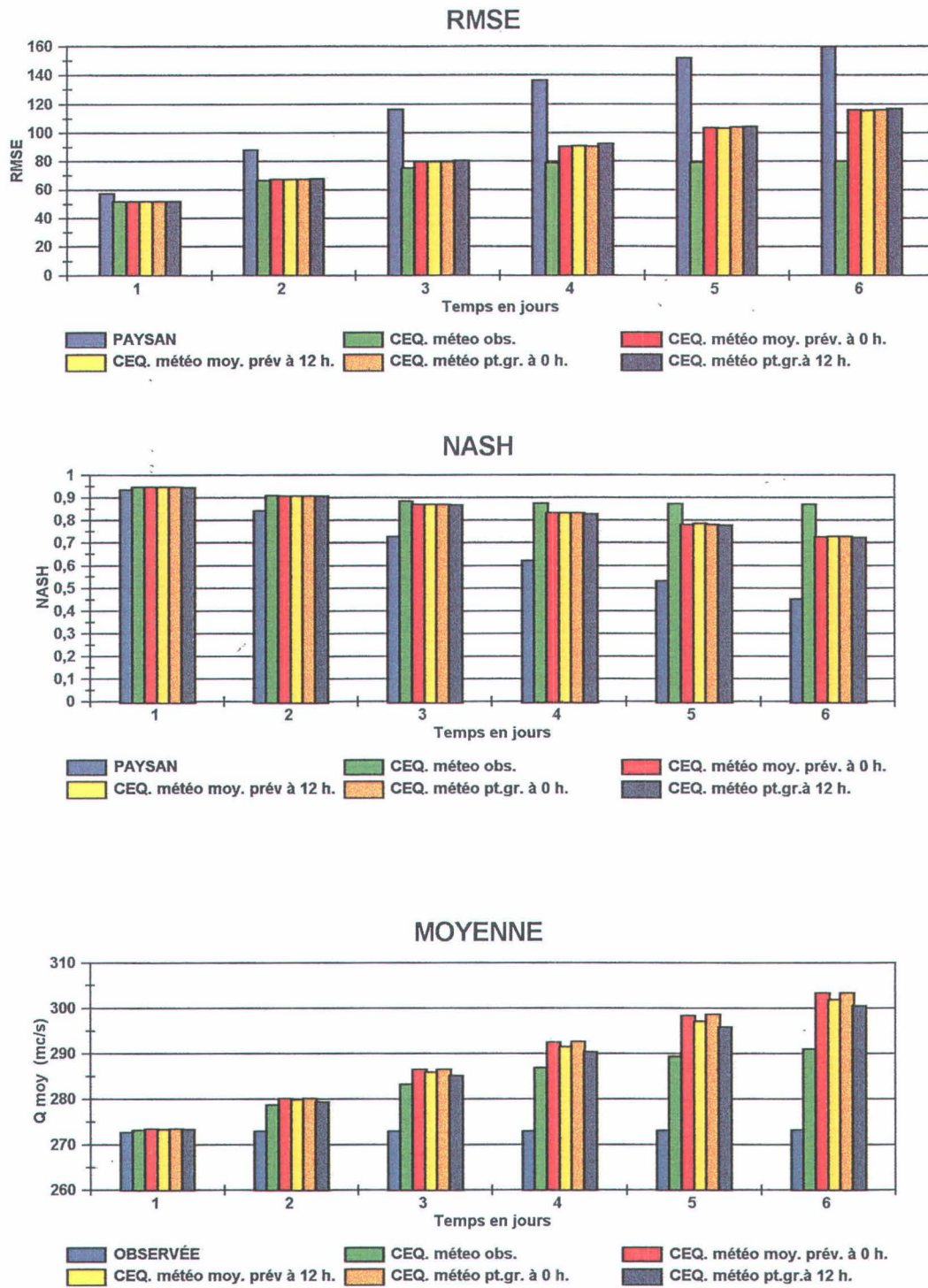
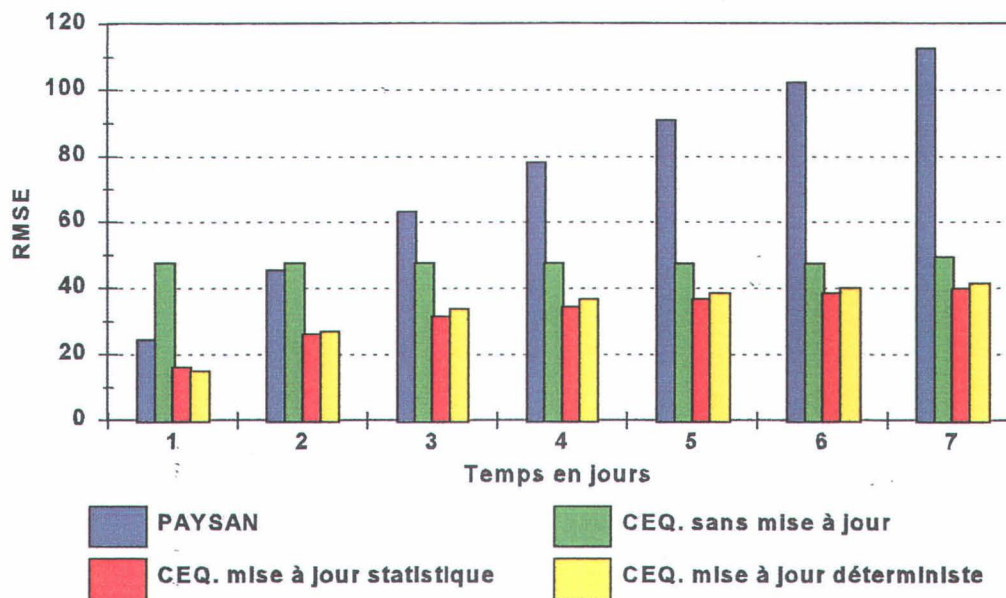


Figure 5.9 Statistiques des débits prévus pour le bassin versant de Chute du Diable à l'aide des modèles CEQUEAU et PAYSAN avec mise à jour déterministe pour la période du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994.



### Période de calibration 1985-1989



### Période de vérification 1990-1994

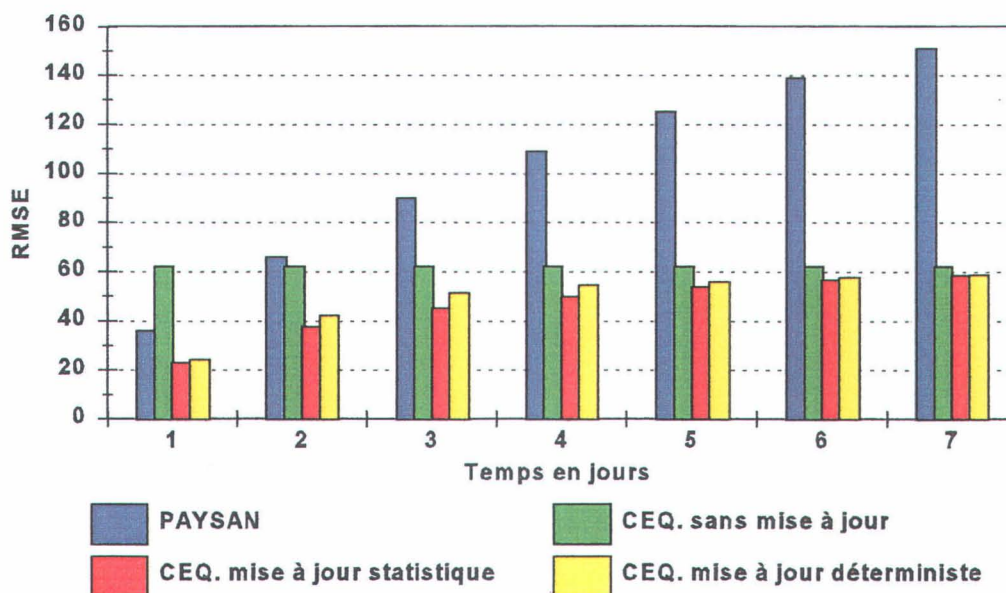
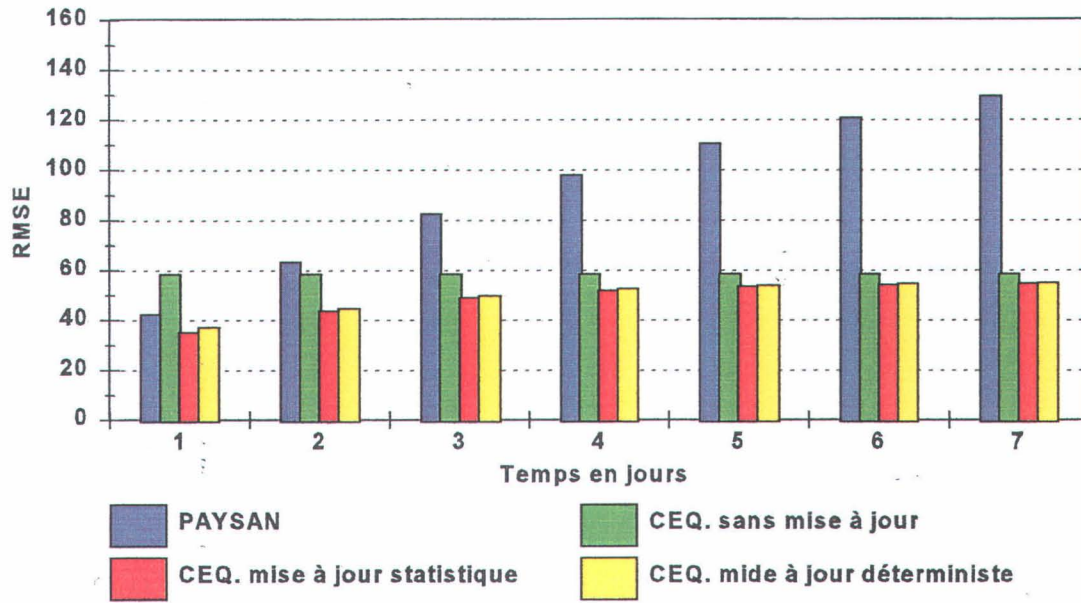


Figure 5.10 Histogrammes de l'erreur quadratique moyenne des débits prévus par les modèles PAYSAN et CEQUEAU avec et sans mise à jour pour le bassin versant de la rivière Mistassibi, pour la période de calibration et de vérification.





### Période de calibration 1985-1989



### Période de vérification 1990-1995

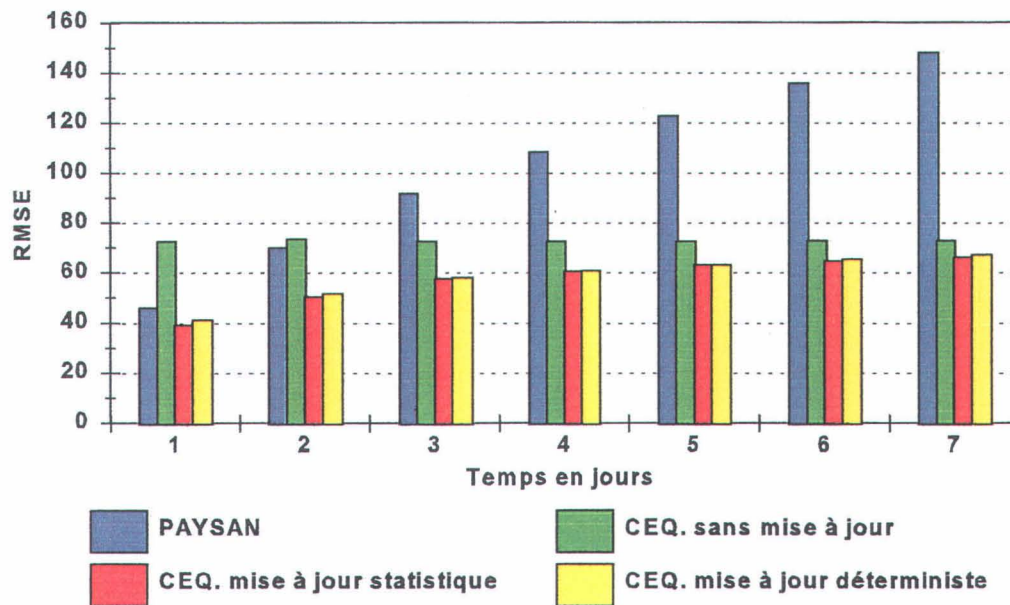


Figure 5.11 Histogrammes de l'erreur quadratique moyenne des débits prévus par les modèles PAYSAN et CEQUEAU avec et sans mise à jour pour le bassin versant de Chute du Diable, pour la période de calibration et de vérification.





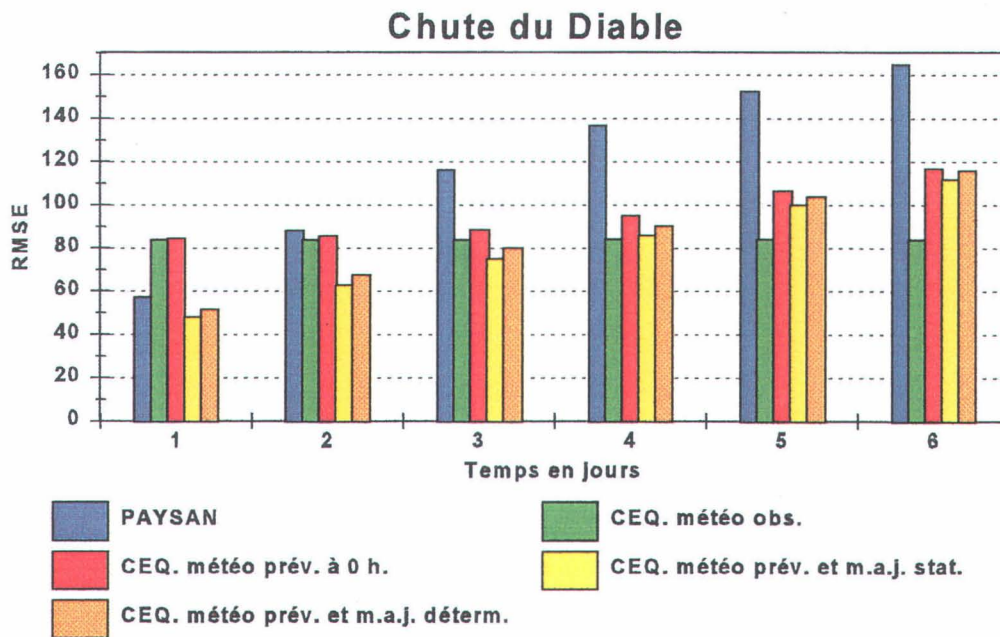
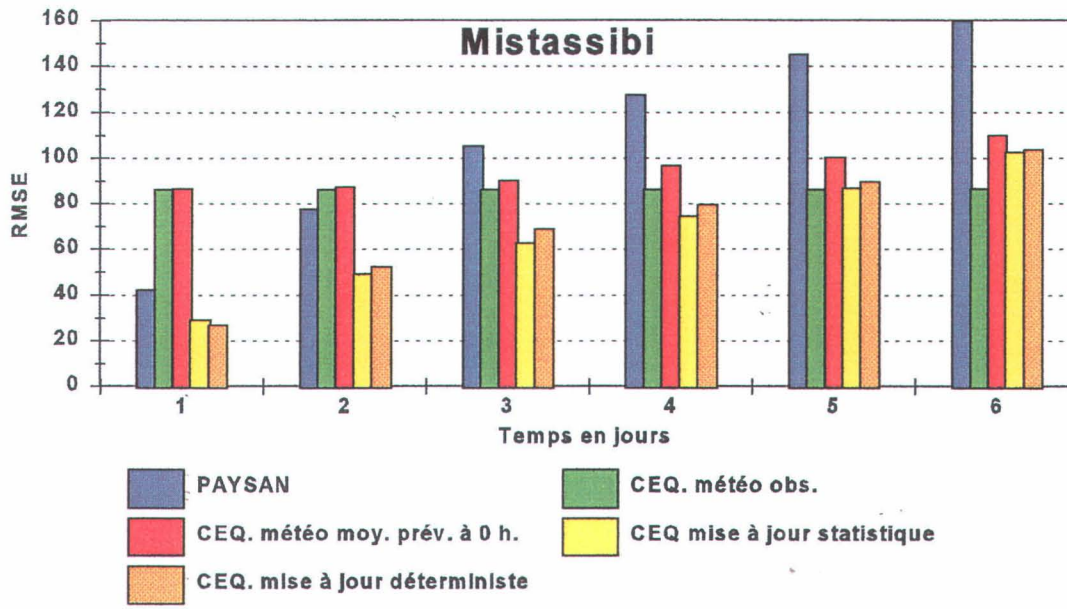
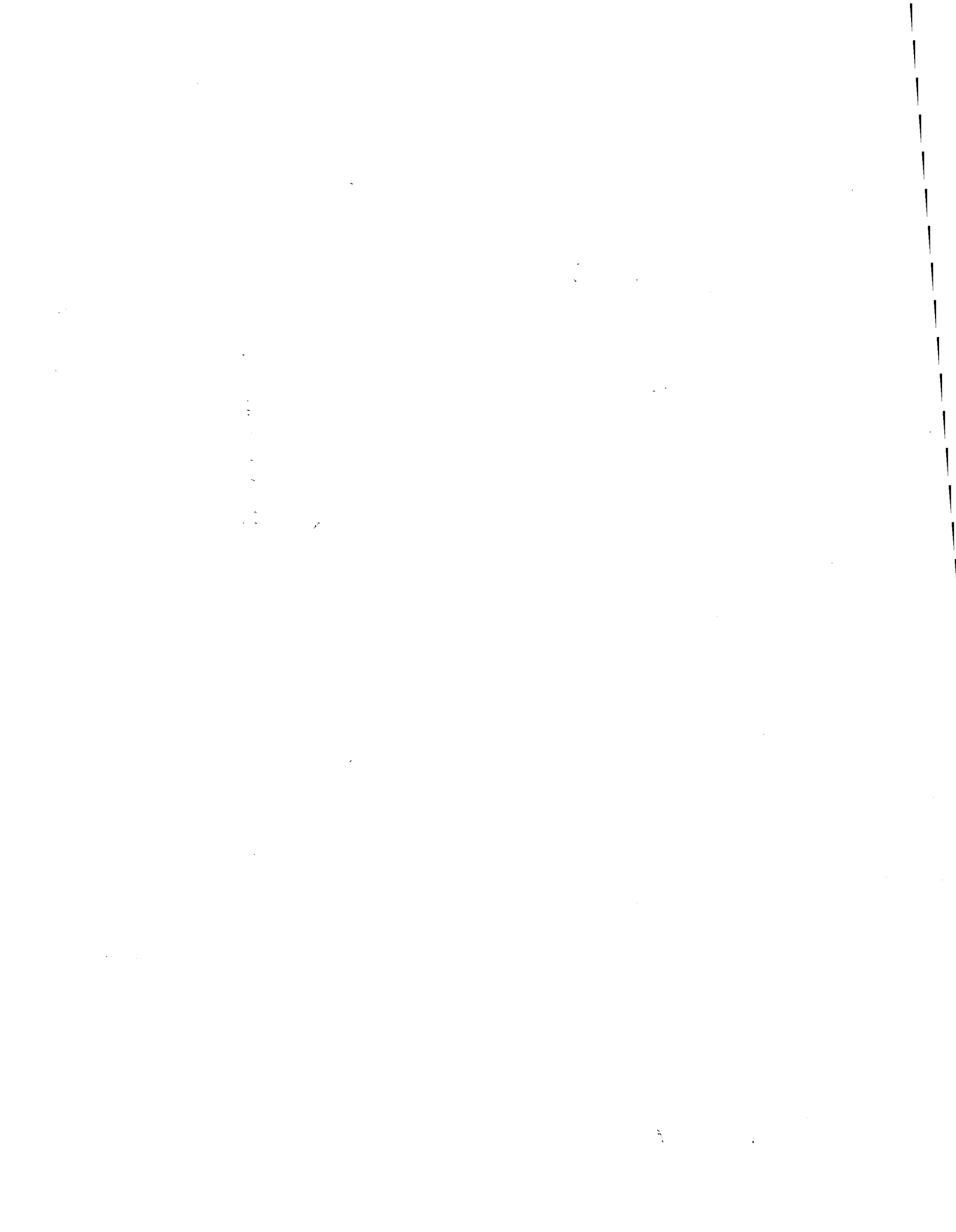
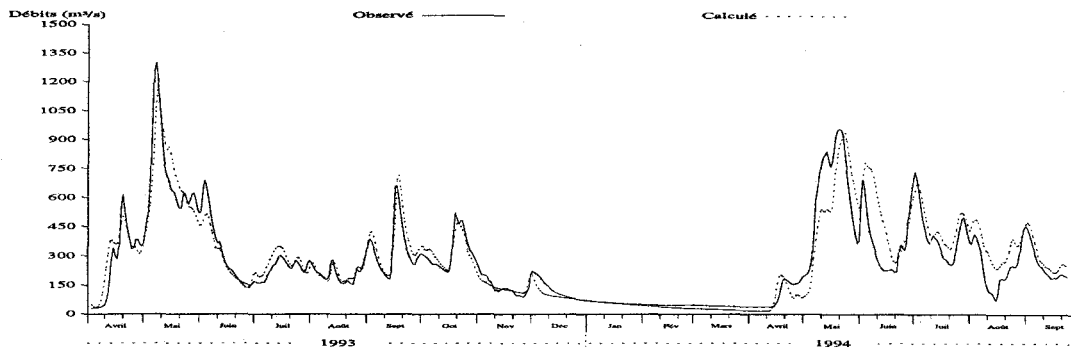
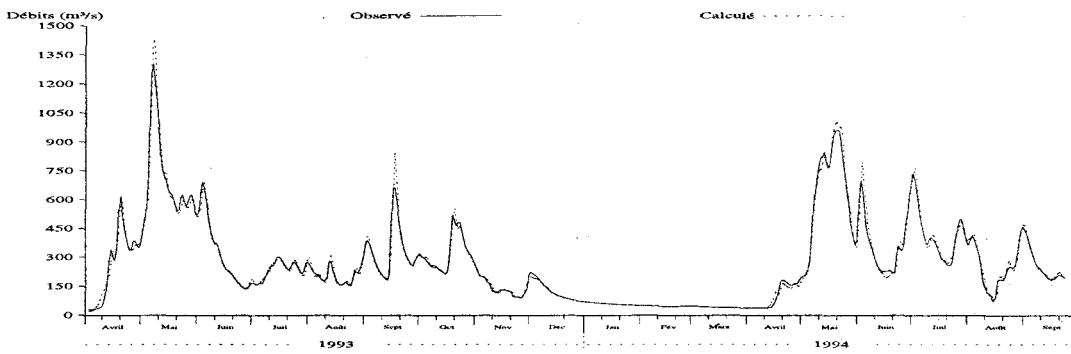


Figure 5.12 Histogrammes des erreurs quadratiques moyennes des débits simulés avec les données météorologiques observées et prévues du 3 avril 1993 au 24 septembre 1994, pour les bassins versants Mistassibi et Chute du Diable.

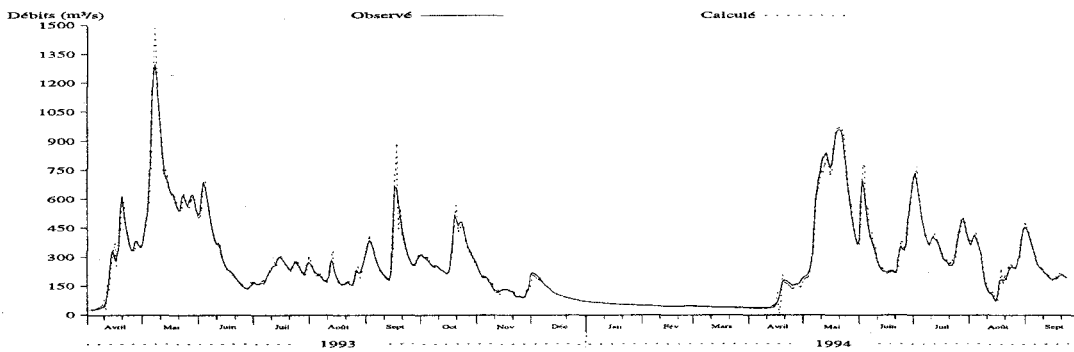




a) Sans mise à jour - Nash : 0,8458

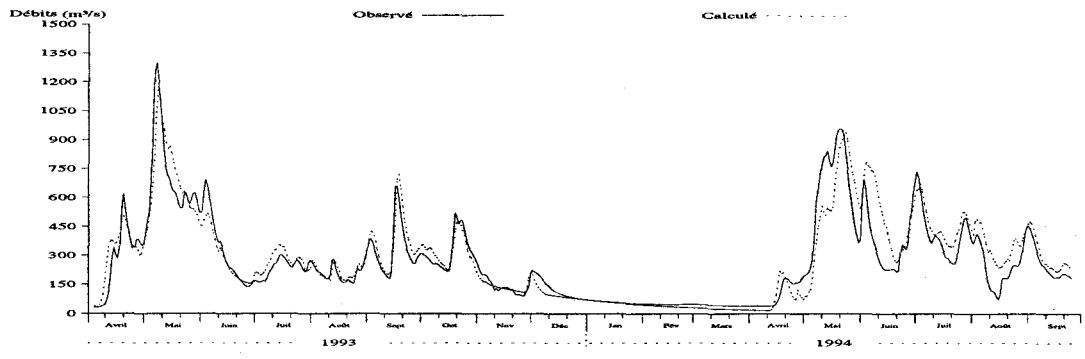


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,9825

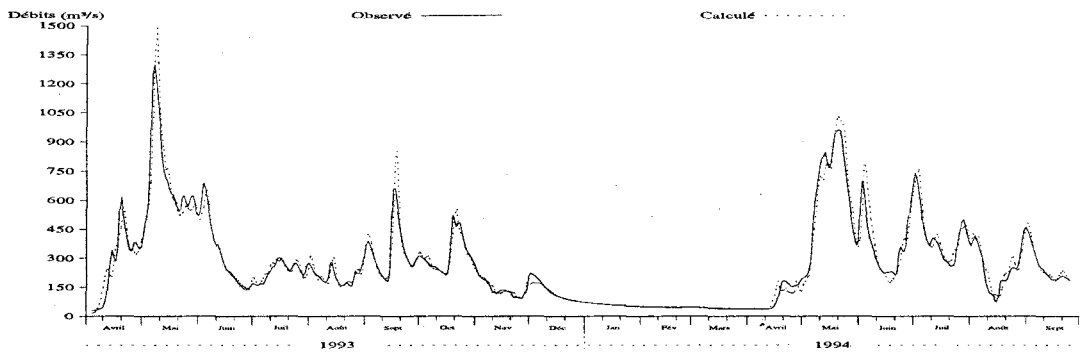


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,9852

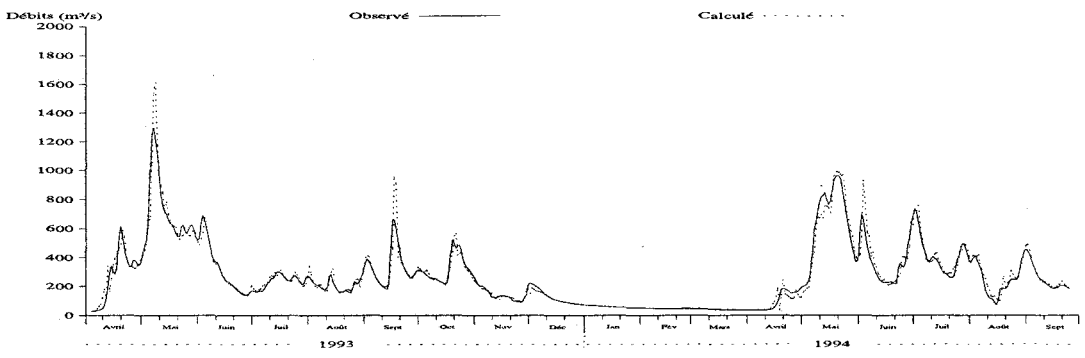
Figure 5.13 Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 1.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,8422

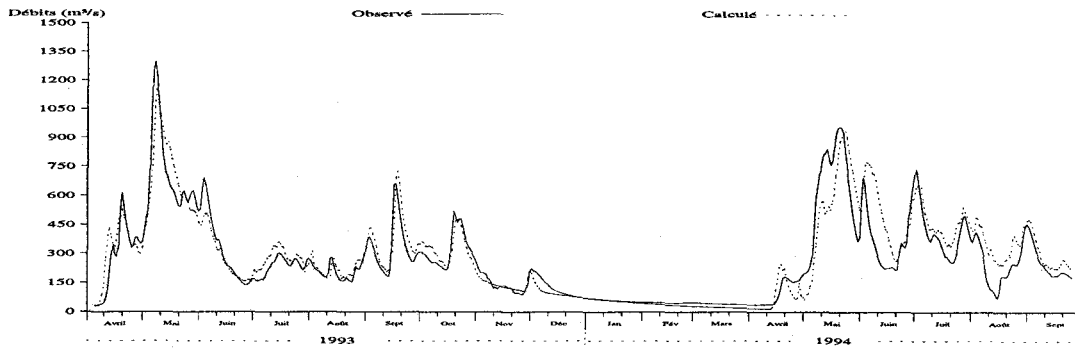


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,9498

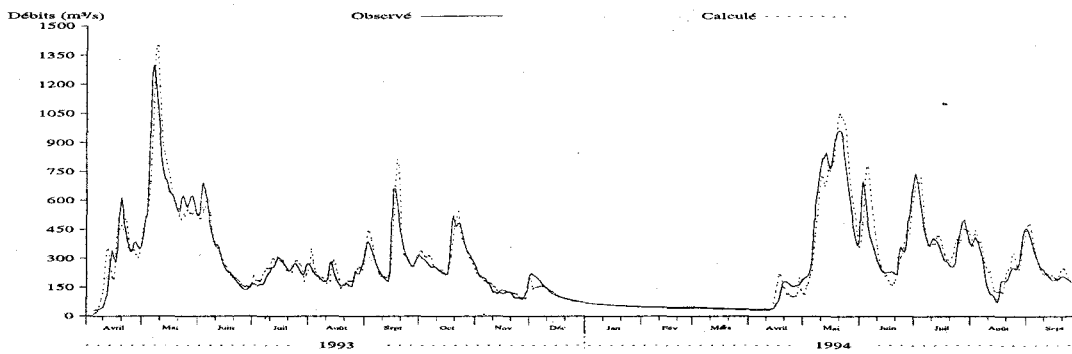


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,9434

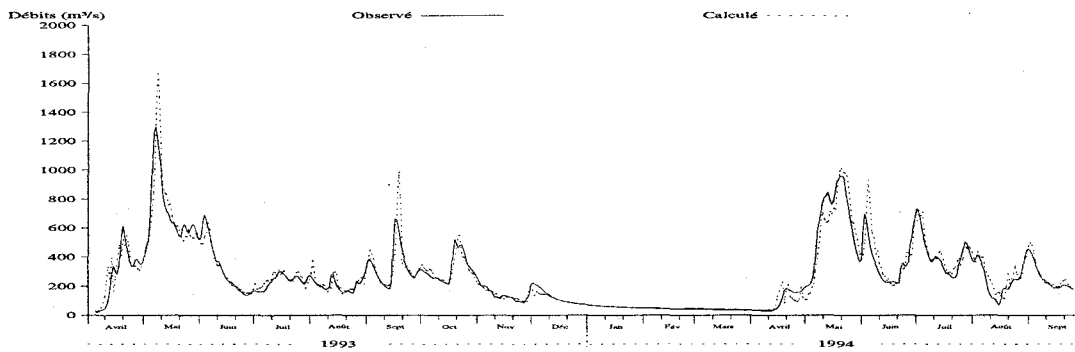
Figure 5.14 Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 2.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,8319

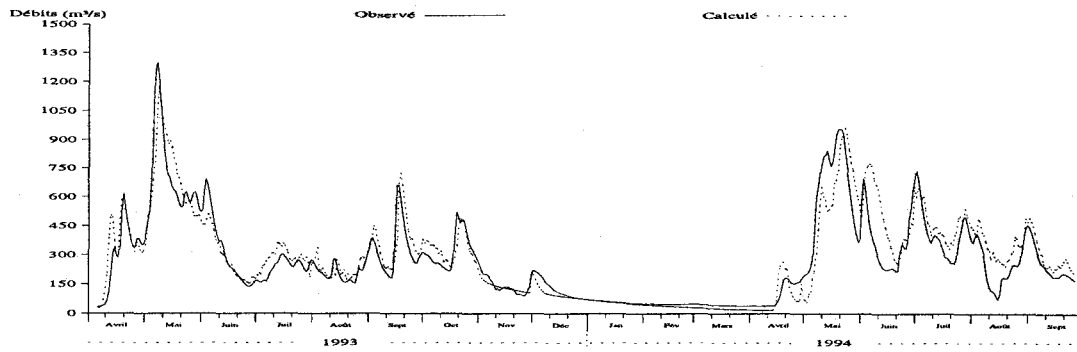


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,9182

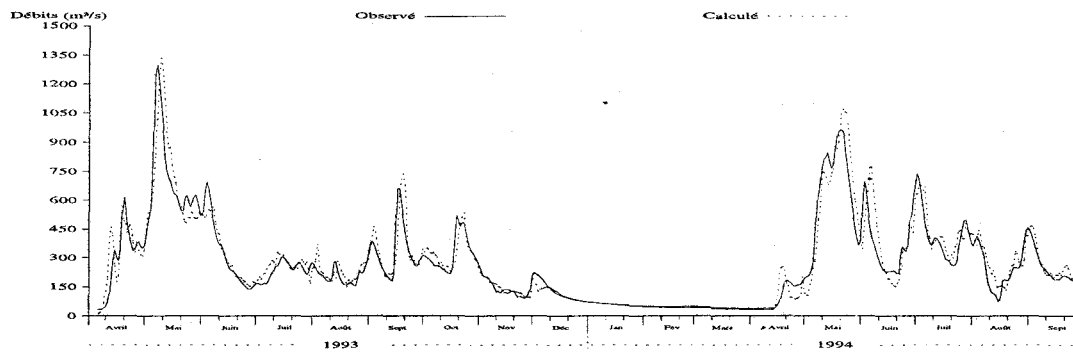


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,9022

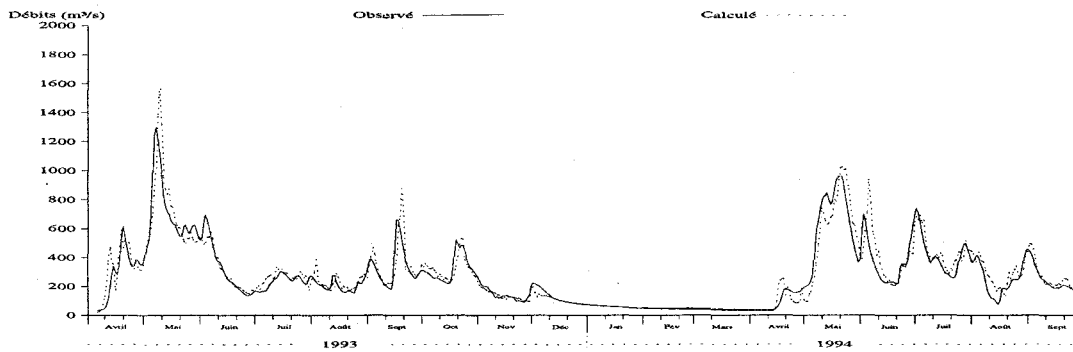
Figure 5.15 Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 3.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,8142

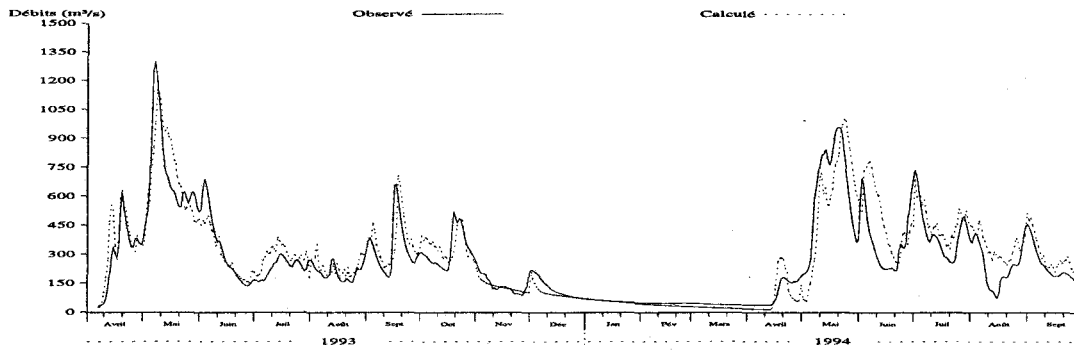


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,8845

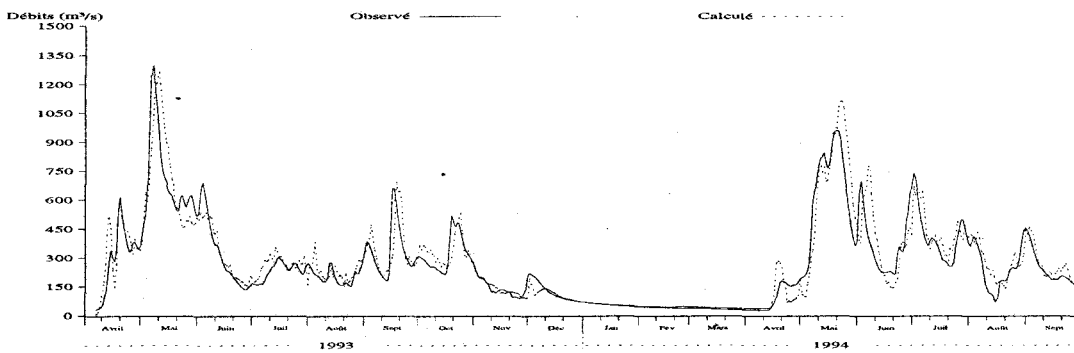


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,8691

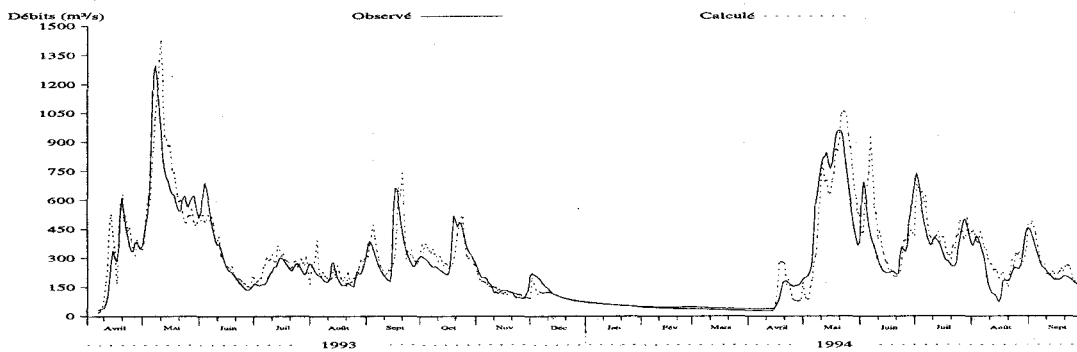
Figure 5.16 Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 4.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,7906

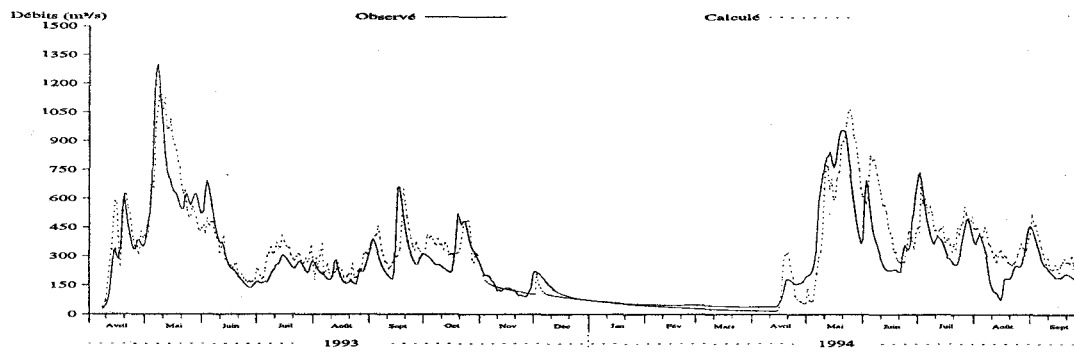


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,843

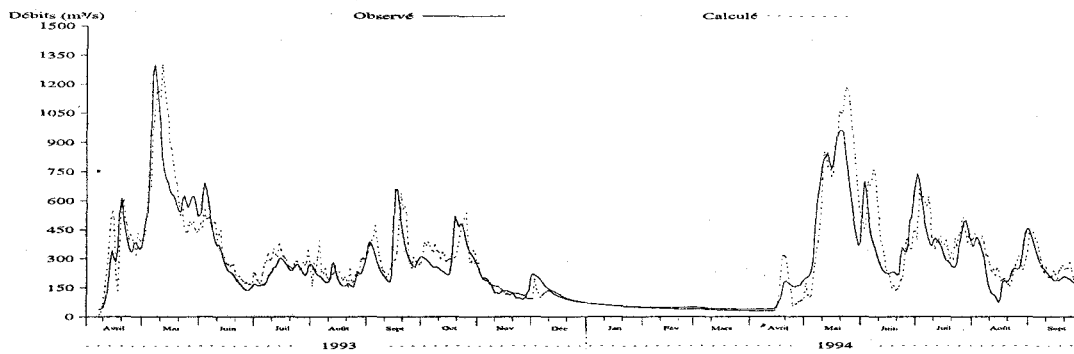


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,8325

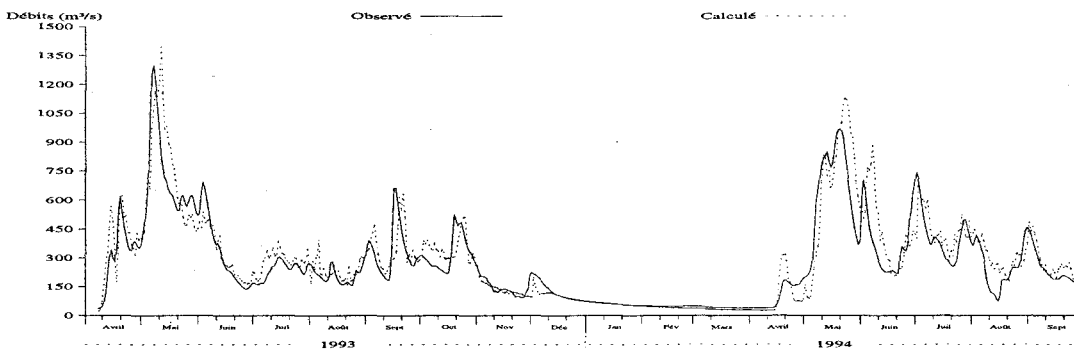
Figure 5.17. Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 5.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,749



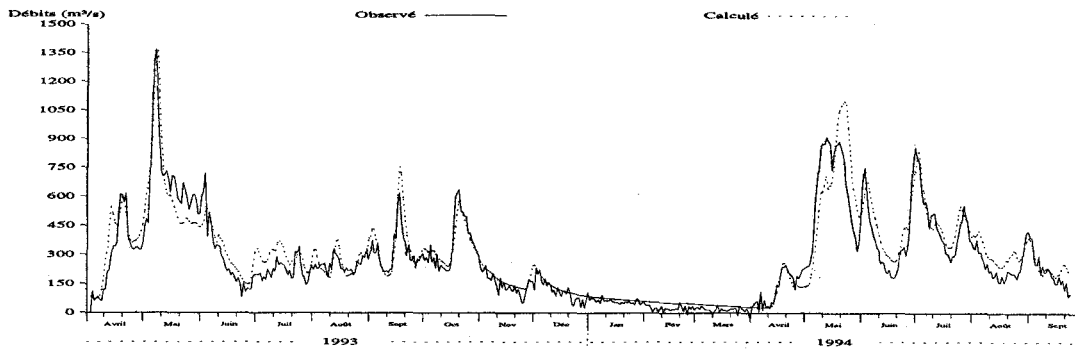
b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,7812



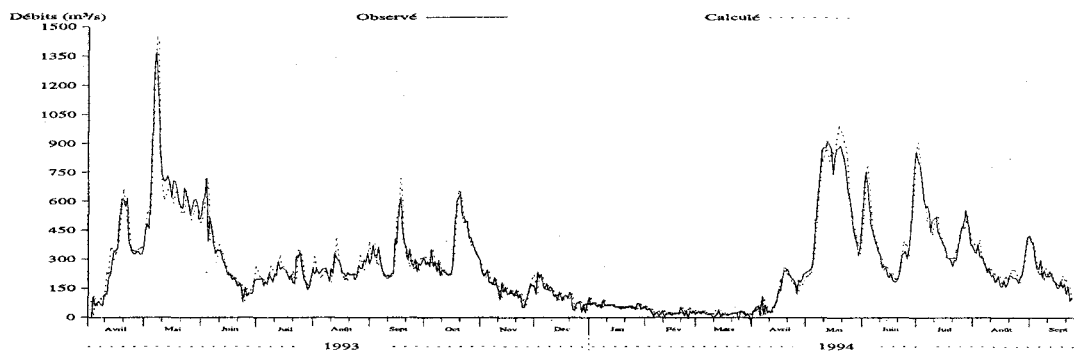
c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,7761

Figure 5.18 Débits observés et simulés sur le bassin versant de la rivière Mistassibi avec les prévisions météorologiques pour le jour 6.

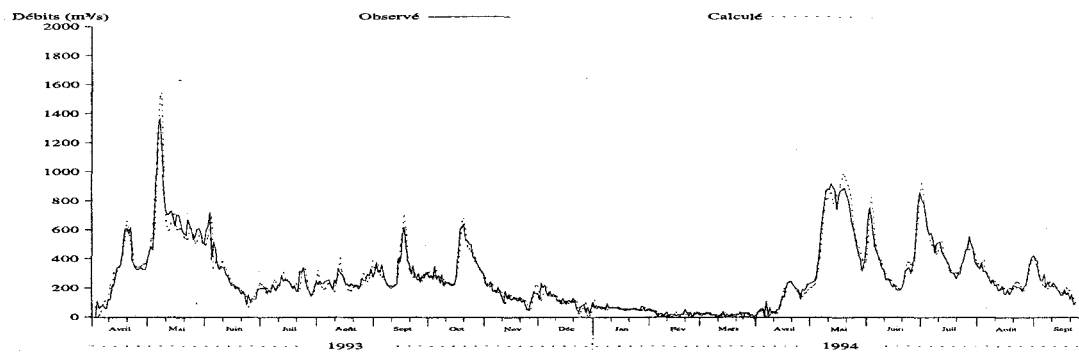




a) Sans mise à jour - Nash : 0,8576

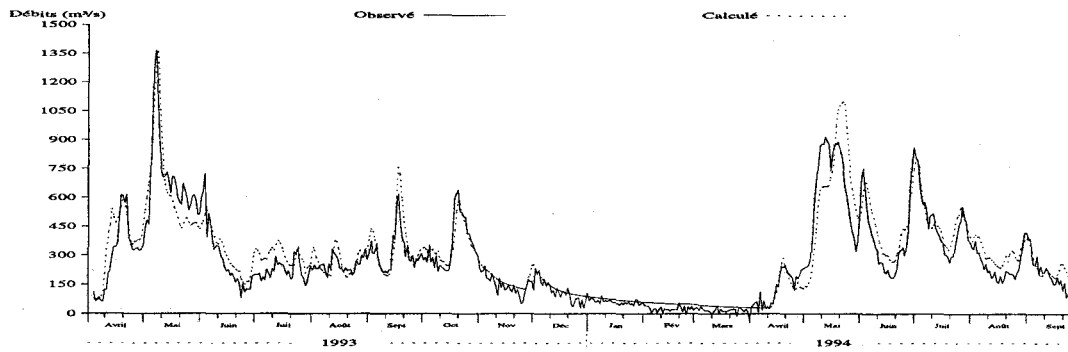


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,9535

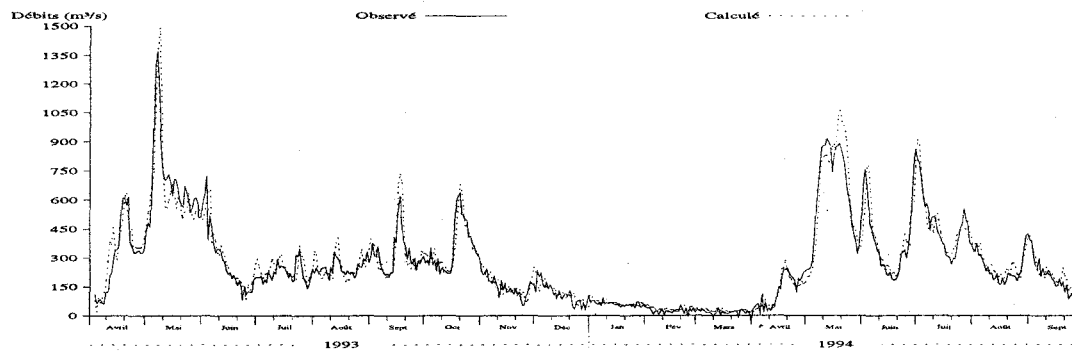


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,9462

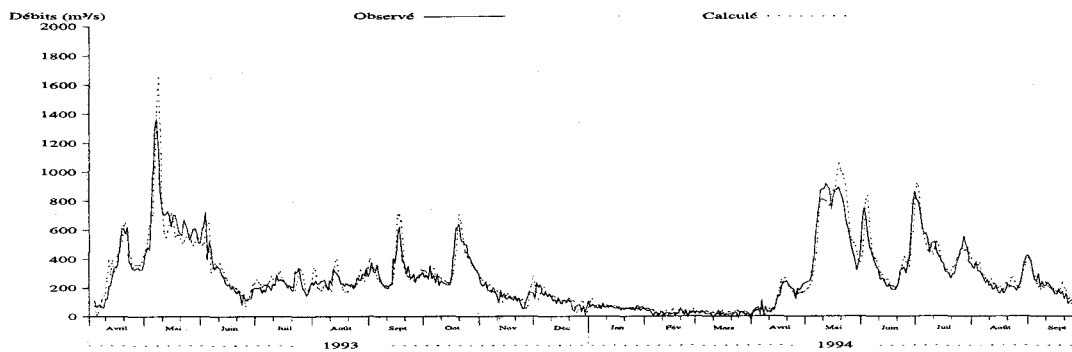
Figure 5.19 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 1.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,853

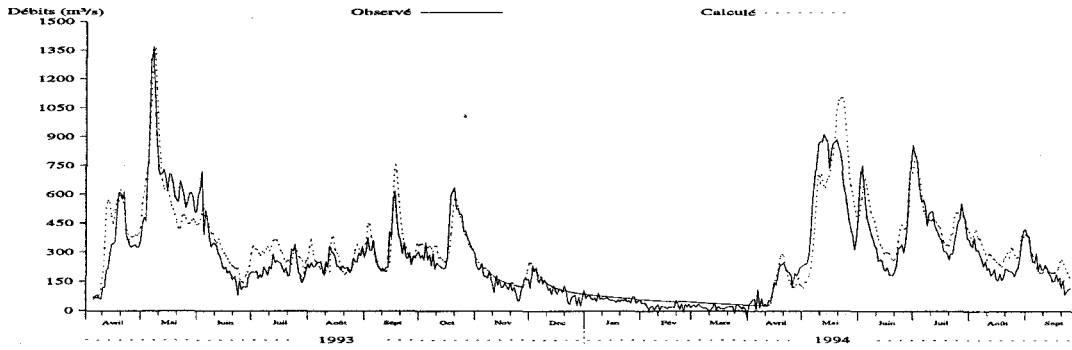


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,9205

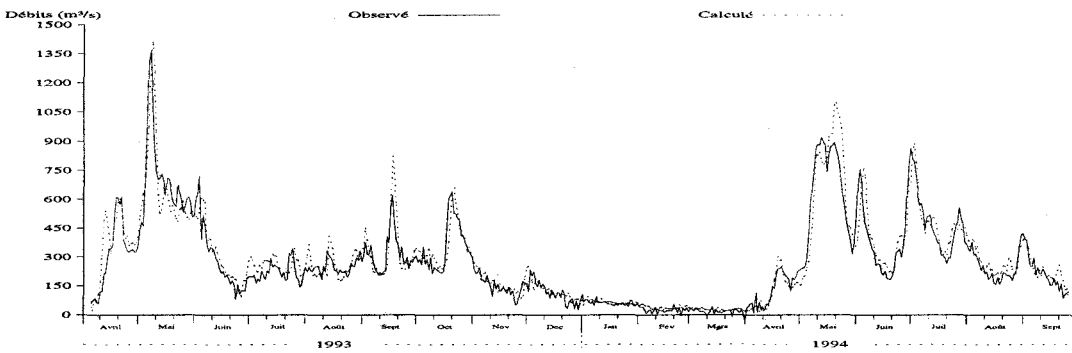


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,9082

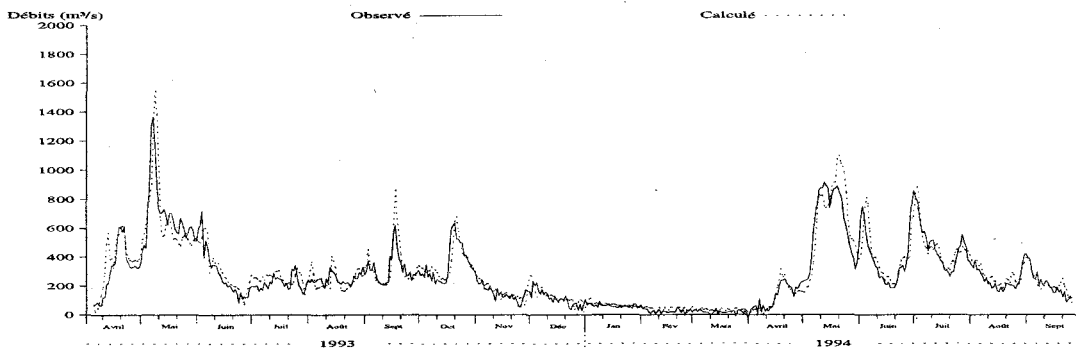
Figure 5.20 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 2.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,8423

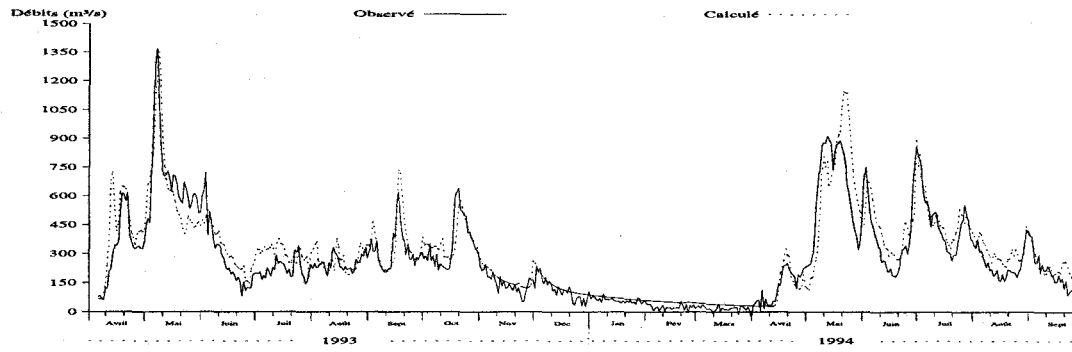


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,887

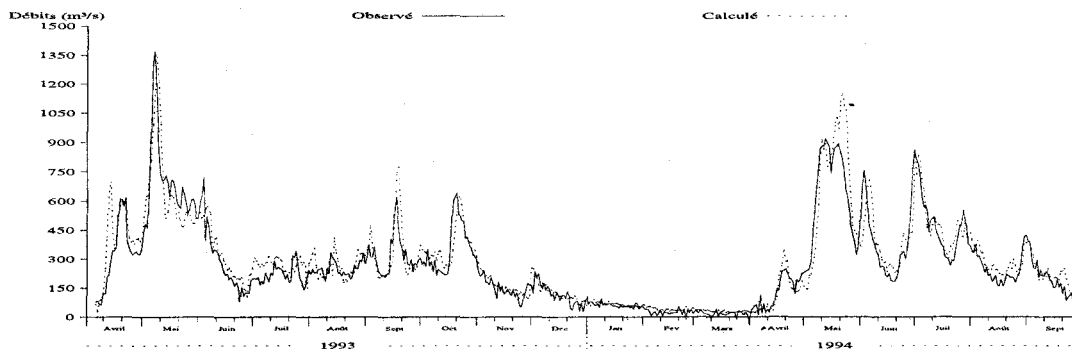


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,8718

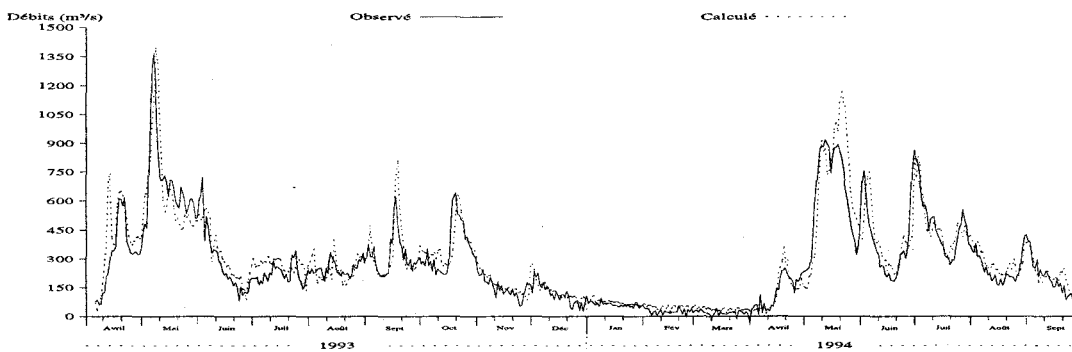
Figure 5.21 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 3.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,8186

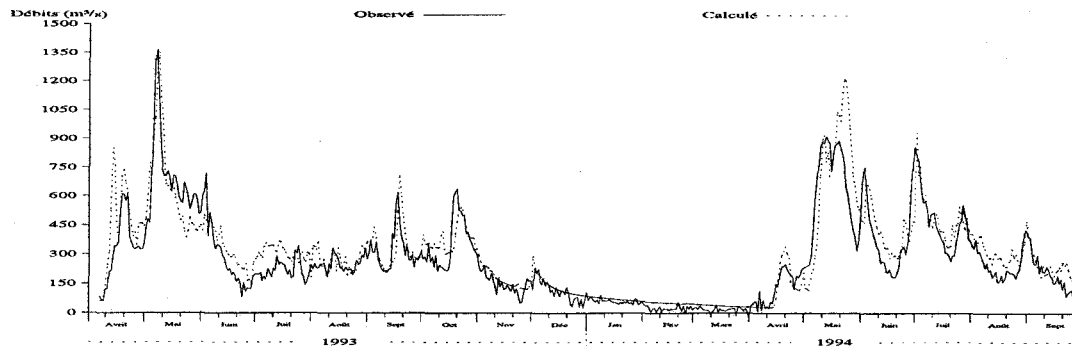


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,8517

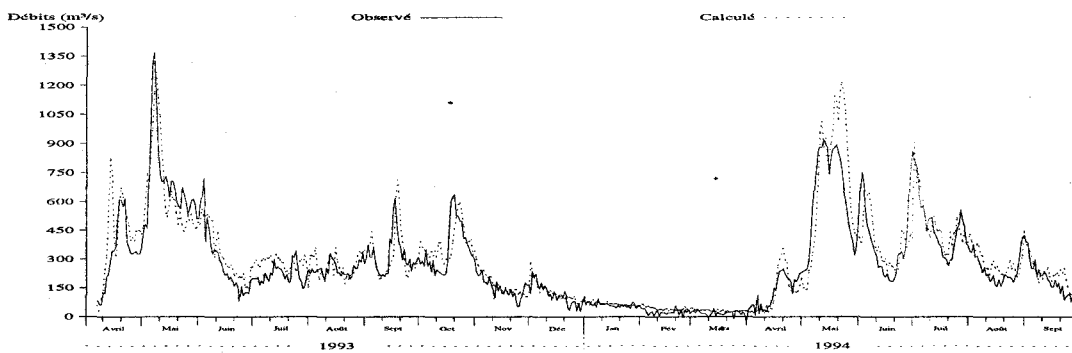


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,836

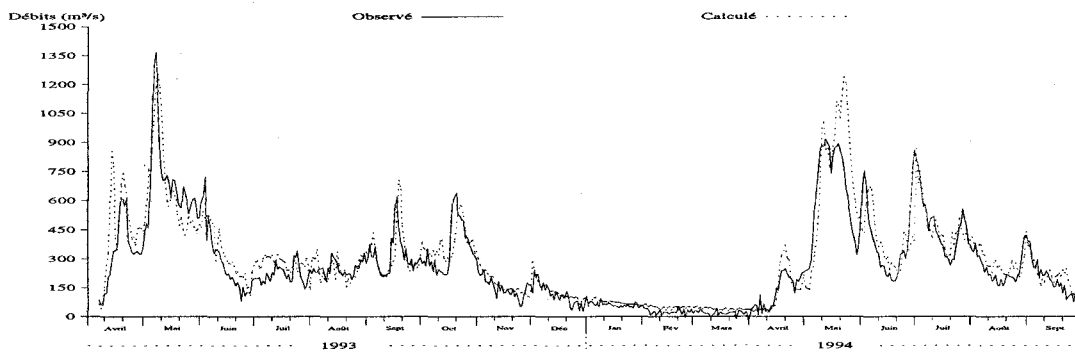
Figure 5.22 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 4.



a) Sans mise à jour - Nash : 0,7722

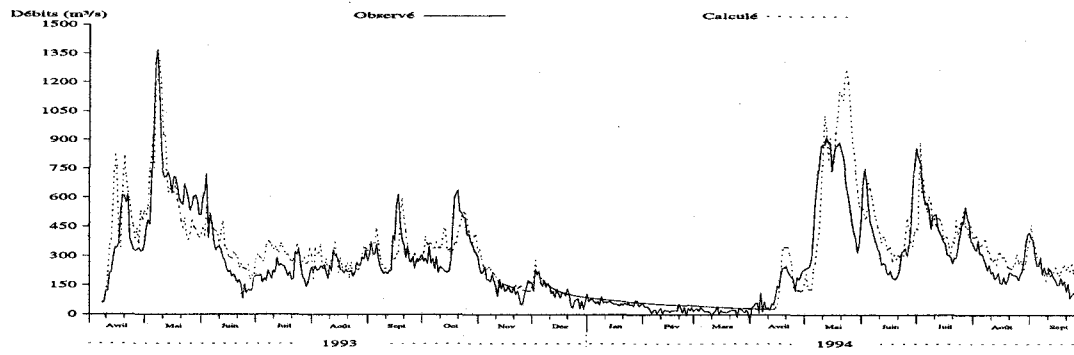


b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,7996

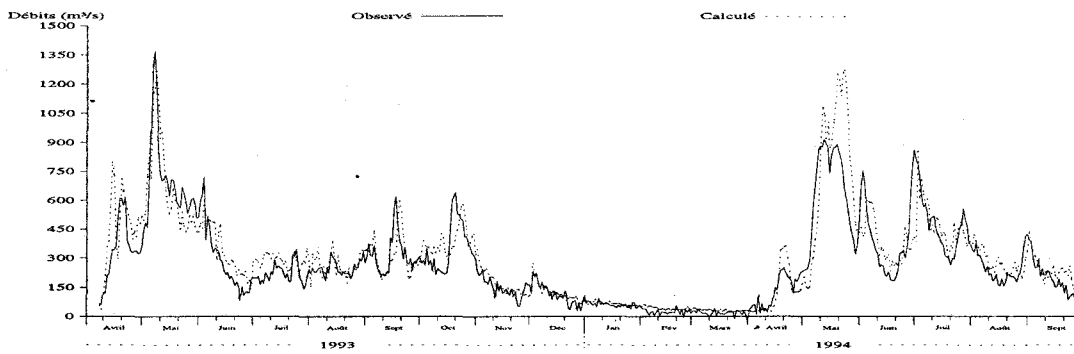


c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,7838

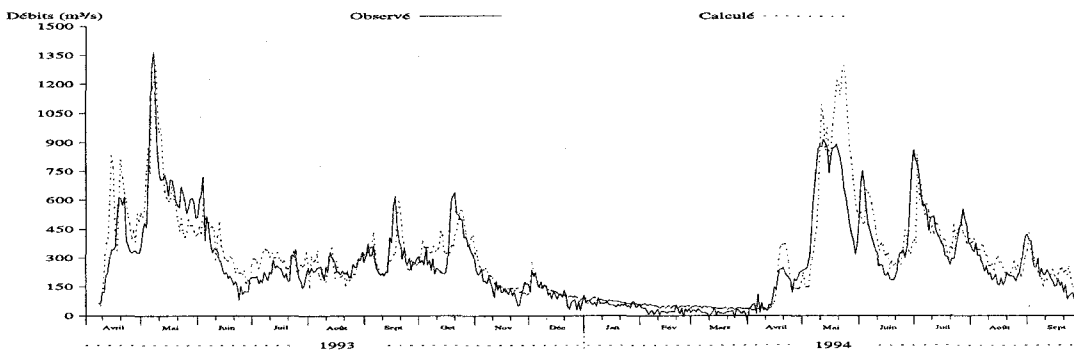
Figure 5.23 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 5



a) Sans mise à jour - Nash : 0,7256



b) Avec mise à jour statistique - Nash : 0,7487



c) Avec mise à jour déterministe - Nash : 0,7294

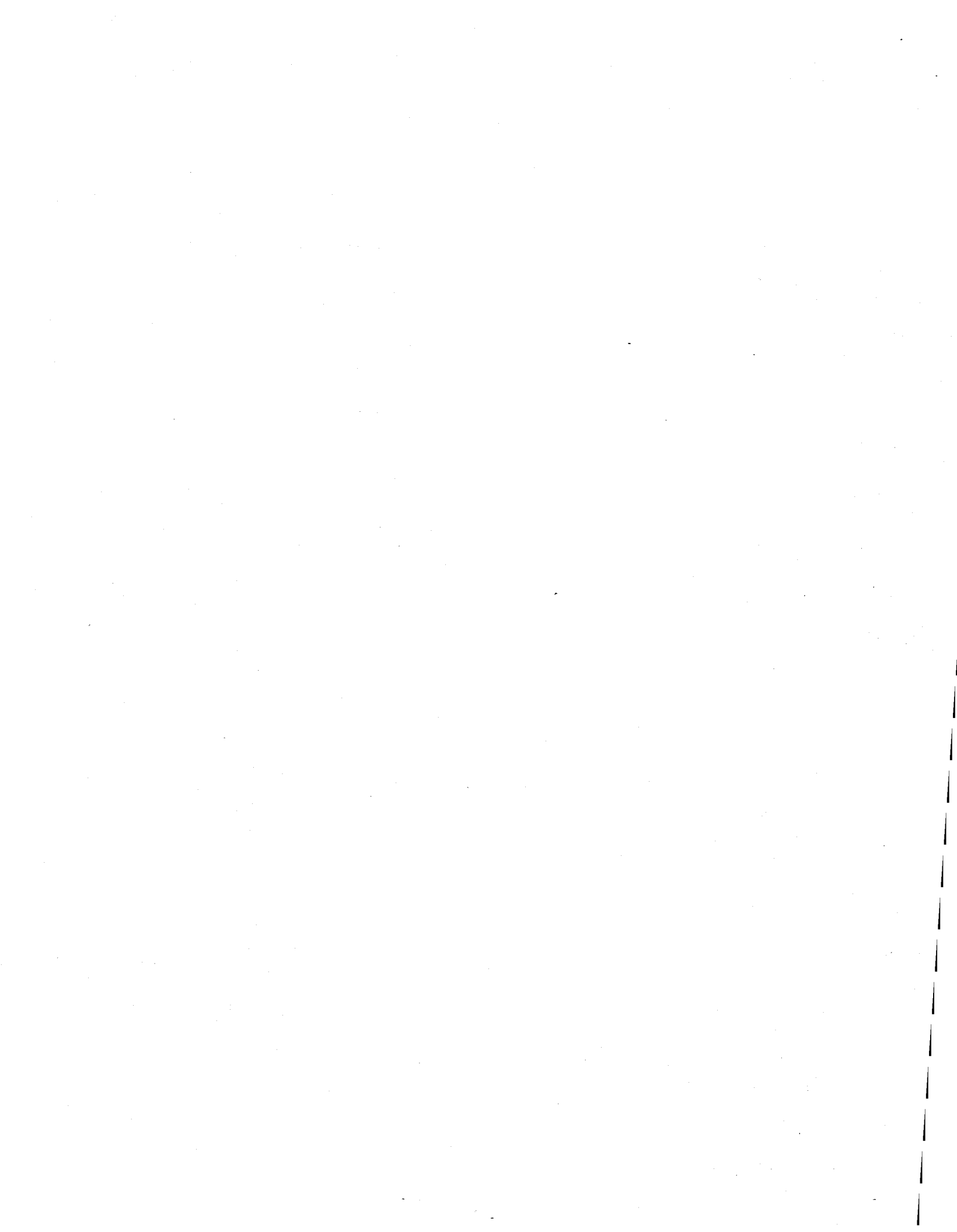
Figure 5.24 Débits observés et simulés sur le bassin versant Chute du Diable avec les prévisions météorologiques pour le jour 6.

**A**

**Débits journaliers observés et**

**calculés à la station 062101 pour les  
années 1985 à 1994**







## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9627

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 192.91 • cal.: 195.88  
Lame (mm) obs.: 652.74 • cal.: 662.8

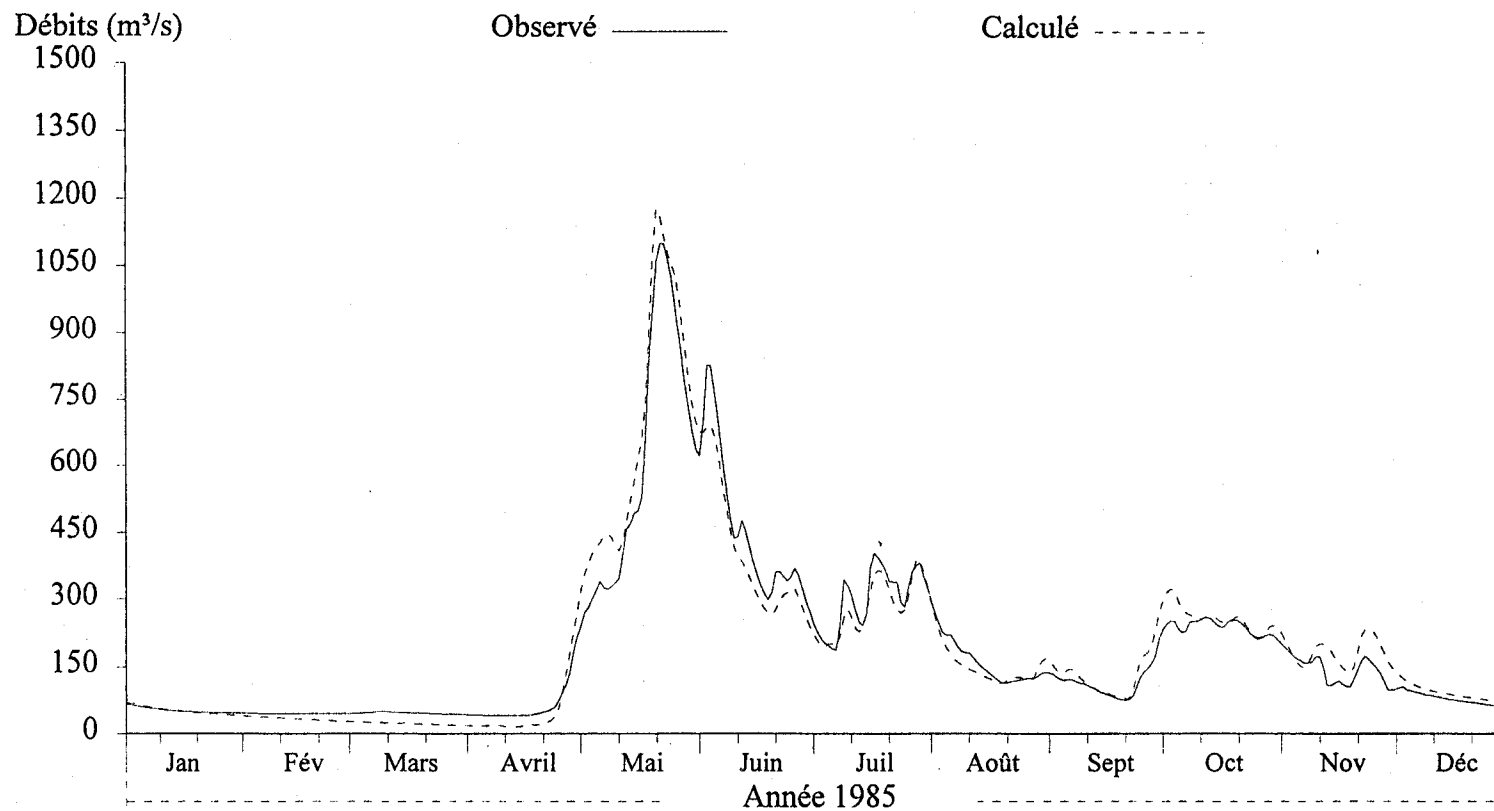


Figure A1 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1985.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9051

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 181.87 • cal.: 171.32  
Lame (mm) obs.: 615.39 • cal.: 579.71

186

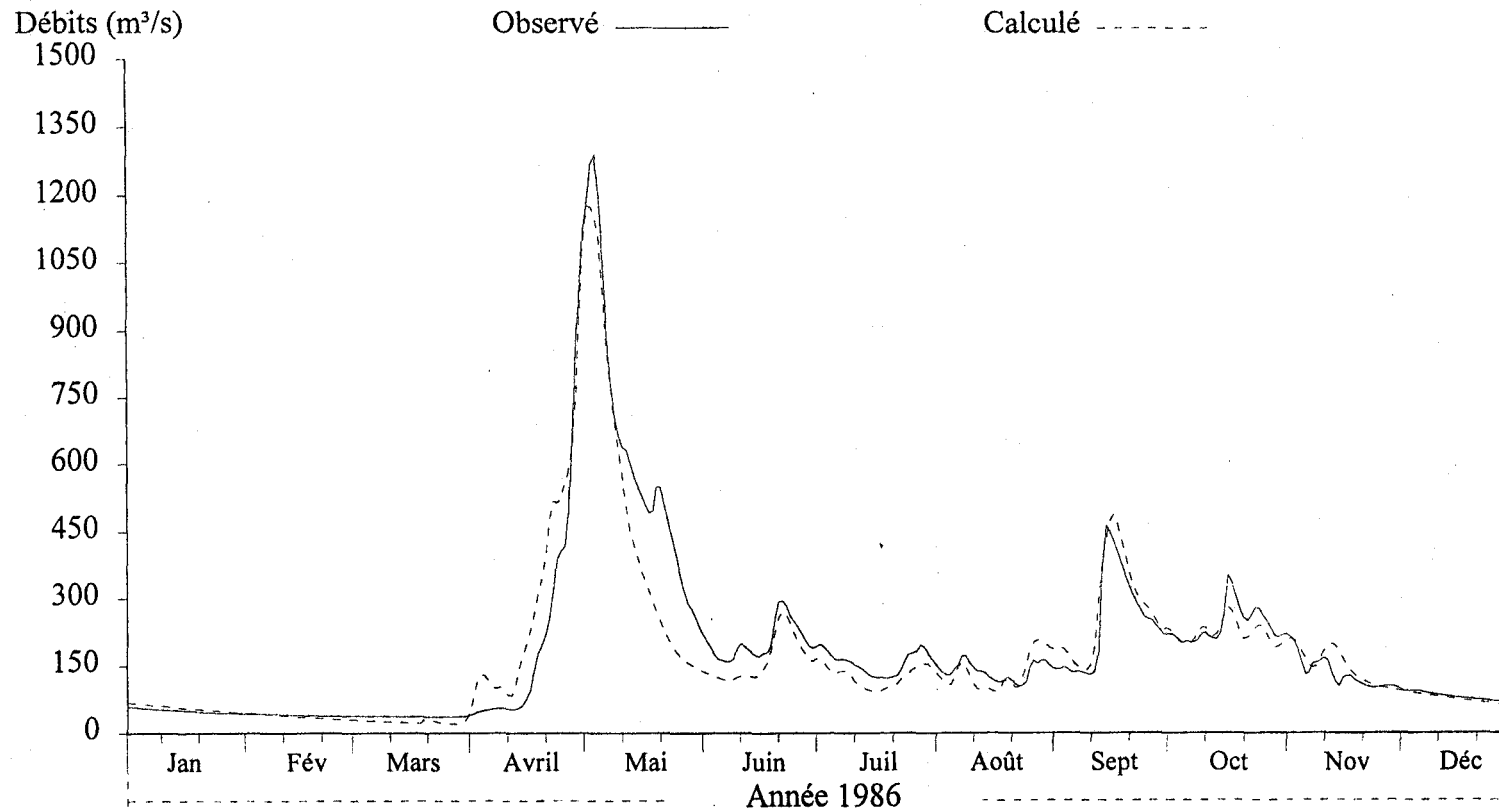


Figure A2 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1986.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.7598

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 184.25 • cal.: 162.21  
Lame (mm) obs.: 623.46 • cal.: 548.88

187

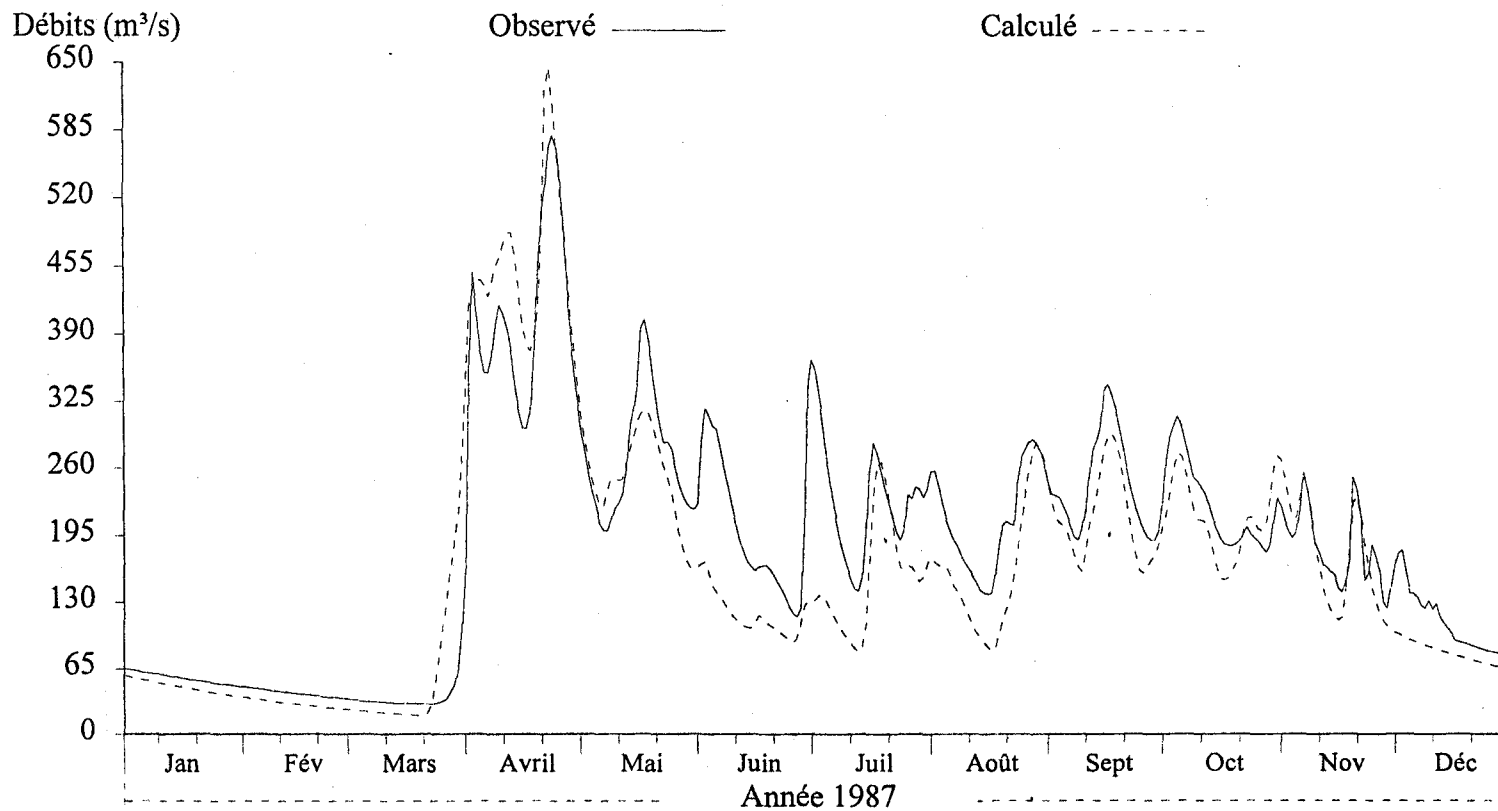


Figure A3 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1987.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9582

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 197.01 • cal.: 196.92  
Lame (mm) obs.: 668.44 • cal.: 668.16

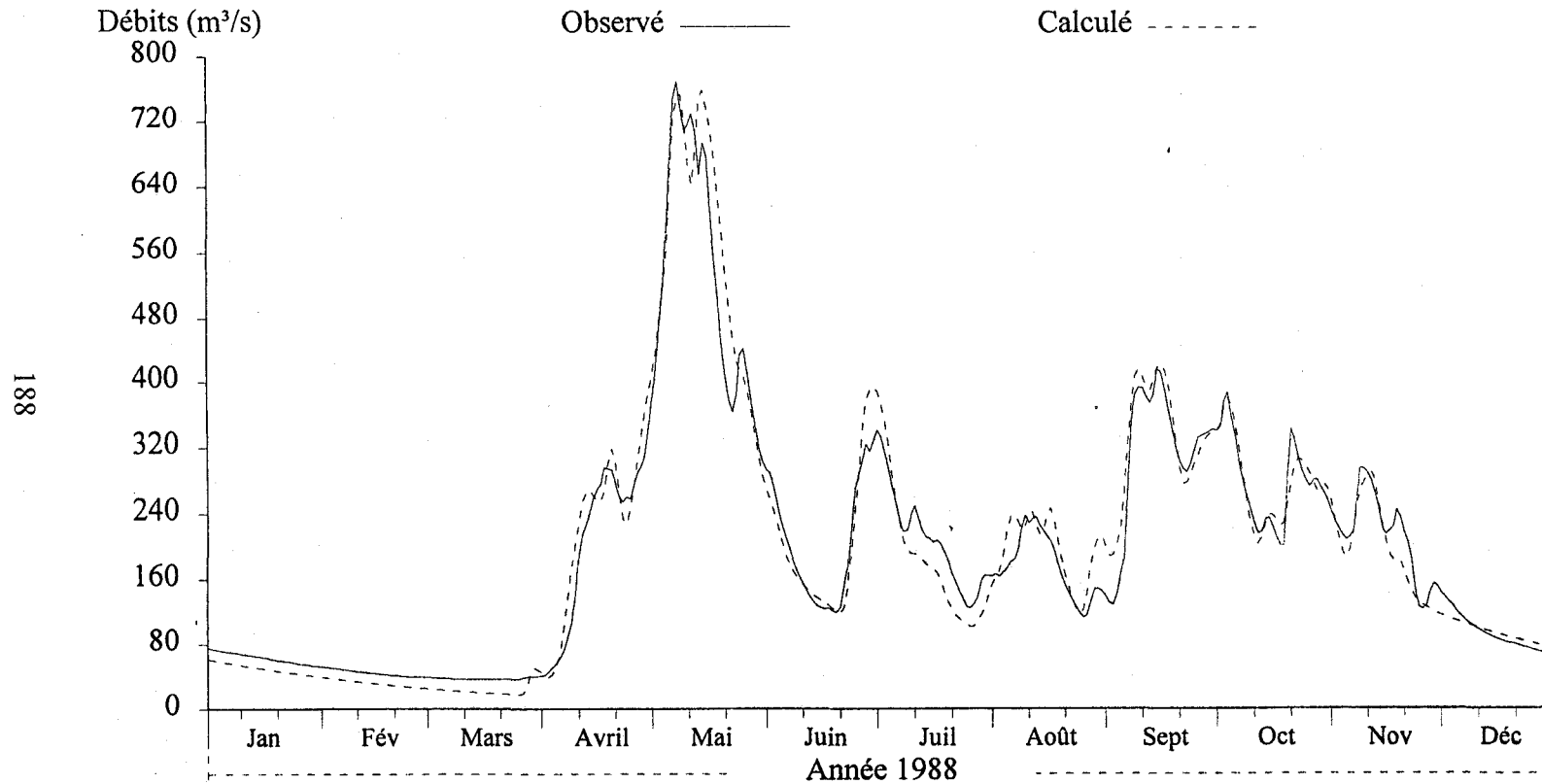


Figure A4 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1988.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9491

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 173.78 • cal.: 178.47  
Lame (mm) obs.: 588.02 • cal.: 603.87

189

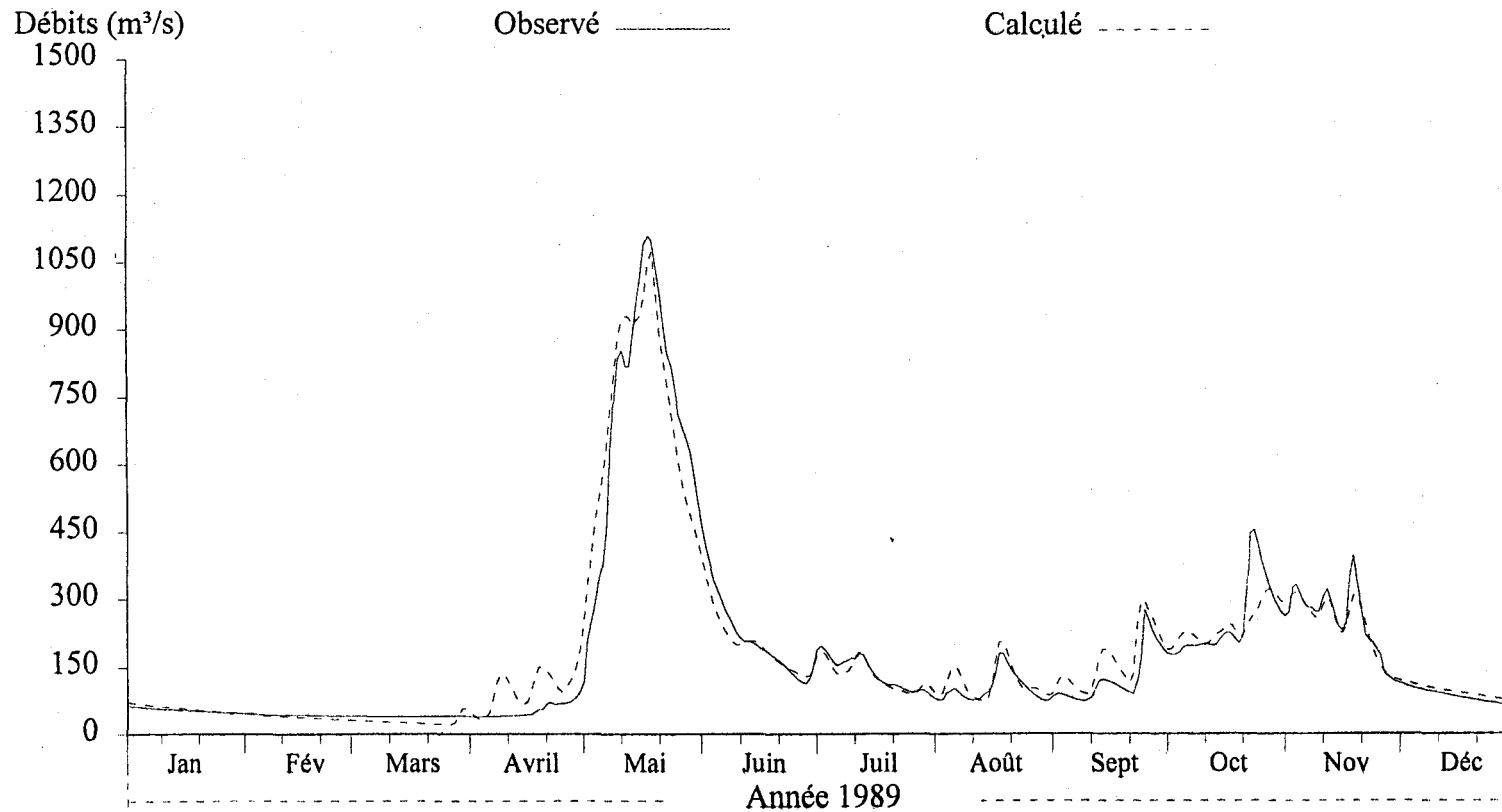


Figure A5 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1989.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9497

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 202.93 • cal.: 201.76  
Lame (mm) obs.: 686.66 • cal.: 682.68

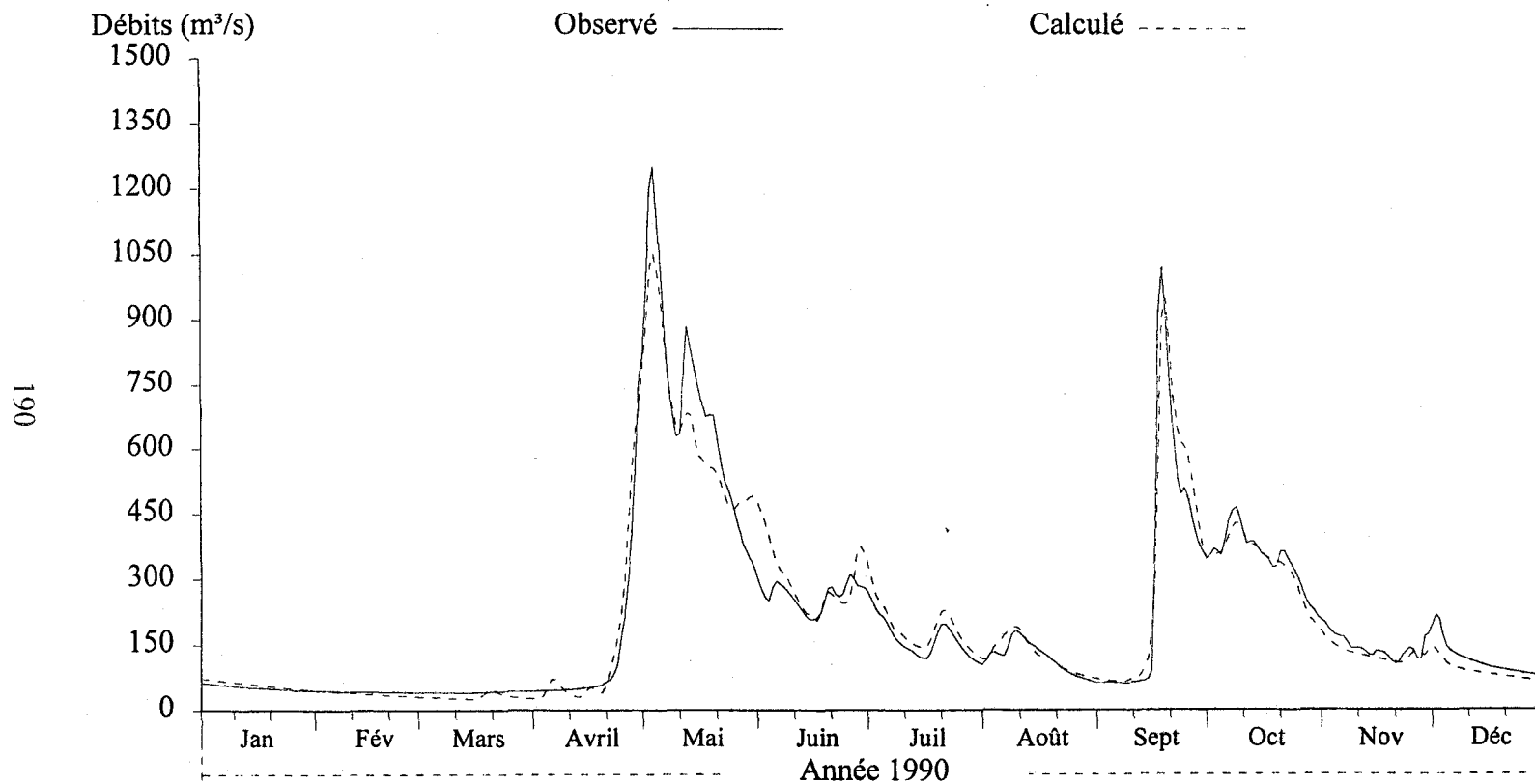


Figure A6 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1990.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9494

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 172.39 • cal.: 189.89  
Lame (mm) obs.: 583.33 • cal.: 642.53

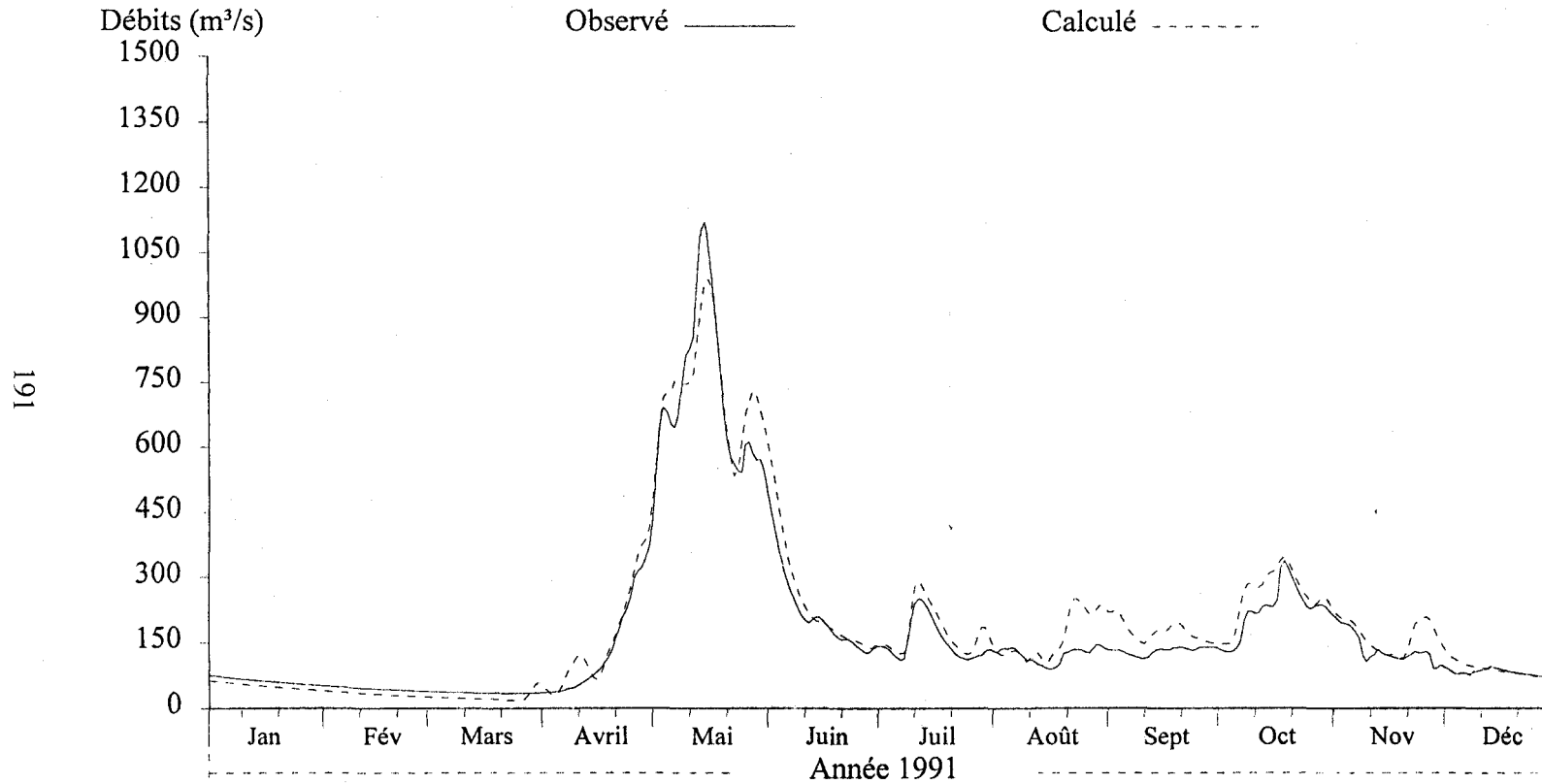


Figure A7 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1991.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9474

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 204.41 • cal.: 206.82  
Lame (mm) obs.: 693.55 • cal.: 701.72

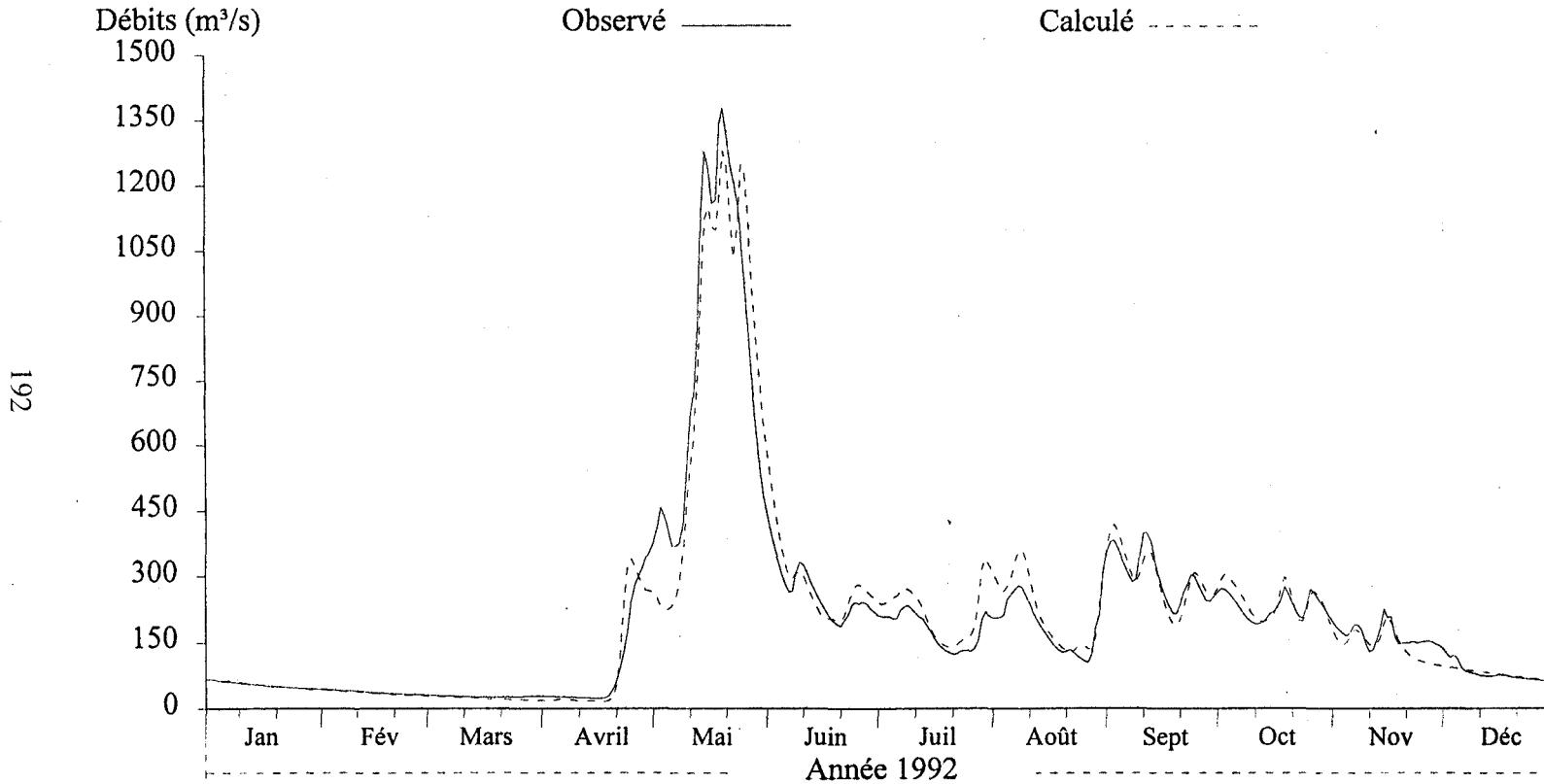


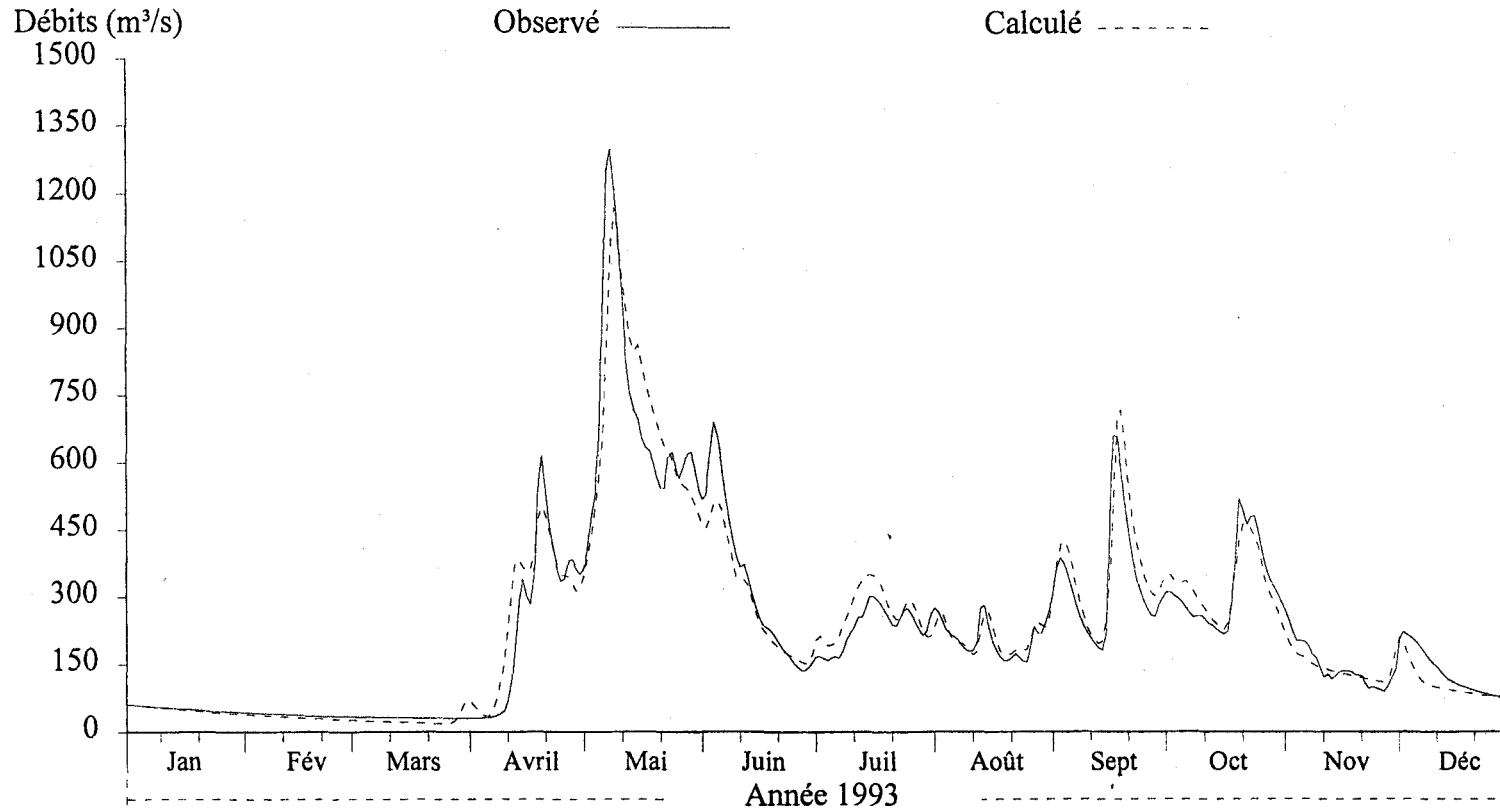
Figure A8 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1992.



## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9317

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 232.66 • cal.: 234.36  
Lame (mm) obs.: 787.24 • cal.: 793



193

Figure A9 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1993.

## Débits journaliers

Numéro de station: MISBI  
Superficie du bassin versant: 9320 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.7917\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 241.88\* • cal.: 264.97\*  
Lame (mm) obs.: 612.14\* • cal.: 670.58\*

194

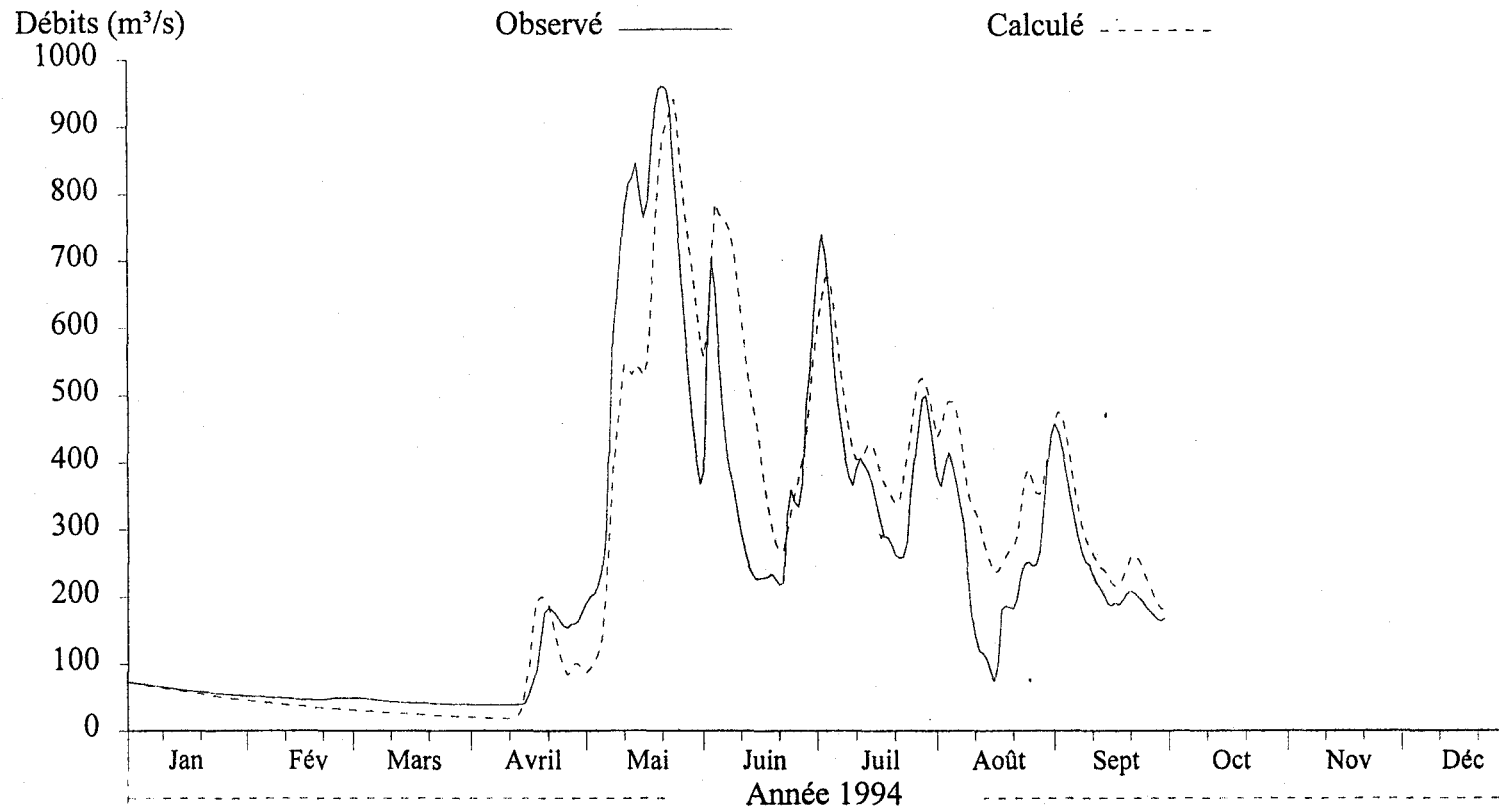


Figure A10 Débits journaliers observés et calculés à la station 062101 de la rivière Mistassibi (MISBI) pour l'année 1994.

**B**

**Débits journaliers observés et**

**calculés aux stations 962207, 62214 et  
62209, pour les années 1985 à 1995**

---



## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9239\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 197.86\* • cal.: 197.46  
Lame (mm) obs.: 641.52\* • cal.: 641.97

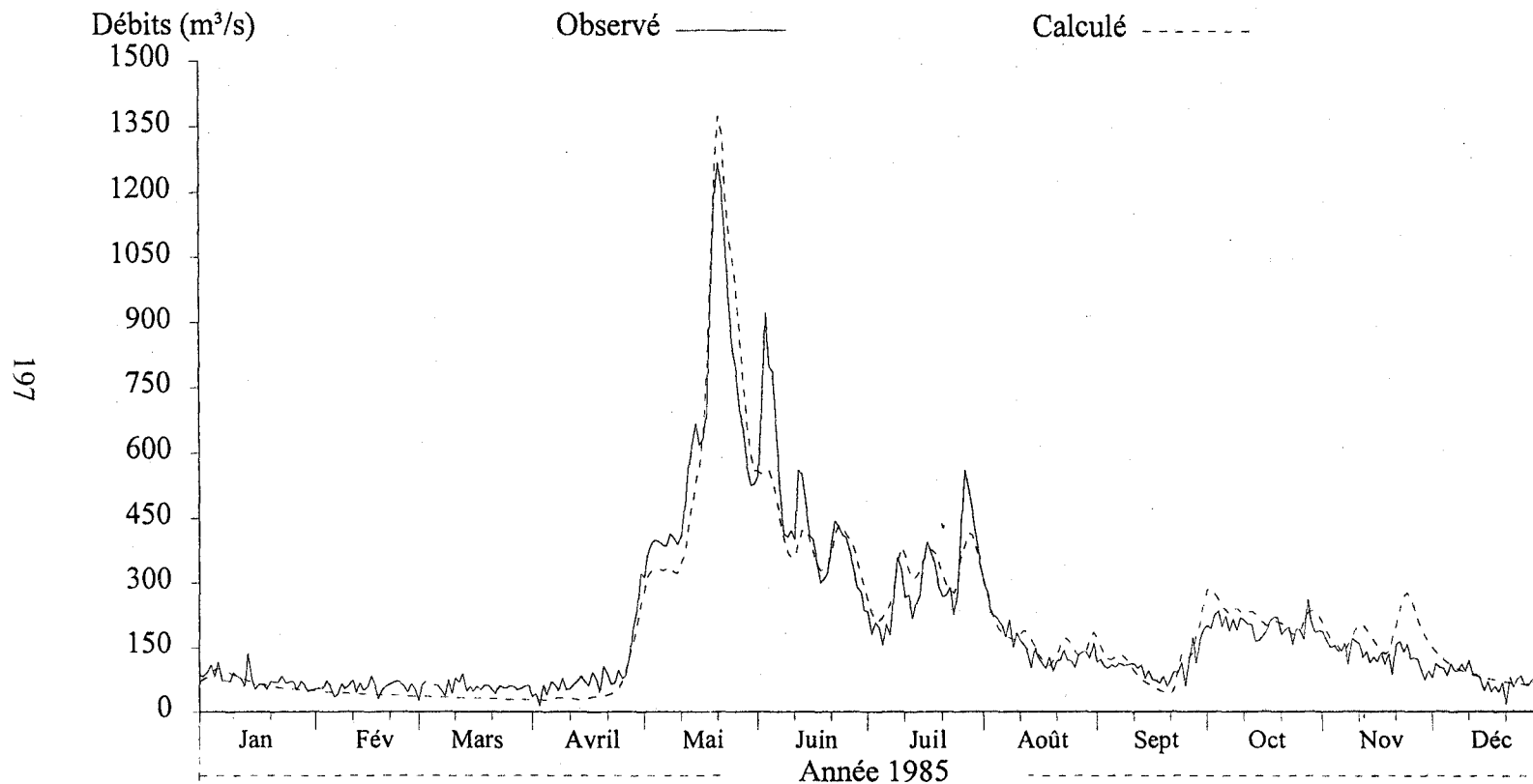


Figure B1 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1985.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9245

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 189.89 • cal.: 176.31  
Lame (mm) obs.: 617.37 • cal.: 573.19

198

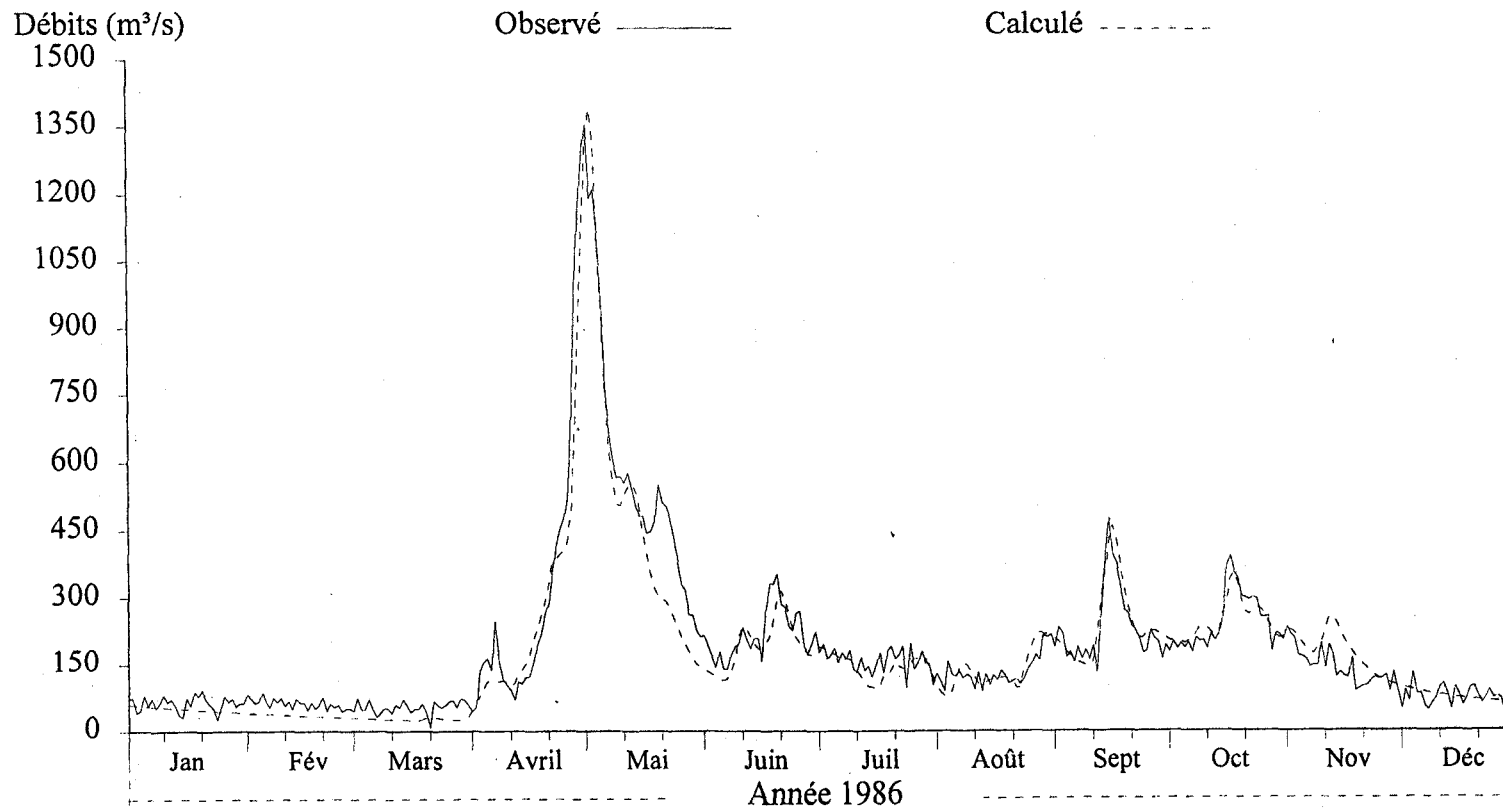


Figure B2 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1986.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.6706

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 173.36 • cal.: 163.11  
Lame (mm) obs.: 563.6 • cal.: 530.28

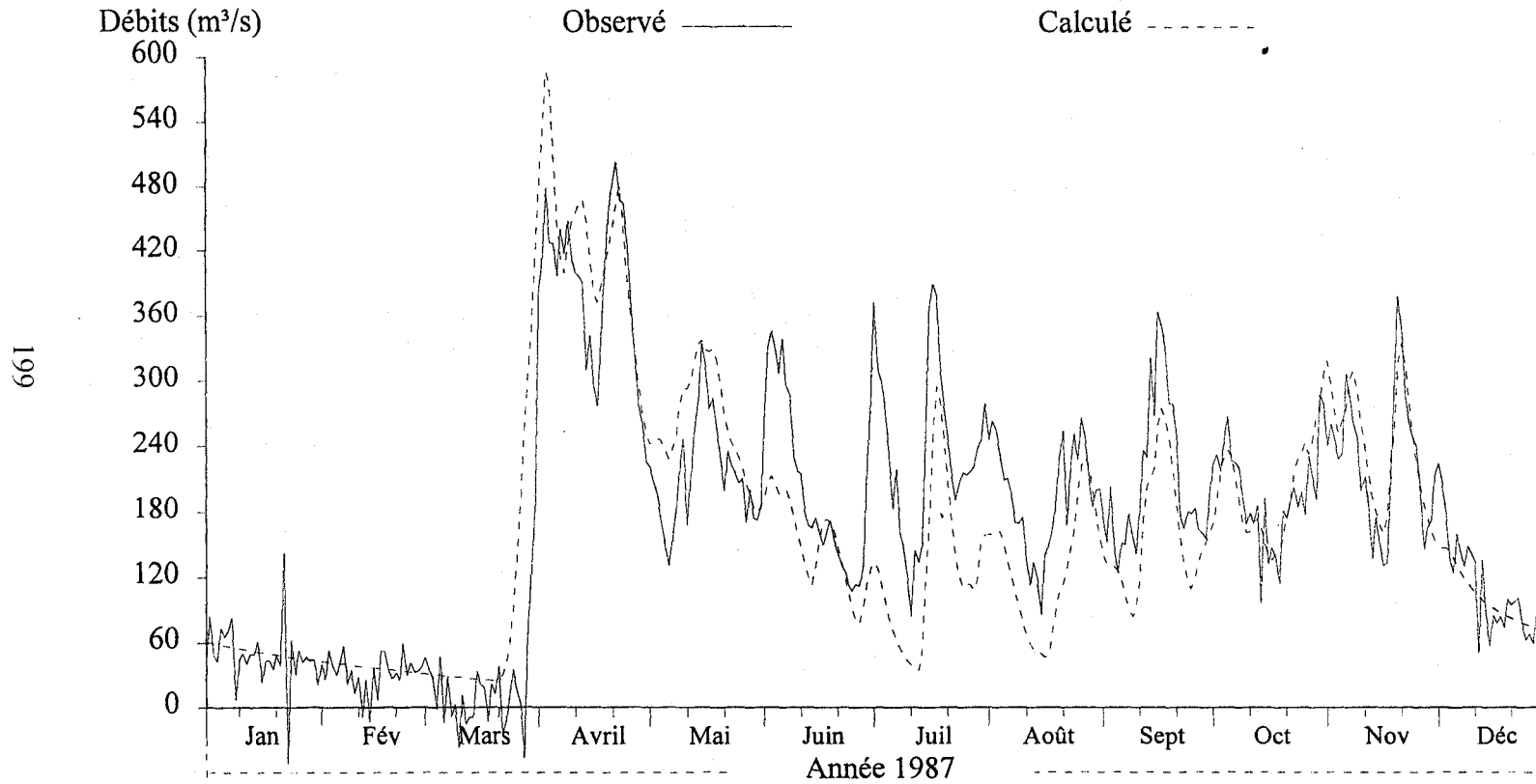


Figure B3 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1987.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8974

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 197.83 • cal.: 207.42  
Lame (mm) obs.: 644.94 • cal.: 676.21

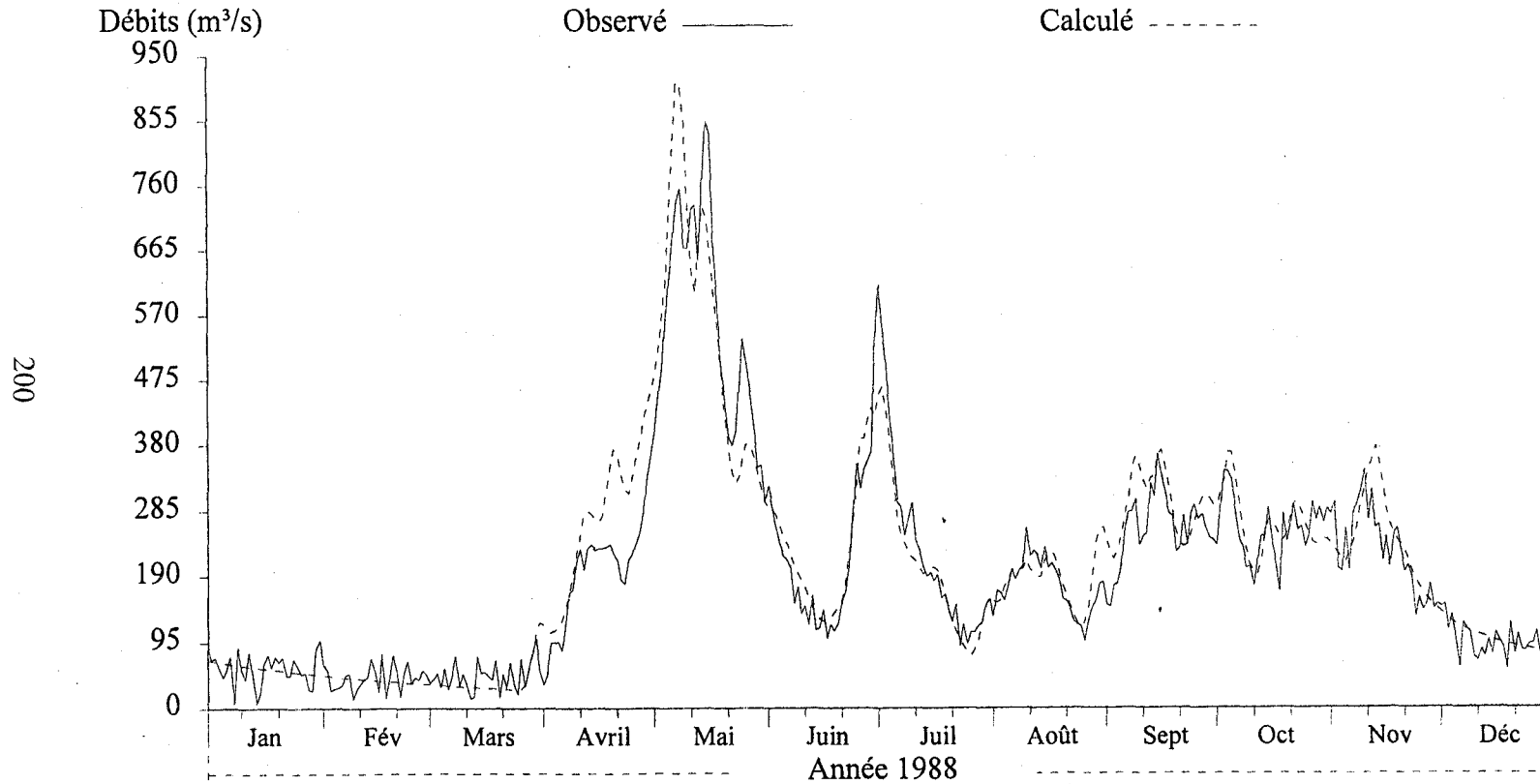


Figure B4 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1988.



## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9156

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 201.12 • cal.: 187.53  
Lame (mm) obs.: 653.86 • cal.: 609.69

201

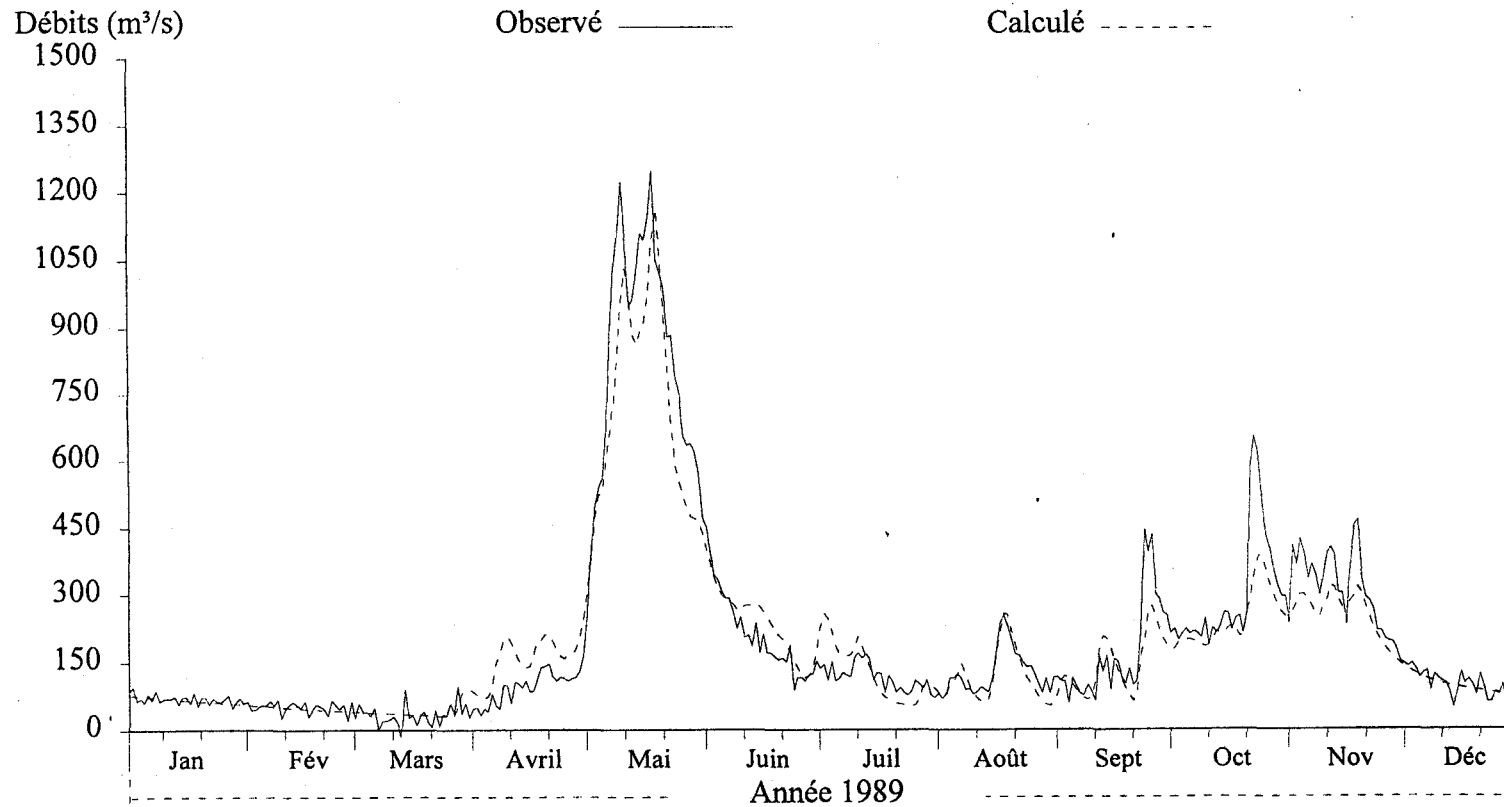


Figure B5 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1989.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8688\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 186.18\* • cal.: 200.19  
Lame (mm) obs.: 603.64\* • cal.: 650.83

202

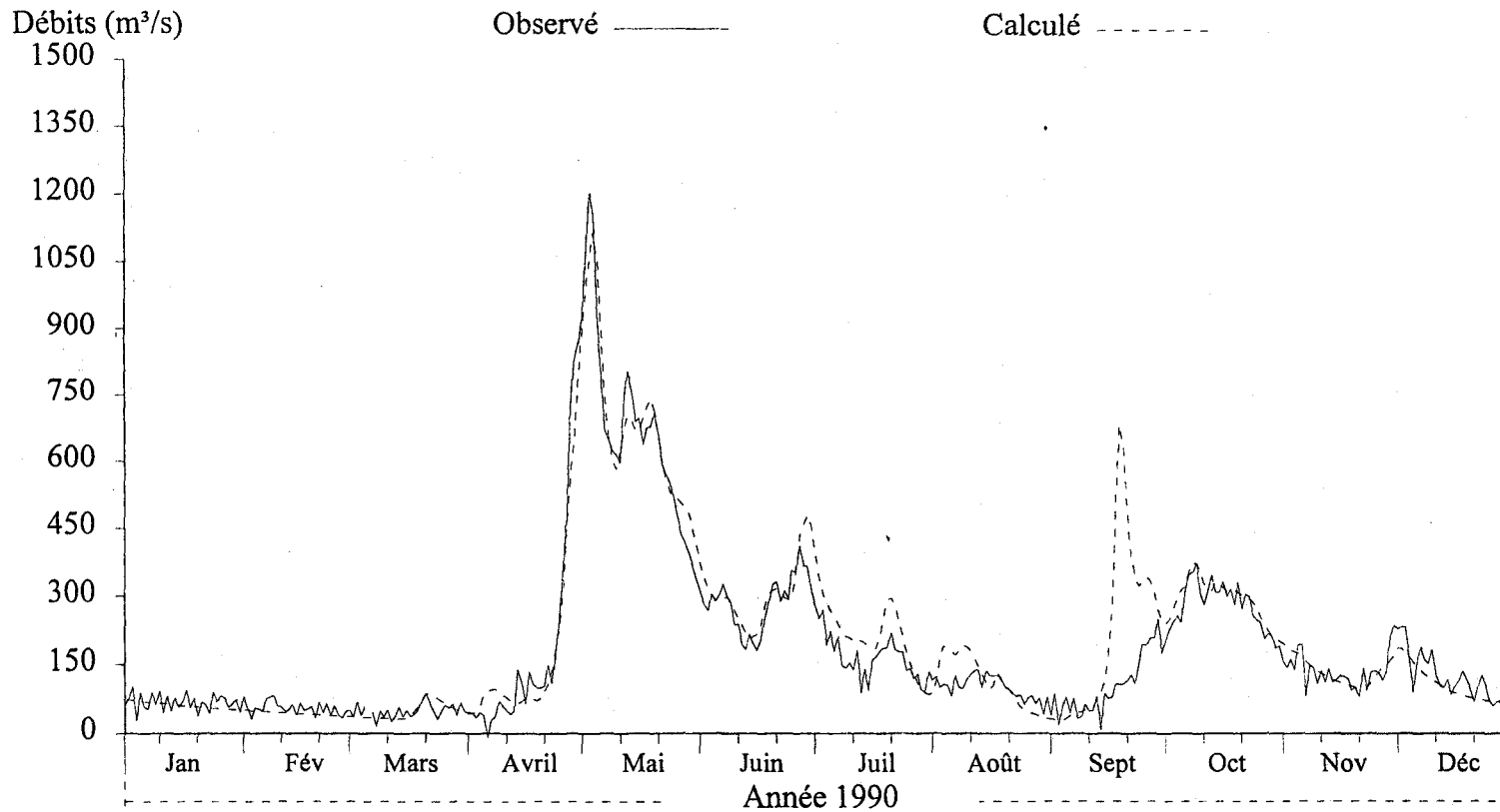


Figure B6 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1990.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9473

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 178.02 • cal.: 186.63  
Lame (mm) obs.: 578.77 • cal.: 606.74

205

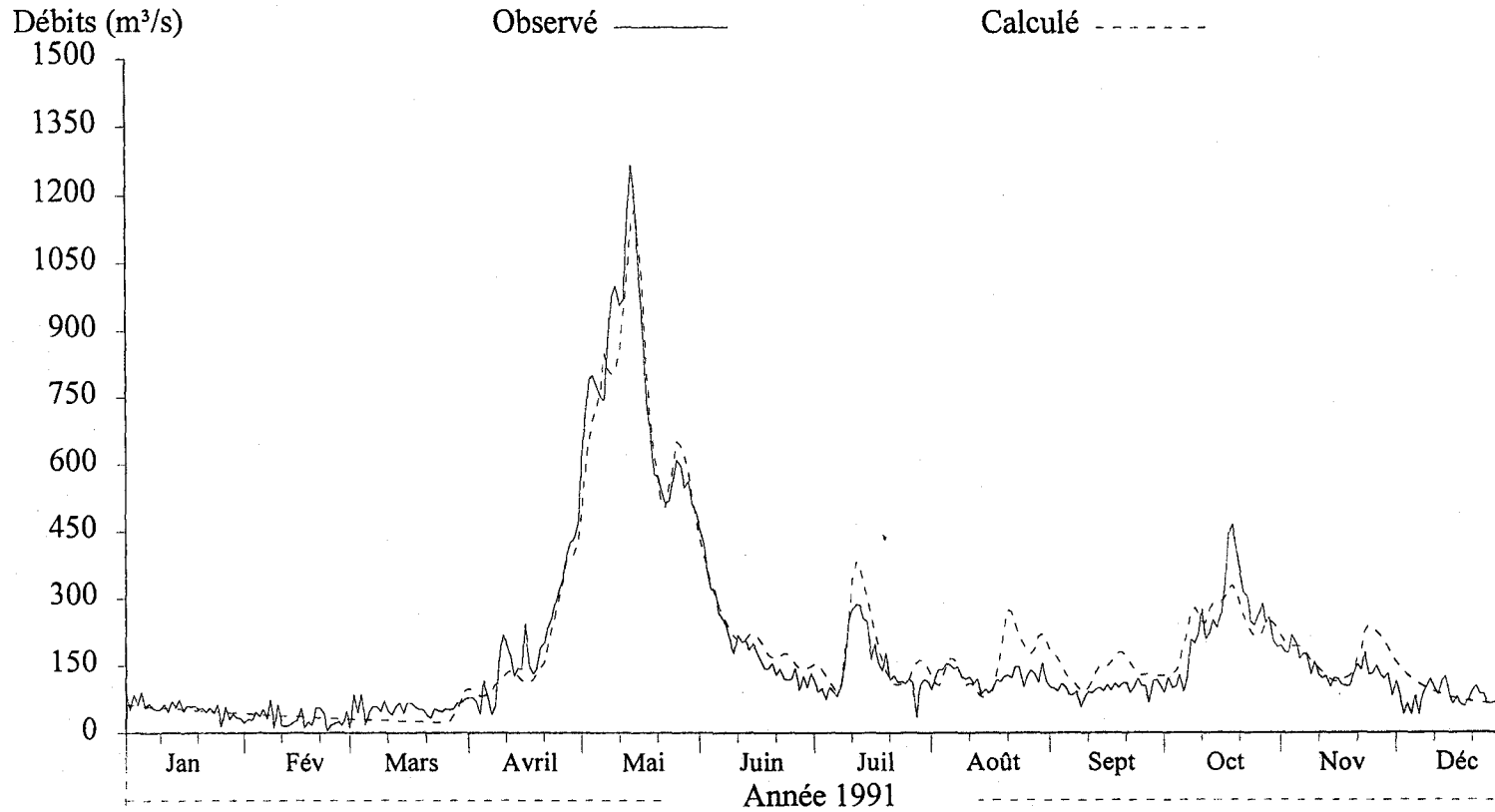


Figure B7 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1991.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9491

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 232.98 • cal.: 215.33  
Lame (mm) obs.: 759.54 • cal.: 701.97

204

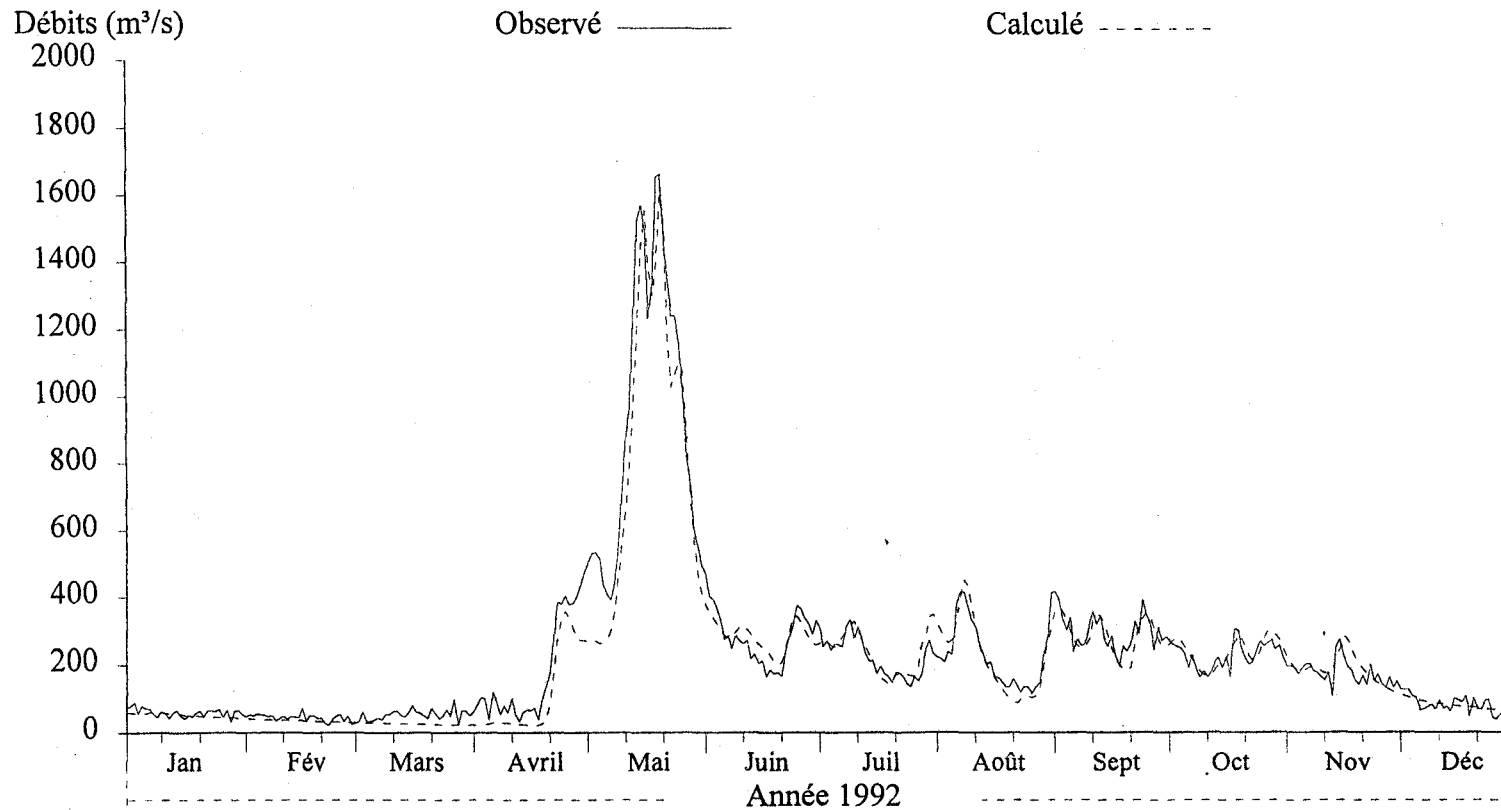


Figure B8 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1992.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8939

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 234.37 • cal.: 250.56  
Lame (mm) obs.: 761.96 • cal.: 814.61

205

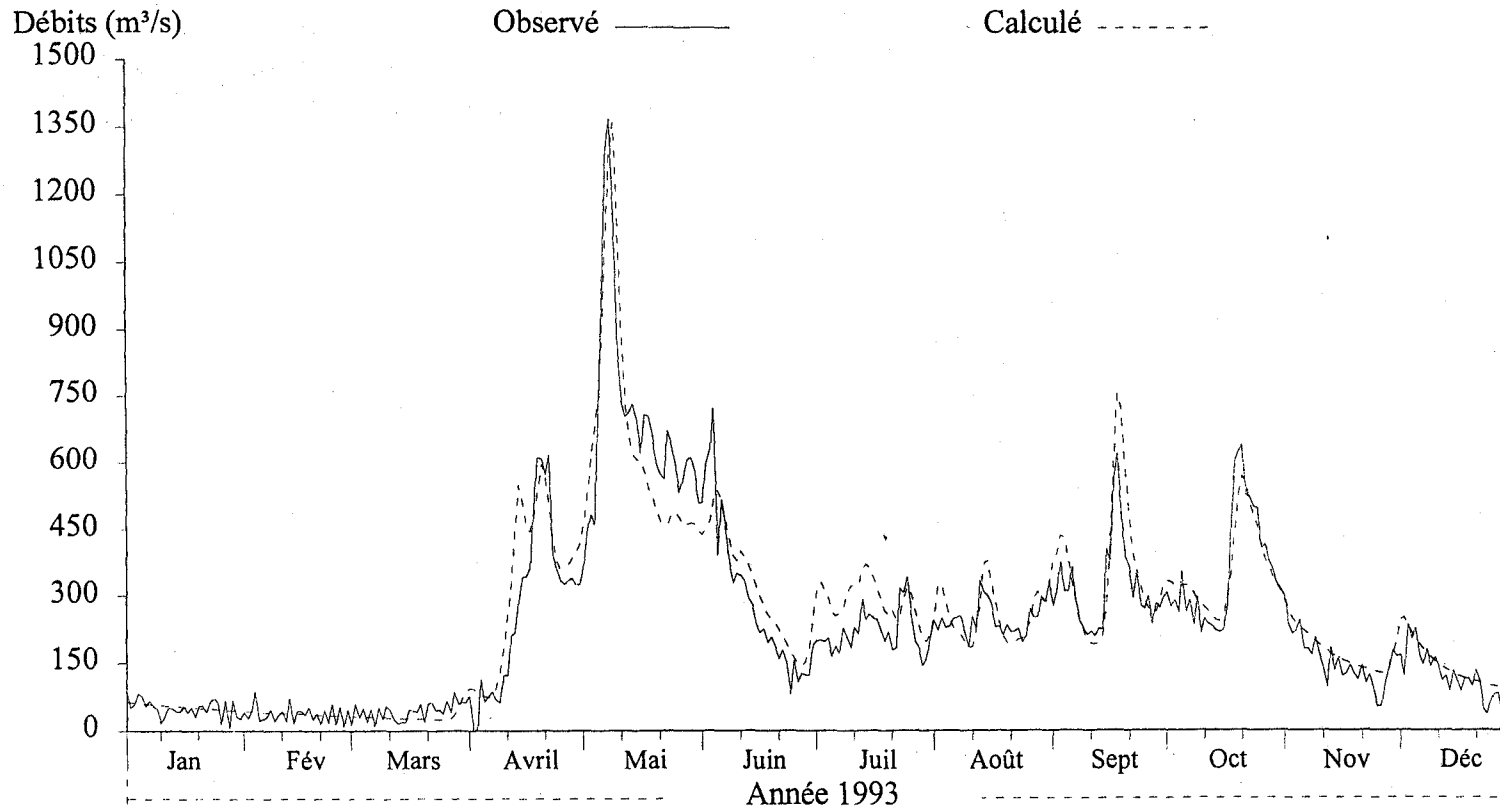
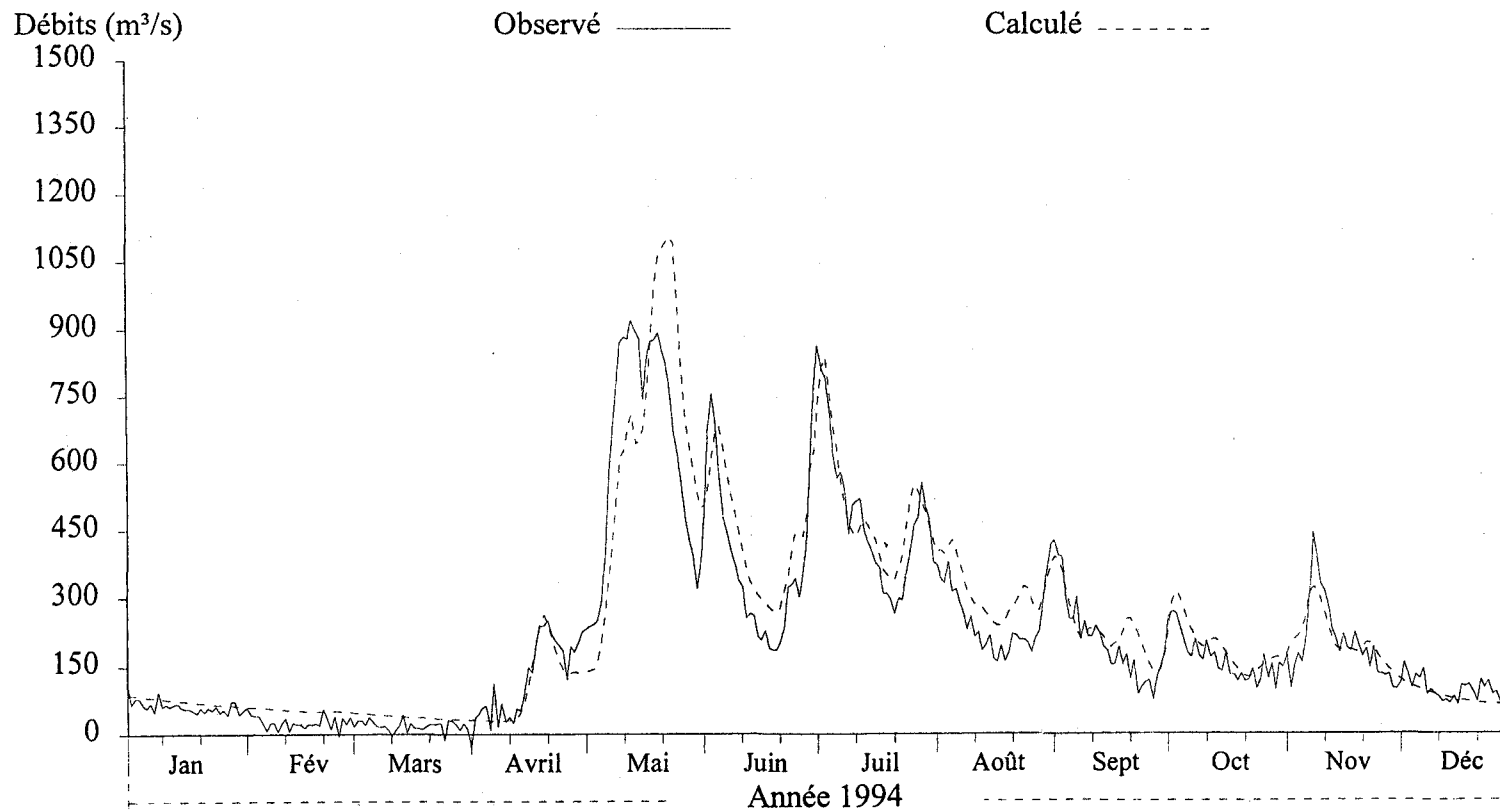


Figure B9 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1993.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8599

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 220.48 • cal.: 240.7  
Lame (mm) obs.: 716.81 • cal.: 782.55



206

Figure B10 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1994.

## Débits journaliers

Numéro de station: CD  
Superficie du bassin versant: 9700 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8266

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 212.94 • cal.: 231.77  
Lame (mm) obs.: 692.3 • cal.: 753.52

207

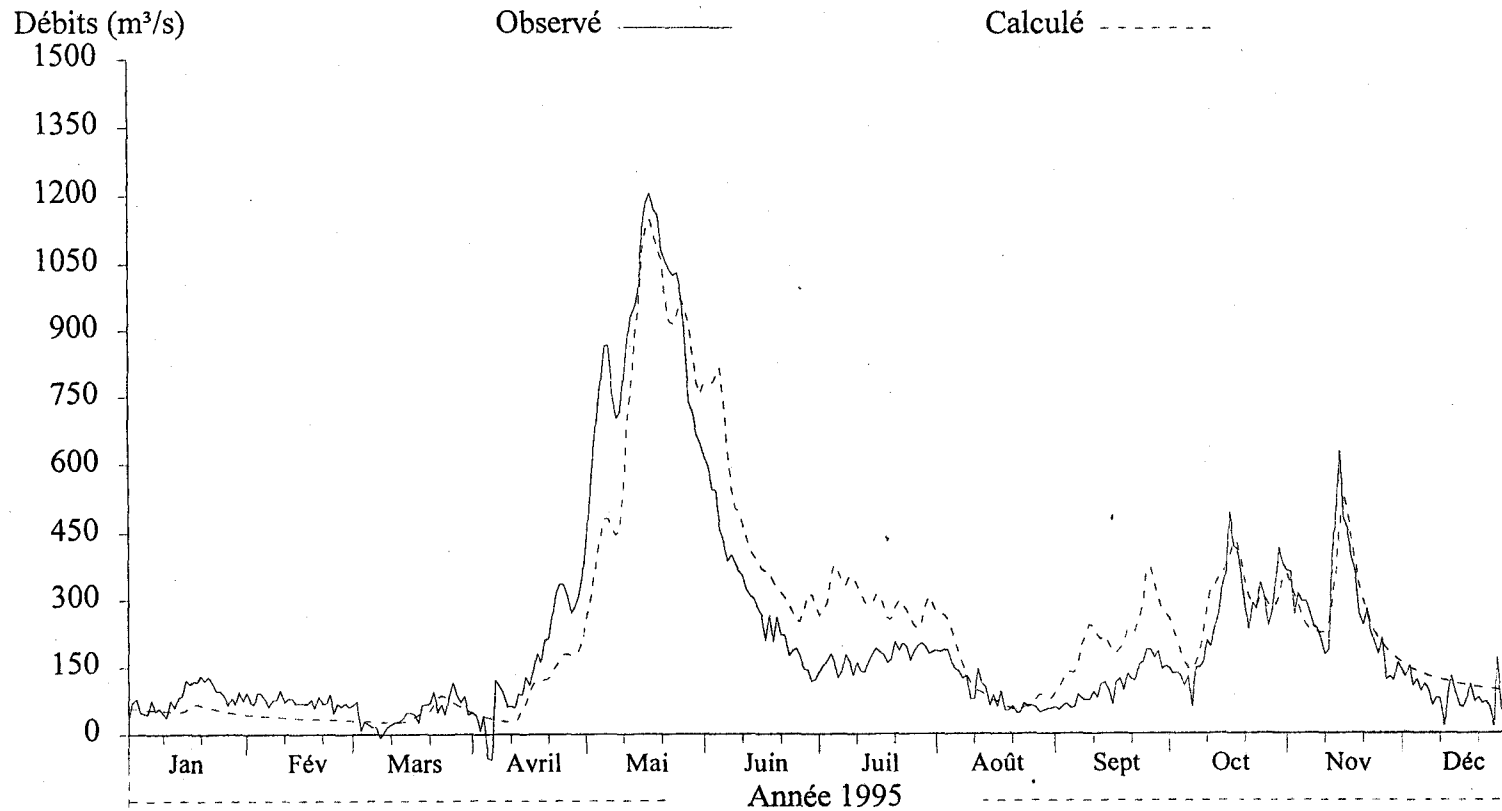


Figure B11 Débits journaliers observés et calculés à l'exutoire du bassin versant Chute-du-Diable (CD) pour l'année 1995.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8807

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 75.176 • cal.: 75.027  
Lame (mm) obs.: 658.54 • cal.: 657.24

208

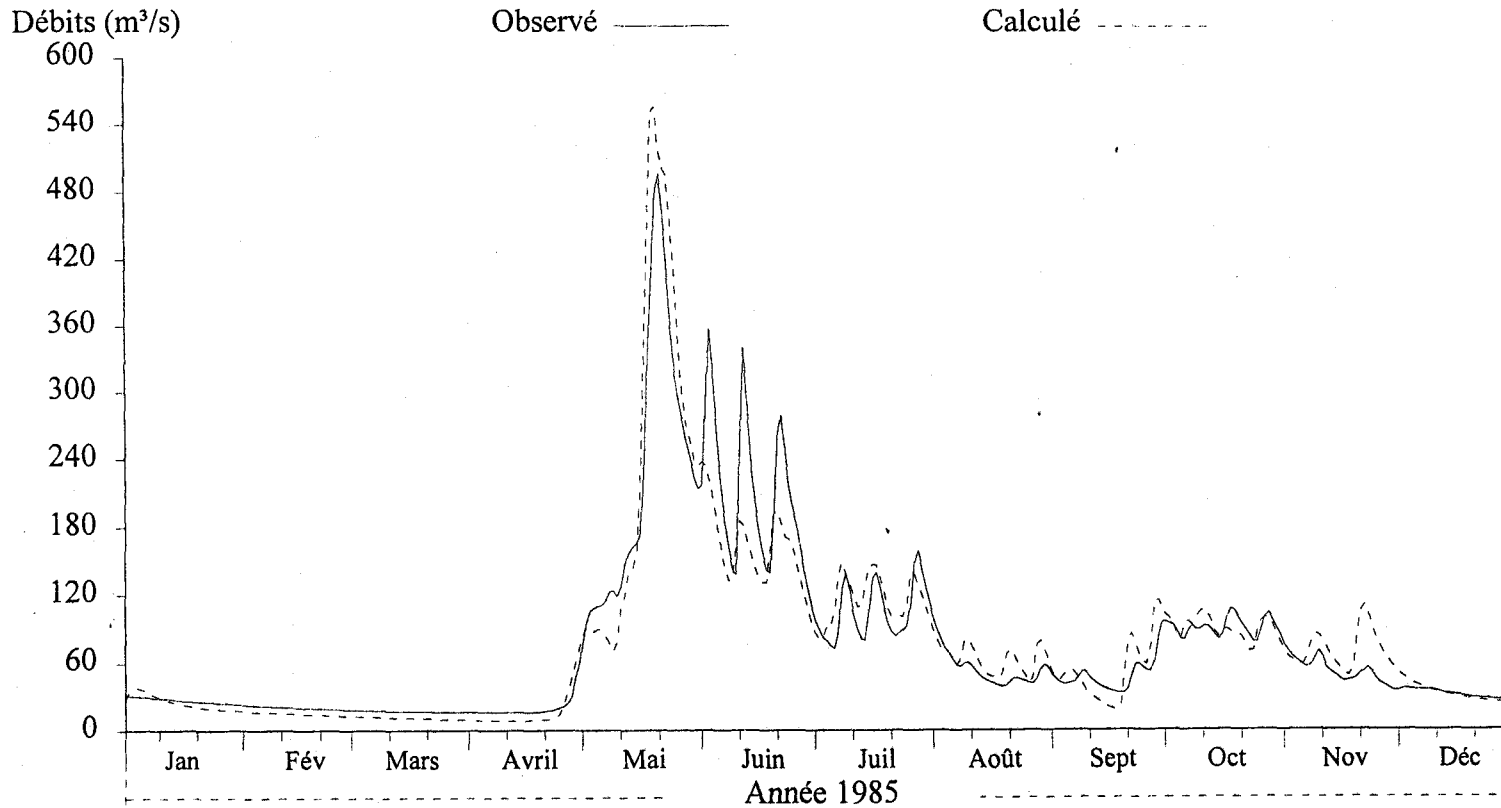


Figure B12 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1985.



## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.898

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 69.008 • cal.: 64.084  
Lame (mm) obs.: 604.51 • cal.: 561.37

209

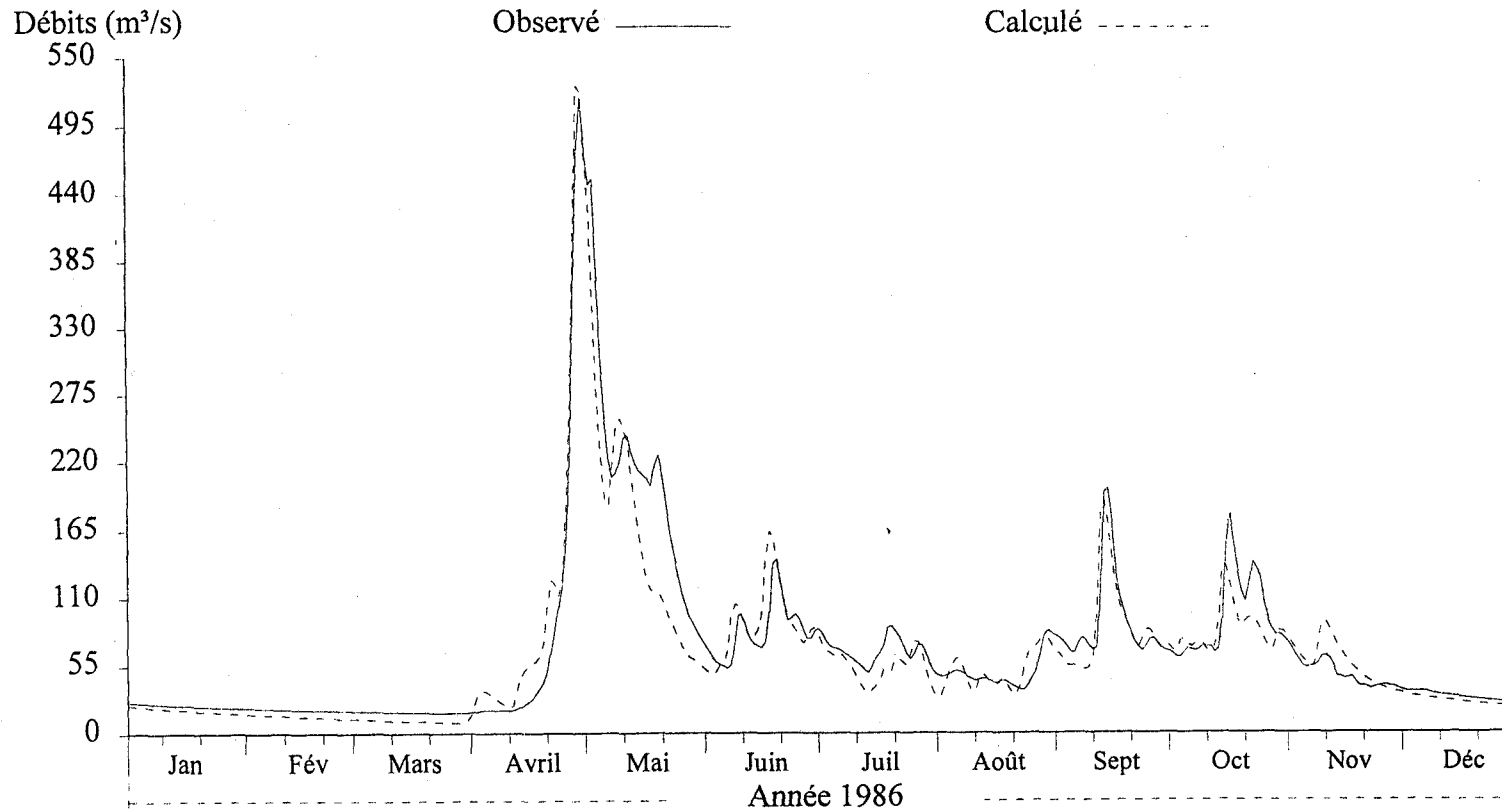


Figure B13 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1986.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.5069

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 74.408 • cal.: 65.29  
Lame (mm) obs.: 651.82 • cal.: 571.94

210

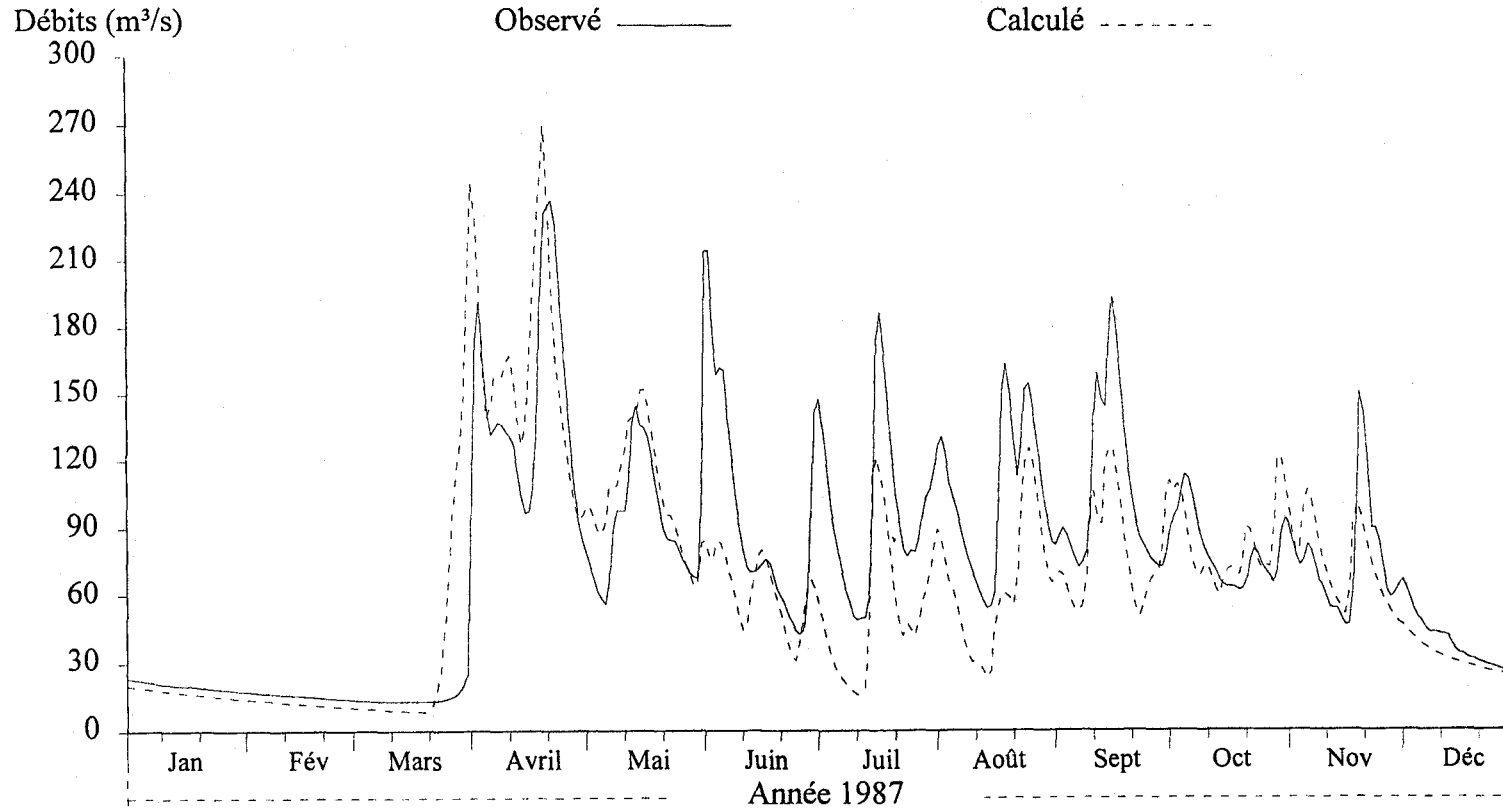
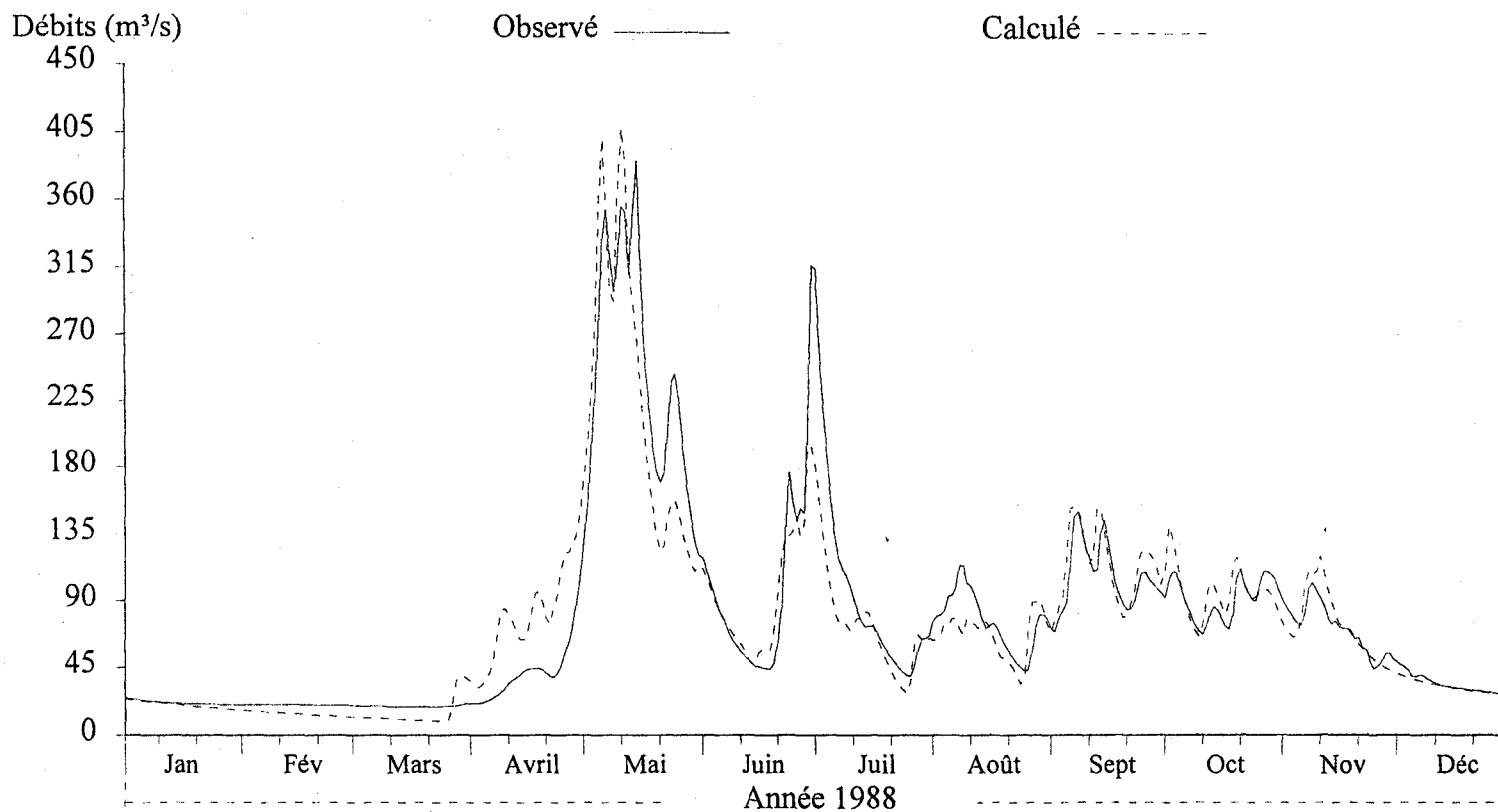


Figure B14 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1987.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8592

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 76.689 • cal.: 75.218  
Lame (mm) obs.: 673.64 • cal.: 660.72



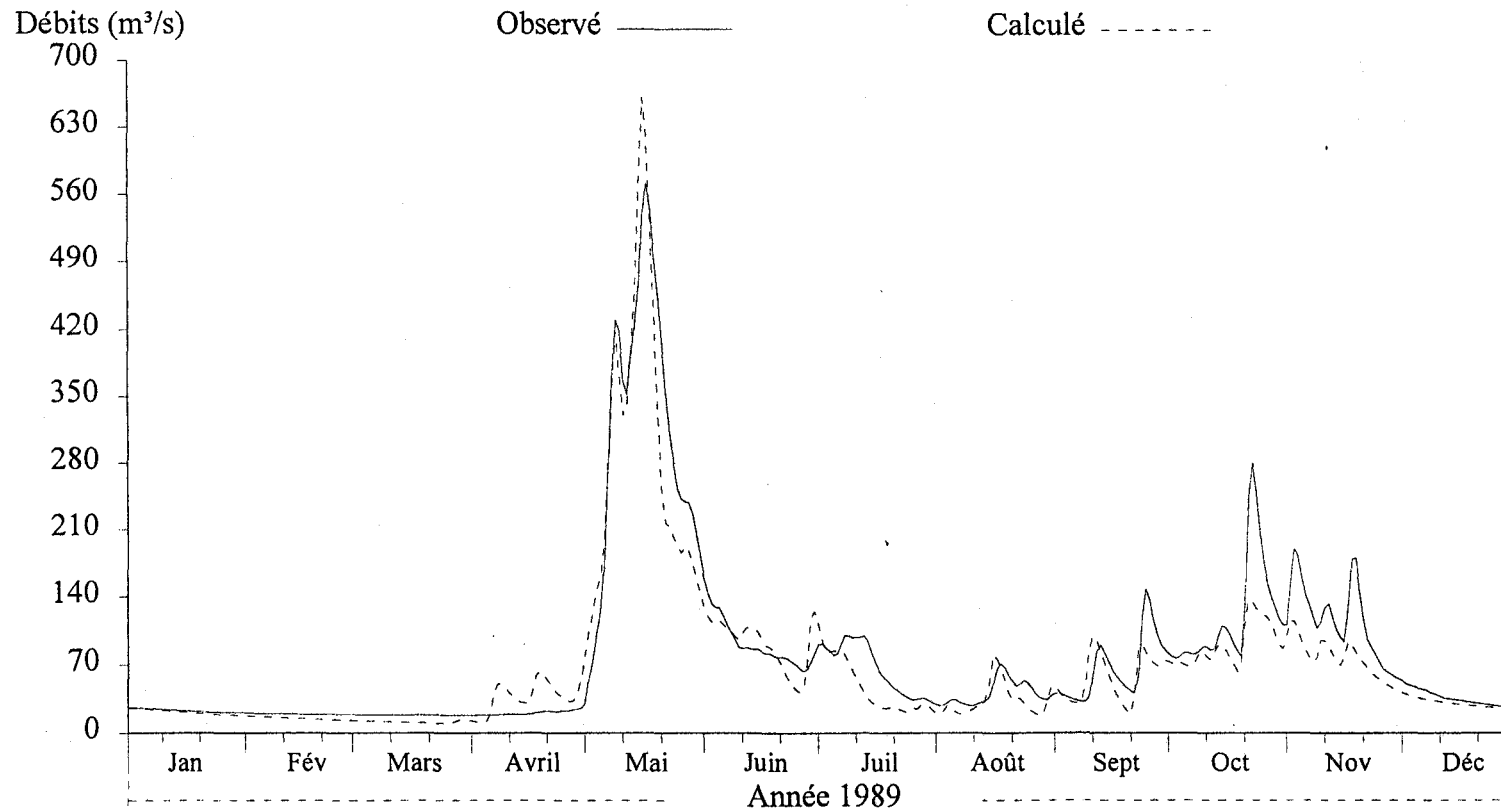
211

Figure B15 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1988.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8888

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 77.83 • cal.: 67.257  
Lame (mm) obs.: 681.79 • cal.: 589.17



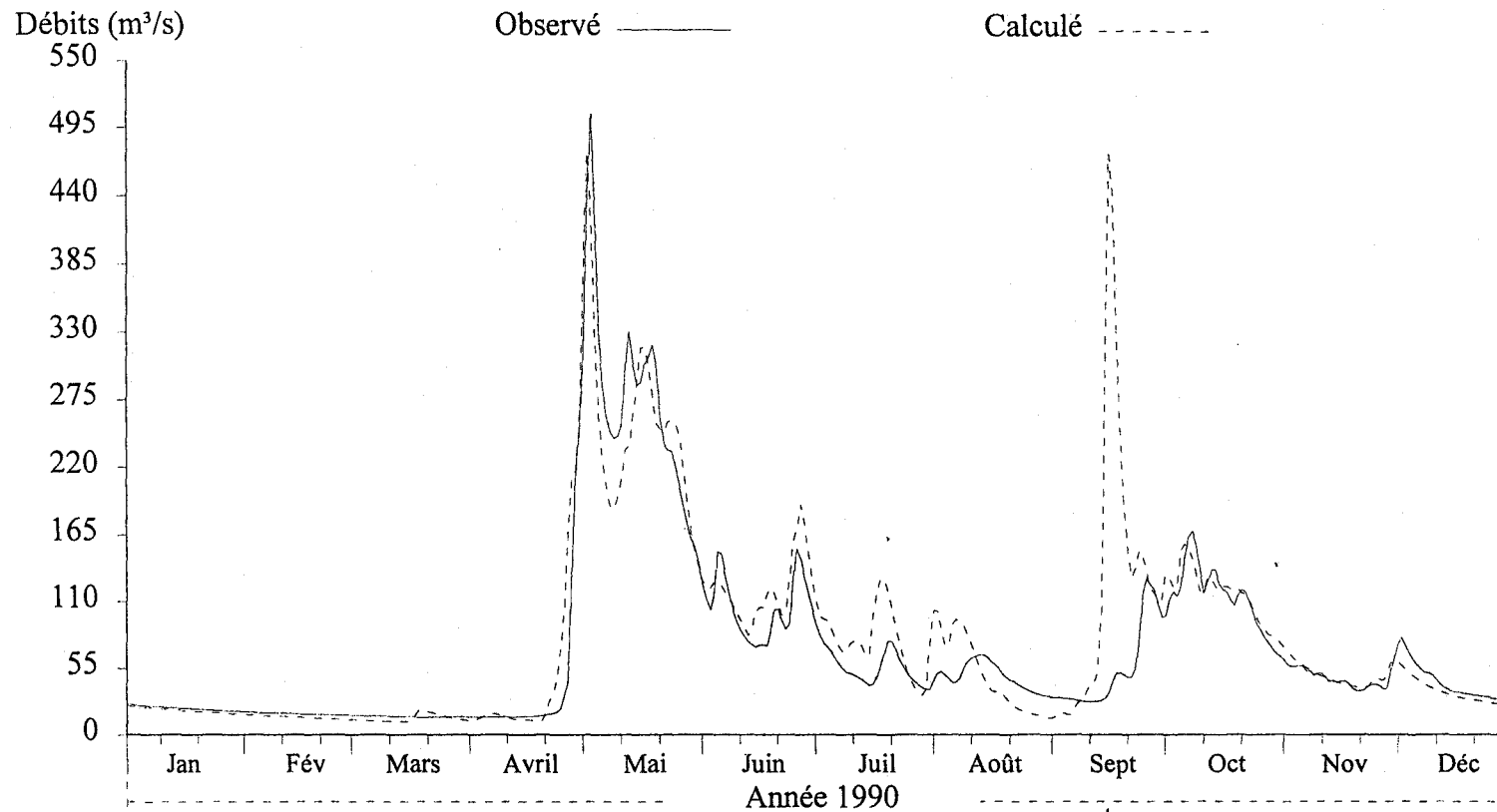
212

Figure B16 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1989.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.6334

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 69.727 • cal.: 77.783  
Lame (mm) obs.: 610.81 • cal.: 681.38



213

Figure B17 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1990.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9218

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 69.608 • cal.: 69.114  
Lame (mm) obs.: 609.77 • cal.: 605.43

214

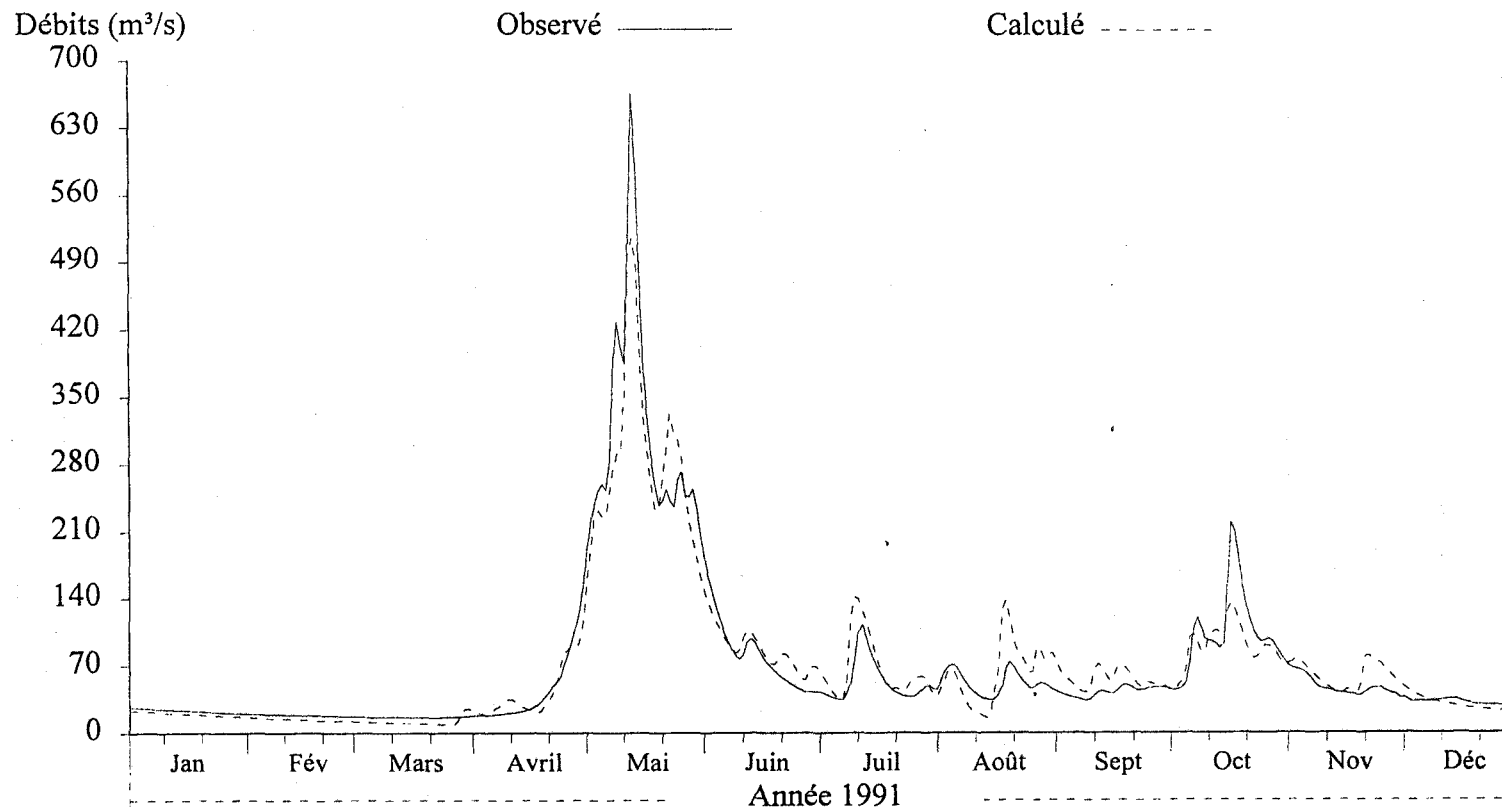
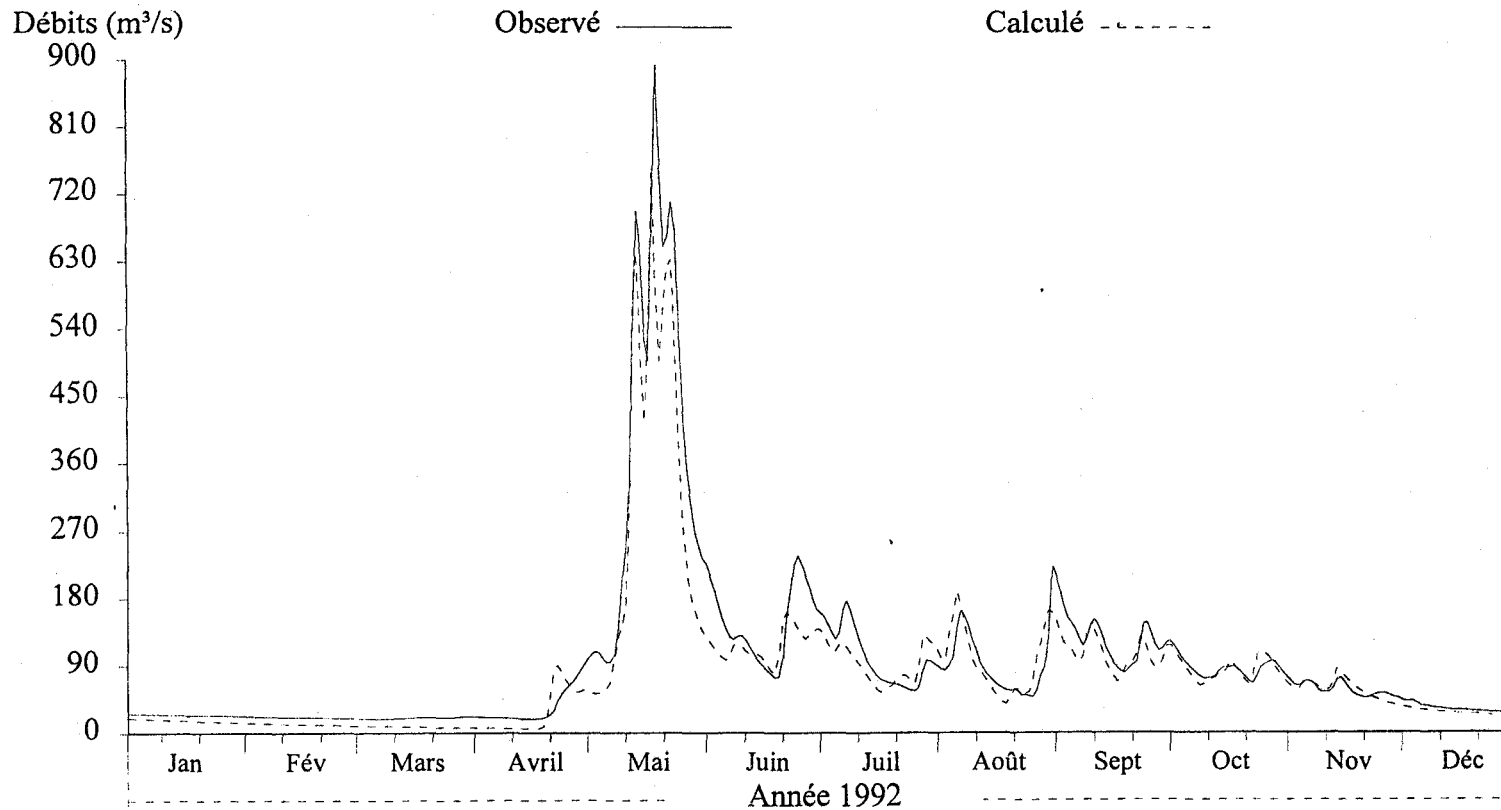


Figure B18 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1991.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.9003

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 94.217 • cal.: 79.645  
Lame (mm) obs.: 827.6 • cal.: 699.6



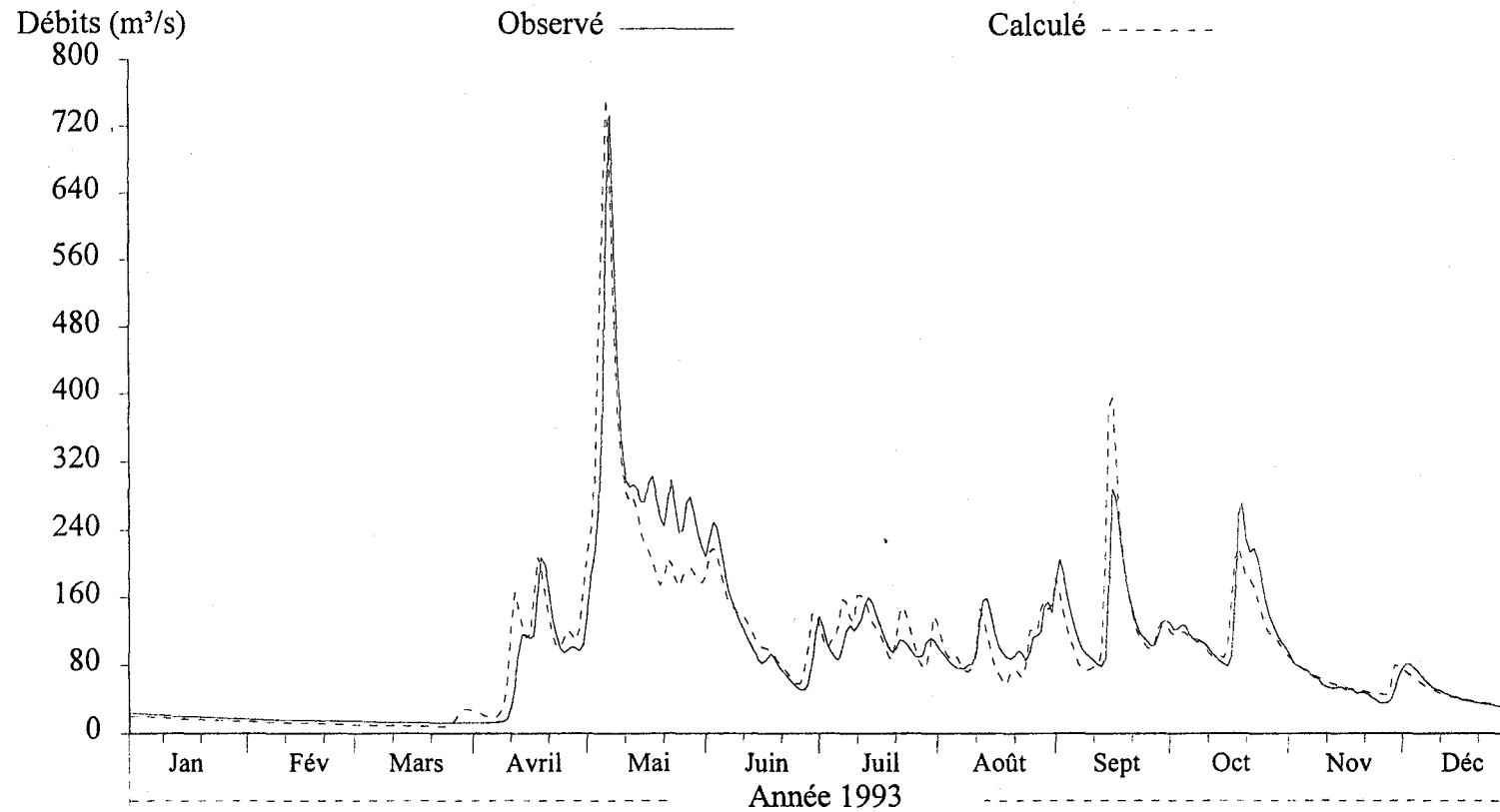
215

Figure B19 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1992.

## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.861

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 97.215 • cal.: 96.517  
Lame (mm) obs.: 851.6 • cal.: 845.49



216

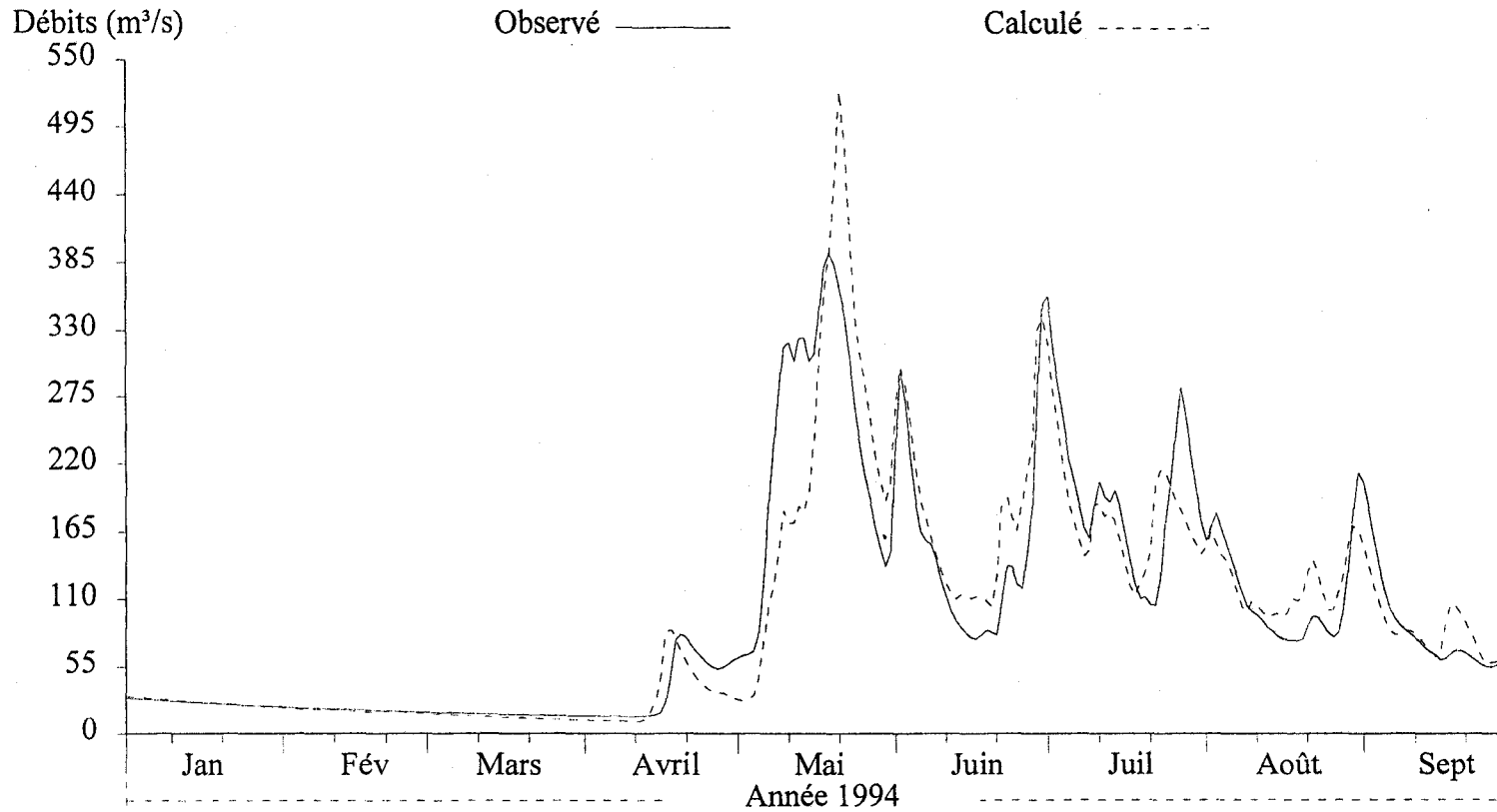
Figure B20 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1993.



## Débits journaliers

Numéro de station: MANOU  
Superficie du bassin versant: 3600 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8328

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 98.694 • cal.: 98.706  
Lame (mm) obs.: 646.64 • cal.: 646.72



217

Figure B21 Débits journaliers observés et calculés à la station 062209 de la rivière Manouane (MANOU) pour l'année 1994.

## Débits journaliers

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.7227\*

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 35.234\* • cal.: 43.686  
Lame (mm) obs.: 309.96\* • cal.: 626.22

218

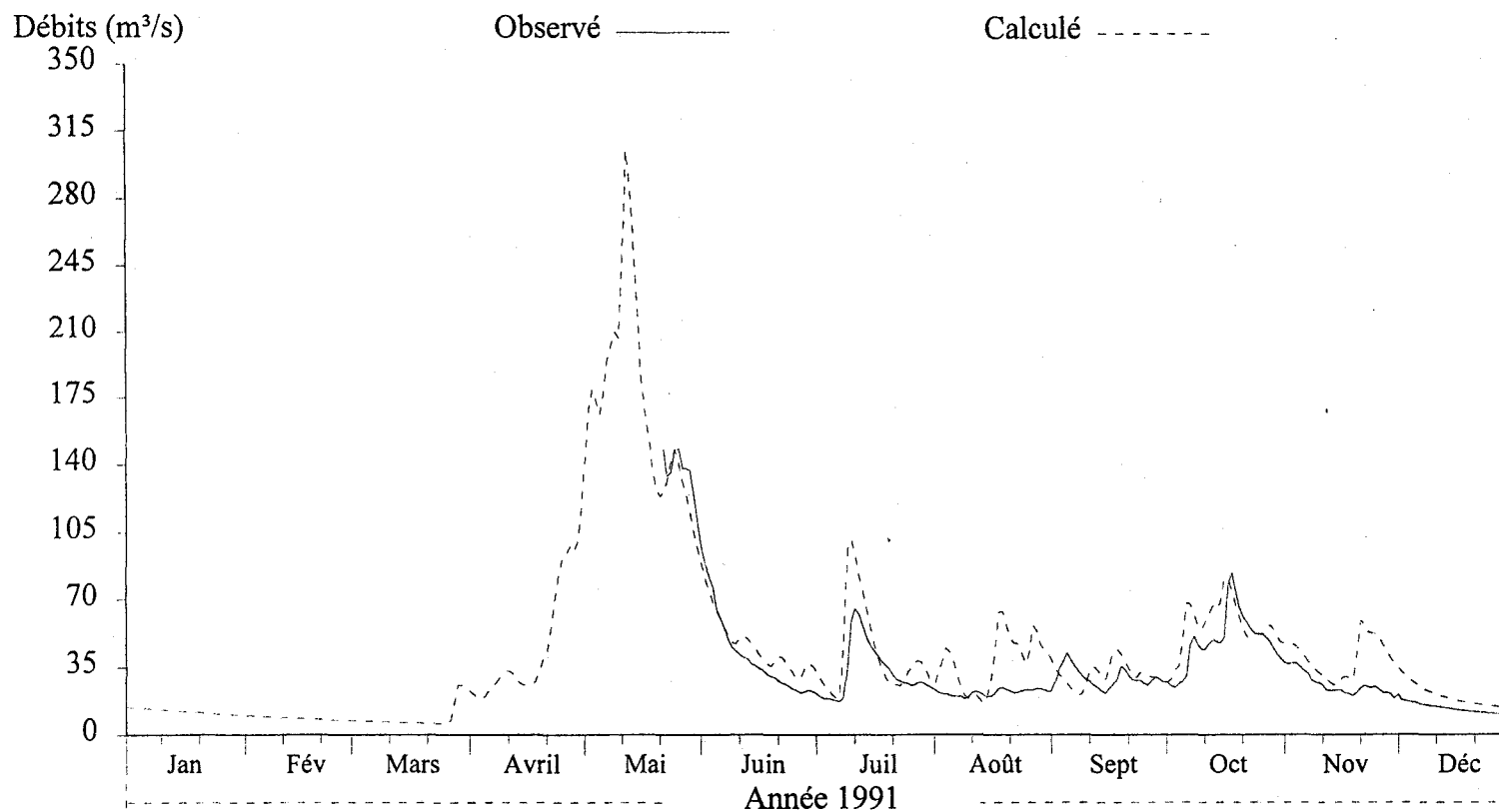
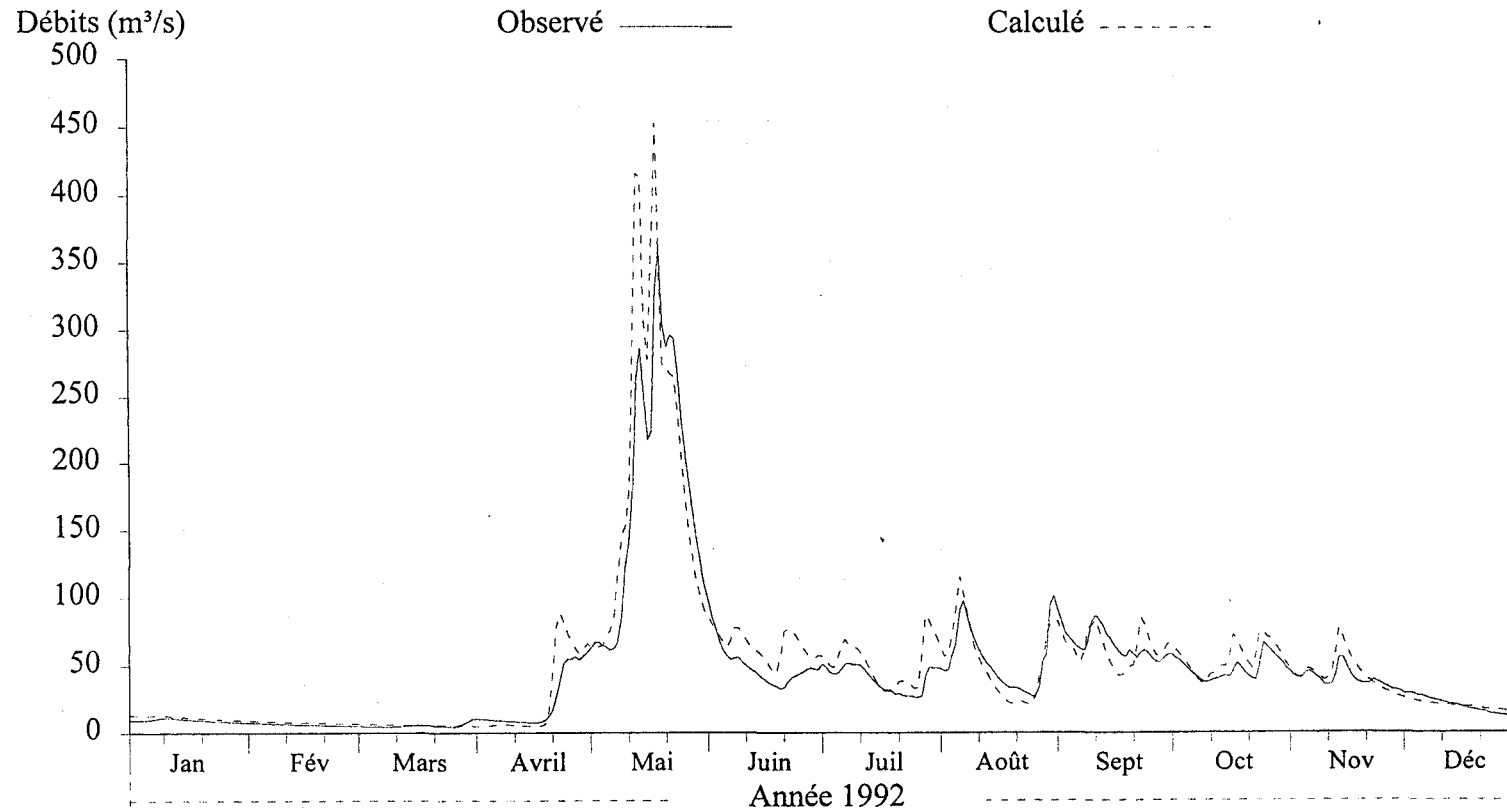


Figure B22 Débits journaliers observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent (SERP) pour l'année 1991.

## Débits journaliers

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.8606

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 45.312 • cal.: 50.537  
Lame (mm) obs.: 651.3 • cal.: 726.41



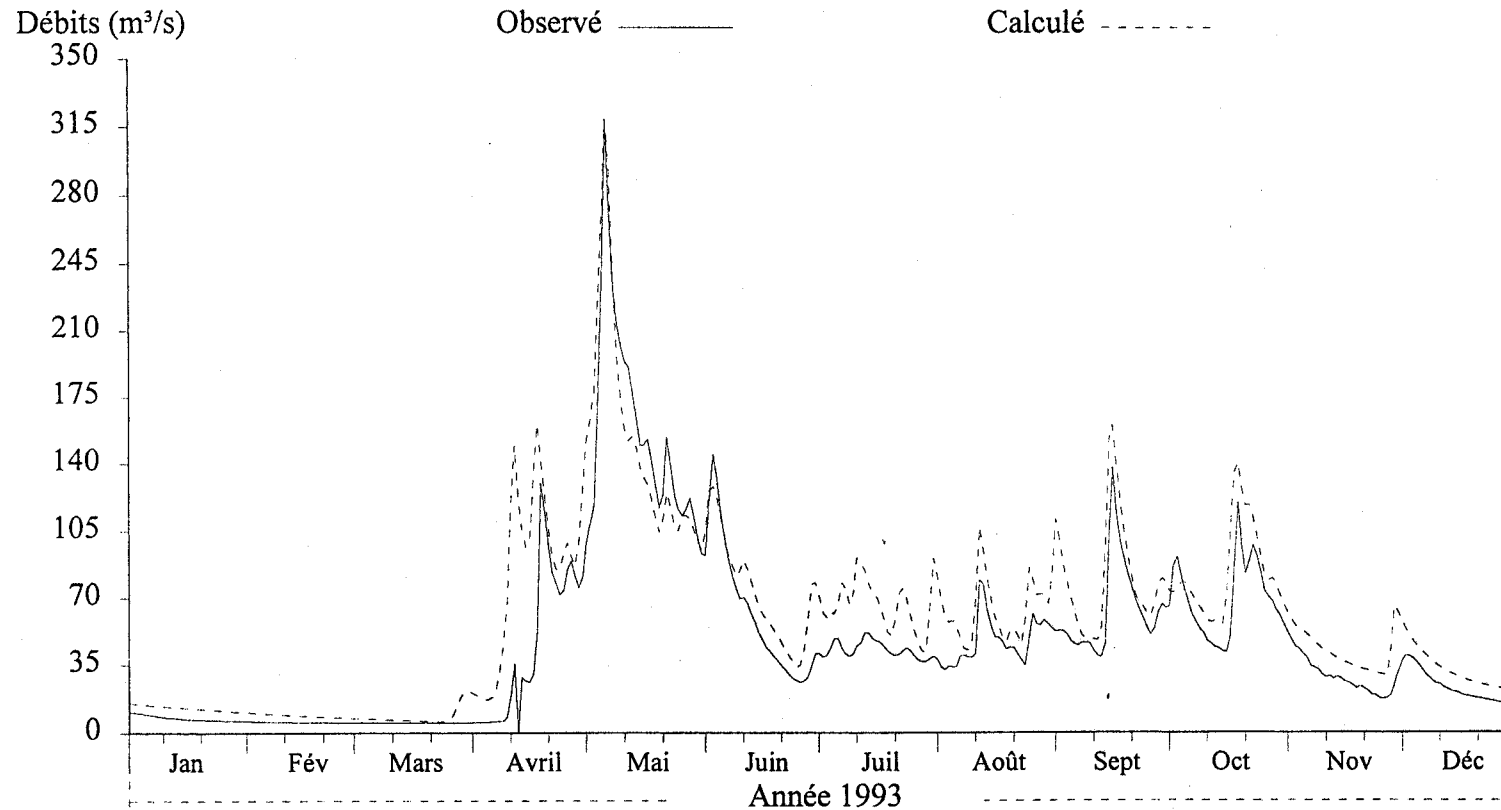
219

Figure B23 Débits journaliers observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent (SERP) pour l'année 1992.

## Débits journaliers

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.7547

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 46.589 • cal.: 59.363  
Lame (mm) obs.: 667.83 • cal.: 850.94



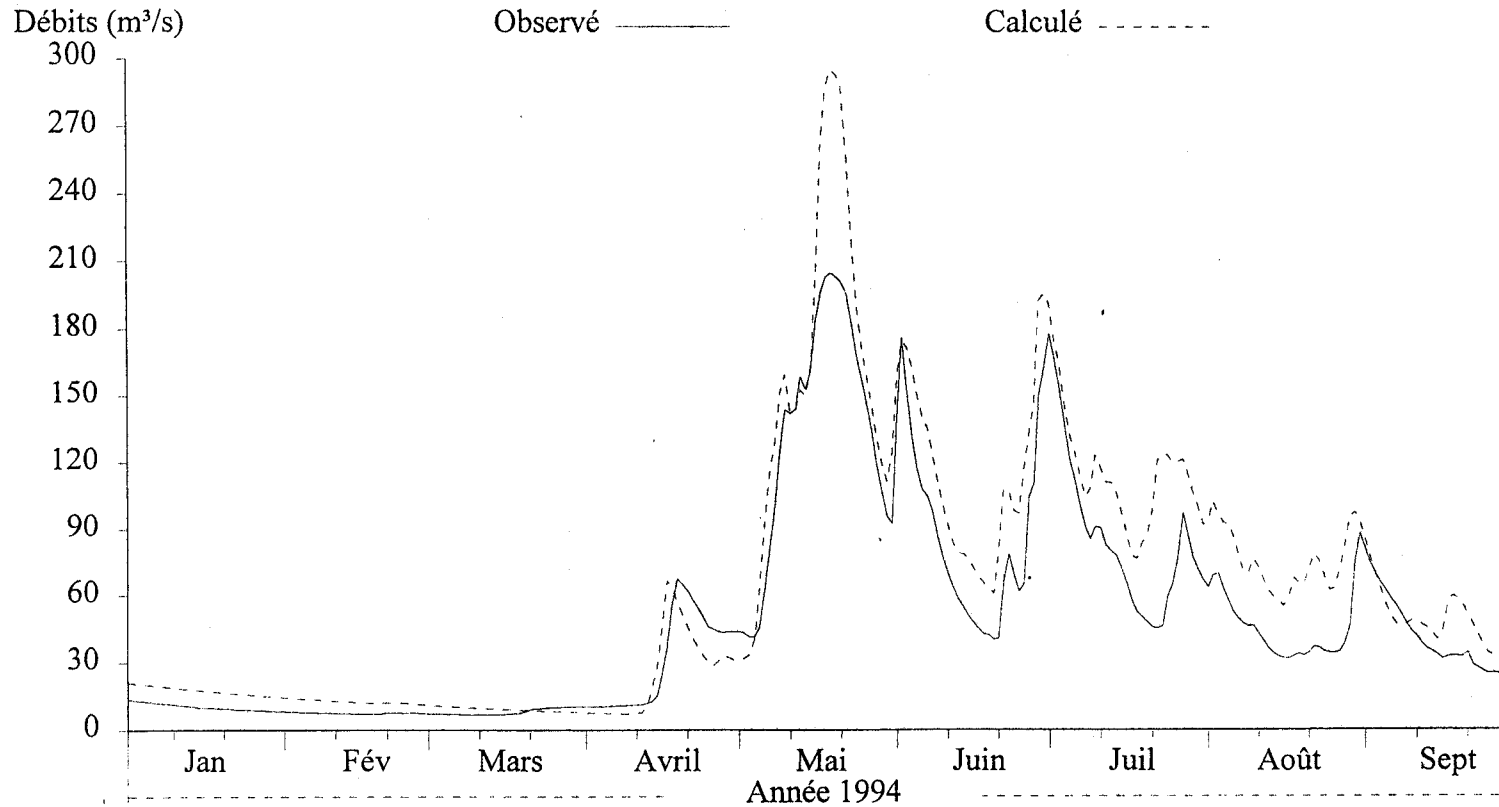
220

Figure B24 Débits journaliers observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent (SERP) pour l'année 1993.

## Débits journaliers

Numéro de station: SERP  
Superficie du bassin versant: 2200 km<sup>2</sup>  
Coefficient de NASH: 0.7639

Débits moyens (m<sup>3</sup>/s) obs.: 50.097 • cal.: 64.874  
Lame (mm) obs.: 537.11 • cal.: 695.55



221

Figure B25 Débits journaliers observés et calculés à la station 062214 de la rivière Serpent (SERP) pour l'année 1994.