

Titre: Formulation des fonctions de transfert de débit de la rivière
Title: Pérignonka entre les centrales Chute-des-Passes et Chute-du-Diable

Auteur: Pierre-Luc Delage
Author:

Date: 2006

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Delage, P.-L. (2006). Formulation des fonctions de transfert de débit de la rivière Pérignonka entre les centrales Chute-des-Passes et Chute-du-Diable [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/7810/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/7810/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Claude Marche
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

FORMULATION DES FONCTIONS DE TRANSFERT DE DÉBIT DE LA RIVIÈRE
PÉRIBONKA ENTRE LES CENTRALES CHUTE-DES-PASSES ET
CHUTE-DU-Diable

PIERRE-LUC DELAGE

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
NOVEMBRE 2006



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*
ISBN: 978-0-494-25537-7

Our file *Notre référence*
ISBN: 978-0-494-25537-7

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

**
Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

FORMULATION DES FONCTIONS DE TRANSFERT DE DÉBIT DE LA RIVIÈRE
PÉRIBONKA ENTRE LES CENTRALES CHUTE-DES-PASSES ET
CHUTE-DU-Diable

présenté par : DELAGE Pierre-Luc
en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées
a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

M. KAHAWITA René, Ph.D., président

M. MARCHE Claude, D.Sc.A., membre et directeur de recherche

M. LAROUCHE Bruno, M.Sc.A., membre

À Mylène

REMERCIEMENTS

D'abord, je tiens à remercier mon directeur de recherche, monsieur Claude Marche, Ph. D., qui m'a permis d'acquérir et d'approfondir mes connaissances dans le domaine de l'hydraulique. C'est notamment grâce au budget qu'il m'a accordé ainsi qu'à son soutien académique et professionnel que le projet a pu être réalisé avec succès.

Ensuite, je remercie la compagnie Alcan International Limited qui a contribué financièrement au présent projet. Je remercie particulièrement monsieur Bruno Larouche, ing. M. Sc. A. pour son soutien et ses nombreux conseils durant toute la durée du projet de maîtrise. De plus, je remercie toute l'équipe de Gestion des ressources hydriques (division Énergie Électrique) qui a participé à l'élaboration et à la réussite de ce projet.

Je remercie également Hydro-Québec pour avoir fourni des données bathymétriques qui ont servi à l'élaboration du projet de maîtrise.

Enfin, je tiens à remercier Mylène Nadeau et Yvon Delage pour la relecture du mémoire et leurs commentaires.

RÉSUMÉ

En mai 2004, la compagnie Alcan International Limited signe un contrat avec l'École Polytechnique de Montréal pour réaliser une étude hydraulique sur la rivière Péribonka dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Le présent projet de maîtrise vise à déterminer les fonctions de transfert de débit simulant l'écoulement de l'eau de la rivière Péribonka entre la centrale Chute-des-Passes (CCP) et la centrale Chute-du-Diable (CCD). Ces fonctions de transfert de débit doivent tenir compte de la nouvelle centrale Péribonka (CP) d'Hydro-Québec actuellement en construction.

Le logiciel de simulation Fldwav est utilisé pour réaliser l'étude de la rivière Péribonka. Il s'agit d'un logiciel pouvant effectuer des simulations hydrodynamiques unidimensionnelles capables de résoudre les équations de Saint-Venant à partir d'une méthode numérique. Cette méthode consiste à résoudre un schéma à quatre points de différences finies utilisant un coefficient de pondération (*weighted four-point scheme*).

Le modèle de la rivière Péribonka a d'abord été réalisé et ensuite étalonné. L'étalonnage a été effectué sur la géométrie des sections du modèle représentant les réservoirs de la CCD et de la CP. Les coefficients de Manning du modèle ont également été étalonnés au moyen de nombreuses simulations. Ces simulations ont été effectuées à partir de données hydrologiques, c'est-à-dire les débits turbinés des centrales hydroélectriques et les niveaux d'eau des stations limnimétriques de la rivière Péribonka.

Les fonctions de transfert de débit (FTD) ont été réalisées et validées pour les trois tronçons de la rivière Péribonka, soit le tronçon entre la CCP et la CCD, le tronçon entre la CCP et la CP et le tronçon entre la CP et la CCD. Parmi l'ensemble des FTD

réalisées, les fonctions de transfert de débit moyennes (FTDm) sont les fonctions recommandées pour simuler l'écoulement de l'eau dans la rivière Péribonka.

Toutefois, l'utilisation des FTD n'est pas recommandée pour simuler l'écoulement de l'eau en période hivernale lorsqu'un couvert de glace est installé sur la rivière.

Les FTD développées dans le cadre du projet pourront être intégrées dans le modèle d'optimisation horaire qu'utilise actuellement Alcan. Ces FTD permettront de mieux prévoir l'arrivée de l'eau provenant des aménagements hydroélectriques de la CCP et de la CP à la CCD. De plus, les FTD pourront être utilisées par Alcan afin de mettre en place des mesures de prévention relatives aux risques d'inondations pouvant survenir à tout moment de l'année lors de l'exploitation des aménagements de la CCP, de la CP et de la CCD.

ABSTRACT

In May of 2004, the Alcan International Limited company signed a contract with Montréal's École Polytechnique to conduct a hydraulic study on the Pérignonka River, in the Saguenay-Lac-Saint-Jean region. The goal of this master's thesis is to determine the flow transfer functions simulating the run-off of the Pérignonka River between the Chute-des-Passes power plant (CCP) and the Chute-du-Diable power plant (CCD). These flow transfer functions must take into consideration the new Pérignonka power plant (CP), currently being constructed by Hydro-Québec.

The simulation software Fldwav is used to conduct the study on the Pérignonka River. This software runs one-dimensional hydrodynamic simulations which can solve Saint-Venant equations using a numerical method, i.e. solving a weighted four-point scheme.

The Pérignonka River model was first developed and then calibrated. The calibration was conducted on the geometry of sections of the model representing the reservoirs of the CCD and the CP power plant. The model's Manning coefficients were also calibrated with many simulations. These simulations were conducted from hydrological data, i.e. the water discharged in hydroelectrical power plants and the water levels of the limnimetric stations of the Pérignonka River.

The flow transfer functions (FTD) were established and validated for the three segments of the Pérignonka River, that is to say the segment between the CCP and the CCD, the segment between the CCP and the CP power plant, and the segment between the CP power plant and the CCD. Among the group of established FTD's, the average flow

transfer functions (FTDm) are the functions recommended for simulating the water run-off in the Pérignonka River.

However, the use of FTD's is not recommended to simulate the water run-off during the winter, when the river freezes over.

The FTD's established in this project can be integrated into the hourly optimization model currently used by Alcan. These FTD's will allow a better prediction of the arrival of water from the CCP and from the CP power plant to the CCD. Moreover, the FTD's can be used by Alcan in order to develop preventive measures regarding the risk of floods, which can happen at any time of the year during use of the CCP, CP power plant and CCD.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	IV
REMERCIEMENTS	V
RÉSUMÉ.....	VI
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES ANNEXES	XIV
LISTE DES FIGURES ET PHOTOS	XV
LISTE DES TABLEAUX.....	XIX
LISTE DES SYMBOLES.....	XXI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 DÉFINITION DU PROJET	3
1.1 Problématique	3
1.2 Objectifs généraux	4
1.2.1 Objectifs spécifiques.....	4
1.3 Hypothèses.....	5
1.4 Méthodologie.....	5
1.4.1 Choix d'un logiciel de modélisation.....	5
1.4.2 Réalisation du modèle de la rivière Pérignonka	6
1.4.3 Étalonnage du modèle.....	6
1.4.4 Fonction de transfert de débit (FTD)	6
CHAPITRE 2 LOGICIEL DE MODÉLISATION.....	8

2.1	Choix du logiciel	8
2.1.1	The Full Equations model (FEQ)	9
2.1.2	HEC-RAS – River Analysis System (Hec-Ras)	10
2.1.3	NWS Fldwav Model (Fldwav)	11
2.1.4	Analyse de décision et choix du logiciel de modélisation	13
2.2	Description détaillée du logiciel choisi	14
2.2.1	Résolution du système d'équations différentielles	14
2.2.2	Principe de conservation de la masse	16
2.2.3	Fonction KREVRS du logiciel Fldwav	17
2.2.4	Critères dynamiques et de diffusions.....	18
2.2.5	Sections transversales et notions de distance entre les sections	18
2.2.6	Déroulement d'une simulation	21
2.2.7	Modélisation d'un déversoir	22
2.3	Conclusions et recommandations	23
CHAPITRE 3 CRÉATION DU MODÈLE		25
3.1	Localisation de la rivière Péribonka	25
3.2	Modélisation de la rivière Péribonka.....	27
3.3	Modélisation des tributaires de la rivière Péribonka	28
3.3.1	Rivière Serpent	29
3.3.2	Rivière Manouane.....	30
3.3.3	Lac Tchitogama	31
3.4	Modélisation des aménagements hydroélectriques	31
3.4.1	Centrale de la Chute-des-Passes (CCP).....	32
3.4.2	Centrale Péribonka (CP)	32
3.4.3	Centrale de la Chute-du-Diable (CCD)	33
3.5	Modélisation de la rugosité du lit de la rivière Péribonka	34
3.5.1	Géologie et géomorphologie.....	34
3.5.2	Coefficient de Manning du modèle	35

CHAPITRE 4 DONNÉES HYDROLOGIQUES	36
4.1 Données hydrologiques	36
4.1.1 Données d'Alcan	36
4.1.2 Données Hydro-Québec.....	37
4.1.3 Données du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ)	38
4.1.4 Résumé des données	39
4.1.5 Précision des instruments de mesure des stations hydrométriques	40
4.1.6 Localisation des stations hydrométriques.....	40
4.2 Description du bassin versant de la Chute-du-Diable	42
4.3 Description des apports intermédiaires.....	45
4.3.1 Rivière Serpent (1 endroit)	46
4.3.2 Rivière Manouane (1 endroit).....	47
4.3.3 Lac Tchitogama (1 endroit)	48
4.3.4 Autres apports intermédiaires (4 endroits)	48
4.4 Calcul des apports intermédiaires.....	49
CHAPITRE 5 ÉTALONNAGE DU MODÈLE.....	51
5.1 Généralités	51
5.2 Étalonnage des réservoirs de la CCD et de la CP du modèle	51
5.2.1 Réservoir de la CCD	53
5.2.2 Réservoir de la CP	54
5.3 Étalonnage des coefficients de Manning du modèle	55
5.3.1 Choix des périodes de simulation	56
5.3.2 Simulation et calcul de l'indice de qualité.....	57
5.3.3 Ajustement des apports intermédiaires et/ou des coefficients de Manning.....	60
5.3.4 Retour à l'étape 2 jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants	62
5.4 Résultats.....	62
5.4.1 Analyse des résultats des périodes de simulation	64

5.4.2	Bilan des résultats	67
5.5	Limites du modèle	67
5.5.1	Couvert de glace	68
5.5.2	Incertitude sur les apports intermédiaires	71
5.6	Conclusion et recommandations.....	72
CHAPITRE 6 FONCTION DE TRANSFERT DE DÉBIT		73
6.1	Généralités des FTD	73
6.1.1	Modifications apportées au modèle	75
6.1.2	Élaboration de six essais pour réaliser les FTD	76
6.1.3	Réalisation d'une FTD à partir des six essais.....	78
6.2	Fonctions de transfert de débit.....	80
6.2.1	FTD pour le tronçon de la rivière entre la CCP et la CCD.....	81
6.2.2	FTD pour le tronçon de la rivière entre la CCP et la CP	84
6.2.3	FTD pour le tronçon de la rivière entre la CP et la CCD	85
6.3	Utilisation simplifiée des FTD	87
6.3.1	Fonction de transfert de débit moyenne (FTDm)	87
6.3.2	FTDm modifiée (FTDm*)	92
6.3.3	Choix parmi les 49 FTD	97
6.3.4	Simulation Fldwav.....	97
6.4	Validation des FTD	98
6.4.1	Simulations	98
6.4.2	Critère de Nash	100
6.4.3	Résultats.....	100
6.5	Conclusion et recommandations.....	103
CONCLUSION.....		105
RÉFÉRENCES.....		107
ANNEXES.....		111

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A PHOTOGRAPHIES.....	111
ANNEXE B RÉSULTATS D'ÉTALONNAGE.....	117
ANNEXE C MODÈLE DE LA RIVIÈRE PÉRIBONKA.....	165
ANNEXE D PRÉSENTATION ET VALIDATION DES FTD	181

LISTE DES FIGURES ET PHOTOS

Figure 1.1 :	Exemple de formulation d'une fonction de transfert de débit	7
Figure 2.1 :	Démonstration de la fonction KREVRS de Fldwav	18
Figure 2.2 :	Prise des points (x, z) d'une section	19
Figure 2.3 :	Prise de sections transversales	20
Figure 3.1 :	Plan de localisation de la rivière Péribonka.....	26
Figure 3.2 :	Profil de la rivière Péribonka (Thalweg)	28
Figure 3.3 :	Profil de la rivière Serpent (Thalweg)	29
Figure 3.4 :	Profil de la rivière Manouane (Thalweg).....	30
Figure 3.5 :	Profil du lac Tchitogama (Thalweg).....	31
Figure 4.1 :	Localisation des stations hydrométriques	41
Figure 4.2 :	Débit à l'exutoire du bassin versant.....	42
Figure 4.3 :	Localisation des sous-bassins versants de la Chute-du-Diable.....	43
Figure 4.4 :	Localisation du bassin versant de la Petite Péribonka	44
Figure 5.1 :	Hydrogrammes de (+,-) 300 m ³ /s	52
Figure 5.2 :	Réservoir de la CCD à différentes élévations d'eau	53
Figure 5.3 :	Réservoir de la CP à différentes élévations d'eau	55
Figure 5.4 :	Cas C – coefficients de Manning trop faible – PK 96,0	61
Figure 5.5 :	Cas D – Coefficient CAI trop élevé – PK 96,0.....	62
Figure 5.6 :	Exemple des résultats de la série 07 de l'annexe B	65
Figure 5.7 :	Exemple des résultats de la série 07 de l'annexe B (suite).....	66
Figure 5.8 :	Simulation en période hivernale – janvier 2003 – PK 150,6	70
Figure 5.9 :	Apports intermédiaires – mai 2003 – PK 44,0	71
Figure 6.1 :	Simulations avec un pas de 0,2 et de 0,3 h	75
Figure 6.2 :	Hydrogrammes modélisés dans les conditions frontières.....	77

Figure 6.3 :	Résultats des six essais et de la FTD unique	78
Figure 6.4 :	FTD – Niveau d'eau de 172,2 m à la CCD.....	82
Figure 6.5 :	FTD pour l'ensemble des conditions entre la CCP et la CCD	83
Figure 6.6 :	FTD pour l'ensemble des conditions entre la CCP et la CP	85
Figure 6.7 :	FTD pour l'ensemble des conditions entre la CP et la CCD	86
Figure 6.8 :	Options pour effectuer le calcul de transfert de débit.....	87
Figure 6.9 :	FTDm et FTDmc à chaque élévation – CCP à CCD	89
Figure 6.10 :	FTDm et FTDmc – CCP à CP	90
Figure 6.11 :	FTDm et FTDmc pour chaque élévation – CP à CCD	91
Figure 6.12 :	Correction de la FTD 6 moyenne – CP à CCD	93
Figure 6.13 :	Simulations 1 à 6 pour les trois tronçons de rivière étudiés	99
Figure 6.14 :	Exemple des résultats de la simulation 1 de l'annexe D	102
Photo A.1 :	Rivière Péribonka en direction aval – PK 150.....	112
Photo A.2 :	Rivière Serpent en direction ouest – PK 158,5.....	112
Photo A.3 :	Jonction de la rivière Manouane et la CP – PK 150	113
Photo A.4 :	Lac Tchitogama en direction est – PK 73,5.....	113
Photo A.5 :	Barrage des Passes-Dangeureuses – PK 203	114
Photo A.6 :	Canal de fuite de la CCP – PK 188,7.....	114
Photo A.7 :	Centrale Chute-du-Diable – PK 44	115
Photo A.8 :	Lit sablonneux de la rivière Péribonka – PK 119	115
Photo A.9 :	Rapide de la rivière Péribonka – PK 178.....	116
Figure B.1 :	Résultats de la série 01	129
Figure B.2 :	Résultats de la série 01 – suite	130
Figure B.3 :	Résultats de la série 02	131
Figure B.4 :	Résultats de la série 02 – suite	132
Figure B.5 :	Résultats de la série 03	133
Figure B.6 :	Résultats de la série 03 – suite	134
Figure B.7 :	Résultats de la série 04	135

Figure B.8 :	Résultats de la série 04 – suite	136
Figure B.9 :	Résultats de la série 05	137
Figure B.10 :	Résultats de la série 05 – suite	138
Figure B.11 :	Résultats de la série 06	139
Figure B.12 :	Résultats de la série 06 – suite	140
Figure B.13 :	Résultats de la série 07	141
Figure B.14 :	Résultats de la série 07 – suite	142
Figure B.15 :	Résultats de la série 08	143
Figure B.16 :	Résultats de la série 08 – suite	144
Figure B.17 :	Résultats de la série 09	145
Figure B.18 :	Résultats de la série 09 – suite	146
Figure B.19 :	Résultats de la série 10	147
Figure B.20 :	Résultats de la série 10 – suite	148
Figure B.21 :	Résultats de la série 30	149
Figure B.22 :	Résultats de la série 30 – suite	150
Figure B.23 :	Résultats de la série 31	151
Figure B.24 :	Résultats de la série 31 – suite	152
Figure B.25 :	Résultats de la série 32	153
Figure B.26 :	Résultats de la série 32 – suite	154
Figure B.27 :	Résultats de la série 33	155
Figure B.28 :	Résultats de la série 33 – suite	156
Figure B.29 :	Résultats de la série 34	157
Figure B.30 :	Résultats de la série 34 – suite	158
Figure B.31 :	Résultats de la série 35	159
Figure B.32 :	Résultats de la série 35 – suite	160
Figure B.33 :	Résultats de la série 36	161
Figure B.34 :	Résultats de la série 36 – suite	162
Figure B.35 :	Résultats de la série 37	163
Figure B.36 :	Résultats de la série 37 – suite	164

Figure D.1 :	Tronçon entre la CCP et la CCD – Simulation 1	192
Figure D.2:	Tronçon entre la CCP et la CCD – Simulation 2.....	193
Figure D.3 :	Tronçon entre la CCP et la CP – Simulation 3 et 4	194
Figure D.4 :	Tronçon entre la CP et la CCD – Simulation 5	195
Figure D.5 :	Tronçon entre la CP et la CCD – Simulation 6	196

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 :	Capacités et limites du logiciel FEQ	10
Tableau 2.2 :	Capacités et limites du logiciel Hec-Ras	11
Tableau 2.3 :	Capacités et limites du logiciel Fldwav	12
Tableau 2.4 :	Analyse de décision par la méthode Kepner et Tregoe (1985).....	13
Tableau 2.5 :	Conditions frontières et internes à modéliser	21
Tableau 3.1 :	PK importants du modèle de la rivière Péribonka	26
Tableau 4.1 :	Données hydrologiques d'Alcan.....	37
Tableau 4.2 :	Données limnimétriques d'Hydro-Québec	38
Tableau 4.3 :	Résumé des données hydrologiques	39
Tableau 4.4 :	Précision des instruments de mesure	40
Tableau 4.5 :	Superficie des bassins versants de la CCD et de la Petite Péribonka ..	45
Tableau 4.6 :	Localisation et modélisation des apports intermédiaires	46
Tableau 5.1 :	Stations limnimétriques considérées pertinentes	56
Tableau 5.2 :	Périodes de simulation effectuées.....	57
Tableau 5.3 :	Exemple d'un calcul de l'IQ.....	59
Tableau 5.4:	Valeur de l'indice de qualité.....	59
Tableau 5.5 :	Cas A – Valeurs des coefficients de Manning.....	63
Tableau 5.6 :	Cas B – Valeur des coefficients de Manning.....	63
Tableau 5.7 :	Bilan des résultats de période de simulation.....	67
Tableau 6.1 :	Valeurs modélisées du déversoir de la CCD et de la CP	76
Tableau 6.2 :	Volume d'eau engendré par les six essais	80
Tableau 6.3 :	Facteurs d'influence et effet sur les FTD	81
Tableau 6.4 :	Facteurs d'influence des FTD – CCP à la CCD	83
Tableau 6.5 :	Facteurs d'influence des FTD – CP à la CCD.....	86

Tableau 6.6 :	FTD utilisées pour créer les FTDM	88
Tableau 6.7 :	Caractéristiques des simulations effectuées.....	100
Tableau B.1 :	Table volume/élévation du réservoir CCD	118
Tableau B.2 :	Résultats sur l'étalonnage du réservoir CCD.....	119
Tableau B.3 :	Table volume/élévation du réservoir futur de la centrale CP	120
Tableau B.4 :	Résultats sur l'étalonnage du réservoir de la CP – 1	121
Tableau B.5 :	Résultats sur l'étalonnage du réservoir de la CP – 2	122
Tableau D.1 :	FTD pour la CCP à la CCD – Série 1	182
Tableau D.2 :	FTD pour la CCP à la CCD – Série 1 (suite).....	183
Tableau D.3 :	FTD pour la CCP à la CCD – Série 2.....	184
Tableau D.4 :	FTD pour la CCP à la CCD – Série 2 (suite).....	185
Tableau D.5 :	FTD pour la CCP à la CP – Série 3	186
Tableau D.6 :	FTD pour la CP à la CCD – Série 4.....	187
Tableau D.7 :	FTD pour la CP à la CCD – Série 4 (suite)	188
Tableau D.8 :	Fonctions de transfert de débit moyennes (FTDM)	189
Tableau D.9 :	Fonctions de transfert de débit moyennes cumulées (FTDmc)	190
Tableau D.10 :	Matrices de correction (MC)	191

LISTE DES SYMBOLES

Symbol	Unité (SI)	Signification
Δt	[s]	Pas de temps
Δx	[m]	Pas de distance
A	[m ²]	Aire mouillée
ANC	[m ³ /s]	Apports non contrôlés
B	[m]	Largeur au miroir
BPD	[-]	Barrage des Passes-Dangereuses
\hat{c}	[m/h]	Célérité de l'onde
CAI	[-]	Coefficient d'apport intermédiaire
CCD	[-]	Centrale Chute-du-Diable
CCP	[-]	Centrale Chute-des-Passes
CEHQ	[-]	Centre d'expertise hydrique du Québec
CP	[-]	Centrale Péribonka
C_{sp}	[m ^{1/2} /s]	Coefficient de débit
Erreur	[m]	Différence entre le niveau d'eau réel et le niveau d'eau simulé
F_{24h}	[-]	Fonction 24 heures d'Alcan
FTD	[-]	Fonction de transfert de débit
FTDm	[-]	Fonction de transfert de débit moyenne
FTDm*	[-]	Fonction de transfert de débit modifiée
FTDmc	[-]	Fonction de transfert de débit moyenne cumulée
g	[m/s ²]	Accélération gravitationnelle
h	[m]	Hauteur d'eau
h_{sp}	[m]	Hauteur du déversoir
h_{tw}	[m]	Hauteur d'eau en aval du déversoir
i	[-]	Indice du pas de distance
IQ	[-]	Indice de qualité
j	[-]	Indice du pas de temps
K_{sp}	[-]	Coefficient de correction pour l'effet noyé du déversoir
L_{sp}	[m]	Largeur du déversoir
MC	[%]	Matrice de correction

Symbol	Unité (SI)	Signification
MOH	[-]	Modèle d'optimisation horaire
n	[s/m ^{1/3}]	Coefficient de Manning
PK	[-]	Point kilométrique
pQ	[%]	Pourcentage de débit
pQ*	[%]	Pourcentage de débit corrigé
pQcc	[%]	Pourcentage de débit cumulé corrigé
pQm	[%]	Pourcentage de débit moyen
pQmc	[%]	Pourcentage de débit moyen cumulé
Q	[m ³ /s]	Débit
Qa	[m ³ /s]	Apport intermédiaire de débit à la CCD
Q _s	[m ³ /s]	Débit à travers le déversoir
R _h	[m]	Rayon hydraulique
S _f	[m/m]	Pente d'énergie
SI	[-]	Système international
S _o	[m/m]	Pente du cours d'eau
t	[s]	Temps
T _{sim}	[h]	Temps de simulation
V	[m/s]	Vitesse moyenne
V _o	[m ³]	Volume d'eau engendré par l'essai
V _{o_i}	[m ³]	Volume d'eau engendré à chaque pas de temps
x	[m]	Distance longitudinale le long de la rivière
ΔV _{si}	[m ³]	Variation de volume d'une simulation
ΔV _{th}	[m ³]	Variation de volume théorique
θ	[-]	Coefficient de pondération
Ψ	[variable]	Symbol Q, A, V, B, h

INTRODUCTION

En mai 2004, la compagnie Alcan International Limited signe un contrat avec l'École Polytechnique de Montréal afin de réaliser une étude hydraulique sur la rivière Péribonka dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. L'étude a pour but de déterminer les fonctions de transfert de débit simulant l'écoulement de l'eau de la rivière Péribonka entre la centrale Chute-des-Passes (CCP) et la centrale Chute-du-Diable (CCD), soit deux aménagements hydroélectriques appartenant à Alcan. Entre ces deux centrales, Hydro-Québec construit actuellement un aménagement hydroélectrique, soit la centrale Péribonka (CP). Les fonctions de transfert de débit devront donc tenir compte de ce nouvel aménagement.

Le chapitre 1 du présent mémoire est consacré à la définition du projet. Les sujets traités sont notamment la problématique, les objectifs généraux, les hypothèses et la méthodologie.

Le chapitre 2 présente le logiciel de modélisation qui sera utilisé pour réaliser l'étude de la rivière Péribonka. D'abord, les étapes qui ont mené au choix du logiciel de simulation sont présentées. Ensuite, le logiciel choisi est passé en revue afin de d'identifier son fonctionnement et la façon dont il sera utilisé pour réaliser le projet.

Le chapitre 3 traite de la réalisation du modèle de la rivière Péribonka. À l'intérieur de ce chapitre, la façon dont sont modélisés la rivière Péribonka et ses tributaires, ainsi que les aménagements hydroélectriques sont présentés.

Le chapitre 4 présente les données hydrologiques utilisées pour la réalisation de l'étalonnage du modèle et des fonctions de transfert de débit. En outre, le bassin versant de la Chute-du-Diable est analysé afin de déterminer les apports intermédiaires et la façon dont ces apports sont calculés.

Le chapitre 5 est consacré à l'étalonnage du modèle. D'abord, l'ajustement des géométries du modèle des réservoirs de la CCD et de la CP est présenté. Ensuite, l'étalonnage du modèle par rapport à la rugosité du lit de la rivière Pérignonka est effectué.

Le chapitre 6 présente les fonctions de transfert de débit (FTD) de la rivière Pérignonka mises au point dans le cadre du projet. La méthodologie utilisée pour réaliser les FTD est d'abord présentée. Ensuite, les FTD sont exposées et validées à partir de quelques simulations effectuées. Finalement, des recommandations sont émises sur l'utilisation et les limites des FTD.

CHAPITRE 1

DÉFINITION DU PROJET

Le présent chapitre est consacré à la définition du projet. Voici les points traités :

- Problématique
- Objectifs généraux
- Hypothèses
- Méthodologie

1.1 Problématique

Alcan utilise actuellement un modèle d'optimisation horaire (MOH) et un modèle de prévision hydrologique appelé CEQUEAU¹ pour gérer ses aménagements hydroélectriques au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les caractéristiques physiques et hydrauliques de ces aménagements sont définies à l'intérieur du modèle MOH pour effectuer la prévision ainsi que la gestion des ressources hydriques.

Cependant, la fonction de transfert de débit, qui est utilisé dans ce modèle, entre la Centrale Chute-des-Passes (CCP) et la Centrale Chute-du-Diable (CCD) est actuellement modélisée de façon inadéquate. En effet, la fonction de transfert de débit d'Alcan (F_{24h}) est modélisée avec un temps de cheminement d'eau constant de 24 heures. Or, la fonction de transfert de débit varie en fonction des débits des centrales CCP et CCD, des affluents de la rivière Péribonka et de la météorologie variant durant

¹ Le logiciel CEQUEAU a été développé par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS)

les différentes saisons de l'année. Ceci engendre des écoulements non permanents dans la rivière et de ce fait, la fonction de transfert de débit n'est probablement pas unique, ni constante, mais plutôt variable dans le temps.

De plus, Hydro-Québec construit actuellement la centrale Péribonka (CP) située entre les aménagements de la CCP et de la CCD sur la rivière Péribonka. La F_{24h} d'Alcan ne tient pas compte de ce nouvel aménagement et par conséquent, ne sera plus valide.

1.2 Objectifs généraux

L'utilisation d'un modèle hydrodynamique couplé au MOH pourrait permettre une modélisation adéquate du phénomène. Cependant, le coût en temps de calcul serait important. L'objectif général du projet est donc de proposer une fonction de transfert de débit simplifiée traduisant la complexité du phénomène. Le projet vise aussi à générer une autre fonction de transfert de débit qui tiendra compte du nouvel aménagement hydroélectrique CP d'Hydro-Québec.

1.2.1 Objectifs spécifiques

Dans le cadre de l'utilisation d'un modèle d'optimisation horaire de la production d'hydroélectricité, le temps de calculs de l'application des fonctions de transfert de débit ne doit pas être élevé. En plus, la fonction de transfert de débit mise au point dans le présent projet doit être :

- Continue dans le temps
- Dérivable en tout point
- De forme monotone croissante

1.3 Hypothèses

D'après la problématique et les différents objectifs généraux et spécifiques, voici trois hypothèses qui devront être validées au cours du projet de recherche :

1. Il est possible de représenter la rivière Péribonka et les écoulements non permanents à l'intérieur d'un modèle hydrodynamique;
2. La fonction de transfert de débit est variable dans le temps en raison de la complexité des écoulements non permanents générés par l'exploitation des aménagements hydroélectriques et des événements météorologiques (crue, décrue, pluie, etc.);
3. L'utilisation d'une fonction de transfert de débit variable dans le temps permet de gérer plus efficacement les ressources hydriques d'un complexe d'aménagements hydroélectriques.

1.4 Méthodologie

1.4.1 Choix d'un logiciel de modélisation

Un logiciel de modélisation doit être choisi et doit permettre de modéliser la rivière Péribonka ainsi que ses rivières tributaires importantes. Il doit aussi être capable de modéliser les aménagements hydrauliques de la CCP, de la CP et de la CCD et permettre d'effectuer des simulations en écoulement non permanent. Le choix du logiciel de modélisation sera fait en fonction d'une analyse de quelques logiciels effectuée à partir de la méthode Kepner et Tregoe (1985).

1.4.2 Réalisation du modèle de la rivière Pérignonka

Le modèle hydrodynamique de la rivière Pérignonka est construit notamment au moyen de relevés bathymétriques et de données recueillies à partir des cartes topographiques du secteur étudié. La rugosité du lit de la rivière sera déterminée pour compléter le modèle.

1.4.3 Étalonnage du modèle

L'étalonnage du modèle est réalisé afin que la rivière Pérignonka et les écoulements non permanents soient représentés adéquatement. Tout d'abord, les réservoirs de la CCD et de la CP seront ajustés à l'aide des tables élévation/volume fournies par Alcan. Ensuite, la rugosité du lit de la rivière Pérignonka sera ajustée à partir des résultats des simulations effectuées avec les données hydrologiques de différentes stations hydrométriques du bassin versant de la Chute-du-Diable.

1.4.4 Fonction de transfert de débit (FTD)

Les FTD seront élaborées à partir du modèle hydrodynamique de la rivière Pérignonka une fois celui-ci étalonné. Ces fonctions seront divisées en trois domaines de modélisation représentant la rivière Pérignonka, soit :

- Tronçon entre la CCP et la CCD
- Tronçon entre la CCP et la CP
- Tronçon entre la CP et la CCD

L'ensemble des fonctions de transfert de débit permettra de représenter adéquatement les événements météorologiques et les différents débits des centrales hydroélectriques en jeu.

Le type de formulation de la fonction de transfert de débit simplifiée est présenté à la Figure 1.1 ci-dessous. Il consiste en une pondération de type hydrogramme qui permettra d'établir le pourcentage du débit Q_i de la centrale située en amont (au temps i) qui atteindra la centrale située en aval au temps $i+6$ h, $i+7$ h, etc.

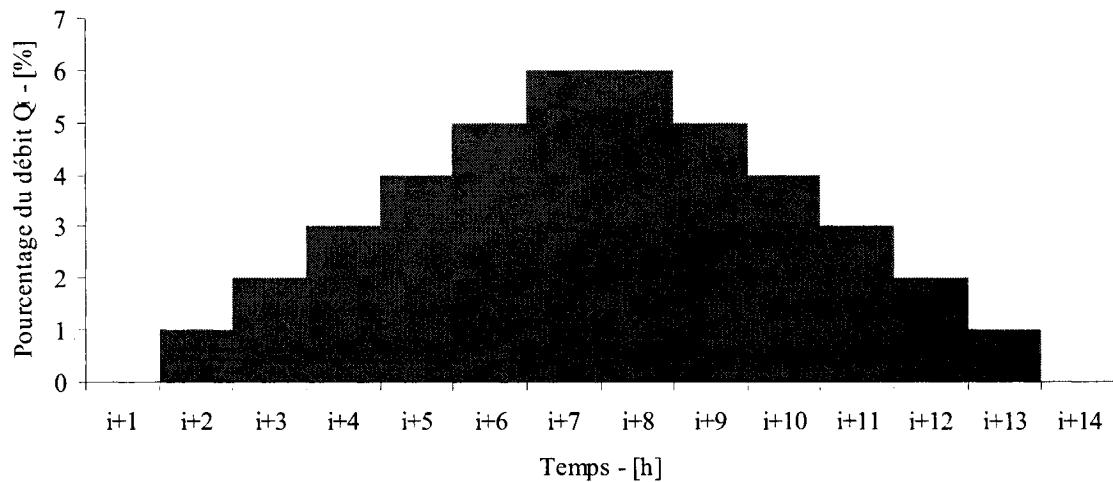


Figure 1.1 : Exemple de formulation d'une fonction de transfert de débit

CHAPITRE 2

LOGICIEL DE MODÉLISATION

Le présent chapitre porte sur le logiciel de modélisation qui sera utilisé dans l'actuelle étude de la rivière Pérignonka. Voici les points traités :

- Choix du logiciel
- Description détaillée du logiciel choisi
- Conclusions et recommandations

Le modèle réalisé dans le cadre du projet de maîtrise correspond à une représentation numérique simplifiée de la rivière Pérignonka. Il s'agit plus précisément d'un modèle unidimensionnel où les caractéristiques suivantes sont modélisées :

- La géométrie de la rivière Pérignonka et de ses tributaires importants
- Les aménagements hydrauliques (barrages et déversoirs)
- Les constituants du lit de la rivière Pérignonka et de ses tributaires

À partir du modèle, le logiciel de modélisation effectue des simulations d'écoulement d'eau par le biais de la résolution numérique des équations fondamentales de l'hydraulique. Il s'agit des équations de Saint-Venant présentées à la section 2.2.1 de ce chapitre.

2.1 Choix du logiciel

Il existe sur le marché différents logiciels de modélisation qui ont un champ d'expertise spécifique en hydraulique. Par exemple, le logiciel GSTARS est spécialisé dans le

transport de sédiments tandis que le logiciel EPANET traite des écoulements en charge dans un réseau hydraulique urbain.

Il est important de cibler le bon logiciel de modélisation qui permettra d'atteindre les objectifs fixés dans le cadre de l'étude de la rivière Péribonka. Trois logiciels répondant aux objectifs du projet ont été présélectionnés :

- Full Equations model (FEQ)
- HEC-RAS – River Analysis System (Hec-Ras)
- NWS FLDWAV MODEL (Fldwav)

D'abord, chaque logiciel est étudié afin de connaître les options possibles de modélisation ainsi que ses avantages et ses limites. Ensuite, une analyse de décision est effectuée au moyen de la méthode de Kepner et Tregoe (1985). Cette analyse permettra de choisir le logiciel de modélisation approprié pour l'étude de la rivière Péribonka.

2.1.1 The Full Equations model (FEQ)

FEQ est un logiciel développé par le U.S. Geological Survey (USGS 1997a, USGS 1997b). Il s'agit d'un logiciel de modélisation hydrodynamique unidimensionnelle capable d'effectuer des simulations en écoulement permanent, non permanent, uniforme ou non uniforme.

La méthode de résolution numérique implicite utilisée par FEQ est une version modifiée du schéma à quatre points de Preissmann (1961). Ce schéma à la particularité d'utiliser trois coefficients de pondération pour résoudre les équations différentielles de Saint-Venant (ces équations sont présentées à la section 2.2.1 du présent chapitre).

Pour effectuer une simulation avec FEQ, un fichier d'entrée de données en format texte doit être réalisé. Ce fichier inclut les paramètres de résolutions numériques et le modèle de la rivière étudiée. Les résultats de simulation du logiciel FEQ sont imprimés dans un fichier de sortie de données (en format texte).

Le Tableau 2.1 ci-dessous résume les capacités et les limites du logiciel :

Tableau 2.1 : Capacités et limites du logiciel FEQ

Capacités du logiciel FEQ	Limites du logiciel FEQ
Calcul des écoulements permanents, non permanents, uniformes et non uniformes	Calcul du transport de sédiments n'est pas possible
Calcul des zones non actives d'un canal	Calcul hydraulique d'un couvert de glace n'est pas possible
Calcul d'une onde de choc créée par une brèche dans un barrage	
Création des sections fictives par interpolation entre deux sections réelles	
Réalisation des sections avec un coefficient de manning variable	

2.1.2 HEC-RAS – River Analysis System (Hec-Ras)

Hec-Ras est un logiciel mis au point par le U.S. Army Corps of Engineers (USACE 2002a, USACE 2002b). Il s'agit d'un logiciel de modélisation hydrodynamique unidimensionnel capable d'effectuer des simulations en écoulement permanent, non permanent, uniforme ou non uniforme. Il est également capable d'effectuer des calculs sur le transport de sédiments.

La méthode de résolution numérique utilisée par Hec-Ras est une version modifiée du schéma à quatre points de Preissmann (1961). Elle fut adaptée par Barkau (Barkau 1992, Hec 1997) pour calculer uniquement les écoulements non permanents en régime fluvial. Dans la version 3.1 du logiciel Hec-Ras, cette méthode de résolution numérique a été adaptée pour modéliser les régimes fluvial, torrentiel et mixte.

L'interface de ce logiciel est entièrement graphique. La modélisation se fait à partir de tableaux et les résultats peuvent être obtenus en format graphique ou numérique.

Le Tableau 2.2 ci-dessous résume les capacités et les limites du logiciel :

Tableau 2.2 : Capacités et limites du logiciel Hec-Ras

Capacités du logiciel Hec-Ras	Limites du logiciel Hec-Ras
Calcul des écoulements permanents, non permanents, uniformes et non uniformes	Calcul de l'effet du vent n'est pas possible
Calcul des zones non actives d'un canal	Modification des paramètres de résolution numérique est limitée
Calcul du transport de sédiments	
Calcul d'un couvert de glace	
Calcul d'une onde de choc créée par une brèche dans un barrage	
Création des sections fictives par interpolation entre deux sections réelles	
Réalisation des sections avec un coefficient de manning variable	

2.1.3 NWS Fldwav Model (Fldwav)

Le logiciel Fldwav a été développé par le National Weather Service (NWS) du Department of Commerce des Etats-Unis (Fread et Lewis 1998). Ce logiciel provient de la combinaison des logiciels Dambrk et Dwoper.

Fldwav est un logiciel de modélisation hydrodynamique unidimensionnelle capable d'effectuer des simulations en écoulement permanent, non permanent, uniforme ou non uniforme. De plus, il est capable de traiter les ondes de choc générées par la formation d'une brèche dans un barrage.

Pour résoudre les équations de Saint-Venant, Fldwav utilise un schéma à quatre points de différences finies. Cette méthode numérique peut être utilisée en mode explicite ou implicite. Toutefois, le mode implicite est fortement suggéré puisqu'il assure la stabilité,

la consistance et la convergence de la résolution numérique des calculs. De plus, le pas de temps utilisé en mode implicite n'est pas limité comparativement à celui du mode explicite.

Pour effectuer une simulation avec Fldwav, un fichier d'entrée de données en format texte doit être réalisé. Ce fichier inclut les paramètres de résolutions numériques et le modèle de la rivière étudiée. Les résultats de simulation du logiciel Fldwav sont imprimés dans un fichier de sortie de données (en format texte).

Les résultats peuvent également être visualisés au moyen des logiciels Fldgrf ou Fldat. Ce dernier peut être utilisé pour créer le fichier d'entrée de données.

Le Tableau 2.3 ci-dessous résume les capacités et les limites du logiciel :

Tableau 2.3 : Capacités et limites du logiciel Fldwav

Capacités du logiciel Fldwav	Limites du logiciel Fldwav
Calcul de l'effet du vent	Calcul du transport de sédiments n'est pas possible
Calcul des écoulements permanents, non permanents, uniformes et non uniformes	Calcul hydraulique d'un couvert de glace n'est pas possible
Calcul des pertes de charge locale (ex. la contraction et l'extension de l'écoulement de l'eau dû à un pont)	
Calcul des zones non actives d'un canal	
Calcul d'une onde de choc créée par une brèche dans un barrage	
Création des sections fictives par interpolation entre deux sections réelles	
Modification des paramètres dynamiques et de diffusions	
Réalisation des sections avec un coefficient de manning variable	
Utilisation d'un fluide newtonien ou non newtonien	

2.1.4 Analyse de décision et choix du logiciel de modélisation

L'analyse de décision est effectuée avec la méthode Kepner et Tregoe (1985). La méthode consiste à déterminer de façon objective un logiciel de modélisation qui sera utilisée pour modéliser la rivière Péribonka. D'abord, dans le Tableau 2.4, des critères d'évaluation sont identifiés et sont associés avec un degré d'importance variant entre 1 et 5 (5 est le degré le plus important). Ensuite, pour chacun des critères, chaque logiciel est évalué et noté de 1 à 5 (5 signifie que le logiciel répond adéquatement au critère). Chaque note donnée est multipliée par le degré d'importance associé à chaque critère. La somme des notes pondérées de chaque logiciel est calculée. Enfin, le logiciel ayant la note totale pondérée la plus élevée est celui correspondant le mieux aux critères évalués.

L'analyse démontre que le logiciel Fldwav répond le mieux aux objectifs et aux critères de l'étude de la rivière Péribonka.

Tableau 2.4 : Analyse de décision par la méthode Kepner et Tregoe (1985)

Critères d'évaluation	Importance	FEQ		Logiciel Hec-Ras		Fldwav	
		Note	Total	Note	Total	Note	Total
Capacité à modifier les paramètres de la résolution numérique	3	5	15	4	12	5	15
Connaissance du logiciel par le directeur de recherche	5	1	5	3	15	5	25
Connaissance du logiciel par l'étudiant	3	1	3	3	9	1	3
Coût minimum	4	5	20	5	20	5	20
Disponibilité des ressources (documentation, forum de discussion, ...)	3	3	9	4	12	5	15
Facilité à réaliser un modèle	2	3	6	4	8	4	8
Interface graphique	3	1	3	5	15	4	12
Facilité à modéliser les écoulements permanents, non permanents, uniformes et non uniformes	4	3	12	4	16	5	20
Modéliser des rivières tributaires	5	5	25	5	25	5	25
Modéliser les aménagements hydrauliques (barrages et déversoirs)	5	4	20	3	15	4	20
Modéliser un couvert de glace	1	1	1	5	5	1	1
Note totale pondérée			119		152		164

2.2 Description détaillée du logiciel choisi

Comme le logiciel de modélisation NWS Fldwav Model (Fread 1998) a la note totale pondérée la plus élevée, il sera utilisé pour effectuer les simulations hydrauliques. Une description des fonctions importantes du logiciel est présentée ci-après.

2.2.1 Résolution du système d'équations différentielles

Les équations hydrodynamiques unidimensionnelles, connues sous le nom d'« équations de Saint-Venant », sont présentées aux équations (2.1) et (2.2) ci-dessous. Il s'agit respectivement de l'équation de continuité et de l'équation dynamique du mouvement.

$$(2.1) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = A \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial A}{\partial x} + B \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

$$(2.2) \quad \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + S_o = -S_f$$

Où,

Q = Débit – [m³/s]

x = Distance longitudinale le long de la rivière – [m]

A = Aire mouillée – [m²]

t = Temps – [s]

V = Vitesse moyenne – [m/s]

B = Largeur au miroir – [m]

h = Hauteur d'eau – [m]

g = Accélération gravitationnelle – [m/s²]

S_o = Pente du cours d'eau – [m/m]

S_f = Pente d'énergie – [m/m]

La pente d'énergie S_f de l'équation (2.2) est calculée à partir de l'équation de Manning (équation (2.3)) présentée ci-dessous. À noter que la variable n de l'équation de Manning est utilisée pour modéliser la rugosité du lit de la rivière étudiée.

$$(2.3) \quad Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot S_f^{1/2}$$

Où,

$Q =$	Débit – [m ³ /s]
$n =$	Coefficient de Manning – [s/m ^{1/3}]
$A =$	Aire mouillée – [m ²]
$R_h =$	Rayon hydraulique – [m]
$S_f =$	Pente d'énergie – [m/m]

Les équations de Saint-Venant sont des équations différentielles partielles de type hyperbolique (non linéaire) qui comportent deux variables indépendantes (x et t) et deux variables dépendantes (h et Q). Les autres variables des équations sont soit constantes, soit variables en fonction de x , t , h ou Q . Pour résoudre les équations de Saint-Venant, Fldwav utilise un schéma à quatre points de différences finies (*weighted four-point scheme*). Ce schéma, présenté aux équations (2.4) à (2.6), a été utilisé pour la première fois par Preissmann (1961), ensuite par Chaudhry et Contractor (1973) et enfin par Fread (1974a, 1974b, 1978).

$$(2.4) \quad \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial \psi_i^{j+1} + \partial \psi_{i+1}^{j+1} - \partial \psi_i^j - \partial \psi_{i+1}^j}{2 \cdot \Delta t_j}$$

$$(2.5) \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = \theta \cdot \left[\frac{\psi_{i+1}^{j+1} - \psi_i^{j+1}}{\Delta x_i} \right] + (1 - \theta) \cdot \left[\frac{\psi_{i+1}^j - \psi_i^j}{\Delta x_i} \right]$$

$$(2.6) \quad \psi = \theta \cdot \left[\frac{\psi_{i+1}^{j+1} - \psi_i^{j+1}}{2} \right] + (1 - \theta) \cdot \left[\frac{\psi_{i+1}^j - \psi_i^j}{2} \right]$$

Où,

$\Psi =$	Variables Q, A, V, B, h – [-]
$t =$	Temps – [s]
$\theta =$	Coefficient de pondération – [-]
$x =$	Distance longitudinale le long de la rivière – [m]
$i =$	Indice du pas de distance – [-]
$j =$	Indice du pas de temps – [-]

À noter que les équations (2.4) et (2.5) sont utilisées pour approximer respectivement les dérivées partielles temporelles et spatiales tandis que l'équation (2.6) est utilisée pour calculer les autres variables non dérivées.

La fonction F1 de Fldwav est utilisée pour décrire le coefficient de pondération θ du schéma. La valeur doit être comprise entre 0,5 et 1 (1 correspond à un schéma complètement implicite). Fread (1974b) a démontré que la précision des calculs tend à diminuer lorsque la valeur de θ passe de 0,5 à 1. Pour obtenir une meilleure précision des calculs, Fread (1974b) recommande d'utiliser une valeur de θ comprise entre 0,55 et 0,60.

2.2.2 Principe de conservation de la masse

Le principe de conservation de la masse, mieux connu comme étant l'équation de continuité, est une loi fondamentale de la mécanique des fluides. Graf (2000, p. 19), donne une description de ce principe : « La variation de la masse fluide contenue dans un volume donné pendant un certain temps doit être égale à la somme des masses fluides qui y entrent, diminuées de celles qui en sortent. ».

Fldwav calcul l'erreur de continuité (exprimée en pourcentage) pour chaque simulation effectuée. L'erreur est inscrite dans le fichier de sortie du logiciel lorsque la valeur de la fonction JNK de Fldwav est d'au moins 5.

L'erreur de continuité est un bon indicateur de la qualité d'une simulation effectuée. Lorsque cette erreur est grande, la simulation doit être recommencée en modifiant les paramètres du modèle. Pour reconnaître ces paramètres, il faut analyser les résultats de simulation et tenter de trouver les anomalies.

2.2.3 Fonction KREVRS du logiciel Fldwav

La fonction KREVRS du logiciel Fldwav permet l'activation ou la désactivation du filtre à faible débit (*Low-flow filter*). Cette fonction, surtout utilisée par le logiciel Dambrk, empêche que le débit et le niveau d'eau soient inférieurs aux conditions initiales durant la simulation.

Toutefois, cette fonction ne sera pas utilisée afin d'éviter des erreurs de continuité. Pour illustrer le problème concernant les erreurs de continuité, un modèle fictif a été créé. Ce modèle comporte une rivière principale et une rivière tributaire. Un état permanent est modélisé en début de simulation. Par la suite, le débit de la rivière principale est augmenté rapidement, puis diminué jusqu'à l'état initial. Ceci provoque une onde se propageant de l'amont vers l'aval dans la rivière principale. La Figure 2.1 présente l'effet du passage de l'onde dans la section aval de la rivière tributaire, et ce, pour les cas de simulation où la fonction KREVRS est activée et désactivée.

Physiquement, le passage de l'onde fait augmenter légèrement l'élévation de l'eau dans la rivière tributaire et provoque ainsi une diminution du débit sortant de ce tributaire. Par la suite, l'augmentation du niveau d'eau est plus importante et le débit augmente. Après le passage de l'onde, la rivière principale et la rivière tributaire atteignent un état

permanent. Comme le démontre la Figure 2.1, la fonction activée de KREVRS empêche la diminution du débit. Par conséquent, le débit est supérieur à la normale et engendre une erreur de continuité non négligeable.

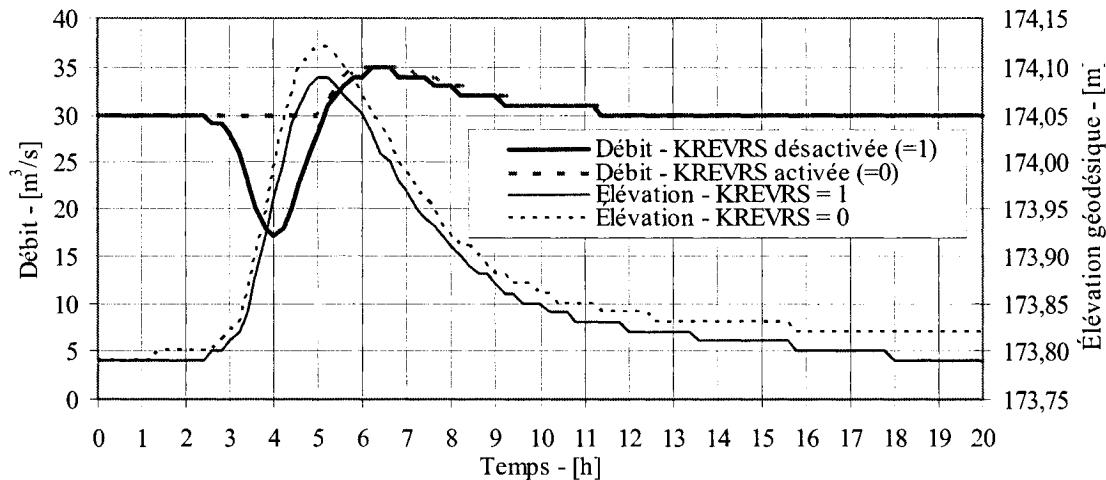


Figure 2.1 : Démonstration de la fonction KREVRS de Fldwav

2.2.4 Critères dynamiques et de diffusions

Fldwav possède la fonction KLPI qui permet d'ajuster le caractère dynamique ou diffusif des équations de Saint-Venant. La valeur de KLPI doit être comprise entre 1 et 10 (10 signifie que les équations sont complètement dynamiques). Fread (1998) recommande d'utiliser la valeur 5.

2.2.5 Sections transversales et notions de distance entre les sections

Le modèle d'une rivière est représenté par des sections transversales unidimensionnelles. Une section correspond à une tranche de la rivière, qui fait un angle de 90° par rapport au sens d'écoulement de l'eau. Les sections sont modélisées en fonction des coordonnées (x, z), c'est-à-dire la largeur x associée avec l'élévation z . La Figure 2.2 ci-dessous présente un exemple d'une section transversale :

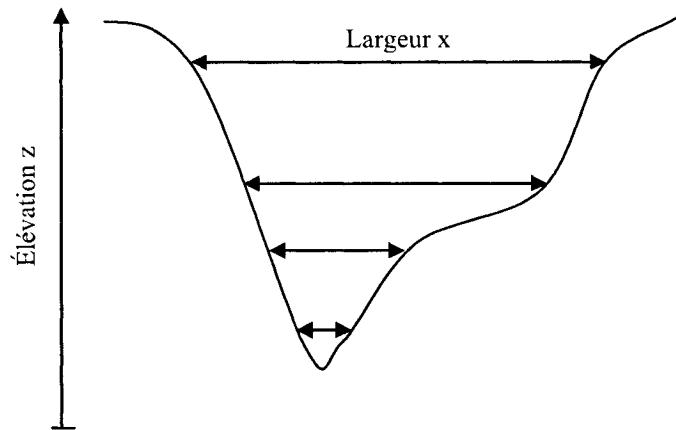


Figure 2.2 : Prise des points (x, z) d'une section

Plus il y a de points, plus la section est bien représentée. Entre les points, Fldwav fait une interpolation linéaire de la géométrie pour compléter la section. Selon Fread (1998, p. 8.1) de 4 à 12 points (x, z) permettent d'obtenir suffisamment de précision pour décrire une section.

Les sections transversales doivent être espacées d'une certaine distance. La distance entre chaque section est très variable selon la rivière étudiée et peut varier entre 100 m et quelques kilomètres selon Fread (1998, p. 8.1). En fait, les sections doivent être choisies afin de représenter adéquatement le volume d'eau contenu dans la rivière. À noter que le volume est calculé à partir d'une variation linéaire entre deux sections adjacentes. Un exemple portant sur la détermination de deux sections adjacentes est présenté à la Figure 2.3 ci-dessous.

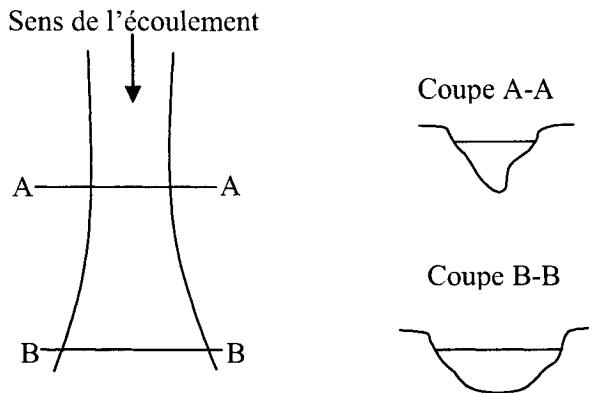


Figure 2.3 : Prise de sections transversales

Dans le cas où un relevé bathymétrique est disponible, la distance entre chaque section est déjà déterminée. Si les sections choisies lors du relevé ne représentent pas assez bien la géométrie de la rivière, des sections doivent être ajoutées.

Toutefois, la résolution numérique des équations de Saint-Venant impose une distance maximale à respecter entre deux sections. Le pas de distance maximal est donné par les équations (2.7) et (2.8) ci-dessous². La fonction DXM de Fldwav permet de déterminer le pas de distance Δx entre chaque section. Cette fonction permet de générer des sections fictives par interpolation entre deux sections à tous les Δx m.

$$(2.7) \quad \hat{\Delta x} \leq \hat{c} \cdot \hat{\Delta t}$$

$$(2.8) \quad \hat{c} \cong 233881 \cdot S_o^{1/2}$$

Où,

² Les deux équations sont tirées du manuel de Fread (1998, p. 8.1-8.3). À noter que celles-ci ont été modifiées afin d'utiliser les unités du Système Internationale (SI).

$\Delta x =$	Pas de distance – [m]
$\hat{c} =$	Célérité de l'onde – [m/h]
$\Delta t =$	Pas de temps – [h]
$S_o =$	Pente du cours d'eau – [m/m]

Il n'y a pas de valeur minimale de Δx à respecter. Par contre, plus la valeur de Δx est petite, plus le temps de calcul d'une simulation sera élevé. La valeur de Δx doit donc être choisie de façon judicieuse afin d'obtenir une bonne précision de simulation et un temps de calcul raisonnable.

2.2.6 Déroulement d'une simulation

Pour effectuer une simulation, il faut modéliser les conditions frontières (en amont et en aval) et les conditions internes du modèle avant chaque simulation. Les conditions modélisées dans le cadre de l'étude de la rivière Pérignonka sont présentées dans le Tableau 2.5 ci-dessous :

Tableau 2.5 : Conditions frontières et internes à modéliser

Type de condition	Fonction Fldwav	Endroit de modélisation	Données à modéliser	Application
Frontières (en amont)	ST1 et T1	Section en amont	Débit et temps	Durant toute la simulation
Internes	QTT et TQT	Barrage interne	Débit et temps	Durant toute la simulation
Internes	QL	Entre deux sections d'une rivière	Débit	Durant toute la simulation
Internes	YDI	Section juste en amont du barrage	Élévation du plan d'eau	Au temps $t = 0$ h
Frontières (en aval)	SLFI	Section en aval	Pente du cours d'eau en aval	Utiliser par Fldwav durant toute la simulation

Les débits en fonction du temps de la rivière principale et de ses tributaires sont modélisés dans les conditions frontières (en amont) du modèle. Ces données sont modélisées pour la durée totale de la simulation.

Trois conditions internes sont modélisées pour effectuer une simulation. La première condition consiste à modéliser les débits turbinés en fonction du temps de chaque barrage modélisé. La deuxième condition consiste à modéliser l’élévation du plan d’eau juste en amont de chaque barrage modélisé. La troisième condition consiste à modéliser la fonction débit latéral (*lateral inflow*). Cette fonction est utilisée pour modéliser des apports intermédiaires de débit en fonction du temps entre deux sections du modèle de la rivière.

La pente du cours d’eau de la section située en aval doit être modélisée dans les conditions frontières (en aval) du modèle. Cette pente est utilisée par Fldwav durant toute la simulation pour déterminer l’élévation de l’eau en fonction du débit de la section située en aval.

2.2.7 Modélisation d’un déversoir

L’équation (2.9) est utilisée par le logiciel Fldwav pour calculer le débit à travers un déversoir :

$$(2.9) \quad Q_s = K_{sp} \cdot C_{sp} \cdot L_{sp} \cdot (h - h_{sp})^{3/2} \text{ } ^3$$

Où,

Q_s = Débit à travers le déversoir – [m^3/s]

³ Fread (1998, p. 3.8).

K_{sp} =	Coefficient de correction pour l'effet noyé du déversoir – [-]
C_{sp} =	Coefficient de débit – [$m^{1/2}/s$]
L_{sp} =	Largeur du déversoir – [m]
h =	Hauteur d'eau – [m]
h_{sp} =	Hauteur du déversoir – [m]

À noter que la variable C_{sp} est normalement adimensionnelle. Cette variable inclut la constante gravitationnelle élevée à la puissance un demi. Lors de la modélisation, il faut donc fournir des valeurs tenant compte de cette particularité. En ce qui concerne la variable K_{sp} de l'équation (2.10), il s'agit d'un coefficient adimensionnel utilisé par Fldwav pour corriger l'effet noyé d'un déversoir. Dans le cadre de ce projet, les déversoirs modélisés ne sont jamais noyés; le coefficient K_{sp} est donc égal à 1.

$$(2.10) \quad K_{sp} = 1 - 27,8 \cdot \left(\frac{h_{tw} - h_{sp}}{h - h_{sp}} - 0,67 \right)^3$$

Où,

K_{sp} =	Coefficient de débit – [-]
h_{tw} =	Hauteur d'eau en aval du déversoir – [m]
h_{sp} =	Hauteur du déversoir – [m]
h =	Hauteur d'eau – [m]

2.3 Conclusions et recommandations

Le logiciel Fldwav, qui a été choisi parmi les logiciels FEQ et Hec-Ras par la méthode de Kepner et Tregoe (1985), est celui qui répond le mieux aux critères et aux besoins du présent projet.

Fldwav est notamment capable de modéliser la rivière Péribonka et ses tributaires ainsi que les aménagements hydroélectriques de la CCP, de la CP et de la CCD. De plus, ce logiciel possède plusieurs fonctions qui permettent d'effectuer des simulations en écoulement non permanent. D'autres fonctions peuvent aussi être utilisées pour modifier les paramètres de résolution numérique. La connaissance de ces paramètres permettra de mieux comprendre le déroulement d'une simulation et de mieux contrôler l'erreur de continuité.

Fldwav ne peut toutefois pas modéliser un couvert de glace. Il y a donc de fortes probabilités que les simulations effectuées en période hivernale soient erronées s'il y a présence d'un couvert de glace sur la rivière étudiée.

CHAPITRE 3

CRÉATION DU MODÈLE

Le présent chapitre est consacré à la méthodologie utilisée pour créer le modèle de la rivière Péribonka. Voici les points traités :

- Localisation de la rivière Péribonka
- Modélisation de la rivière Péribonka
- Modélisation des tributaires de la rivière Péribonka
- Modélisation des aménagements hydroélectriques
- Modélisation de la rugosité du lit de la rivière Péribonka

3.1 Localisation de la rivière Péribonka

Les points kilométriques (PK) utilisée comme référence dans la modélisation de la rivière Péribonka sont tirés du document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003a). Les PK importants de la rivière sont présentés au Tableau 3.1 ci-dessous. De plus, l'ensemble des PK sont présentés sur le plan de localisation⁴ de la Figure 3.1 ci-après.

⁴ Tiré du document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003a).

Tableau 3.1 : PK importants du modèle de la rivière Péribonka

PK	Caractéristiques du modèle de la rivière Péribonka
203,0	Barrage des Passes-Dangereuses (BPD)
188,7	Début de la modélisation et canal de fuite de la Centrale Chute-des-Passes (CCP)
158,5	Jonction de la rivière Serpent à la rivière Péribonka
151,8	Centrale Péribonka (CP) projetée
150,6	Jonction de la rivière Manouane à la rivière Péribonka
73,5	Jonction du Lac Tchitogama à la rivière Péribonka
44,0	Centrale de la Chute-du-Diable (CCD) et fin de la modélisation

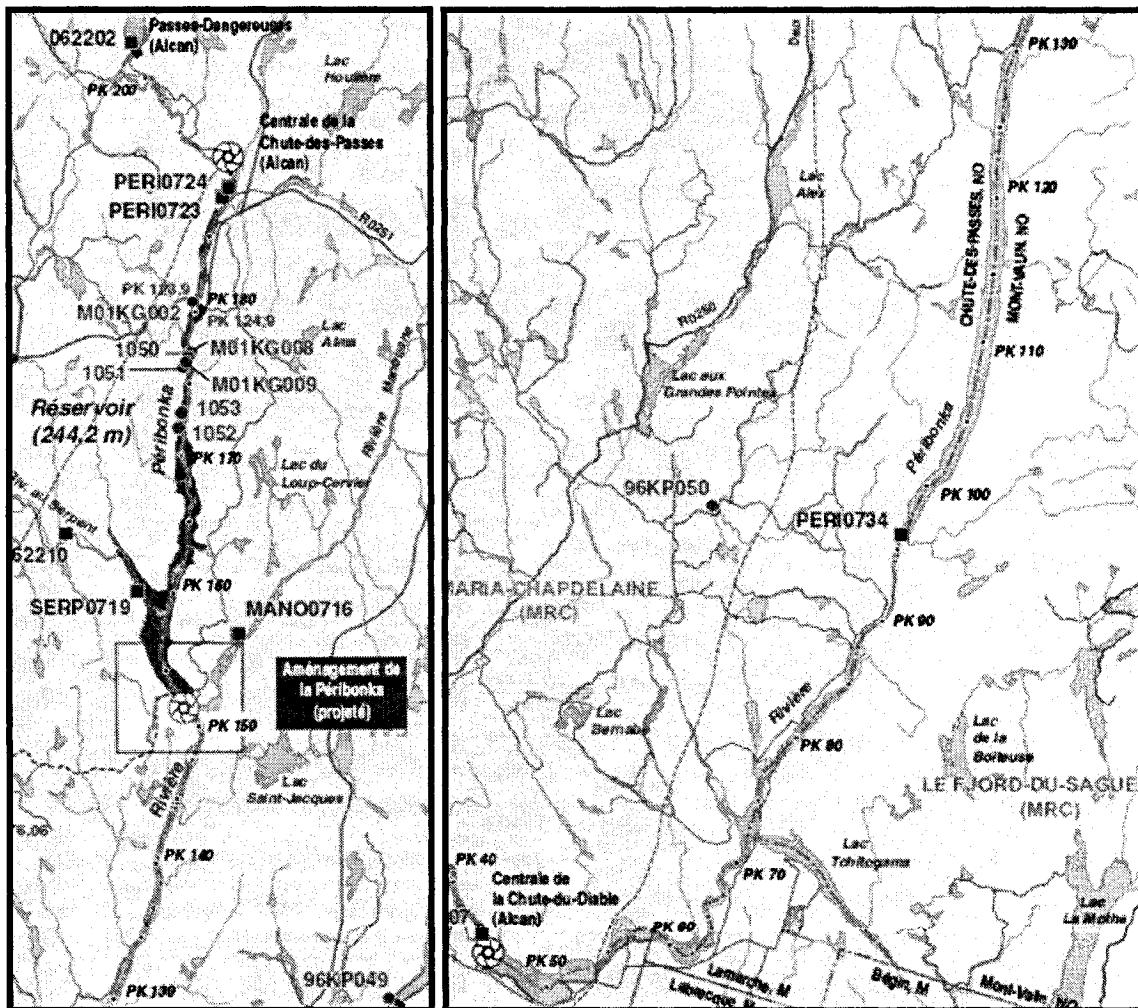


Figure 3.1 : Plan de localisation de la rivière Péribonka

3.2 Modélisation de la rivière Pérignonka

La rivière Pérignonka est modélisée à partir du PK 188,7 jusqu'au PK 44 inclusivement. Le modèle de la rivière totalise en tout 144,7 km et est composé de 142 sections. Les sections entre le PK 188,7 et le PK 87,5 sont modélisées à partir de la bathymétrie tirée du document « Aménagement hydroélectrique de la Pérignonka » (Hydro-Québec 2003b). Les autres sections, soit celles situées entre le PK 87 et le PK 44, sont modélisées à partir de la bathymétrie d'Alcan⁵. L'ensemble des sections sont complétées avec les cartes topographiques (échelle de 1 : 50 000) du ministère des Ressources Naturelles du Canada (1973a, 1973b, 1973c, 1974a, 1974b, 1976a, 1976b). À noter que chaque section est formée de 12 points (largeur, élévation).

La pente de la rivière Pérignonka en amont du PK 160 est de 0,0025 m/m. En aval du PK 160, la pente de la rivière est de 0,0002 m/m. Ces deux pentes imposent respectivement un Δx maximal de 2 339 et de 662 m d'après les équations 2.7 et 2.8 du chapitre 2 en fonction d'un Δt de 0,2 heure. Un Δx de 100 m est choisi pour la modélisation, car les temps de simulations restent raisonnables (moins de 3 minutes en moyenne) et une meilleure approximation du volume est obtenue. Le profil de la rivière Pérignonka est présenté à la Figure 3.2 ci-dessous :

⁵ Alcan inc. -- division Énergie Électrique a transmis un fichier ASCII (format x, y et z) de la bathymétrie de la rivière Pérignonka et du lac Tchitogama.

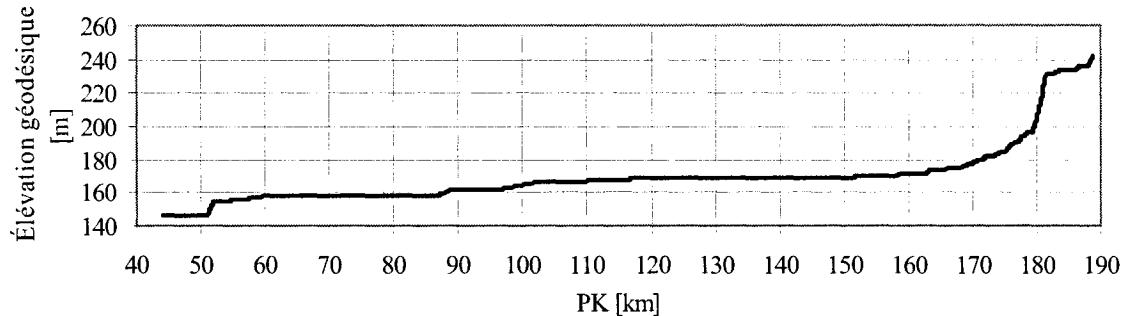


Figure 3.2 : Profil de la rivière Pérignonka (Thalweg)

La Photo A.1 de l'annexe A présente une photo de la rivière Pérignonka en direction aval.

3.3 Modélisation des tributaires de la rivière Pérignonka

La rivière Pérignonka possède deux rivières tributaires importantes, soit la rivière Serpent et la rivière Manouane. Ces deux tributaires sont modélisés, car ils sont responsables de la majorité des apports intermédiaires de la rivière Pérignonka.

Le lac Tchitogama est le dernier tributaire modélisé de la rivière Pérignonka. Ce lac est modélisé, car il fait partie du réservoir de la centrale Chute-du-Diable. Ce tributaire pourra donc contribuer à l'effet de laminage présent dans le réservoir de la Chute-du-Diable au cours des simulations qui seront effectuées.

Les sections qui composent ces trois tributaires ont été modélisées au moyen des données recueillies sur les cartes topographiques (échelle de 1 : 50 000) du ministère des Ressources Naturelles du Canada (1973a, 1976a). En plus des données recueillies sur les

cartes topographiques, les sections du modèle du lac Tchitogama sont modélisées avec les données bathymétriques d'Alcan⁶.

Chaque section de ces trois tributaires est formée de 12 points (largeur, élévation).

3.3.1 Rivièr e Serpent

La rivière Serpent rejoint la rivière Péri bonka au PK 158,5. Le tronçon modélisé de la rivière Serpent s'étend sur 7,8 km et est composé de 19 sections.

La pente du tronçon modélisé de la rivière est de 0,013 m/m. Cette pente impose un Δx maximal de 5 333 m d'après les équations 2.7 et 2.8 du chapitre 2 en fonction d'un Δt de 0,2 h. Un Δx de 25 m est choisi pour la modélisation, car les temps de simulations restent raisonnables (moins de 3 minutes en moyenne) et une meilleure approximation du volume est obtenue. Le profil de la rivière Serpent est présenté à la Figure 3.3 ci-dessous :

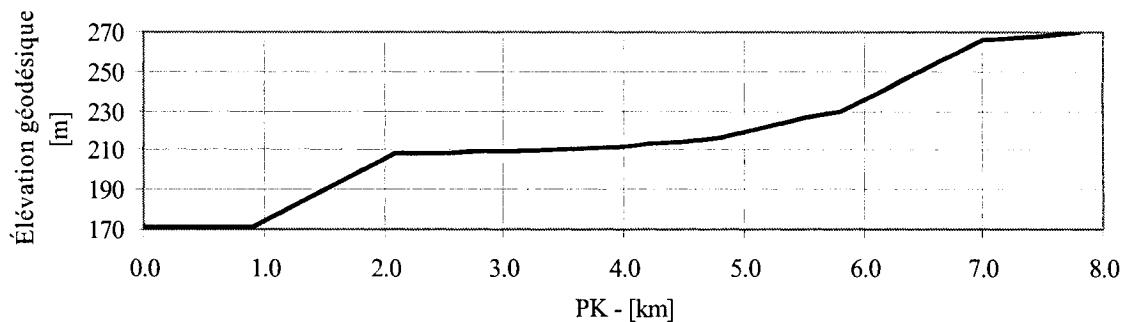


Figure 3.3 : Profil de la rivière Serpent (Thalweg)

⁶ Alcan inc. – division Énergie Électrique a transmis un fichier ASCII (format x, y et z) de la bathymétrie de la rivière Péri bonka et du lac Tchitogama.

La Photo A.2 de l'annexe A présente une photo de la rivière Serpent en direction ouest.

3.3.2 Rivièr Manouane

La rivière Manouane rejoint la rivière Péribonka au PK 150,6, soit à 1,2 km en aval de la CP projetée. Le tronçon modélisé s'étend sur 7 km et est composé de 9 sections.

La pente du tronçon modélisé de la rivière est de 0,002 m/m. Cette pente impose un Δx maximal de 2 092 m d'après les équations 2.7 et 2.8 du chapitre 2 en fonction d'un Δt de 0,2 h. Un Δx de 100 m est choisi pour la modélisation, car les temps de simulations restent raisonnables (moins de 3 minutes en moyenne) et une meilleure approximation du volume est obtenue. Le profil de la rivière Manouane est présenté à la Figure 3.4 ci-dessous :

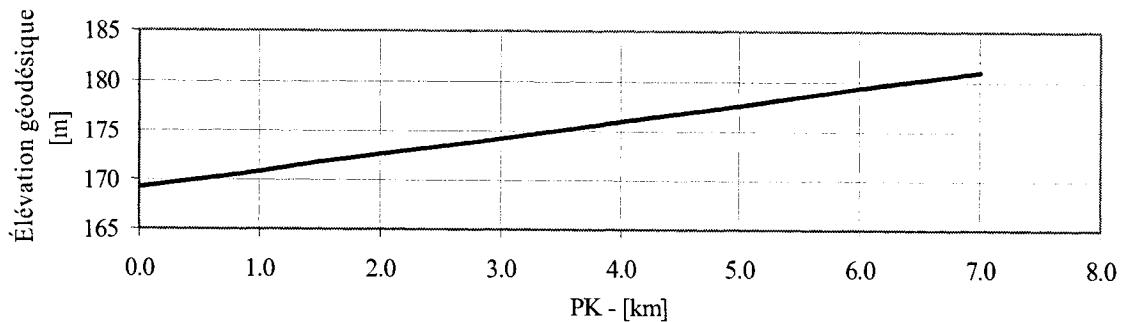


Figure 3.4 : Profil de la rivière Manouane (Thalweg)

La Photo A.3 de l'annexe A présente une photo de la rivière Manouane en direction amont de la rivière Péribonka.

3.3.3 Lac Tchitogama

Le lac Tchitogama rejoint la rivière Péribonka au PK 73,5, soit à 29,5 km en amont de la CCD. Le tronçon modélisé s'étend sur 14 km et est composé de 15 sections.

La pente du tronçon modélisé de la rivière est de 0,001 m/m. Cette pente impose un Δx maximal de 1 479 m d'après les équations 2.7 et 2.8 du chapitre 2 en fonction d'un Δt de 0,2 h. Un Δx de 50 m est choisi pour la modélisation, car les temps de simulations restent raisonnables (moins de 3 minutes en moyenne) et une meilleure approximation du volume est obtenue. Le profil du lac Tchitogama est présenté à la Figure 3.5 ci-dessous :

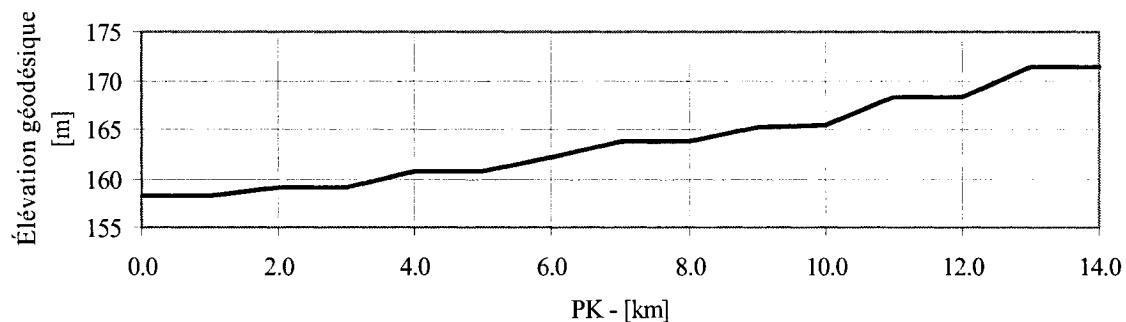


Figure 3.5 : Profil du lac Tchitogama (Thalweg)

La Photo A.4 de l'annexe A présente une photo du lac Tchitogama en direction est.

3.4 Modélisation des aménagements hydroélectriques

Les trois aménagements inclus dans la modélisation de la rivière Péribonka sont la centrale Chute-des-Passes (CCP), la centrale Péribonka (CP) et la centrale Chute-du-Diable (CCD).

3.4.1 Centrale de la Chute-des-Passes (CCP)

Les informations recueillies sur la CCP ont été fournies par Alcan inc. – division Énergie Électrique.

Le débit turbiné de la centrale CCP est rejeté dans la rivière Péribonka au PK 188,7 par le canal de fuite de la CCP, soit le point de départ du modèle de la rivière. Le barrage des Passes-Dangereuses, situé au PK 203, n'est donc pas modélisé. La modélisation de ce barrage et du tronçon de rivière entre celui-ci et le canal de fuite de la CCP n'est pas nécessaire, car la majorité des débits sont turbinés et acheminés par le canal de fuite. Seule une faible partie des débits sont déversés au barrage des Passes-Dangereuses. Par conséquent, les débits turbinés et déversés de la CCP sont modélisés dans les conditions frontières (en amont) du modèle au PK 188,7.

Le débit d'équipement de la CCP est de $570 \text{ m}^3/\text{s}$, soit de $114 \text{ m}^3/\text{s}$ par groupe turbine/alternateur (cinq groupes en tout). Compte tenu des pertes d'efficacité à très fort débit, le débit typique retenu par groupe est de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits qui seront utilisés pour modéliser le débit turbiné de la CCP seront de 100, de 200, de 300, de 400 et de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ pour représenter respectivement un, deux, trois, quatre et cinq groupes en utilisation.

Les Photos A.5 et A.6 de l'annexe A présentent respectivement une photo du barrage des Passes-Dangereuses (BPD) et une photo du canal de fuite de la CCP.

3.4.2 Centrale Péribonka (CP)

Les informations recueillies sur la CP proviennent du document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003a, p. 2-8 à 2-9 et 7-15).

Le barrage de la CP est modélisé au PK 151,8. La longueur et l’élévation de la crête du barrage sont respectivement de 690 m et de 247,2 m. La mise en place du barrage actuellement en construction provoquera une élévation de 70 m du niveau d’eau et formera un plan d’eau de 31,6 km² de superficie. Les niveaux minimal et maximal d’exploitation du réservoir sont respectivement de 242,7 m et de 244,2 m. Ceci équivaut à un volume utile d’emmagasinement de 47 hm³. En raison de ce faible volume, la centrale sera exploitée au fil de l’eau. En outre, ce réservoir permettra d’accumuler une partie des apports en période de crue.

Le débit d’équipement de la CP est de 630 m³/s, soit de 210 m³/s par groupe turbine/alternateur (trois groupes en tout). En supposant une opération à 80 à 85 % du débit maximum, le débit par groupe est d’environ 170 m³/s. Les débits qui seront utilisés pour modéliser le débit turbiné de la CP seront de 175, de 350 et de 525 m³/s pour représenter respectivement un groupe, deux groupes et trois groupes en utilisation.

Selon le document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003a, p. 1-4), l’exploitation de la CP ne modifiera pas le mode d’exploitation actuelle de la CCP et de la CCD de la rivière Péribonka.

La Photo A.3 de l’annexe A présente une photo de la CP direction amont de la rivière Péribonka.

3.4.3 Centrale de la Chute-du-Diable (CCD)

Les informations recueillies sur la CCD ont été fournies par Alcan inc. – division Énergie Électrique.

Le barrage de la CCD est modélisé au PK 44. La longueur et l’élévation de la crête du barrage sont respectivement de 544 m et de 174,07 m. Le barrage a une hauteur de 34 m

et forme un plan d'eau de 47 km² de superficie. Les niveaux minimal et maximal d'exploitation du réservoir sont respectivement de 164,62 m et de 172,24 m. Ceci équivaut à un volume utile d'emmagasinement de 362,5 hm³.

Le débit d'équipement de la CCD est de 850 m³/s, soit de 170 m³/s par groupe turbine/alternateur (cinq groupes en tout). En supposant une efficacité de 80 à 85 % du débit maximum, le débit par groupe est d'environ 140 m³/s. Les débits qui seront utilisés pour modéliser le débit turbiné de la CCD seront de 140, de 280, de 420, de 560 et de 700 m³/s pour représenter respectivement un, deux, trois, quatre et cinq groupes en utilisation.

La Photo A.7 de l'annexe A présente une photo de la CCD.

3.5 Modélisation de la rugosité du lit de la rivière Pérignonka

3.5.1 Géologie et géomorphologie

Selon le document « Aménagement hydroélectrique de la Pérignonka » (Hydro-Québec 2003a, p. 6-1 et 6-2), la rivière Pérignonka coule au fond d'une vallée rocheuse située dans les hautes terres du bouclier canadien. Le fond de cette vallée est recouvert d'une couche importante de sédiments d'origine fluvio-glaciaire ou marine. Ces sédiments sont composés principalement de sable ou de sable et de gravier.

La Figure A.8 de l'annexe A présente une photo du lit de la rivière Pérignonka aux environs du PK 119. Au centre de la photo, un dépôt sablonneux émerge de la rivière Pérignonka.

3.5.2 Coefficient de Manning du modèle

Dans son livre, Chow (1959, p. 118) caractérise différents lits de rivière en fonction d'un coefficient de Manning. Pour chaque coefficient, l'auteur fait une brève description et inclut une photo de la rivière étudiée.

Pour un lit composé de sable et de gravier, le coefficient de Manning est de l'ordre de 0,020 à 0,025. La valeur retenue est de 0,022 (valeur médiane) pour l'ensemble des sections du modèle excepté les sections entre le PK 182,9 et le PK 174,2 de la rivière Pérignonka et les sections entre le PK 7,8 et le PK 2,1 de la rivière Serpent. Pour ces deux exceptions, les pentes élevées du cours d'eau font augmenter la vitesse d'écoulement de l'eau. Lorsque les vitesses sont élevées, le pavage du lit de la rivière est nettoyé de ses matériaux fins (sable) et est composé de matériaux grossiers (D_{50} de 200 mm environ). Selon Chow (1959), la rugosité des matériaux grossiers équivaut à un coefficient de Manning de 0,07. Ce coefficient est donc modélisé pour les sections entre le PK 182,9 et le PK 174,2 de la rivière Pérignonka et les sections entre le PK 7,8 et le PK 2,1 de la rivière Serpent.

La Photo A.9 de l'annexe A présente un rapide de la rivière Pérignonka aux environs du PK 178.

À noter que le logiciel Fldwav permet d'ajuster le coefficient de Manning de la rivière en fonction des points (largeur, élévation) constituant les sections transversales du modèle. Un coefficient de Manning sera évalué pour les douze points de chaque section de la rivière Pérignonka. Pour simplifier le modèle, le coefficient de Manning sera le même pour chaque point constituant les sections du modèle.

CHAPITRE 4

DONNÉES HYDROLOGIQUES

Le présent chapitre est consacré à l'identification de l'ensemble des données utilisées aux fins de la réalisation du projet. Ces données serviront ensuite à étalonner le modèle de la rivière Pérignonka et, enfin, à établir les fonctions de transfert de débit. Voici les points traités :

- Données hydrologiques
- Description du bassin versant de la Chute-du-Diable
- Description des apports intermédiaires
- Calcul des apports intermédiaires

4.1 Données hydrologiques

Les données hydrologiques utilisées dans le cadre du présent projet proviennent de trois sources différentes : les stations hydrométriques d'Alcan, d'Hydro-Québec et du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ).

4.1.1 Données d'Alcan

Les données de débit de la CCP et les données de débit et de niveau d'eau de la CCD ont été fournies par Alcan inc. – division Énergie Électrique. Les données journalières du 1^{er} janvier 1999 au 15 février 2005 ont été utilisées dans le cadre du présent projet. À noter que les données de débit de la CCP sont divisées en deux catégories, soit les débits turbinés et les débits déversés (vanne). Quant à la CCD, les données de débits sont

divisées en trois catégories, soit les débits turbinés, les débits déversés et les apports non contrôlés (ANC).

Un résumé de l'ensemble des données de la CCP et de la CCD est présenté au Tableau 4.1 ci-dessous :

Tableau 4.1 : Données hydrologiques d'Alcan

Lieu	Type de données
CCP	Débit turbiné
CCP	Débit vanne
CCD	Apports non contrôlés (ANC)
CCD	Débit turbiné
CCD	Débit vanne
CCD	Niveau d'eau

De plus, les données de débit de la station 062214 du ministère de l'Environnement relative à la rivière Serpent ont été fournies par Alcan inc. – division Énergie Électrique. Cette station est située à environ 25 km en amont de la jonction de la rivière Serpent à la rivière Périamonka. Les données journalières du 1^{er} janvier 1999 au 15 février 2005 ont été utilisées dans le cadre du présent projet.

4.1.2 Données Hydro-Québec

Hydro-Québec a fourni les données de niveau d'eau des stations hydrométriques résumées au Tableau 4.2 :

Tableau 4.2 : Données limnimétriques d'Hydro-Québec

Station	PK	Lieu	Date	
			Début	Fin
PERI0724	188.8	Amont du canal de fuite CCP	2001-11-08	2004-09-25
PERI0718	188.6	Station remplacée par PERI0723 et PERI0724	2001-05-16	2001-07-18
PERI0723	188.4	Aval du canal de fuite CCP	2001-10-11	2004-09-25
SERP0719	2.2	Proximité de la rivière Pérignonka	2001-05-12	2004-09-25
MANO0716	7.0	Proximité de la rivière Pérignonka	2001-05-09	2004-09-25
PERI0728	150.6	Jonction Manouane/Pérignonka	2001-11-08	2004-09-23
PERI0734	96.0	Intérieur du réservoir CCD	2002-03-02 2004-01-01	2002-12-31 2004-08-05

Seules les données des stations PERI0728 et PERI0734 seront utilisées pour effectuer l'étalonnage du modèle présenté au prochain chapitre. Les autres stations ne sont pas pertinentes pour effectuer l'étalonnage pour les raisons suivantes :

- Les fluctuations du niveau d'eau importantes causées par les débits provenant du canal de fuite de la CCP ne permettent pas d'effectuer un étalonnage sur les sections aux environs du PK 188,7
- Les fluctuations du niveau d'eau importantes causé par les débits provenant des rivières Serpent et Manouane ne permettent pas d'effectuer un étalonnage sur les rivières modélisées

4.1.3 Données du Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ)

Les données journalières de débit des stations 061801 et 062209 du CEHQ sont utilisées dans le cadre de l'étude de la rivière Pérignonka. Ces stations sont situées respectivement à l'exutoire du bassin versant de la Petite Pérignonka et sur la rivière Manouane à 50 km en amont de la jonction avec la rivière Pérignonka. Cette station est plus précisément située à la sortie du lac Duhamel.

Les données journalières de débit de la station 061801 du 1^{er} janvier 2000 au 1^{er} janvier 2005 ont été utilisées dans le cadre du présent projet. Les données journalières de débits

de la station 062209 du 1^{er} janvier 1999 au 15 février 2005 ont été utilisées dans le cadre du présent projet.

4.1.4 Résumé des données

L'ensemble des données utilisées pour effectuer des simulations est résumé au Tableau 4.3 ci-dessous :

Tableau 4.3 : Résumé des données hydrologiques

Station	Source	PK	Lieu	Date		Type de données
				Début	Fin	
PERI0728	Hydro-Québec	150,6	Rivière Péribonka et jnc rivière Manouane	2001-11-08	2004-09-23	Niveau d'eau
PERI0734	Hydro-Québec	96,0	Rivière Péribonka	2002-03-02 2004-01-01	2002-12-31 2004-08-05	Niveau d'eau
061801	CEHQ	-	Exutoire du bassin versant de la Petite Péribonka	2000-01-01	2005-01-01	Débit
062209	CEHQ	-	Rivière Manouane à 50 km en amont de la rivière Péribonka	1999-01-01	2005-02-15	Débit
-	Alcan	188,7	Canal de fuite de la CCP	1999-01-01	2005-02-15	Débit turbiné
-	Alcan	188,7	Canal de fuite de la CCP	1999-01-01	2005-02-15	Débit vanne
062214	Alcan	-	Rivière Serpent à 25 km en amont de la rivière Péribonka	1999-01-01	2005-02-15	Débit
-	Alcan	44,0	CCD	1999-01-01	2005-02-15	ANC
-	Alcan	44,0	CCD	1999-01-01	2005-02-15	Débit turbiné
-	Alcan	44,0	CCD	1999-01-01	2005-02-15	Débit vanne
-	Alcan	44,0	CCD	1999-01-01	2005-02-15	Niveau d'eau

4.1.5 Précision des instruments de mesure des stations hydrométriques

La précision des instruments de mesure⁷ (des données de débit et du niveau d'eau) est présentée au Tableau 4.4 suivant. Ces informations sont utilisées pour décrire la qualité des simulations effectuées pour étalonner le modèle de la rivière Péribonka.

Tableau 4.4 : Précision des instruments de mesure

Endroit	Unité	Précision
Débits de la CCP et de la CCD	[%]	$\pm 2,0$
Débits des rivières Serpent et Manouane	[%]	$\pm 5,0$
Niveau d'eau des stations hydrométriques	[cm]	$\pm 1,5$
Effet du $V^2/2g$ à la prise de niveau d'eau à la centrale CCD	[m]	négligeable

4.1.6 Localisation des stations hydrométriques

La Figure 4.1⁸ présente l'emplacement des stations hydrométriques d'Alcan, d'Hydro-Québec et du CEHQ. À noter que la station 061801 du bassin versant de la Petite Péribonka est présenté à la Figure 4.4 ci-après.

⁷ Précision utilisée par Alcan inc. – division Énergie Électrique.

⁸ L'image est tiré du document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003).

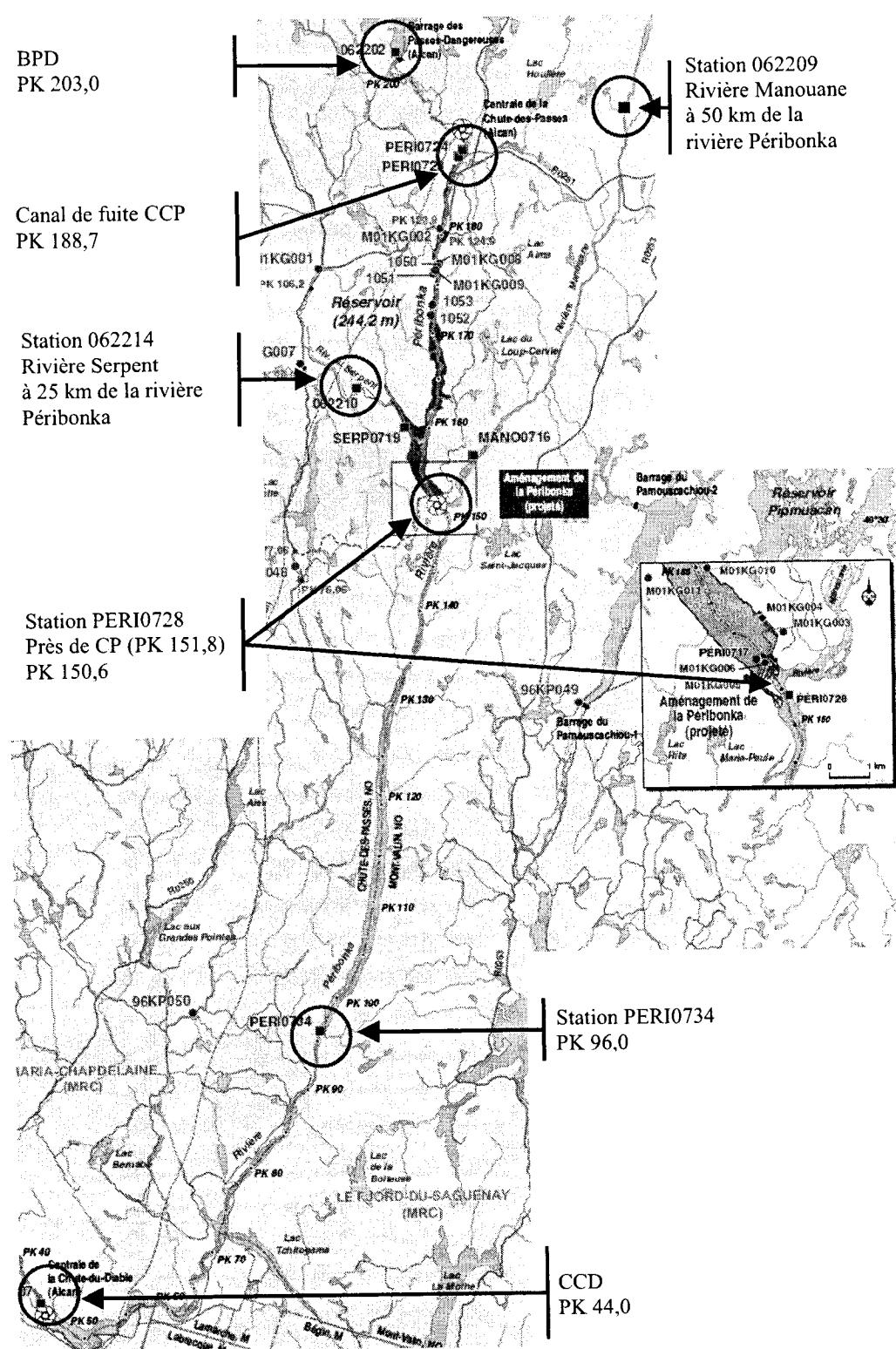


Figure 4.1 : Localisation des stations hydrométriques

4.2 Description du bassin versant de la Chute-du-Diable

Le bassin versant de la Chute-du-Diable a une superficie de 9 702 km². Alcan inc. – division Énergie Électrique a fourni les données caractéristiques de ce bassin et celles-ci sont traitées à l'aide du logiciel MapInfo. Le bassin versant de la Chute-du-Diable a été subdivisé en sous-bassins en fonction des tributaires et des stations hydrométriques pertinentes, afin de traiter les apports intermédiaires dans la modélisation. La Figure 4.3 ci-après présente le bassin versant de la Chute-du-Diable ainsi que ses sous-bassins numérotés de 1 à 9.

Le bassin versant de la Chute-du-Diable est grand et il s'étend sur plusieurs kilomètres au nord du Lac-Saint-Jean. Par conséquent, le haut du bassin versant (en haut du PK 150) ne réagit pas de la même façon que le bas (en dessous du PK 150). Le bas du bassin versant de la Chute-du-Diable s'apparente beaucoup avec le bassin versant de la Petite Pérignonka (superficie de 1 015 km²) étant donné qu'ils sont approximativement de la même grandeur et qu'ils sont situés à proximité. La Figure 4.4 ci-après présente le bassin versant de la Petite Pérignonka. Comme le démontre la Figure 4.2 ci-dessous, la crue relative au bassin versant de la Petite Pérignonka est débutée plus tôt dans l'année que les bassins versant des rivières Serpent et Manouane.

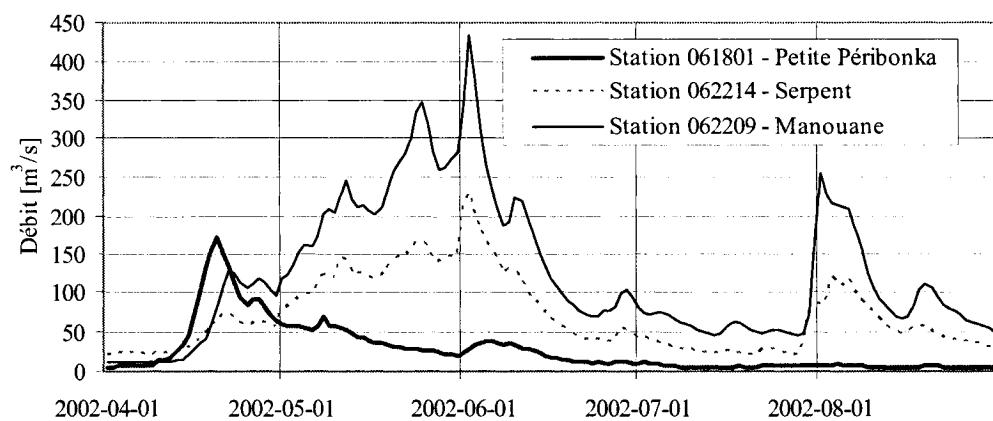


Figure 4.2 : Débit à l'exutoire du bassin versant

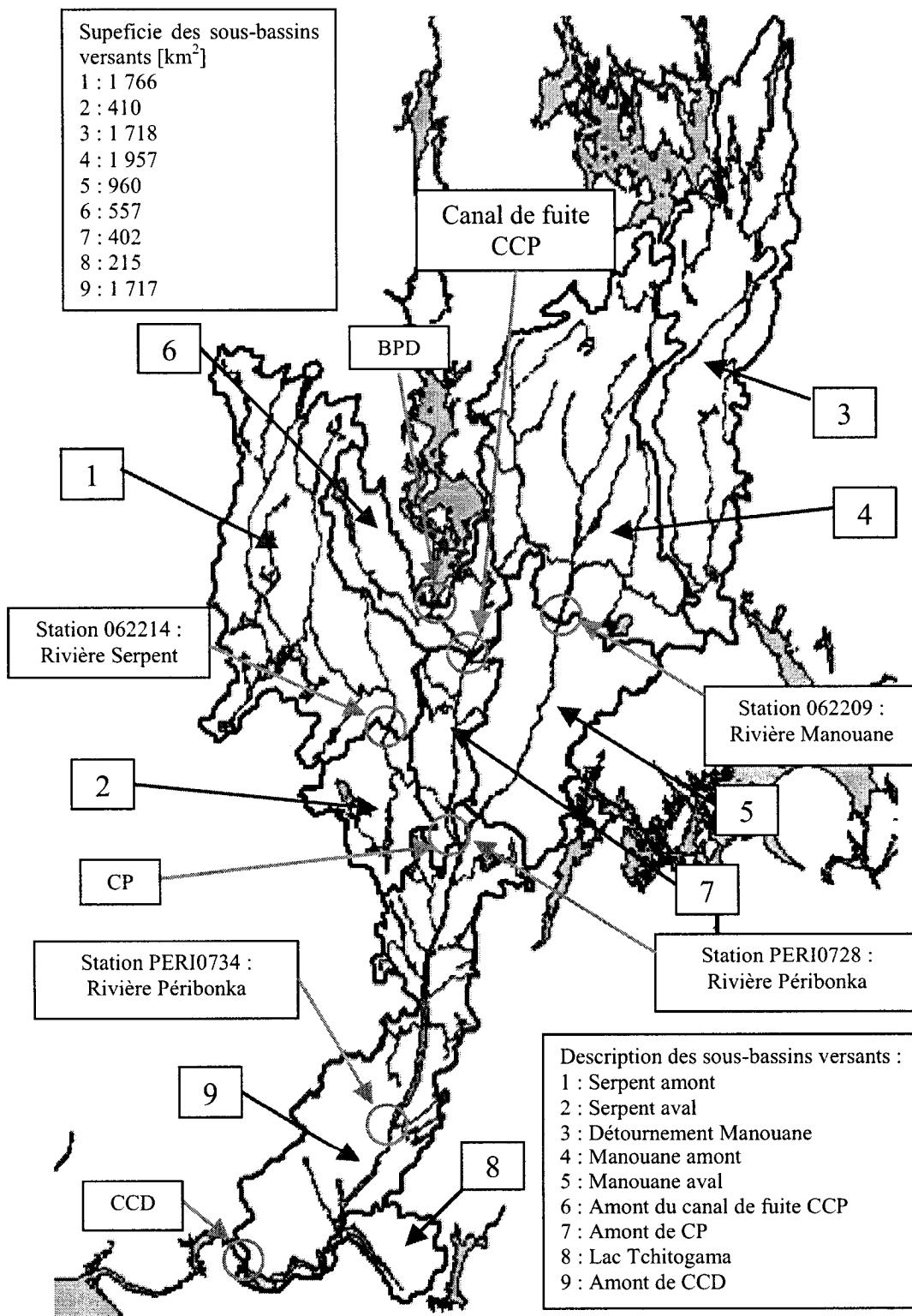


Figure 4.3 : Localisation des sous-bassins versants de la Chute-du-Diable

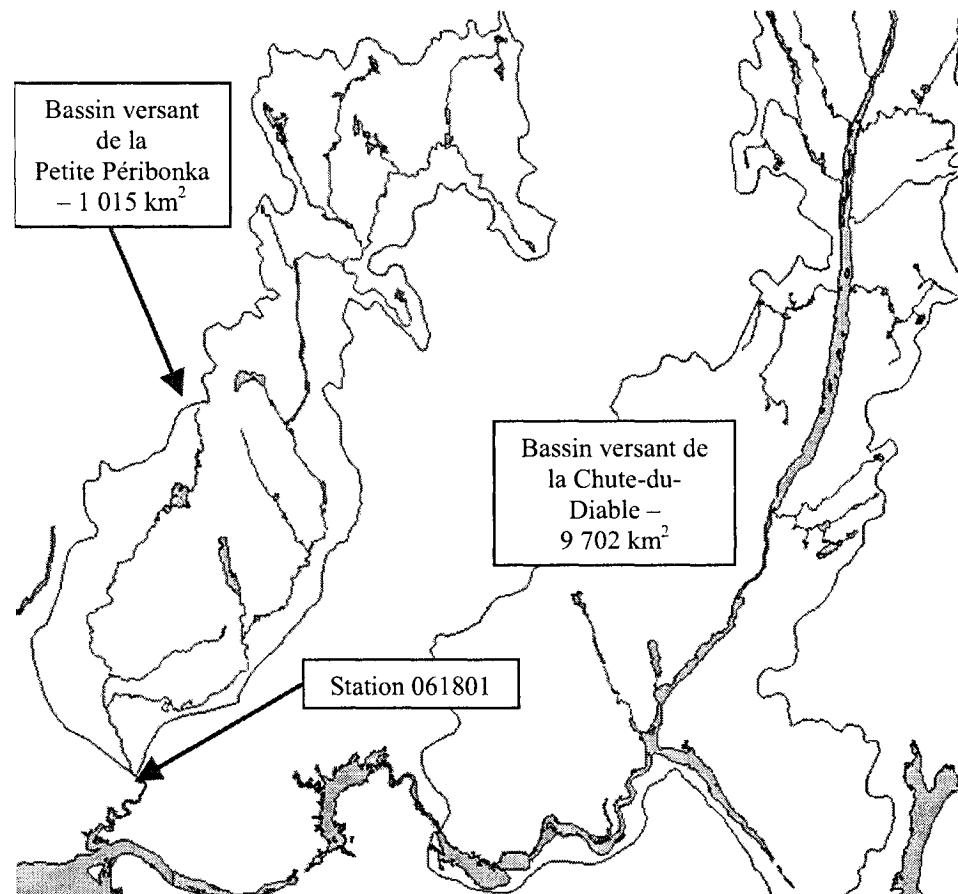


Figure 4.4 : Localisation du bassin versant de la Petite Péribonka

Le Tableau 4.5 ci-après résume la superficie des bassins versants de la Chute-du-Diable et de la Petite Péribonka.

La gestion de l'eau du bassin versant de la Chute-du-Diable a été affectée à partir du 20 septembre 2003 par la réalisation du projet de dérivation de la rivière Manouane par Hydro-Québec. Après une entente entre Hydro-Québec et Alcan, les débits provenant du sous-bassin versant n° 3 ($1 718 \text{ km}^2$) sont détournés vers le réservoir Pipmuacan juxtaposé au bassin versant de la Chute-du-Diable géré par Hydro-Québec. Cependant, un débit de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ provenant du sous-bassin n° 3 est relâché en tout temps vers le réservoir CCD. À noter que ce débit peut augmenter lorsqu'il y a des pluies de forte intensité ou en période de crue par la crête libre de l'ouvrage de fermeture de la rivière.

Comme les conditions de débitance ne sont pas connues à l'exutoire du bassin versant n°3, il est préférable d'utiliser les données hydrologiques avant le 20 septembre 2003, afin d'éviter des erreurs sur le calcul d'apport intermédiaire.

Tableau 4.5 : Superficie des bassins versants de la CCD et de la Petite Pérignonka

Description du bassin versant [-]	n° du sous- bassin [-]	Distance entre l'exutoire du sous-bassin versant et la rivière Pérignonka [km]	Superficie	
			avant le 20 septembre 2003 [km ²]	après le 20 septembre 2003 [km ²]
Amont du canal de fuite de la CCP	6	-	557	557
Amont de CP	7	-	402	402
Serpent Amont	1	25,0	1 766	1 766
Serpent Aval	2	7,8	410	410
CP total		-	3 135	3 135
Détournement Manouane	3	95,0	1 718	-
Manouane Amont	4	50,0	1 957	1 957
Manouane Aval	5	7,0	960	960
Manouane total		-	4 635	2 917
Lac Tchitogama	8	-	215	215
Amont de la CCD	9	-	1 717	1 717
CCD Total		-	9 702	7 984
Petite Pérignonka		-	1 015	1 015

4.3 Description des apports intermédiaires

Les apports intermédiaires sont générés par la pluie (ou la neige en hiver) tombant dans le bassin versant et sont déterminés en fonction de la grandeur des sous-bassins versants. Chaque sous-bassin contribue à l'augmentation du débit dans la rivière Pérignonka. Le Tableau 4.6 énumère les 7 endroits où les apports intermédiaires sont modélisés dans le modèle.

Tableau 4.6 : Localisation et modélisation des apports intermédiaires

Localisation [-]	Modélisation des apports intermédiaires [-]	Ajustement [km ²]	Distance à corriger [km]
Amont du canal de fuite CCP	Condition frontière de la rivière Péribonka	-	-
Amont de CP	Condition interne - fonction débit latéral	-	-
Rivière Serpent	Condition frontière de la rivière Serpent	410	17
Rivière Manouane	Condition frontière de la rivière Manouane	960	43
Amont de CCD 1	Condition interne - fonction Débit latéral	-	-
Amont de CCD 2	Condition interne - fonction Débit latéral	-	-
Lac Tchitogama	Condition frontière du lac Tchitogama	-	-

4.3.1 Rivière Serpent (1 endroit)

Les débits utilisés pour modéliser les apports intermédiaires de la rivière Serpent proviennent de la station 062214. Ces débits sont modélisés dans la condition frontière de la rivière Serpent.

Dans le modèle, la rivière Serpent a une longueur totale de 7,8 km. Les apports intermédiaires sont insérés dans le modèle à la section amont comme condition frontière, donc à 7,8 km en amont de la rivière Péribonka et à 17 km en aval de la station 062214. À cet endroit, le sous-bassin versant de la rivière Serpent a une superficie de 2 176 km². Comme les données débit fournies par la station d'Alcan sont fonction d'un sous-bassin de 1 766 km², un ajustement de 410 km² est requis.

Par conséquent, les débits seront ajustés à la hausse en fonction d'une règle de proportionnalité (règle de trois). En ce qui concerne la distance qui sépare la station de la rivière Péribonka, les effets de laminage sont négligeables. En effet, les données fournies par Alcan inc. – division Énergie électrique sont journalières; elles résultent d'une moyenne de données prises dans la journée. L'incertitude sur les données de débit est donc suffisamment grande pour contrer l'effet de laminage normalement présent sur les 17 km du cours d'eau.

4.3.2 Rivièr Manouane (1 endroit)

Les débits utilisés pour modéliser les apports intermédiaires de la rivière Manouane proviennent de la station 062209. Ces débits sont modélisés dans la condition frontière de la rivière Manouane.

Dans le modèle, la rivière Manouane à une longueur totale de 7,0 km. Les apports intermédiaires sont insérés dans le modèle à la section amont comme condition frontière, donc à 7,0 km en amont de la rivière Périonka et à 43 km en aval de la station 062209. À cet endroit, le sous-bassin versant de la rivière Manouane à une superficie de 4 635 km². Comme les données débit fournies par la station d'Alcan sont fonction d'un sous-bassin de 3 675 km², un ajustement de 960 km² est requis.

Par conséquent, les débits seront ajustés à la hausse en fonction d'une règle de proportionnalité (règle de trois). En ce qui concerne la distance qui sépare la station de la rivière Périonka, les effets de laminage sont négligeables. En effet, les données fournies par le CEHQ sont journalières; elles résultent d'une moyenne de données prises dans la journée. L'incertitude sur les données de débit est donc suffisamment grande pour contrer l'effet de laminage normalement présent sur les 43 km du cours d'eau.

Cependant, le calcul des apports intermédiaires après le 20 septembre 2003 est problématique pour le sous-bassin versant de la rivière Manouane, car la gestion du bassin versant a été modifiée à cette date. Pour éviter de faire des erreurs sur le calcul des apports intermédiaires, les données de débit après cette date ne seront pas utilisées.

4.3.3 Lac Tchitogama (1 endroit)

Les apports du lac Tchitogama sont mineurs, car le sous-bassin versant du lac Tchitogama est très petit. Ces débits sont modélisés dans la condition frontière du lac Tchitogama.

4.3.4 Autres apports intermédiaires (4 endroits)

Trois sous-bassins versants n° 6, n° 7 et n° 9 de la Figure 4.3 qui contribuent aux apports intermédiaires complètent le bassin versant de la Chute-du-Diable. Le sous-bassin n° 6, soit celui situé entre le barrage des Passes-Dangereuses (BPD) et le canal de fuite CCP, sera pris en compte dans l'hydrogramme de débit d'entrée de la rivière Péribonka. L'hydrogramme de la rivière Péribonka sera donc fonction de deux éléments, soit le débit total de la CCP (turbiné + déversé) et le débit d'apport du sous-bassin versant n° 6 de 557 km^2 .

Le sous-bassin n° 7, situé entre le canal de fuite et la CP, sera modélisé comme hydrogramme imposé aux conditions internes du modèle à partir de la fonction débit latéral du logiciel Fldwav. Un endroit permet de représenter l'ensemble du sous-bassin versant d'une superficie de 402 km^2 modélisé au PK 167,8. Cet endroit correspond au point médian entre le canal de fuite de la CCP et la CP.

Le sous-bassin n° 9, situé entre la CP et la CCD, sera modélisé en deux hydrogrammes égaux imposés aux conditions internes du modèle à partir de la fonction débit latéral du logiciel Fldwav. Deux endroits permettront de représenter l'ensemble du sous-bassin versant d'une superficie de $1\,717 \text{ km}^2$ modélisés au PK 136,4 et au PK 92,6. Ces endroits correspondent à chaque tiers de la distance entre la CP et la CCD.

4.4 Calcul des apports intermédiaires

Les apports intermédiaires du bassin versant de la Chute-du-Diable proviennent majoritairement des sous-bassins de la rivière Serpent et Manouane, totalisant 6 811 km².

Le reste des apports est calculé et distribué uniformément sur les 2 891 km² restants du bassin versant. Le calcul d'apport intermédiaire est réalisé en cinq étapes :

1. Selon la règle de trois, le débit pour chaque sous-bassin versant est calculé en fonction de la superficie et du débit moyen de la rivière Serpent et Manouane, et ce, pour chaque donnée journalière;
2. Pour le bassin versant n° 8 et 9, les apports sont ajustés (même méthode que l'étape 1) avec les données de débit du bassin versant de la Petite Péribonka;
3. Pour chaque pas de temps de 24 h, l'équation (4.1), présentée ci-après, est utilisée pour calculer les apports intermédiaires sur tout le bassin (les n° font référence à la Figure 4.3 et au Tableau 4.5);
4. Les débits pour chaque sous-bassin sont ajustés à partir d'un coefficient d'apport intermédiaire (CAI) situé entre 1 et 0. Ce coefficient est déterminé à partir d'une minimisation entre les apports calculés de la deuxième étape et les apports réels (données d'Alcan, voir Tableau 4.1);
5. En tout temps, les apports intermédiaires calculés ne peuvent être inférieurs à 2 m³/s afin d'assurer la stabilité des calculs numériques du logiciel de simulation Fldwav.

$$(4.1) \quad Q_{a_t} = [Q_8 + Q_9]_t + [Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7]_{t-24h}$$

Où,

$Q_a =$ Apport intermédiaire de débit à la CCD – [m^3/s]

$Q =$ Débit – [m^3/s]

CHAPITRE 5

ÉTALONNAGE DU MODÈLE

5.1 Généralités

Le présent chapitre est consacré à l'étalonnage du modèle de la rivière Péribonka. Voici les points traités :

- Étalonnage des réservoirs de la CCD et de la CP du modèle
- Étalonnage des coefficients de Manning du modèle
- Résultats
- Limites du modèle
- Conclusion et recommandations

5.2 Étalonnage des réservoirs de la CCD et de la CP du modèle

Le modèle de la rivière est constitué de sections transversales. Le volume d'eau engendré par la rivière Péribonka dans le modèle doit être ajusté en fonction du volume d'eau réel de cette rivière. Pour effectuer l'étalonnage de chacun des réservoirs, une table volume/élévation est utilisée.

Quatre essais d'une durée de 30 heures ont été effectués pour différentes élévations de niveau d'eau au droit des barrages de la CCD et de la CP. Ces essais, représentés par quatre hydrogrammes de débit (+300, -300, +100 et -100 m³/s), sont modélisés dans les conditions frontières du modèle. Le lac Tchitogama et la rivière Serpent (servant à étalonner respectivement les réservoirs de la CCD et de la CP) sont les tributaires utilisés pour modéliser les hydrogrammes. La Figure 5.1 ci-dessous présente deux

hydrogrammes de (+,-) $300 \text{ m}^3/\text{s}$ qui engendrent une variation de volume théorique de (+,-) 27 hm^3 au réservoir :

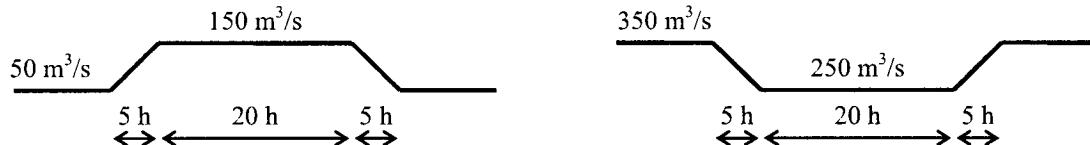


Figure 5.1 : Hydrogrammes de (+,-) $300 \text{ m}^3/\text{s}$

À noter que les hydrogrammes de (+,-) $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ont les mêmes formes que ceux de la Figure 5.1 et engendrent respectivement une variation de volume théorique de (+,-) 9 hm^3 au réservoir.

Afin d'alléger le présent texte, deux variables ont été créées :

- ΔV_{si} : Variation de volume d'une simulation d'après la table volume/élévation
- ΔV_{th} : Variation de volume théorique calculée à partir de l'hydrogramme (Figure 5.1)

Les essais effectués engendrent une variation de niveau d'eau au barrage dans les simulations. Cette variation est ensuite reportée dans une table volume/élévation pour déterminer la ΔV_{si} du réservoir. Trois observations peuvent être faites à partir de la comparaison entre la ΔV_{si} et la ΔV_{th} :

- Si $\Delta V_{th} = \Delta V_{si}$ ⇒ Le réservoir du modèle est étalonné
- Si $\Delta V_{th} < \Delta V_{si}$ ⇒ Le réservoir du modèle est trop petit
- Si $\Delta V_{th} > \Delta V_{si}$ ⇒ Le réservoir du modèle est trop grand

Lorsque le réservoir du modèle est trop petit, il faut agrandir la largeur des sections. Dans le cas inverse, il faut les réduire. La différence entre la ΔV_{si} et la ΔV_{th} correspond à une erreur de volume.

5.2.1 Réservoir de la CCD

La Table volume/élévation du réservoir de la CCD est fournie par Alcan inc. – division Énergie Électrique et est présentée au Tableau B.1 de l'annexe B. Le réservoir est étalonné pour les élévations qui varient de 164 à 172 m selon un pas de 1 m. Le réservoir de la CCD est présenté à la Figure 5.2 ci-dessous pour les élévations de 165,0, de 168,0, et de 171,0, et de 171,2 m.

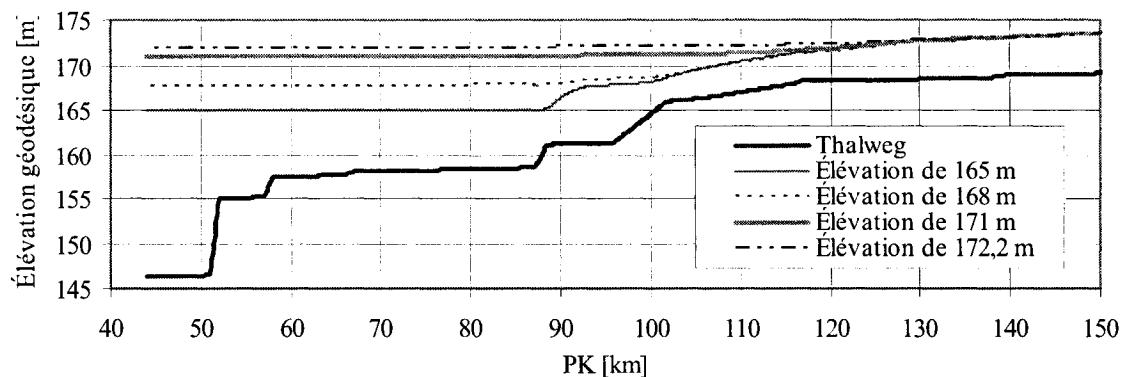


Figure 5.2 : Réservoir de la CCD à différentes élévations d'eau

La Figure 5.2 démontre que le réservoir s'étend jusqu'au PK 125. En théorie, l'étalonnage du réservoir devrait être effectué sur les sections entre le PK 44 et le PK 125. Cependant, les sections qui ont été modifiées sont celles du PK 44 au PK 87 inclusivement, car elles sont moins précises que les sections entre le PK 125 et le PK 87. En effet, ces dernières sont modélisées à partir de la bathymétrie provenant du document « Aménagement hydroélectrique de la Péribonka » (Hydro-Québec 2003b) et sont plus

précises que les sections entre le PK 44 et le PK 87 modélisées à partir de la bathymétrie d'Alcan.

Après que différentes modifications ont été effectuées sur les sections, le réservoir de la CCD est étalonné. Les résultats de l'étalonnage des quatre essais effectués sont présentés au Tableau B.2 de l'annexe B. Dans ce tableau, pour chaque élévation, le volume généré par la simulation est indiqué et comparé avec le volume théorique. L'erreur de volume est présentée en hectomètre cube et en centimètre (par rapport au plan d'élévation de l'eau du réservoir). De plus, dans le même tableau, l'erreur de continuité calculée par le logiciel Fldwav est présentée et assure la validité de la simulation. Enfin, la longueur du réservoir en fonction de l'élévation du plan d'eau est présentée à la dernière colonne du Tableau B.2.

Les résultats du Tableau B.2 démontrent que le réservoir est bien étalonné, et ce, pour chaque élévation mise à l'essai. De façon générale, l'erreur par rapport au plan d'élévation d'eau est d'un centimètre. Par contre, l'erreur est plus importante à l'essai 2 avec un débit de $-300 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette erreur se produit à l'élévation 165 m, soit le point le plus bas de la table volume/élévation. À cette élévation, une erreur de volume est plus importante étant donné que le réservoir est plus petit. Par ailleurs, l'erreur se révèle négligeable aux essais de $(+,-) 100 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2.2 Réservoir de la CP

La Table volume/élévation fournie par Hydro-Québec est présentée au Tableau B.3 de l'annexe B. Le réservoir est étalonné pour les élévations qui varient de 180 à 240 m selon un pas de 5 m et de 240 à 245 m selon un pas de 1 m. Le pas de 1 m réservé pour l'élévation de 240 à 245 m est utilisé afin d'avoir une meilleure précision dans la zone d'exploitation de la CP qui s'étend de 242,7 à 244,2 m. Le réservoir de la CP est présenté à la Figure 5.3 ci-dessous pour les élévations de 242,7 et de 244,2 m.

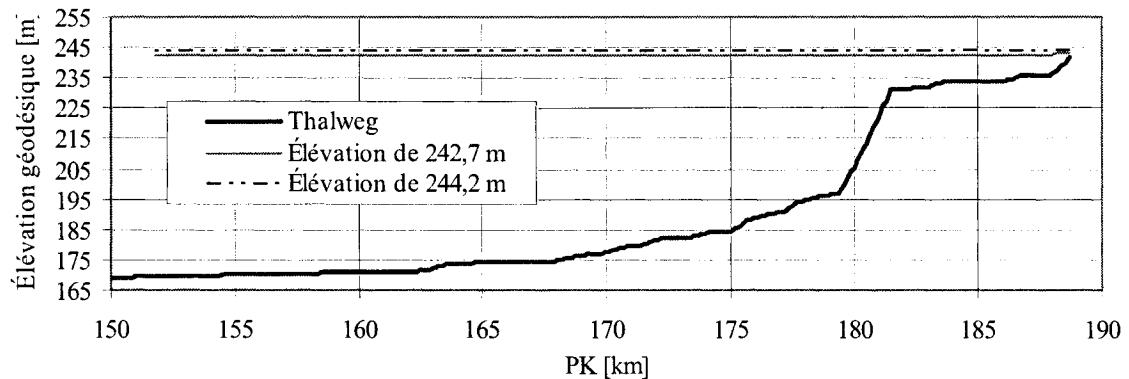


Figure 5.3 : Réservoir de la CP à différentes élévations d'eau

Après que différentes modifications sur les sections du réservoir de la CP (entre le PK 151,8 et le PK 188,7) ont été effectuées, celui-ci est étalonné. Les résultats de l'étalonnage pour les quatre essais effectués sont présentés aux Tableaux B.4 et B.5 de l'annexe B.

Ces résultats démontrent que le réservoir est bien étalonné, et ce, pour chaque élévation mise à l'essai. Les erreurs les plus importantes sont observées pour les simulations dont l'élévation au réservoir de la CP varie entre 220 et 230 m, soit les simulations où l'erreur de continuité est la plus grande. Pour ces élévations données, le niveau d'eau remonte jusqu'au PK 175, endroit critique où se forme un rapide.

5.3 Étalonnage des coefficients de Manning du modèle

L'étalonnage des coefficients de Manning est effectué en quatre étapes :

1. Choix d'une période de simulation;
2. Simulation et calcul de l'indice de qualité;
3. Ajustement des apports intermédiaires et/ou des coefficients de Manning;

4. Retour à l'étape 2 jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants.

5.3.1 Choix des périodes de simulation

Les périodes de simulations sont choisies en fonction des données de débit et des données de niveau d'eau disponibles. Le Tableau 5.1 ci-dessous présente les trois stations limnimétriques utilisées pour comparer les résultats des variations du niveau d'eau :

Tableau 5.1 : Stations limnimétriques considérées pertinentes

Station	PK	Lieu
PERI0728	150,6	Jonction de la rivière Manouane
PERI0734	96,0	Début du réservoir de la CCD
Station Alcan	44,0	Proximité de la CCD

Les données pour ces trois stations sont disponibles uniquement pour l'année 2002. Pour l'année 2003, les données de seulement deux stations (PERI0728 et Station d'Alcan) sont disponibles. En plus, comme il a été mentionné au chapitre 4, la gestion de l'eau du bassin versant de la rivière Manouane est modifiée depuis le 20 septembre 2003. Par conséquent, les données après cette date ne seront pas utilisées pour effectuer des simulations afin d'éviter des erreurs d'ajustement du coefficient de Manning.

En tenant compte de ces contraintes, 18 périodes de simulations ont été sélectionnées et sont résumées au Tableau 5.2 qui suit :

Tableau 5.2 : Périodes de simulation effectuées

Série	Date			Couvert	Série	Date			Couvert
	Année	Début	Fin	de glace		Année	Début	Fin	de glace
01	2002	2 mars	1 ^{er} avril	présent	30	1 ^{er} janvier	31 janvier	présent	
02		11 mai	10 juil	-	31	1 ^{er} février	3 mars	présent	
03		8 juin	8 juillet	-	32	1 ^{er} mars	31 mars	présent	
04		24 juin	24 juillet	-	33	1 ^{er} avril	1 ^{er} mai	-	2003
05		2 juillet	1 ^{er} août	-	34	1 ^{er} mai	31 mai	-	
06		1 ^{er} août	31 août	-	35	1 ^{er} juin	1 ^{er} juillet	-	
07		1 ^{er} septembre	1 ^{er} octobre	-	36	1 ^{er} juillet	31 juillet	-	
08		5 octobre	4 novembre	-	37	1 ^{er} août	31 août	-	
09		1 ^{er} novembre	1 ^{er} décembre	-					
10		1 ^{er} décembre	31 décembre	présent					

5.3.2 Simulation et calcul de l'indice de qualité

Les données de chaque période de simulation (31 jours) sont compilées dans un chiffrier Excel. Dans ce chiffrier, le coefficient CAI est ajusté (voir « calcul des apports intermédiaires » de la section 4.4). Après que la simulation est réalisée, les résultats sont répertoriés dans ce même chiffrier afin de produire des graphiques et le calcul de l'indice de qualité.

Les données retenues de chacune des simulations sont :

- Niveau d'eau au PK 150,6, 96,0 et 44,0; une donnée par heure
- Débit au PK 150,6, 96,0 et 44,0; une donnée par heure
- Erreur de continuité (en %); une donnée par simulation

À partir des graphiques et de l'indice de qualité, les périodes de simulation sont jugées bonnes ou mauvaises.

Indice de qualité (IQ)

L'IQ est constitué de deux parties, l'une est un calcul numérique de l'erreur et l'autre est la durée de cette erreur. L'IQ est calculé à partir de l'équation (5.1) et représente une sommation d'erreurs engendrées par une simulation :

$$(5.1) \quad IQ = \left[\sum_{i=1}^{Tsim} Erreur_i^2 \right] \cdot \frac{1000}{Tsim}$$

Où,

Tsim = Temps de simulation – [h]

Erreur = Différence entre le niveau d'eau réel et le niveau d'eau simulé – [m]

L'Erreur (équation (5.1)) est mise au carré afin d'éviter des valeurs négatives dans le calcul. La variable Tsim est ajoutée dans l'équation afin d'avoir un calcul d'erreur représenté par heure de simulation. Ceci permet de comparer l'indice de qualité des simulations ayant des Tsim différents. Le nombre 1 000 de l'équation a été ajouté afin d'avoir des valeurs d'IQ variant entre 0 et 10.

La deuxième partie de l'IQ permet de déterminer si l'Erreur se poursuit sur une des quatre périodes suivantes : de 24 à 47 heures, de 48 à 95 heures, de 96 à 191 heures et de 192 heures et plus. Si l'Erreur se poursuit entre 1 et 23 heures, alors celle-ci n'est pas prise en compte puisque la période en question est très courte. L'Erreur n'est donc pas importante lorsqu'elle se poursuit dans cette période.

Le Tableau 5.3 présente un exemple du calcul de l'IQ. À gauche, le calcul de l'IQ est effectué pour chaque PK et calculé sur une échelle de 0 à 20 cm. Par exemple, au PK 150,6, l'IQ de 4,96 est calculé en fonction d'une Erreur d'au moins 1,5 cm. En ce qui

concerne la deuxième partie de l'IQ (Erreurs localisées pour les différents PK), l'IQ de 4,96 est répartie en quatre Erreurs différentes sur la période de 24 à 47 heures.

Tableau 5.3 : Exemple d'un calcul de l'IQ

[cm]	Indice de qualité IQ PK			Erreurs localisées pour les différents PK												
	150,6			96,0				44,0								
	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +				
0,0	4,98	4,95	0,50	0	0	0	1	2	1	1	1	2				
1,5	4,96	4,95	0,48	0	0	0	2	4	3	1	0					
5,0	4,61	4,63	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0					
8,0	4,06	2,42	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0					
10,0	3,39	1,09	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0					
15,0	1,69	0,07	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0					
20,0	0,76	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0					

Pour bien comprendre l'IQ, un autre exemple est donné. Par exemple, dans le Tableau 5.3, l'IQ au PK 150,6 et au PK 96,0 à 5 cm est respectivement de 4,61 et de 4,63. Bien que ces IQ soient très semblables, les erreurs localisées sont très différentes. Pour le cas où l'IQ est de 4,61, il n'y a pas d'erreur localisée. Toutes les erreurs surviennent sur une période entre 1 et 23 heures. Pour le cas où l'IQ est de 4,63, les erreurs surviennent quatre fois dans la période de 24 à 47 heures et deux fois dans la période de 96 à 191 heures. Les résultats de simulation au PK 150,6 sont donc plus précis que ceux au PK 96,0. À noter que les zones ombragées du Tableau 5.3 sont jugées critiques, car elles représentent les résultats de simulation les moins précises. Par exemple, une erreur de plus de 20 cm se poursuivant pendant plus de 192 heures n'est pas une situation recherchée dans l'étalonnage. Des ajustements sont requis.

Le Tableau 5.4 présente une échelle des valeurs permettant de qualifier l'IQ. Ces valeurs ont été déterminées en comparant plusieurs graphiques et résultats numériques des simulations.

Tableau 5.4: Valeur de l'indice de qualité

IQ < 0,99	1,00 < IQ < 2,49	2,50 < IQ < 4,99	5,00 < IQ < 9,99	IQ > 10,00
Excellent	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais

Enfin, les valeurs de l'IQ sont prises en considération uniquement à partir de 1,5 cm, car la précision des instruments de mesure des trois stations limnimétriques est de 1,5 cm (voir Tableau 4.4, chapitre 4).

5.3.3 Ajustement des apports intermédiaires et/ou des coefficients de Manning

Au cours d'une simulation, deux variables principales influencent les résultats : le coefficient CAI et le coefficient de Manning. À priori, il est difficile de déterminer quelle variable devrait être ajustée afin d'obtenir de bons résultats. Chaque variable produit un effet différent sur la simulation et peut être observé dans les graphiques.

Pour distinguer l'effet des deux variables à ajuster, deux simulations, soit le Cas C et le Cas D, ont été effectuées. Elles ont ensuite été comparées avec le Cas B qui représente une simulation pour laquelle l'ajustement entre le coefficient CAI et le coefficient de Manning du modèle est parfait. La période de simulation choisie est la série 07 du Tableau 5.2.

Cas C

Le Cas C est une copie conforme du Cas B à la seule exception que le coefficient de Manning a été ajusté à la baisse. À noter que le coefficient CAI demeure inchangé. Comme le démontre la Figure 5.4 présentée ci-dessous, le niveau d'eau au PK 96,0 du Cas C est d'environ dix centimètres plus bas que le niveau d'eau du Cas B. La différence d'élévation au début de la simulation est approximativement la même que celle à la fin.

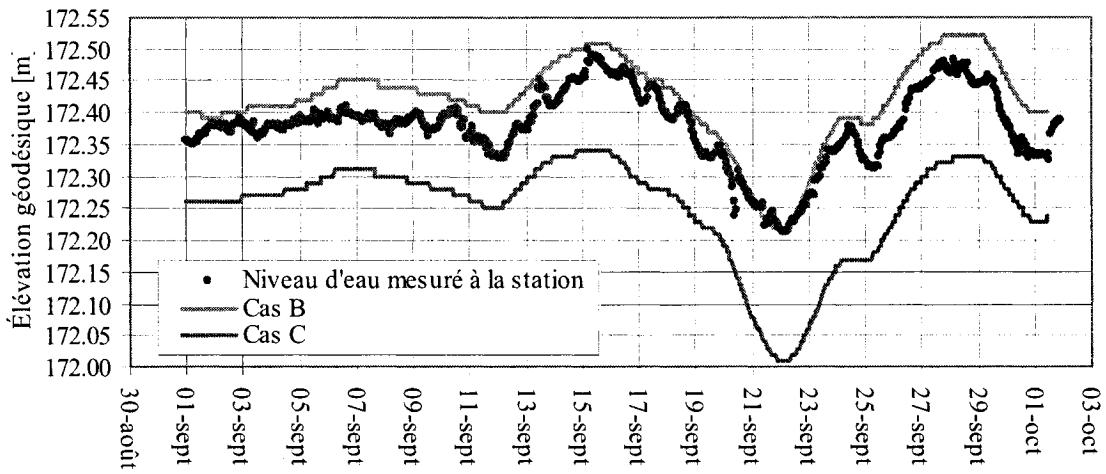


Figure 5.4 : Cas C – coefficients de Manning trop faible – PK 96,0

Cas D

Le Cas D est une copie conforme du Cas B à la seule exception que le coefficient CAI a été ajusté à la hausse. À noter que les coefficients de Manning demeurent inchangés. Comme le démontre la Figure 5.5, la différence de niveau d'eau au PK 96,0 s'accentue au fur et à mesure du déroulement de la simulation. Comme les apports intermédiaires ont été évalués à la hausse, il en résulte une augmentation de volume d'eau qui se traduit par une augmentation du niveau d'eau dans le réservoir de la CCD.

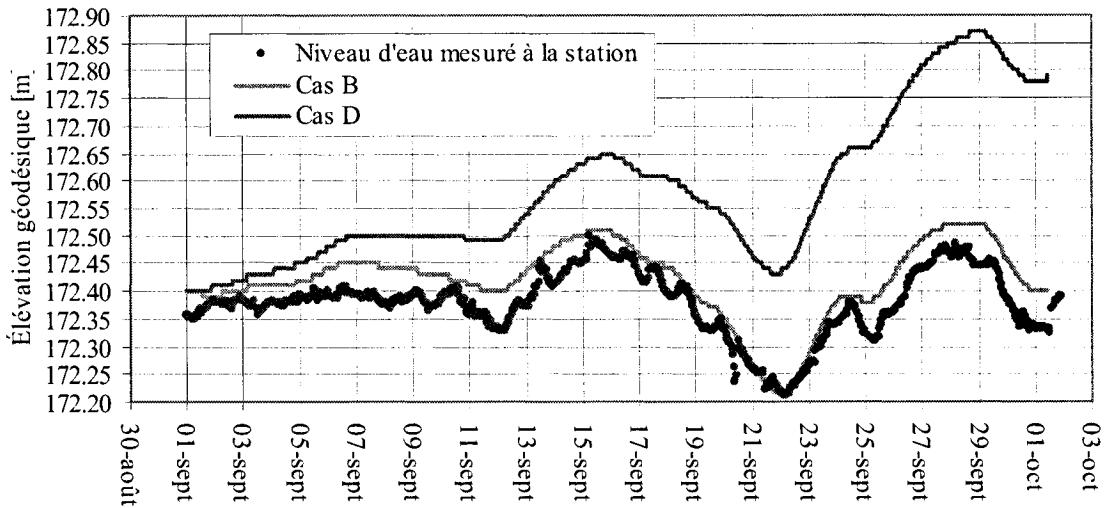


Figure 5.5 : Cas D – Coefficient CAI trop élevé – PK 96,0

5.3.4 Retour à l'étape 2 jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants

Si les résultats à l'étape trois ne sont pas satisfaisants, les coefficients de Manning et/ou le coefficient CAI doivent être ajustés.

5.4 Résultats

Après que les 18 périodes de simulations ont été réalisées, plusieurs ajustements ont été effectués. Deux cas d'étalonnage de Manning ont été retenus : le Cas A et le Cas B présentés au Tableau 5.5 et au Tableau 5.6 respectivement. Ces deux cas d'étalonnage sont identiques en tout point à la seule exception de la zone ombragée où les coefficients de Manning diffèrent de 0,035 à 0,040 et de 0,035 à 0,045.

Tableau 5.5 : Cas A – Valeurs des coefficients de Manning

Rivière	PK	Nombre de sections	n de Manning évalué à partir de l'élévation inférieure (1) à supérieure (12)													
			Début	Fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pérignonka	188,7	183,6	6		0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
	182,9	174,2	13		0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
	173,2	162,5	16		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	162,2	154,6	11		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	153,8	149,5	9		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	149,4	130,8	15		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	130,5	106,0	15		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
	101,7	88,4	9		0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	87,5	77,0	12		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	76,0	43,8	36		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Serpent	7,8	2,1	16		0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
	0,9	0,0	3		0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Manouane	7,0	0,0	9		0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Tchitogama	14,0	0,0	15		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

Tableau 5.6 : Cas B – Valeur des coefficients de Manning

Rivière	PK	Nombre de sections	n de Manning évalué à partir de l'élévation inférieure (1) à supérieure (12)													
			Début	Fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pérignonka	188,7	183,6	6		0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
	182,9	174,2	13		0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
	173,2	162,5	16		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	162,2	154,6	11		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	153,8	149,5	9		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	149,4	130,8	15		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	130,5	106,0	15		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
	101,7	88,4	9		0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
	87,5	77,0	12		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
	76,0	43,8	36		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Serpent	7,8	2,1	16		0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
	0,9	0,0	3		0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Manouane	7,0	0,0	9		0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Tchitogama	14,0	0,0	15		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

À noter que les coefficients de Manning sont identiques pour chaque section, c'est-à-dire les élévations n° 1 à 12 inclusivement, à part les sections entre le PK 101,7 et le PK 88,4 pour le Cas B. En effet, la précision obtenue lors des résultats de simulation ne permet pas d'ajuster les coefficients de Manning pour chaque élévation des sections du modèle.

5.4.1 Analyse des résultats des périodes de simulation

D'abord, les résultats des 18 périodes de simulations sont commentés à l'annexe B aux pages 124 à 129. Ensuite, à l'annexe B, les résultats de chaque période sont représentés sous forme de tableaux et de graphiques disposés sur deux pages. Un exemple des résultats de la série 07 est présenté aux Figures 5.6 et 5.7 ci-après. Sur la Figure 5.6, trois graphiques représentent les niveaux d'eau observés et simulés (Cas A et Cas B) aux stations limnimétriques des PK 44,0, 96,0 et 150,6. De plus, deux tableaux résumant l'IQ des Cas A et B sont présentés. Sur la Figure 5.7, trois graphiques sont présentés : le premier représente les débits imposés aux conditions frontières du modèle; le deuxième représente l'évolution des débits dans le temps aux PK 150,6, 96,0 et 44,0 (fonction du Cas B); le troisième représente la différence de débit entre le Cas A et le Cas B aux PK 150,6 et 96,0.

Série 07 - septembre 2002

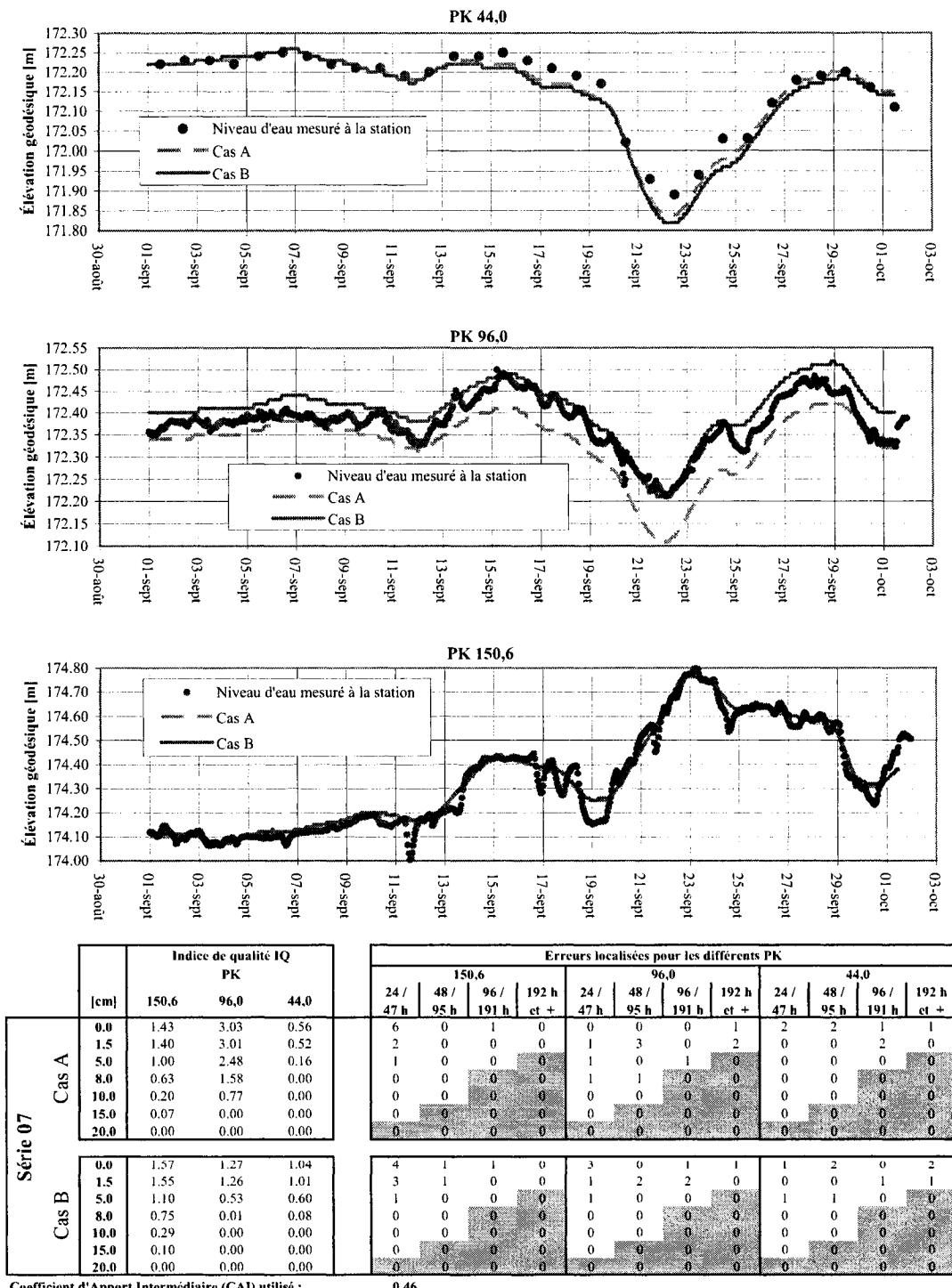


Figure 5.6 : Exemple des résultats de la série 07 de l'annexe B

Série 07 - septembre 2002 - suite

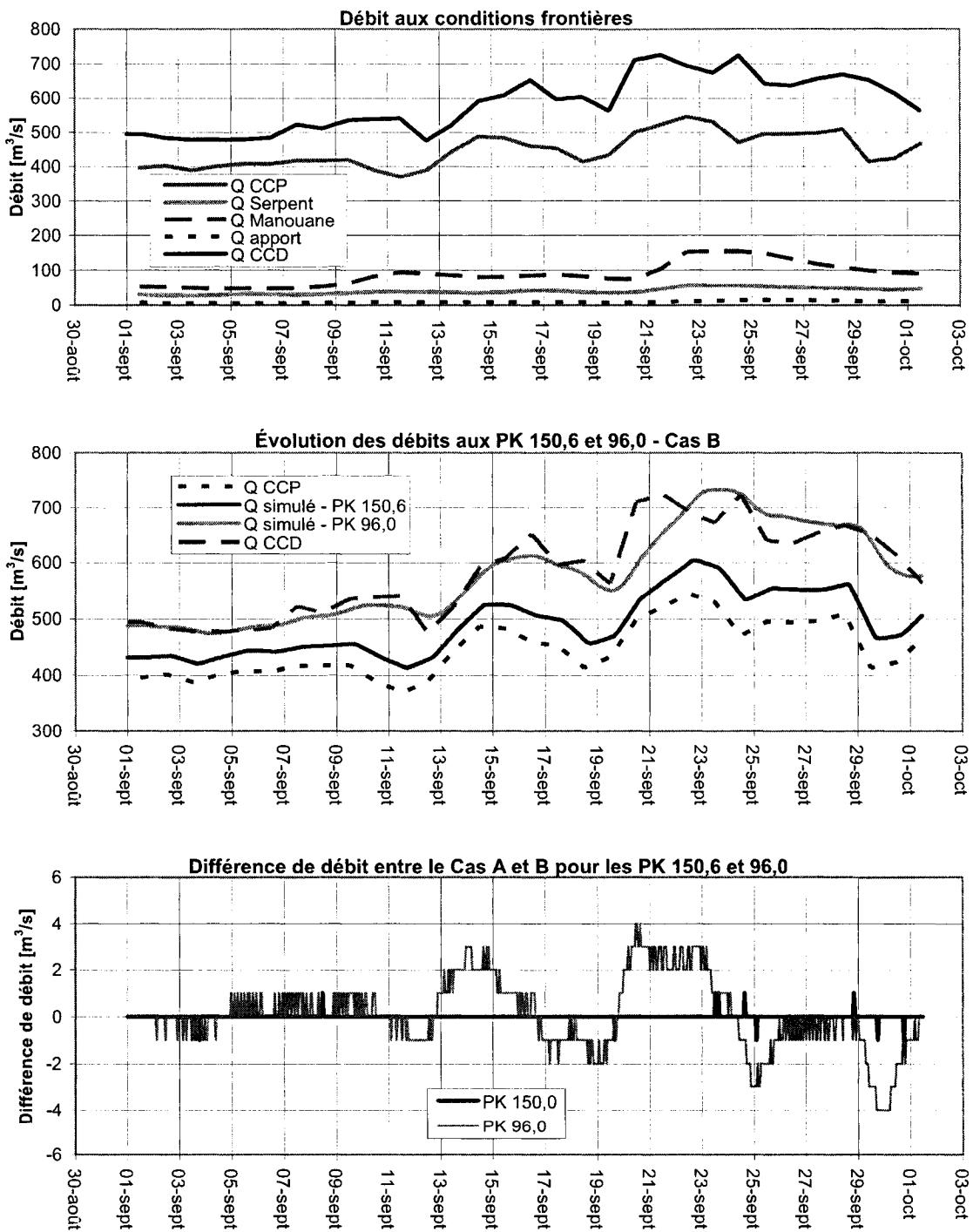


Figure 5.7 : Exemple des résultats de la série 07 de l'annexe B (suite)

5.4.2 Bilan des résultats

Le Tableau 5.7 ci-dessous présente un bilan des résultats des 18 périodes de simulation. Le Cas B représente le meilleur cas d'étalonnage des coefficients de Manning. Pour ce qui est des cas indéterminés, même s'ils sont nombreux, cela n'affecte pas la validité de l'étalonnage du modèle. Ces cas sont discutés à la section 5.5 portant sur les limites du modèle.

Tableau 5.7 : Bilan des résultats de période de simulation

Série	Année	Date		Couvert de glace	Cas A	Simulation favorable		
		Début	Fin			Cas B	Cas A et B	Indéterminé
01	2002	2 mars	1 ^{er} avril	présent				1
02		11 mai	10 juin	-				1
03		8 juin	8 juillet	-		1		
04		24 juin	24 juillet	-		1		
05		2 juillet	1 ^{er} août	-		1		
06		1 ^{er} août	31 août	-		1		
07		1 ^{er} septembre	1 ^{er} octobre	-		1		
08		5 octobre	4 novembre	-				1
09		1 ^{er} novembre	1 ^{er} décembre	-			1	
10		1 ^{er} décembre	31 décembre	présent				1
30	2003	1 ^{er} janvier	31 janvier	présent				1
31		1 ^{er} février	3 mars	présent				1
32		1 ^{er} mars	31 mars	présent				1
33		1 ^{er} avril	1 ^{er} mai	-				1
34		1 ^{er} mai	31 mai	-				1
35		1 ^{er} juin	1 ^{er} juillet	-	1			
36		1 ^{er} juillet	31 juillet	-				1
37		1 ^{er} août	31 août	-				1
		Total			1	5	1	11

5.5 Limites du modèle

Malgré que plusieurs simulations ont été réalisées avec succès, le modèle comporte certaines limites qui sont discutées dans les sous-sections suivantes.

5.5.1 Couvert de glace

Le logiciel de simulation Fldwav ne possède pas de paramètre pour modéliser un couvert de glace sur une rivière. Le modèle ne peut donc pas reproduire les phénomènes hydrauliques lors de la période hivernale (mois de décembre à mars inclusivement).

Selon Ashton (1986), la réalité hydraulique d'une rivière change de façon significative avec la formation d'un couvert de glace. Il affirme notamment que :

- L'utilisation de courbes de tarage pourrait être invalide quand il y présence d'un couvert de glace sur la rivière
- Le couvert de glace constitue une résistance au mouvement de l'eau
- La rugosité du couvert de glace est difficile à mesurer directement ou à estimer indirectement en fonction du profil de vitesse
- Une augmentation rapide de débit sous un couvert de glace pourrait briser celui-ci et causer un embâcle

En outre, selon Kivisild (1959), la rugosité du lit d'une rivière peut changer sous un couvert de glace. Selon Ohashi et Hamada (1970), la débitance d'une section de rivière comportant un couvert de glace pourrait être réduite de 29 % comparativement à une section sans couvert de glace.

Ashton (1986) explique une méthode pour effectuer des calculs hydrauliques avec un couvert de glace. La méthode analytique généralement employée pour déterminer la résistance de l'eau par rapport à un couvert de glace et pour calculer la débitance d'un canal consiste à utiliser l'équation de Manning. La valeur du coefficient de Manning doit être composée de la rugosité du lit de la rivière et du couvert de glace. Il en résulte donc un coefficient de Manning composé. À noter que Nezhikhowskii (1964) propose un tableau de valeurs de rugosité de différentes épaisseurs de couverts de glace.

Physiquement, lorsqu'un couvert de glace s'installe sur une rivière, celui-ci produit une résistance supplémentaire à l'écoulement de l'eau. Pour compenser cette résistance, le niveau d'eau de la rivière augmente. Par conséquent, le couvert de glace augmente le périmètre mouillé d'une section de la rivière. Pour un même niveau d'eau, le rayon hydraulique est réduit. C'est pour cette raison que les courbes de tarage ne peuvent être utilisées adéquatement avec des données limnimétriques prises avec un couvert de glace.

Le phénomène du frasil

D'après Michel (1978), lorsque la température de l'eau est froide (près de 0°C), de la glace se forme sur la surface de la rivière. Lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau est faible, soit moins de 0,6 m/s, un couvert de glace se forme. Si cette vitesse d'écoulement est grande (vitesse de plus de 1 m/s), la glace formée à la surface se mélange avec l'eau jusqu'au thalweg de la rivière. La particule de glace présente dans l'eau est appelée frasil.

Selon Michel (1965), les formes de frasil les plus acceptées sont les spicules et les disques de glace, les flocons de frasil originaux et métamorphosés ainsi que les plaquettes de glace de petites dimensions. Ces formes de frasil causent principalement une obstruction aux voies d'écoulement de l'eau dans les rivières. L'obstruction entraîne trois types de problèmes reliés aux aménagements hydrauliques qui sont :

1. Réduction totale ou partielle du débit des prises d'eau;
2. Immobilisation de pièces mécaniques devant être manœuvrées dans l'écoulement;
3. Surélévation des lignes d'eau causant des inondations riveraines.

En ce qui concerne le troisième problème d'obstruction, Michel (1965, p. 8) explique :

« Pour de faibles quantités de glace produite, le volume des dépôts de frasil est considérable. Les pertes de charge croissent rapidement dans les sections réduites d'écoulement et la surélévation de la pente de la ligne d'eau permet aux champs de glace de progresser dans les zones à écoulement plus rapide. »

De façon générale, le frasil modifie l'écoulement de l'eau dans une rivière. Le modèle réalisé dans le présent projet ne tient pas compte des modifications qu'entraîne le frasil, car elles ne peuvent pas être modélisées (Fldwav ne le permet pas).

Analyse d'un cas particulier

La Figure 5.8 suivante représente un cas de simulation en période hivernale (série 30 du mois de janvier 2003). Il s'agit des résultats de simulation au PK 150,6.

Les valeurs des coefficients de Manning du modèle ne sont pas assez élevées, car les niveaux simulés sont en dessous de ceux enregistrés à la station limnimétrique PERI0728 au PK 150,6.

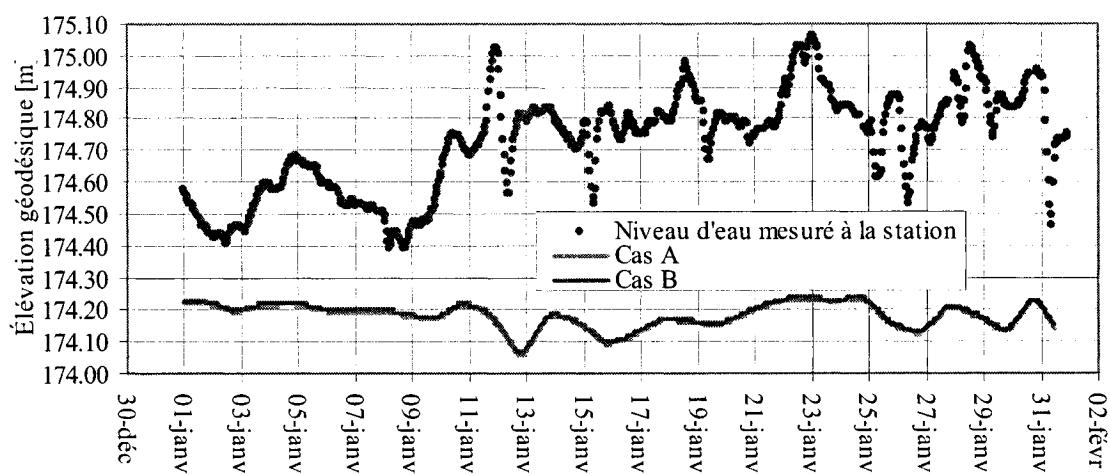


Figure 5.8 : Simulation en période hivernale – janvier 2003 – PK 150,6

À noter que ce même résultat peut être observé aux séries 01 et 10 de l'année 2002 et aux séries 31 et 32 de l'année 2003 (voir les Figures B.1, B.19, B.23 et B.25 de l'annexe B respectivement).

5.5.2 Incertitude sur les apports intermédiaires

Le coefficient CAI permet d'ajuster les apports intermédiaires au cours d'une période de simulation. Il permet aussi de répartir les erreurs d'apport intermédiaire au cours d'une période de simulation de 31 jours. Toutefois, il ne permet pas d'ajuster les apports intermédiaires quand des événements météorologiques (forte pluie, crue, etc.) de grande importance se produisent.

Dans la Figure 5.9, il est possible de constater que le coefficient CAI ne permet pas d'ajuster les apports intermédiaires en fonction des apports réels observés. La figure ci-dessous représente la période de simulation série 34 du mois de mai 2003 (pour obtenir les résultats complets, voir les Figures B.29 et B.30 de l'annexe B).

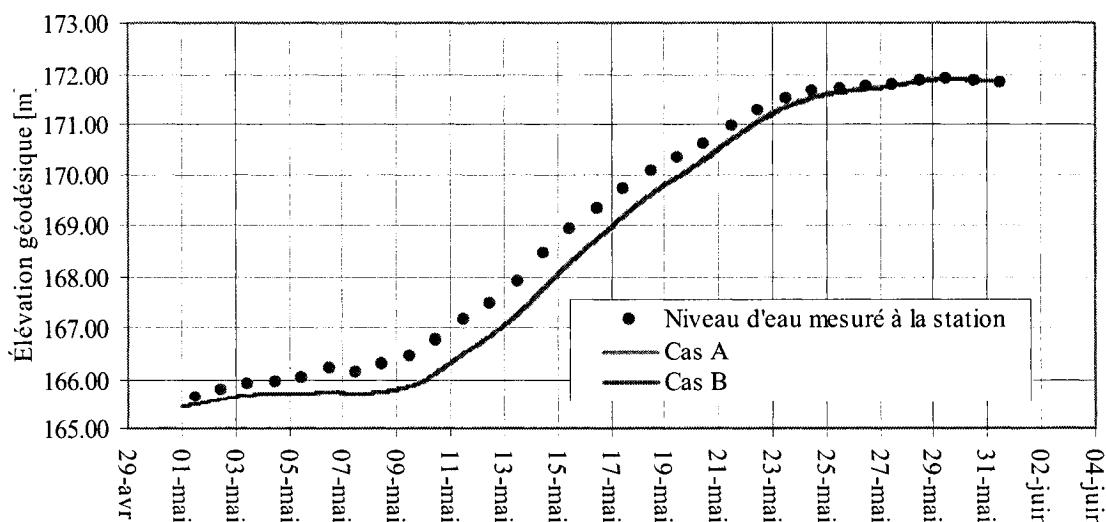


Figure 5.9 : Apports intermédiaires – mai 2003 – PK 44,0

Cette période de l'année correspond à la crue printanière de l'année 2003 où les apports intermédiaires se révèlent difficiles à déterminer. De ce fait, l'ajustement du coefficient CAI ne peut être effectué adéquatement.

À noter que ce même phénomène peut être observé aux séries 01, 02, 08 de l'année 2002 et aux séries 32, 33, 36 et 37 de l'année 2003 (voir les Figures B.1, B.3, B.15, B.25, B.27, B.33 et B.35 de l'annexe B respectivement).

5.6 Conclusion et recommandations

Les réservoirs de la CCD et de la CP ainsi que les coefficients de Manning du modèle ont été étalonnés. L'ensemble des résultats obtenus démontre que le modèle respecte la réalité hydrodynamique de la rivière Péribonka malgré les limites qu'il comporte.

Certaines simulations n'ont pu être réalisées avec succès. Toutefois, la validité du modèle n'est pas remise en question, car ce modèle a été validé avec de nombreuses autres simulations. Par ailleurs, les simulations infructueuses ont permis d'établir les limites du modèle qui seront prises en considération au cours de l'élaboration de la fonction de transfert de débit.

Les simulations sous un couvert de glace ne peuvent être effectuées à l'aide du modèle. Par conséquent, aucune fonction de transfert de débit ne pourra représenter adéquatement la période hivernale.

Pour ce qui est de l'étalonnage des coefficients de Manning, le Cas B est retenu pour effectuer la fonction de transfert de débit présentée dans le prochain chapitre. Les résultats de simulation de ce cas sont plus précis que ceux du Cas A.

Le modèle étalonné de la rivière Péribonka est présenté en format texte à l'annexe C.

CHAPITRE 6

FONCTION DE TRANSFERT DE DÉBIT

Le présent chapitre porte sur l'élaboration des fonctions de transfert de débit (FTD) de la rivière Péribonka. Voici les points traités :

- Généralités des FTD
- Fonction de transfert de débit
- Utilisation simplifiée des FTD
- Validation des FTD
- Conclusion et recommandations

6.1 Généralités des FTD

Les FTD sont divisées en trois parties représentant chacune un tronçon de la rivière Péribonka, soit :

- Le tronçon de la rivière entre la CCP et la CCD
- Le tronçon de la rivière entre la CCP et la CP
- Le tronçon de la rivière entre la CP et la CCD

Une FTD est définie comme étant la répartition dans le temps d'un débit turbiné (d'une centrale située en amont) qui parvient à un réservoir situé en aval. En langage mathématique, la FTD est exprimée par deux matrices, soit la matrice Temps (t) et la matrice Pourcentage de débit (pQ). Ces matrices sont présentées aux équations (6.1), (6.2) et (6.3) ci-dessous :

$$(6.1) \quad \mathbf{FTD} = [\mathbf{t} \quad \mathbf{pQ}]$$

$$(6.2) \quad \mathbf{t} = \begin{bmatrix} t_i \\ t_{i+1} \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix}$$

$$(6.3) \quad \mathbf{pQ} = \begin{bmatrix} pQ_i \\ pQ_{i+1} \\ \vdots \\ pQ_n \end{bmatrix}$$

Où,

\mathbf{FTD} = Matrice de fonction de transfert de débit – [h, %]

\mathbf{t} = Matrice de temps – [h]

\mathbf{pQ} = Matrice de pourcentage de débit – [%]

t_i = Temps i – [h]

pQ_i = Pourcentage de débit au temps i – [%]

La réalisation des FTD est effectuée avec le logiciel Fldwav en quatre étapes :

1. Modélisation d'un état permanent dans les conditions frontières du modèle;
2. Ajout d'un hydrogramme de débit (de forme triangulaire ou trapézoïdale) dans les conditions frontières amont du modèle (voir la Figure 6.2 pour un exemple d'hydrogramme);
3. Simulation et contrôle de l'erreur de continuité;
4. Création de la matrice FTD à partir des résultats.

6.1.1 Modifications apportées au modèle

Deux modifications ont été apportées au modèle de la rivière Pérignonka. La première modification concerne le pas de temps utilisé dans le logiciel. Lors des simulations d'étalonnage d'une durée de 31 jours (744 h), le pas de temps était fixé à 0,3 h. Cette fois, pour réaliser les FTD, le pas de temps a été réduit à 0,2 h. D'une part, il est plus facile de comptabiliser les résultats sur une période de 1h avec un pas de temps de 0,2 h plutôt que de 0,3 h. D'autre part, comme le temps de simulation est réduit à une centaine d'heures, le pas de temps de calcul peut être réduit afin d'augmenter la précision des résultats. Toutefois, le fait de réduire davantage ce pas de temps augmenterait de beaucoup le temps de calcul des simulations. À noter que les simulations effectuées pour l'étalonnage du modèle ne sont pas influencées par le changement de pas de temps de 0,3 h à 0,2 h. Comme le démontre la Figure 6.1 ci-dessous, il n'y a pas de différence d'élévation d'eau au PK 44,0 entre les simulations de la série 07 avec un pas de temps de 0,2 et de 0,3 h (Cas B utilisé pour les deux simulations).

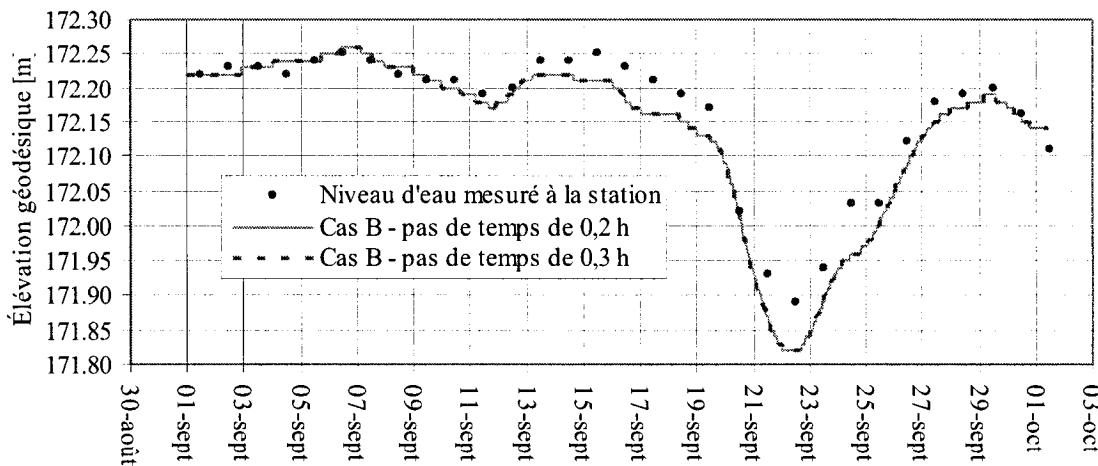


Figure 6.1 : Simulations avec un pas de 0,2 et de 0,3 h

La deuxième modification consiste à ajouter un seuil déversoir fictif à la CCD et à la CP. Ainsi, pour un niveau d'eau étudié, le débit sortant de la CCD (ou à la CP) est composé d'un débit turbiné de base et d'un débit déversé. De cette façon, il est possible de connaître à chaque pas de temps l'évolution du débit à la centrale où le déversoir est modélisé.

Le Tableau 6.1 résume les valeurs utilisées pour modéliser les déversoirs de la CCD et de la CP. Ces valeurs font référence aux équations (2.9) et (2.10) du chapitre 2.

Tableau 6.1 : Valeurs modélisées du déversoir de la CCD et de la CP

Variables	Unité	CCD	CP
C_{sp}	[m ^{1/2} /s]	200	50
L_{sp}	[m]	700	500

Les valeurs utilisées pour la modélisation des déversoirs sont physiquement inacceptables, mais nécessaires à la fabrication des FTD. En fait, l'effet recherché de ces valeurs est d'éviter toute accumulation d'eau dans le réservoir amont au déversoir. De cette façon, l'eau arrivant dans le réservoir est immédiatement déversée.

6.1.2 Élaboration de six essais pour réaliser les FTD

Les FTD générées sont obtenues à partir de six essais représentés par six hydrogrammes de débit. Ces hydrogrammes sont présentés à la Figure 6.2 suivante :

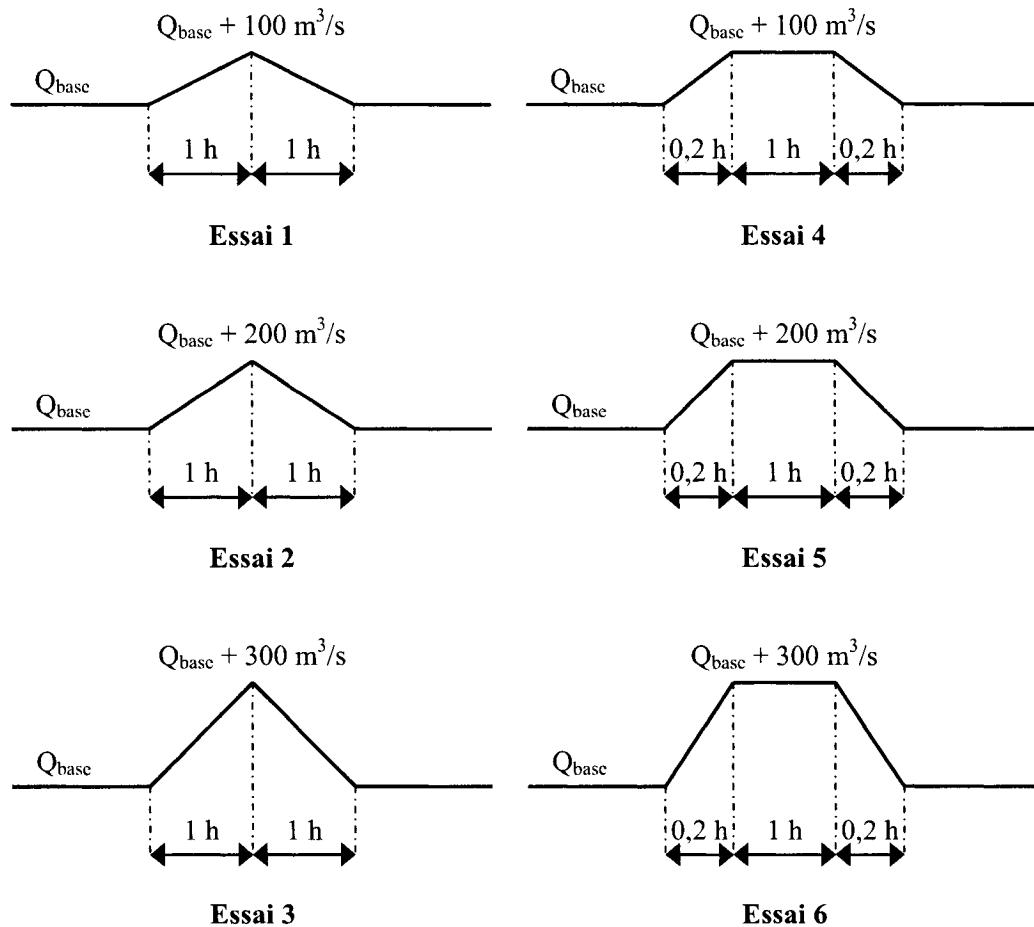


Figure 6.2 : Hydrogrammes modélisés dans les conditions frontières

La FTD représente la répartition dans le temps d'un débit turbiné d'une centrale située en amont (en un temps donné) parvenant à un réservoir situé en aval. Plus la durée de l'essai est longue, moins la FTD sera précise. L'essai doit donc être réalisé sur un court laps de temps.

À partir d'une moyenne des six essais effectués, une FTD unique est obtenue. La Figure 6.3 présente un exemple des résultats de six essais et d'une FTD unique.

L'intensité de débit et la forme de l'hydrogramme de chaque essai produit un effet différent dans les résultats comme le démontre la Figure 6.3. L'intensité de débit

(variation de 100 à 300 m³/s) influence la forme de la FTD. De faible intensité, la FTD sera plus carrée et à l'inverse, de forte intensité, la FTD sera mieux définie. Comme le démontre la Figure 6.3, les essais 1 et 4 sont de formes carrées sur le dessus de la FTD et en escalier sur la pente descendante. Ensuite, la forme de l'essai, soit triangulaire ou trapézoïdale, influence la rapidité de la FTD. Également sur la Figure 6.3, un léger décalage est observé sur les essais 4, 5 et 6 comparativement aux essais 1, 2 et 3. Ces derniers sont situés à droite des essais 4, 5 et 6.

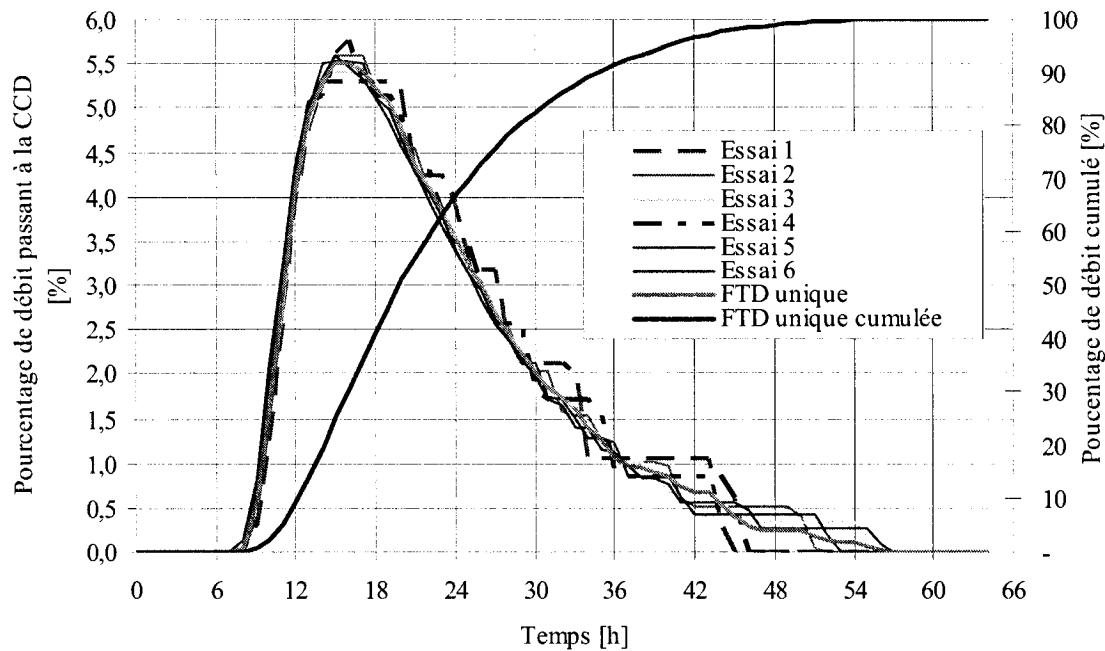


Figure 6.3 : Résultats des six essais et de la FTD unique

6.1.3 Réalisation d'une FTD à partir des six essais

Les essais pour les tronçons entre la CCP et la CCD, entre la CCP et la CP et entre la CP et la CCD sont réalisés respectivement sur une période de 64, de 10 et de 64 heures. Le temps alloué pour ces tronçons est suffisant pour que chaque essai parcoure entièrement le tronçon de la rivière étudié. Les courbes des six essais de la Figure 6.3 sont réalisées en cinq étapes :

1. L'équation (6.4) est utilisée pour calculer le volume engendré par le débit déversé au barrage situé en aval (soit CCD ou CP) à chaque pas de temps ($\Delta t = 0,2 \text{ h}$);
2. Le volume calculé à l'étape 1 pour chaque pas de temps est comptabilisé à chaque heure;
3. L'équation (6.5) est utilisée pour calculer le volume total engendré par un essai;
4. Le volume d'eau engendré chaque heure est multiplié par 100 (afin d'obtenir une valeur en %) et est divisé par le volume total engendré par l'essai;
5. Les étapes 1 à 3 sont effectuées pour les six essais. Enfin, une moyenne est calculée à partir des valeurs calculées à l'étape 3 pour les 6 essais réalisés. Cette moyenne représente donc une FTD.

$$(6.4) \quad Vo_i = (Q_i + Q_{i-\Delta t}) \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

$$(6.5) \quad Vo = \sum_{i=0}^{64h} (Vo_i) \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

Où,

Vo = Volume d'eau engendré à chaque pas de temps – [m^3]

Vo = Volume d'eau engendré par l'essai – [m^3]

Q = Débit à la CCD – [m^3/s]

Δt = Pas de temps – [s]

L'équation (6.5) permet de calculer le volume engendré par un essai réalisé. Ce volume doit être comparé avec le volume théorique afin de contrôler l'erreur de continuité. Les volumes théoriques pour chaque essai sont présentés au Tableau 6.2 ci-dessous.

Tableau 6.2 : Volume d'eau engendré par les six essais

Essai [-]	Volume [m ³]
1	360 000
2	720 000
3	1 080 000
4	432 000
5	864 000
6	1 296 000

Dans toutes les simulations effectuées, l'erreur de continuité est respectée et ne dépasse pas plus de 15 000 m³ par rapport à l'essai effectué, ce qui représente une erreur variant entre 0 et 3 %.

6.2 Fonctions de transfert de débit

Les FTD sont divisées en trois parties dont chacune représente un tronçon de rivière étudié. De façon générale, le niveau d'eau au réservoir aval influence les FTD de façon majeure. Quatre niveaux d'eau au réservoir de la CCD et deux niveaux d'eau au réservoir de la CP ont été étudiés. Les élévations analysées pour la CCD sont de 172,2, de 171,0, de 168,0 et de 165,0 m et les élévations analysées pour la CP sont de 244,2 m et de 242,7 m.

Le nom de chaque FTD est composé de quatre chiffres. Les trois premiers chiffres font référence au débit turbiné de la centrale situé en aval du tronçon étudié. Le dernier chiffre correspond à la famille d'élévation à laquelle se rattache la FTD. Les numéros de 1 à 4 représentent respectivement les élévations de 172,2, de 171,0, de 168,0 et 165,0 m. Par exemple, « 400-2 » pour le tronçon entre la CCP et la CCD signifie que la FTD est fonction d'un débit turbiné de 400 m³/s et d'un niveau d'eau de 171,0 m au réservoir de la CCD.

L'analyse des FTD démontre que trois facteurs influencent la forme des FTD. Le Tableau 6.3 résume ces facteurs, appelés dans le présent document « facteur d'influence », et leurs effets sur les FTD :

Tableau 6.3 : Facteurs d'influence et effet sur les FTD

Facteurs d'influence	Effet sur les FTD
Débit turbiné de la centrale en amont (Q turbiné CCP ou Q turbiné CP)	Q turbiné élevé = décalage dans le temps vers la gauche Q turbiné faible = décalage dans le temps vers la droite
Débit des rivières tributaires (Q Serpent ou Q Manouane)	Q tributaire élevé = effet de laminage élevé Q tributaire faible = effet de laminage faible
Niveau d'eau d'eau du réservoir en aval (H CP ou H CCD)	H élevé = décalage dans le temps vers la gauche et effet de laminage faible H faible = décalage dans le temps vers la droite et effet de laminage élevé

Chaque FTD est présentée de façon graphique dans le présent chapitre. De plus, ces FTD sont présentées en format numérique à l'annexe D. Dans les tableaux de cette annexe, les FTD sont présentées en fonction de leurs caractéristiques de modélisation : élévation du niveau d'eau dans le réservoir aval (H CP ou H CCD); débit turbiné de la centrale en amont (Q turbiné CCP ou Q turbiné CP); débit des tributaires s'il y a lieu (Q Serpent, Q Manouane et Q Tchitogama); débit des apports non contrôlés (Q ANC); débit turbiné de la centrale en aval (Q turbiné CP ou Q turbiné CCD).

6.2.1 FTD pour le tronçon de la rivière entre la CCP et la CCD

Les FTD pour le niveau d'eau de 172,2 m au réservoir de la CCD sont présentées à la Figure 6.4. Ces FTD sont également présentées en format numérique aux Tableaux D.1 et D.2 de l'annexe D.

À partir des caractéristiques de modélisation et des résultats des FTD, les facteurs d'influence des FTD peuvent être déterminés. Il s'agit du débit turbiné à la CCP, du débit des rivières Serpent et Manouane et de l'élévation du plan d'eau à la CCD.

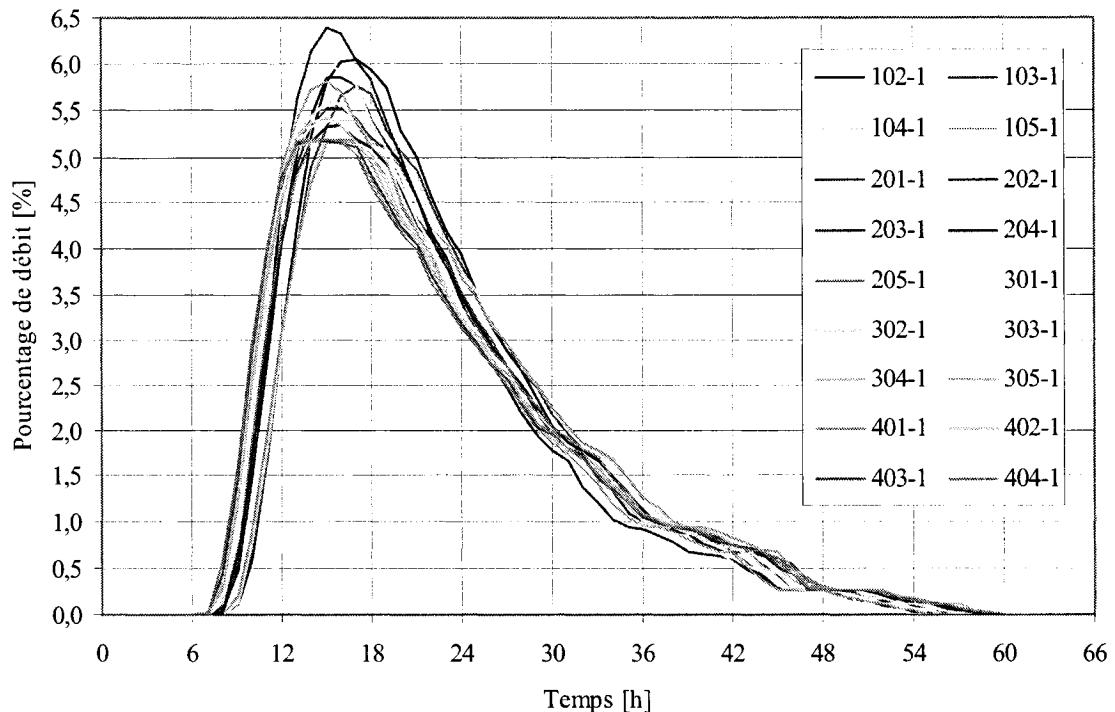


Figure 6.4 : FTD – Niveau d'eau de 172,2 m à la CCD

Étant donné que le nombre de FTD (18) pour une même élévation d'eau au réservoir de la CCD est grand, les FTD ont été regroupées en fonction du facteur d'influence le plus important, soit le débit des rivières Serpent et Manouane. Par conséquent, une moyenne des FTD est effectuée lorsque les débits des rivières Serpent et Manouane sont identiques. L'effet du décalage dans le temps sur les FTD causé par le débit turbiné à la centrale amont n'est pas pris en compte.

La Figure 6.5 présente l'ensemble des FTD pour le tronçon de rivière de la CCP à la CCD. Cinq FTD sont présentées pour chaque niveau d'eau étudié (172,2, 171,0, 168,0 et

165,0 m), ce qui totalise 20 FTD pour le tronçon en question. Ces FTD sont présentées en format numérique aux Tableaux D.3 et D.4 de l'annexe D.

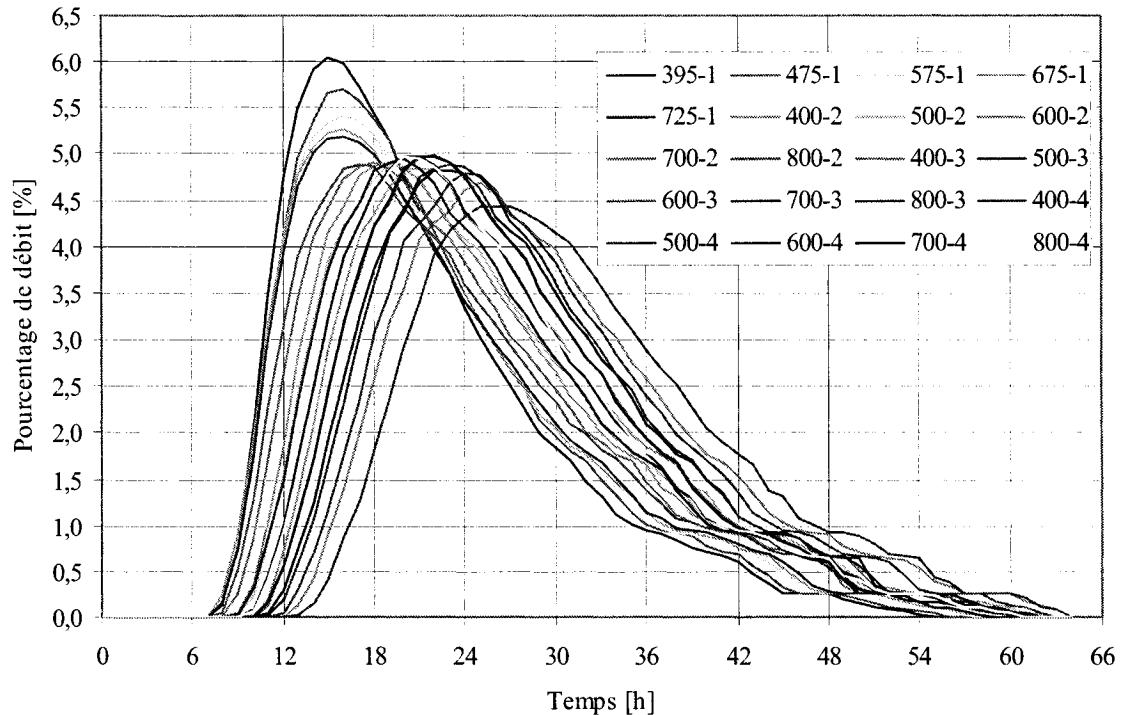


Figure 6.5 : FTD pour l'ensemble des conditions entre la CCP et la CCD

À partir des caractéristiques de modélisation et des résultats des FTD, les facteurs d'influence des FTD peuvent être déterminés. Ils sont présentés au Tableau 6.4 suivant :

Tableau 6.4 : Facteurs d'influence des FTD – CCP à la CCD

Niveau d'eau [m]	FTD [-]	Facteur d'influence		
		Q turbiné CCP [-]	Q Serpent et Manouane [-]	H CCD [-]
172,2	395-1, 475-1, 575-1, 675-1, 725-1		X	X
171,0	400-2, 500-2, 600-2, 700-2, 800-2	X		X
168,0	400-3, 500-3, 600-3, 700-3, 800-3	X		X
165,0	400-4, 500-4, 600-4, 700-4, 800-4	X		X

À noter que les facteurs qui influencent les FTD pour les élévations de 171,0 m à 168,0 m sont différents de ceux qui influencent les FTD à 172,2 m. En effet, pour les élévations inférieures à 172,2 m, le débit des rivières tributaires n'influence plus le pourcentage de débit (pQ) des FTD. Seul le débit turbiné à la CCP influence les FTD.

6.2.2 FTD pour le tronçon de la rivière entre la CCP et la CP

Les essais utilisés pour faire les FTD du tronçon de la rivière entre la CCP et la CP sont les essais 4 à 6 (voir la Figure 6.2). Comme le transfert de débit est rapide dans le réservoir de la CP (une dizaine d'heures), l'essai effectué ne peut être de longue durée.

La Figure 6.6 présente les FTD générées pour le tronçon entre la CCP et la CP en fonction des élévations de 244,2 m et 242,7 m. Ces FTD sont également présentées en format numérique au Tableau D.5 de l'annexe D.

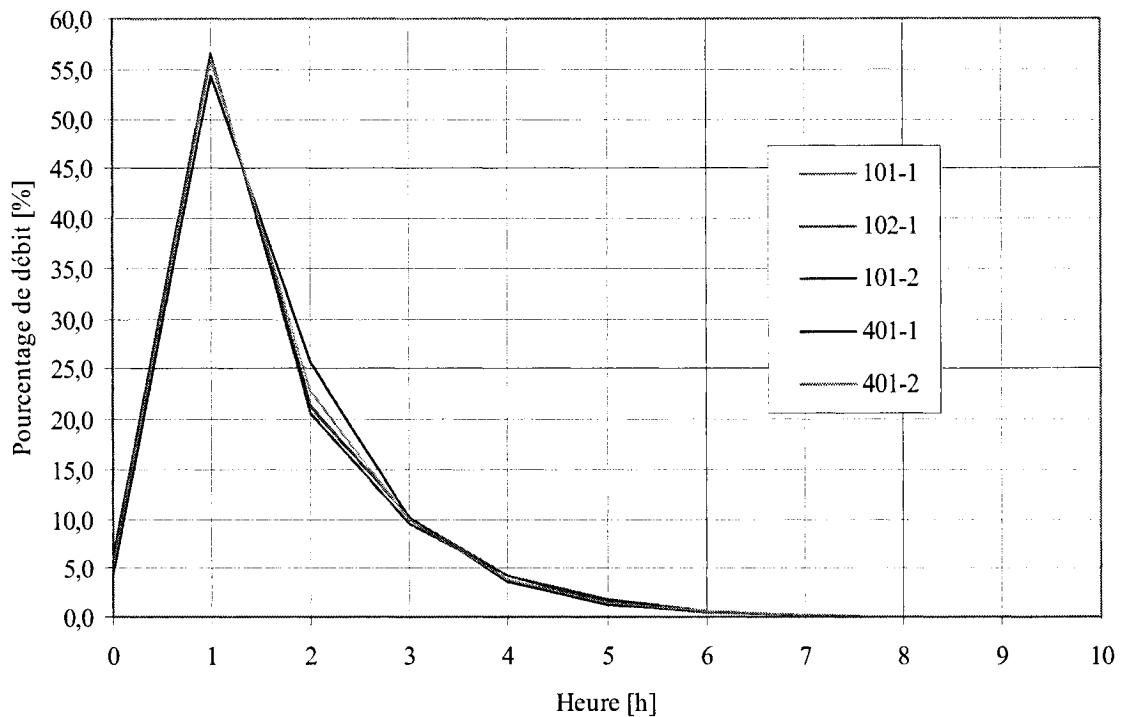


Figure 6.6 : FTD pour l'ensemble des conditions entre la CCP et la CP

Les FTD de la Figure 6.6 démontrent qu'il n'existe pas de facteur d'influence pour le tronçon de rivière en question. En effet, les résultats convergent tous vers la même FTD. La FTD retenue pour le tronçon de la rivière entre la CCP et la CP est une moyenne entre les cinq FTD présentées dans le graphique ci-dessus. Cette FTD moyenne sera présentée à la section 6.3.1 du présent chapitre.

6.2.3 FTD pour le tronçon de la rivière entre la CP et la CCD

La Figure 6.7 présente l'ensemble des FTD pour le tronçon de rivière entre la CP et la CCD. Sept FTD sont présentées pour chaque niveau d'eau étudié (172,2, 171,0, 168,0 et 165,0 m), ce qui totalise 28 FTD pour le tronçon en question. Ces FTD sont également présentées en format numérique aux Tableaux D.6 et D.7 de l'annexe D.

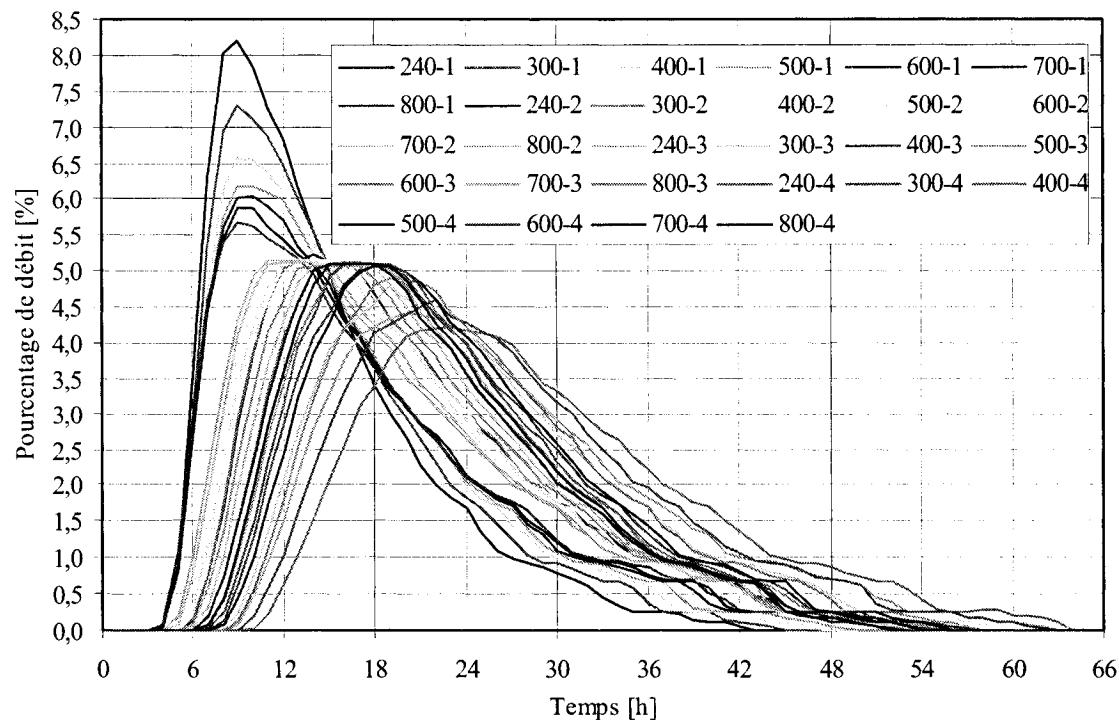


Figure 6.7 : FTD pour l'ensemble des conditions entre la CP et la CCD

À partir des caractéristiques de modélisation et des résultats des FTD obtenus, les facteurs d'influence des FTD sont déterminés et présentés au Tableau 6.5 suivant :

Tableau 6.5 : Facteurs d'influence des FTD – CP à la CCD

Niveau d'eau [m]	FTD [-]	Facteur d'influence		
		Q turbiné CP [-]	Q Manouane [-]	H CCD [-]
172,2	240-1, 300-1, 400-1, 500-1, 600-1, 700-1, 800-1		X	X
171,0	240-2, 300-2, 400-2, 500-2, 600-2, 700-2, 800-2	X		X
168,0	240-3, 300-3, 400-3, 500-3, 600-3, 700-3, 800-3	X		X
165,0	240-4, 300-4, 400-4, 500-4, 600-4, 700-4, 800-4	X		X

6.3 Utilisation simplifiée des FTD

Quarante-neuf (49) FTD ont été générées pour représenter l'hydraulique de la rivière Pérignonka. Avec ce nombre élevé de FTD, il est difficile de choisir la FTD qui doit être utilisée pour effectuer le calcul de transfert de débit.

Pour résoudre ce problème, les FTD ont été modifiées et simplifiées afin de diminuer le nombre total de FTD. À cette fin, il est possible de choisir parmi quatre options comportant chacune des avantages et des inconvénients. La Figure 6.8 présente ces options ainsi que les avantages et inconvénients qui leur sont rattachés.

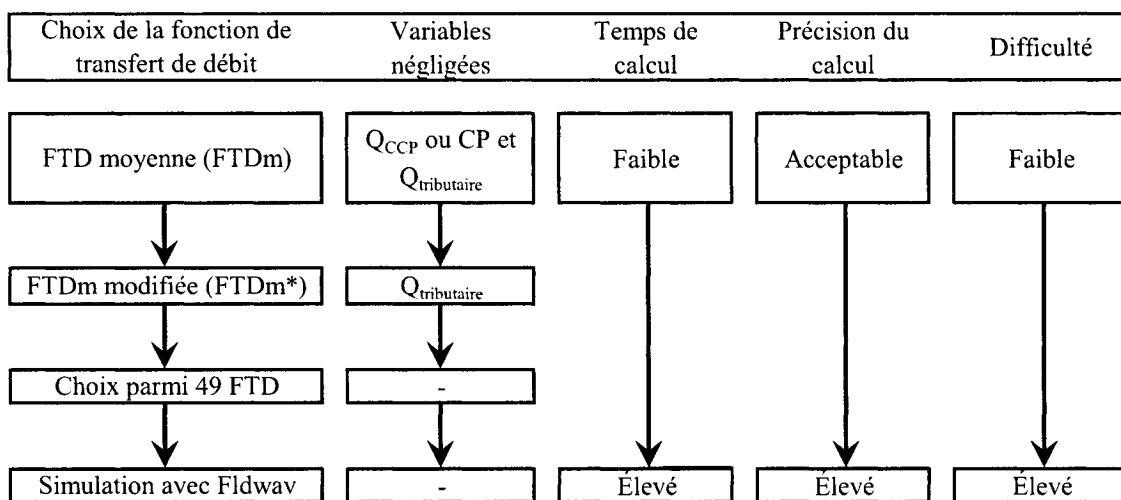


Figure 6.8 : Options pour effectuer le calcul de transfert de débit

6.3.1 Fonction de transfert de débit moyenne (FTDm)

Comme les FTD sont très différentes entre chaque élévation étudiée, une FTDm sera générée aux élévations de 172,2 m, 171,0 m, 168,0 m et 165,0 m. Les équations (6.6) et (6.7) sont utilisées pour obtenir une FTDm :

$$(6.6) \quad \mathbf{FTDm} = [t \quad pQm]$$

$$(6.7) \quad pQm = [pQ_j + pQ_{j+1} + \dots + pQ_m] \cdot \frac{1}{m}$$

Où,

$FTDm$ = Matrice de fonction de transfert de débit moyenne – [h, %]

t = Matrice de temps – [h]

pQm = Matrice de pourcentage de débit moyen – [%]

pQ_j = Matrice de pourcentage de débit j (voir équation (6.3)) – [%]

Le Tableau 6.6 suivant présente les familles de courbes FTD utilisées⁹ pour obtenir les $FTDm$:

Tableau 6.6 : FTD utilisées pour créer les $FTDm$

Tronçon de rivière	$FTDm$	Élévation	FTD utilisées pour créer les $FTDm$	Nombre de FTD
			[-]	
CCP à CCD	FTDm 1	172,2	395-1, 475-1, 575-1, 675-1, 725-1	5
	FTDm 2	171,0	400-2, 500-2, 600-2, 700-2, 800-2	5
	FTDm 3	168,0	400-3, 500-3, 600-3, 700-3, 800-3	5
	FTDm 4	165,0	400-4, 500-4, 600-4, 700-4, 800-4	5
CCP à CP	FTDm 5	-	101-1, 102-1, 101-2, 401-1, 401-2	5
CP à CCD	FTDm 6	172,2	240-1, 300-1, 400-1, 500-1, 600-1, 700-1, 800-1	7
	FTDm 7	171,0	240-2, 300-2, 400-2, 500-2, 600-2, 700-2, 800-2	7
	FTDm 8	168,0	240-3, 300-3, 400-3, 500-3, 600-3, 700-3, 800-3	7
	FTDm 9	165,0	240-4, 300-4, 400-4, 500-4, 600-4, 700-4, 800-4	7

La Figure 6.9 suivante présente les $FTDm$ et les fonctions de transfert de débit moyennes cumulées ($FTDmc$) de 1 à 4 pour le tronçon de rivière entre la CCP et la CCD :

⁹ Les numéros des FTD utilisés pour créer les $FTDm$ sont présentés à la section 6.2 du présent chapitre.

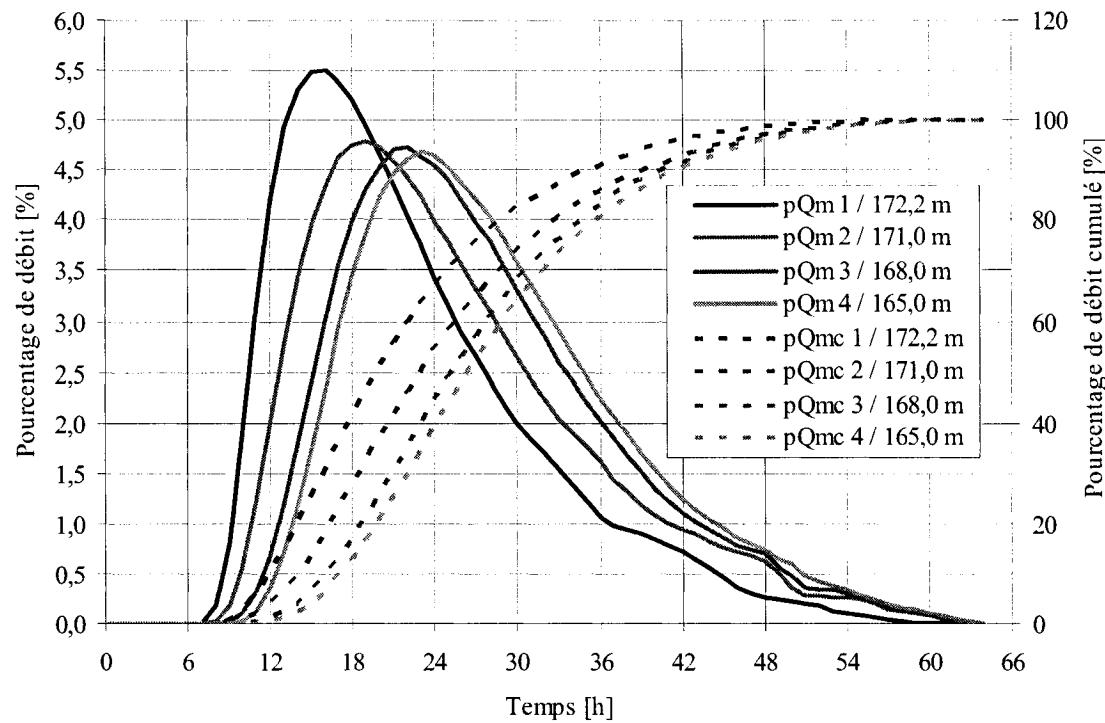


Figure 6.9 : FTDm et FTDmc à chaque élévation – CCP à CCD

Pour le tronçon de rivière entre la CCP et la CP, une seule FTDm est retenue. Cette FTDm est présentée à la Figure 6.10 suivante :

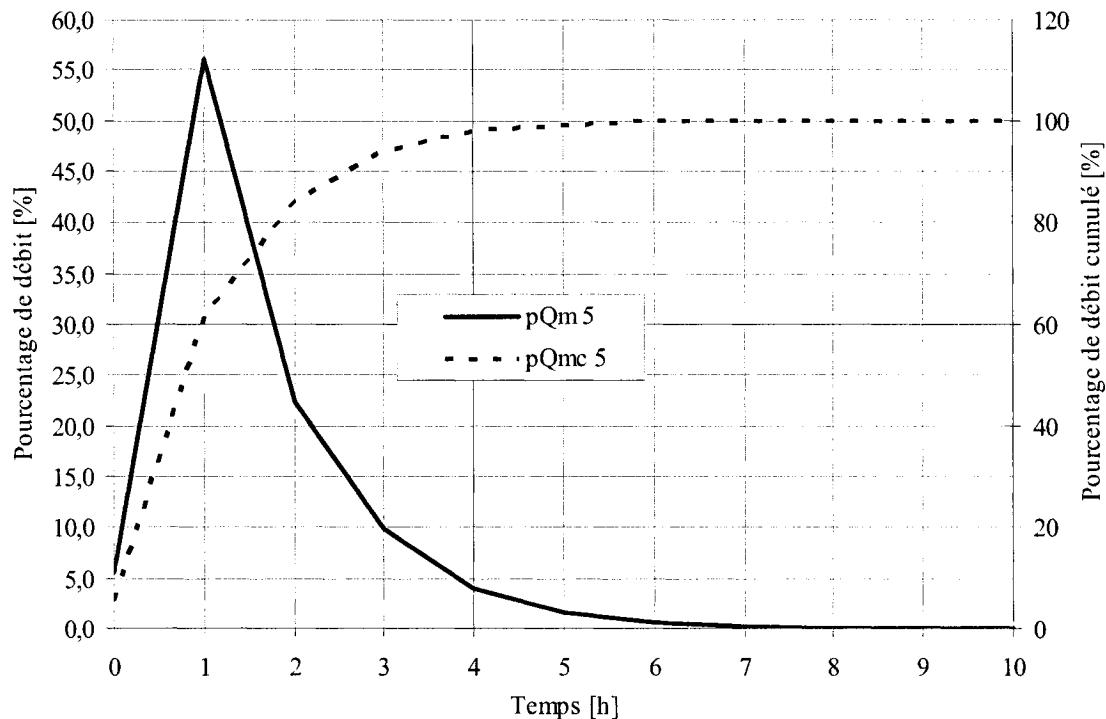


Figure 6.10 : FTDm et FTDmc – CCP à CP

La Figure 6.11 qui suit présente les FTdm 6 à 9 pour le tronçon de rivière entre la CP et la CCD. Les FTdm 6 à 9 représentent respectivement les élévations de 172,2 m, de 171,0 m, de 168,0 m et de 165,0 m.

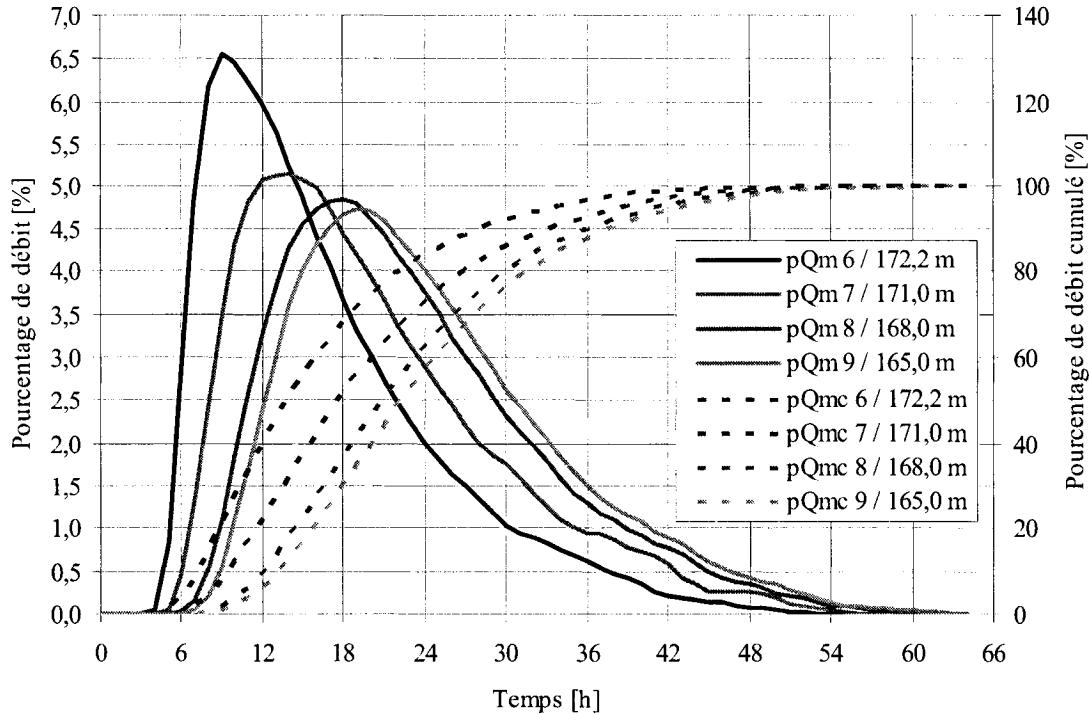


Figure 6.11 : FTdm et FTDmc pour chaque élévation – CP à CCD

À noter que sur chacune des trois figures présentées précédemment, une fonction de transfert de débit moyen cumulé (FTDmc) a été calculée pour chaque FTdm présentée. Ces FTDmc sont calculées à partir des équations (6.8) et (6.9) suivantes :

$$(6.8) \quad \text{FTDmc} = [t \quad pQmc]$$

$$(6.9) \quad pQmc = \begin{bmatrix} pQm_i \\ pQm_i + pQm_{i-1} \\ \vdots \\ pQm_n + pQm_{n-1} + \cdots + pQm_1 \end{bmatrix}, \text{ pour } i = 1, 2, \dots, 64$$

Où,

FTDmc =	Matrice de fonction de transfert de débit moyenne cumulée – [h, %]
t =	Matrice de temps – [h]
pQmc =	Matrice de pourcentage de débit moyen cumulé – [%]
pQm _i =	Pourcentage de débit moyen au temps i – [%]

Les résultats en format numérique des 18 courbes FTDm et FTDmc sont présentés aux Tableaux D.8 et D.9 de l'annexe D.

6.3.2 FTDm modifiée (FTDm*)

La FTDm* permet d'obtenir un transfert de débit plus précis que celui obtenu par la FTDm. Pour une même famille d'élévation, une FTDm est corrigée avec une matrice de correction afin d'obtenir approximativement la FTD voulue. La Figure 6.12 présente un exemple d'une FTDm*. Dans cet exemple, la FTDm* est le résultat de la correction de la FTDm 6 pour obtenir la FTD 800-1 (FTD voulue).

La matrice de correction est unique (pour chaque élévation) et est multipliée par un facteur (fonction polynomiale) correspondant au débit de la FTD que l'on veut représenter. Dans le cas de la Figure 6.12, le facteur correspond à un débit turbiné de 800 m³/s.

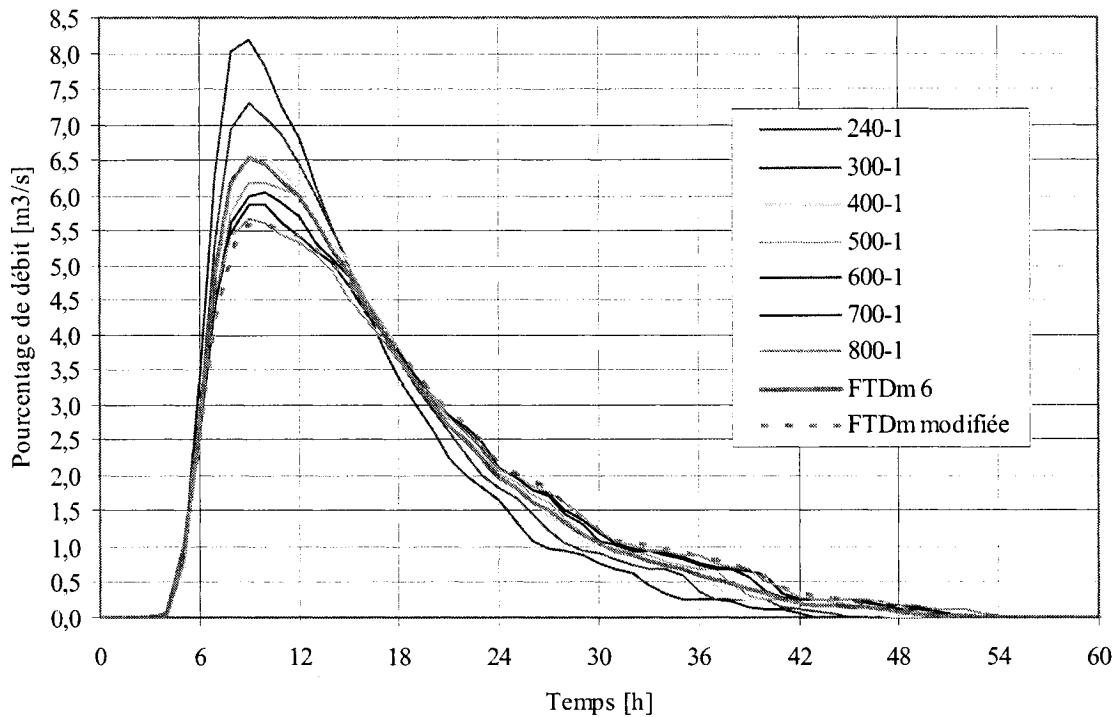


Figure 6.12 : Correction de la FTD 6 moyenne – CP à CCD

La FTDm* ne permet pas d'obtenir la réplique parfaite de la FTD 800-1 comme le démontre la Figure 6.12, mais elle permet de s'en approcher de façon considérable.

La FTDm* est calculée avec l'équation (6.10) suivante :

$$(6.10) \quad pQcc = pQmc + MC \cdot y$$

Où,

$pQcc$ = Matrice de pourcentage de débit cumulé corrigé – [%]

$pQmc$ = Matrice de pourcentage de débit moyen cumulé – [%]

MC = Matrice de correction – [%]

y = Fonction polynomiale – [-]

Comme l'équation (6.10) donne un pourcentage de débit cumulé, les équations (6.11) et (6.12) sont utilisées pour obtenir des pourcentages de débit seulement, c'est-à-dire la matrice FTdm*.

$$(6.11) \quad \mathbf{pQ}^* = \begin{bmatrix} pQcc_i \\ pQcc_i - pQcc_{i-1} \\ \vdots \\ pQcc_n - pQcc_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$(6.12) \quad \mathbf{FTDm}^* = [\mathbf{t} \quad \mathbf{pQ}^*]$$

Où,

\mathbf{pQ}^* = Matrice de débit cumulé corrigé – [%]

\mathbf{FTDm}^* = Matrice de fonction de pourcentage de débit modifié – [%]

$pQcc$ = Matrice de pourcentage de transfert de débit modifié – [%]

Matrice de correction MC

Une matrice de correction est générée pour chaque FTdm, soit les FTdm 1 à 4 et 6 à 9.

D'abord, la différence entre le pourcentage de débit cumulé (pQc) et le pourcentage de débit moyen cumulé ($pQmc$) est calculée (voir l'équation (6.13)). Cette différence est calculée pour chaque pas de temps (indice i) et pour chaque courbe pQc (indice j). Pour chaque pas de temps ($i=1, 2, \dots, 64$), la sommation de la différence est calculée (voir l'équation (6.14)).

$$(6.13) \quad D_{i,j} = pQc_{i,j} - pQmc_i$$

$$(6.14) \quad E_j = \sum_{i=1}^n D_{i,j}$$

Où,

- | | |
|--------|---|
| D = | Différence entre pQc et pQmc – [%] |
| pQc = | pourcentage de débit cumulé – [%] |
| pQmc = | Pourcentage de débit moyen cumulé – [%] |
| E = | Sommation des différences de courbes pQc et pQmc pour une courbe j donnée – [%] |

À partir des deux variables calculées aux équations (6.13) et (6.14), la matrice de correction est obtenue par les équations (6.15) et (6.16) suivantes :

$$(6.15) \quad MC_i = 100 \cdot \sum_{j=1}^m \left(\frac{D_{i,j}}{E_j} \cdot \frac{|E_j|}{\sum_{j=1}^m |E_j|} \right)$$

$$(6.16) \quad \mathbf{MC} = \begin{bmatrix} MC_1 \\ MC_2 \\ \vdots \\ MC_n \end{bmatrix}$$

Où,

- | | |
|------|---|
| MC = | Matrice de correction – [%] |
| D = | Différence entre pQc et pQmc – [%] |
| E = | Sommation des différences de courbes pQc et pQmc pour une courbe j donnée – [%] |

À noter que les MC qui sont fonction des FTDmc 1 à 4 et 6 à 9 sont présentées en format numérique au Tableau D.10 de l'annexe D.

Fonction polynomiale y

La fonction polynomiale du troisième degré est générée par les points (x, E_j) , c'est-à-dire un point pour chaque matrice pQm . Les valeurs de x et E_j sont calculées respectivement avec les équations (6.17) et (6.14). La fonction polynomiale du troisième degré est présentée à l'équation (6.18) suivante :

$$(6.17) \quad x = \frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}, \text{ pour } Q \text{ valide sur le domaine } Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$$

$$(6.18) \quad y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$$

Où,

y = Fonction polynomiale – [-]

a, b, c, d = Coefficient de la fonction polynomiale – [-]

x = Valeur du débit relatif entre 0 et 1 – [-]

Q = Débit turbiné à CCD – [m^3/s]

Q_{\min} = Débit turbiné maximum à CCD – [m^3/s]

Q_{\max} = Débit turbiné minimum à CCD – [m^3/s]

Les valeurs de a, b, c, d, Q_{\min} et Q_{\max} relatives pour chaque MC sont présentées au Tableau D.10 de l'annexe D.

Résumé sur le calcul des FTDm modifiées (FTDm*)

Le calcul de la FTDm* est résumé en cinq étapes :

1. Choix de l'élévation et du débit turbiné à la centrale CCD pour lesquelles le calcul du transfert de débit doit être effectué;

2. En fonction de l’élévation, choix de la matrice pQ_{mc} ainsi que des coefficients de y (a, b, c, d, Q_{min} et Q_{max}) du Tableau D.10;
3. Calcul de x et y en fonction des équations (6.17) et (6.18) respectivement;
4. Calcul du pQ_{cc} à l’aide de l’équation (6.10);
5. Calcul du pQ^* à l’aide de l’équation (6.11).

6.3.3 Choix parmi les 49 FTD

La troisième option consiste à utiliser la FTD qui correspond le mieux au calcul de transfert de débit. Quarante-neuf (49) FTD sont disponibles et divisées en trois catégories, soit :

1. 20 FTD pour le tronçon entre la CCP et la CCD. À chaque élévation, 5 FTD sont disponibles;
2. 1 FTD (la FTDm 5 plus précisément) pour le tronçon entre la CCP et la CP;
3. 28 FTD pour le tronçon entre la CP et la CCD. À chaque élévation, 7 FTD sont disponibles.

Pour les catégories 1 et 3, les élévations possibles sont de 172,2, de 171,0, de 168,0 et de 165,0 m.

6.3.4 Simulation Fldwav

La dernière option consiste à effectuer une simulation avec le logiciel Fldwav pour effectuer un calcul de transfert de débit. Il s’agit de la méthode la plus complexe, car un fichier de données servant à effectuer la simulation doit être créé. Par ailleurs, la simulation peut être effectuée selon les besoins de l’utilisateur.

6.4 Validation des FTD

Les différentes fonctions de transfert de débit (FTDm, FTdm* et FTD) ont été validées et comparées avec des simulations effectuées avec Fldwav. La fonction qu'utilise présentement Alcan (F_{24h}) a été ajoutée dans les résultats pour effectuer une comparaison.

6.4.1 Simulations

Les simulations utilisées pour valider les FTD sont présentées à la Figure 6.13 ci-dessous. Dans cette figure, trois graphiques représentent les simulations 1 et 2 pour le tronçon entre la CCP et la CCD, les simulations 3 et 4 pour le tronçon entre la CCP et la CP ainsi que les simulations 5 et 6 pour le tronçon entre la CP et la CCD.

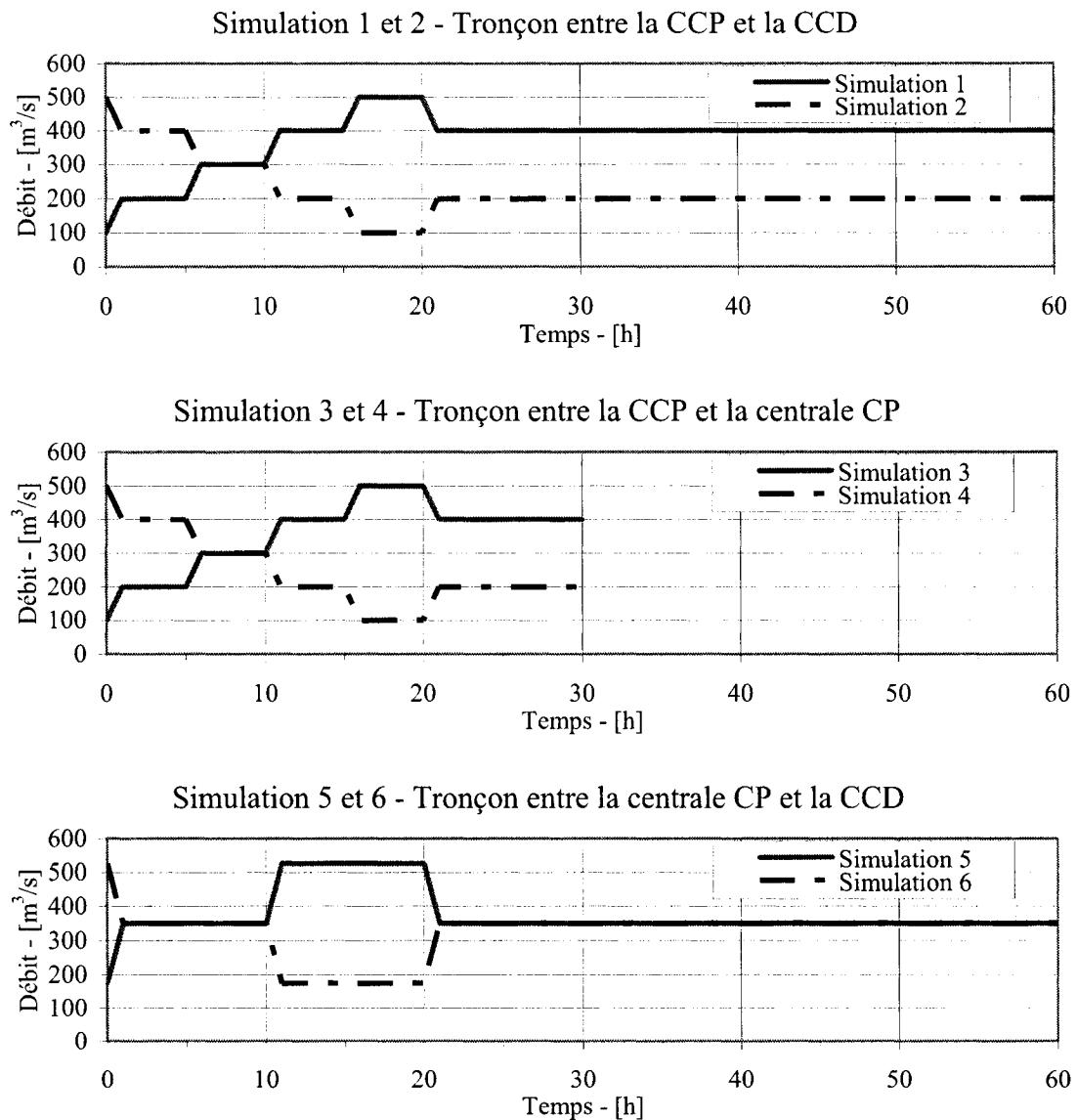


Figure 6.13 : Simulations 1 à 6 pour les trois tronçons de rivière étudiés

Les FTD ont été validées pour différents niveaux d'eau à la centrale située en aval. Les différentes combinaisons de tronçon de rivière, de simulations et de niveau d'eau sont présentées au Tableau 6.7 ci-dessous :

Tableau 6.7 : Caractéristiques des simulations effectuées

Tronçon de rivière [-]	Simulation [-]	Niveau d'eau de la centrale en aval [m]
CCP à CCD	1 et 2	172,2 - 171,0 - 168,0 - 165,0
CCP à CP	3 et 4	244,2 - 242,7
CP à CCD	5 et 6	172,2 - 171,0 - 168,0 - 165,0

6.4.2 Critère de Nash

Le critère de Nash (Nash et Sutcliffe 1970), présenté à l'équation (6.19), est utilisé pour quantifier la qualité des simulations réalisées avec les fonctions de transfert de débit.

$$(6.19) \quad Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{FTD_i} - Q_{Fdw_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Fdw_i} - \overline{Q}_{Fdw})^2}$$

Où,

Nash = Critère de Nash – [-]

Q_{FTD} = Débit au temps i provenant d'une FTD – [m^3/s]

Q_{Fdw} = Débit au temps i provenant d'une simulation Fldwav – [m^3/s]

\overline{Q}_{Fdw} = Moyenne des débits d'une simulation Fldwav – [m^3/s]

Ce critère est adimensionnel et donne des valeurs entre $-\infty$ et 1. Un Nash qui s'approche de 1 correspond à une simulation de bonne qualité. À l'inverse, un Nash près de 0 correspond à une simulation de mauvaise qualité.

6.4.3 Résultats

Les résultats des simulations 1 et 2 pour le tronçon entre la CCP et la CCD sont présentés respectivement aux Figures D.1 et D.2 de l'annexe D. La Figure 6.14 présente

un exemple des résultats de la simulation 1. Chaque graphique présente une simulation pour les niveaux d'eau de 172,2, de 171,0, de 168,0 et de 165,0 m au réservoir CCD. De plus, chaque simulation effectuée avec les différentes fonctions de transfert de débit est comparée avec une simulation Fldwav. Le critère de Nash est calculé pour chacune des fonctions.

Les résultats des simulations 3 et 4 pour le tronçon entre la CCP et la CP sont présentés à la Figure D.3 de l'annexe D. Cette figure présente les simulations pour les niveaux d'eau de 244,2 m et de 165,0 m à la CP.

Les résultats des simulations 5 et 6 pour le tronçon entre la CP et la CCD sont présentés respectivement aux Figures D.4 et D.5 de l'annexe D. Chaque figure présente les simulations pour les niveaux d'eau de 172,2, de 171,0, de 168,0 et de 165,0 m au réservoir CCD.

Les valeurs du critère de Nash, contrairement aux valeurs de la fonction F_{24h} d'Alcan, sont toutes supérieures à 0,99. Voici les fonctions de transfert de débit énumérées dans un ordre décroissant en fonction des valeurs du critère de Nash :

1. FTDm*
2. FTDm
3. FTD
4. F_{24h}

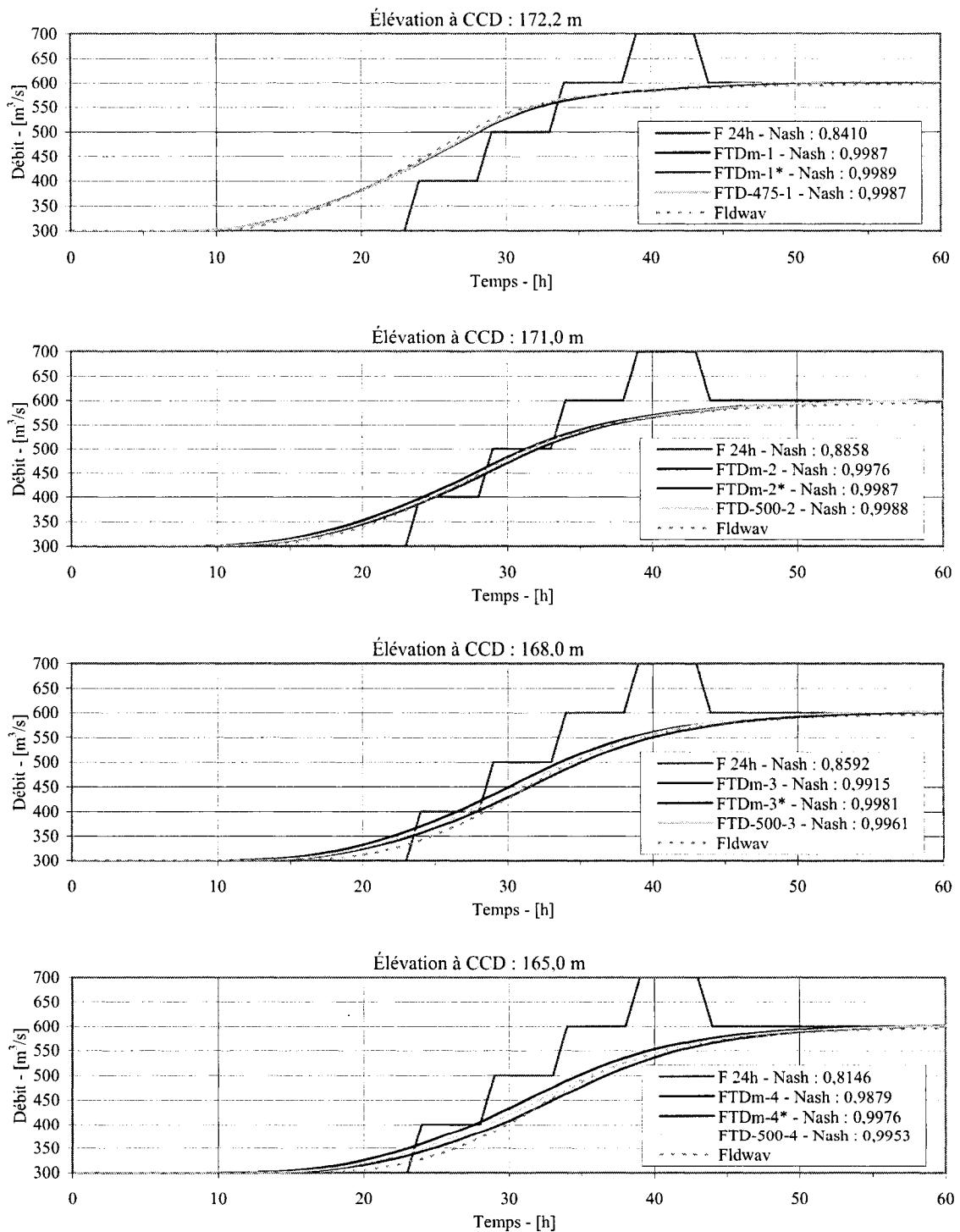


Figure 6.14 : Exemple des résultats de la simulation 1 de l'annexe D

6.5 Conclusion et recommandations

Bien que les valeurs de Nash soient généralement plus élevées pour les résultats de simulation avec les FTDM*, il semble difficile d'affirmer qu'il s'agit de la meilleure solution.

D'abord, voici dans l'ordre suggérée des fonctions qui devraient être utilisées pour effectuer un calcul de transfert de débit :

1. FTDM;
2. FTDM*;
3. FTD;
4. Simulation Fldwav.

Ensuite, voici les raisons pour lesquelles il est recommandé d'utiliser les FTDM plutôt que les trois autres options :

- L'utilisation des FTDM est plus simple pour effectuer le calcul du transfert de débit que l'utilisation des FTDM*, des FTD et du logiciel Fldwav
- Le temps de calcul du transfert de débit est moins long avec l'utilisation des FTDM qu'avec le logiciel Fldwav
- Les FTDM sont valides peu importe le débit des rivières tributaires et de la centrale située en aval
- La précision des FTDM pour effectuer le calcul du transfert de débit est tout aussi valable que les FTDM*, les FTD et le logiciel Fldwav

L'utilisation de la fonction F_{24h} d'Alcan n'est pas conseillée pour les raisons suivantes :

- Elle ne tient pas compte du débit des rivières tributaires, du débit des centrales en aval et des niveaux d'eau au réservoir en aval
- Elle ne tient pas compte de la nouvelle CP

Enfin, il est à noter que les fonctions de transfert de débit ne peuvent être appliquées lorsqu'un couvert de glace est présent sur la rivière Péribonka. Des erreurs sur le transfert de débit sont alors fort probables. Une étude appropriée sur le régime des glaces de la rivière Péribonka avec les fonctions de transfert de débit est recommandée.

CONCLUSION

Le projet de maîtrise a permis de réaliser les fonctions de transfert de débit (FTD) simulant l'écoulement de l'eau entre la centrale Chute-des-Passes et la centrale Chute-du-Diable. Les FTD sont capables de simuler l'écoulement de l'eau tout en tenant compte de la centrale Péribonka 4 actuellement en construction.

Les nombreuses simulations effectuées au cours du projet ont démontré l'efficacité du logiciel Fldwav à simuler des écoulements non permanents. La méthode de résolution numérique s'avère fiable et précise. En effet, l'erreur de continuité est négligeable.

L'étalonnage du modèle effectué sur la géométrie des sections de la rivière Péribonka ainsi que sur les coefficients de Manning représentant la rugosité du lit de la rivière s'est déroulé avec succès. Les simulations effectuées ont permis de constater que le modèle représente bien l'écoulement réel de l'eau de la rivière Péribonka. Toutefois, plusieurs simulations ont été effectuées en période hivernale et aucune n'a donné de bons résultats. Par conséquent, la validité des FTD n'est pas assurée en hiver lorsqu'il y a un couvert de glace sur la rivière Péribonka.

À partir du modèle étalonné, il est possible d'effectuer les fonctions de transfert de débit. Plusieurs FTD ont été déterminées pour représenter différentes situations d'écoulement d'eau entre la CCP et la CCD.

D'après les validations effectuées sur les différentes FTD, il est recommandé d'utiliser les fonctions de transfert de débit moyennes (FTDm). En plus d'être peu nombreuses,

elles sont faciles à utiliser et elles représentent la réalité hydrodynamique de la rivière Péribonka.

Il est à noter que les objectifs mentionnés dans le premier chapitre ont été atteints. Les FTD ne demandent pas beaucoup de temps de calcul, sont relativement simples à appliquer et sont de formes monotones croissantes. Cependant, la forme actuelle des FTD ne permet pas une dérivation mathématique et n'est pas continue dans le temps. Toutefois, la dérivée de chaque FTD pourrait être extraite point par point ($t, \%Q$).

Quant aux trois hypothèses de départ énoncées au chapitre 1, chacune a pu être validée au cours de la réalisation du projet. Premièrement, le modèle hydrodynamique montre qu'il est possible de représenter la rivière Péribonka et de modéliser des écoulements non permanents. Deuxièmement, le nombre élevé de FTD témoigne de la complexité hydrodynamique des écoulements de l'eau dans la rivière Péribonka. Finalement, la validation des FTD a montré que les FTD sont plus précises que la fonction F_{24h} d'Alcan. Par conséquent, l'utilisation des FTD permettra de mieux connaître l'arrivée des débits turbinés de la CCP ou de la CP à la CCD. La gestion des ressources hydrauliques sera donc plus efficace.

L'utilisation des FTD en période hivernale constitue la limite majeure du présent projet. L'étude du phénomène de glace se produisant sur la rivière Péribonka permettrait notamment d'évaluer d'autres FTD capables de simuler les écoulements de l'eau sur la rivière Péribonka.

RÉFÉRENCES

- ASHTON, G.D. 1986. *River and lake ice engineering*. Littleton : Water Resources Publications. 485 p.
- BARKAU, R.L. 1992. *UNET – One-dimensional Unsteady flow through a full network of open channels*. [Logiciel]. St-Louis. Logiciel de simulation hydraulique.
- CHAUDHRY Y.M., CONTRACTOR D.N. 1973. *Application of the implicit method to surges in open channel*. Water Ressources Research, 9 :6, p. 1605-1612.
- CHOW, V.T. 1959. *Open-channel hydraulics*. New York : McGraw-Hill. 680 p.
- FREAD D.L. 1974a. *Implicit dynamic routing of floods and surges in the lower Mississippi*. Presented at American Geophysical Union Spring Meeting in Washington, D.C., p. 26.
- FREAD D.L. 1974b. *Numerical properties of implicit four-point finite difference equations of unsteady flow*. HRL-45, NOAA Tech. Memo NWS HYDRO-18, Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, Silver Spring, Md, USA.
- FREAD D.L. 1978. *Theoretical development of implicit dynamic routing model*. HRL-113, Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, Silver Spring, Md, USA.
- KEPNER, C., TREGOE, B. 1985. *Le nouveau manager rationnel*. Traduit de l'américain Lionel Dahan. Paris : InterÉditions. 221 p.
- KIVISILD, H.R. 1959. *Hydrodynamical analysis of ice floods*. Eighth Congress of the International Association for Hydraulic Research. Montréal : IAHR. 2:23-F. p. 1-30.
- FREAD D.L., LEWIS JM, 1998. *NWS Fldwav Model*. Silver Spring : Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service. 335 p.

- GRAF, W.H. 2000. *Hydraulique fluviale – Écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple*. Traité de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. 2^e édition corrigée. Volume 16. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes. 627 p.
- HYDRO-QUÉBEC, 2003a. *Aménagement hydroélectrique de la Pérignonka, Étude d'impact sur l'environnement, Rapport*, volume 1, pagination multiple.
- HYDRO-QUÉBEC, 2003b. *Aménagement hydroélectrique de la Pérignonka, Étude d'impact sur l'environnement, Annexes*, volume 2, pagination multiple.
- MICHEL, B. 1965. *Les métamorphoses du frasil en rivière*. Trans. Eng. Inst. of Canada. 8:A-5.
- MICHEL, B. 1978. *Ice mechanics*. Québec : Presses de l'Université Laval. 499 p.
- NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V. 1970. *River flow forecasting through conceptual models part 1 – A discussion of principles*. Journal of Hydrology. Amsterdam : North-Holland Publishing Co. 10:3. p. 282-290.
- NEZHIKHOVSKIY, R.A. 1964. *Coefficient of roughness of bottom surfaces of slush ice cover*. Soviet Hydrologie. Selected papers. 2. p. 127-150.
- OHASHI, K., HAMADA, T. 1970. *Flow measurements of ice-covered rivers on Hokkaido*. Ice symposium. Reykjavik : IAHR. 3:1-4. p. 1-10.
- PREISSMANN A., 1961. *Propagation of translatory waves in channels and rivers*. First Congress of French Association for Computation, Grenoble, France, p. 433-442.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1973a. *Lac d'Ailleboust* [document cartographique], édition 1, échelle 1 :50 000, feuille 22 E/11, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1973b. *Lac Lemoine* [document cartographique], édition 1, échelle 1 :50 000, feuille 22 E/6, Ottawa : Le centre d'information topographique.

- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1973c. *Petit Lac Onatchiway* [document cartographique], édition 1, échelle 1 :50 000, feuille 22 E/3, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1974a. *Alma* [document cartographique], édition 4, échelle 1 :50 000, feuille 22 D/12, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1974b. *Chute-des-Passes* [document cartographique], édition 1, échelle 1 :50 000, feuille 22 E/14, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1976a. *Lac Vermont* [document cartographique], édition 2, échelle 1 :50 000, feuille 22 D/14, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- RESSOURCES NATURELLES DU CANADA, 1976b. *Riviere Alex* [document cartographique], édition 2, échelle 1 :50 000, feuille 22 D/13, Ottawa : Le centre d'information topographique.
- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 1997. *UNET One-dimensional unsteady flow through a full network of open channels, User's manual*. Davis : Hydrologic Engineering Center (HEC). 288 p. CPD-66.
- USACE, 2002a. *HEC-RAS, River Analysis System, User's Manual*. version 3.1. Davis : HEC. 420 p. CPD-68.
- USACE, 2002b. *HEC-RAS, River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*. version 3.1. Davis : HEC. 350 p. CPD-69.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 1997a. *Full equations (FEQ) model for the solution of the full, dynamic equations of motion for one-dimensional unsteady flow in open channels and through control structures*. Urbana :Water-Resources Investigations. 258 p. Report 96-4240.
- USGS, 1997b. *Full equations utilities (FEQUTL) model for the approximation of hydraulic characteristics of open channels and control structures during unsteady flow*. Urbana :Water-Resources Investigations. 205 p. Report 97-4037.

YANG T.C., SIMÕES F.J.M. 2002. *GSTARS3, User's manual.* version 3. Denver : U.S. Bureau of Reclamation, Sedimentation and river hydraulics group. 345 p.

ANNEXE A

Photographies



Photo A.1 : Rivière Pérignon en direction aval – PK 150



Photo A.2 : Rivière Serpent en direction ouest – PK 158,5

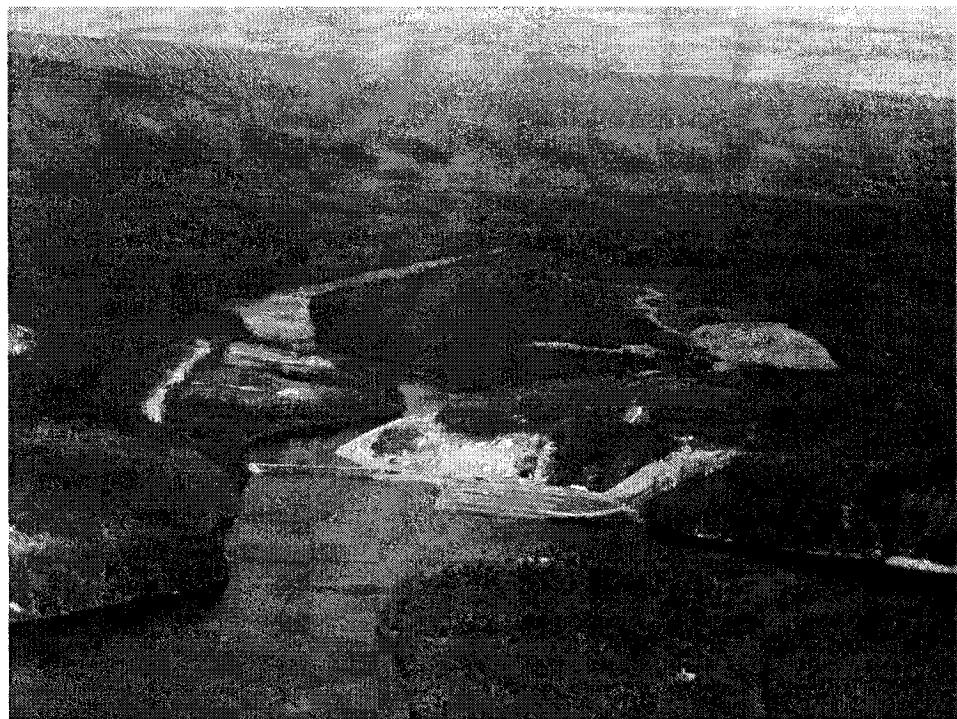


Photo A.3 : Jonction de la rivière Manouane et la CP – PK 150

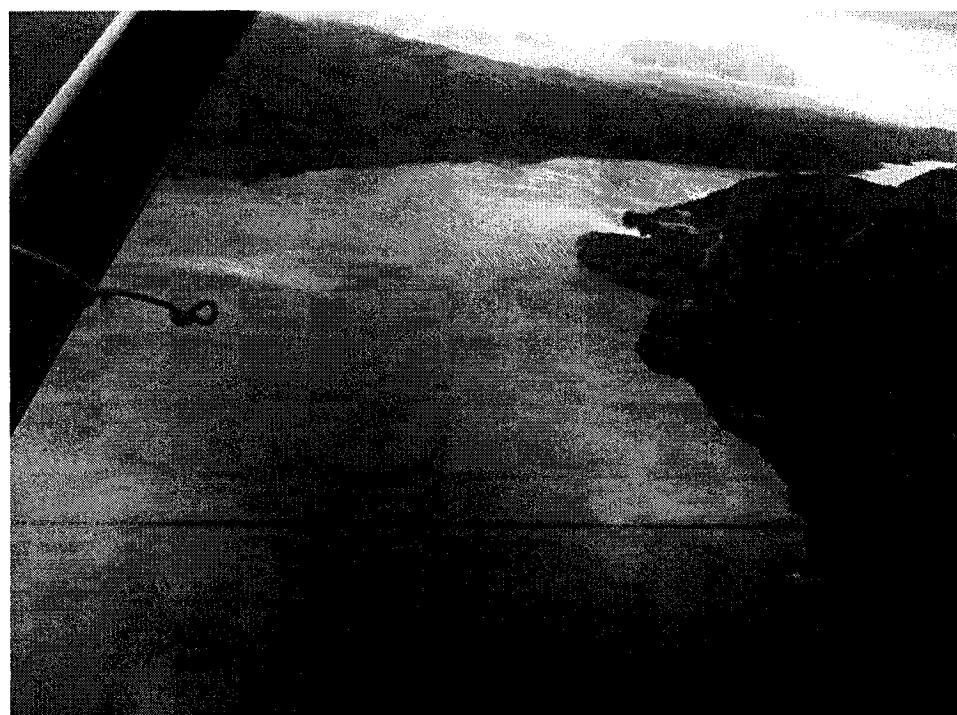


Photo A.4 : Lac Tchitogama en direction est – PK 73,5

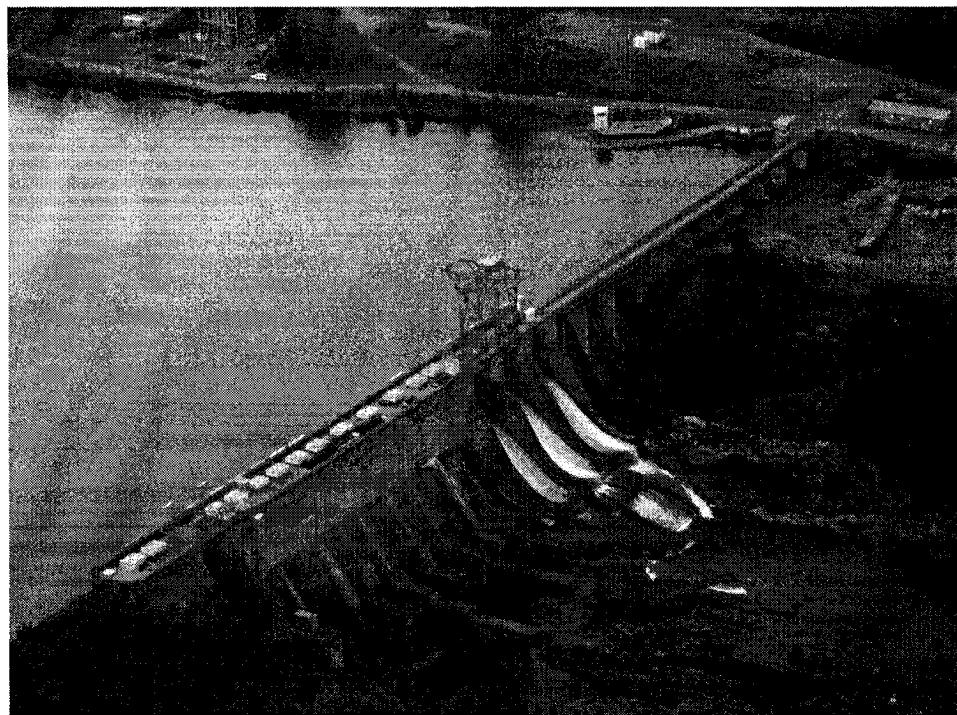


Photo A.5 : Barrage des Passes-Dangeureuses – PK 203

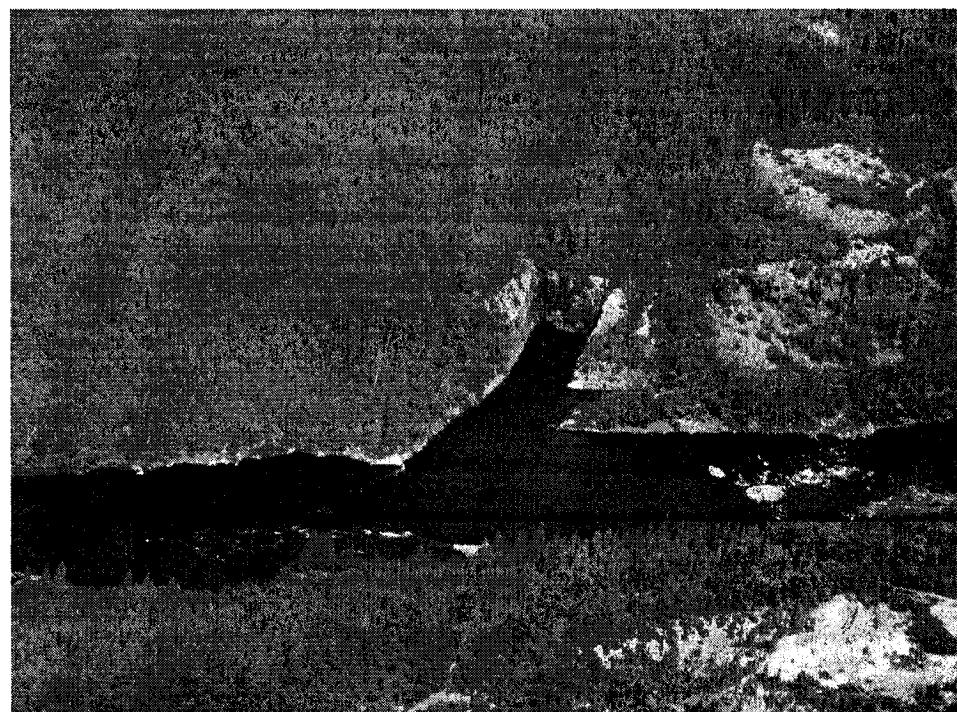


Photo A.6 : Canal de fuite de la CCP – PK 188,7



Photo A.7 : Centrale Chute-du-Diable – PK 44

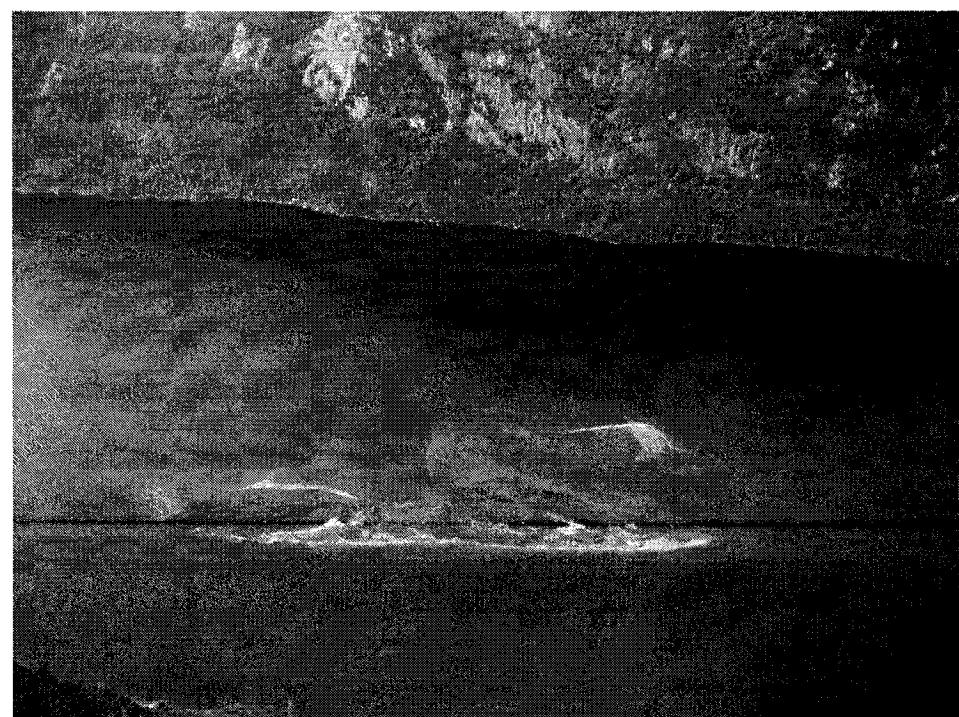


Photo A.8 : Lit sablonneux de la rivière Péribonka – PK 119

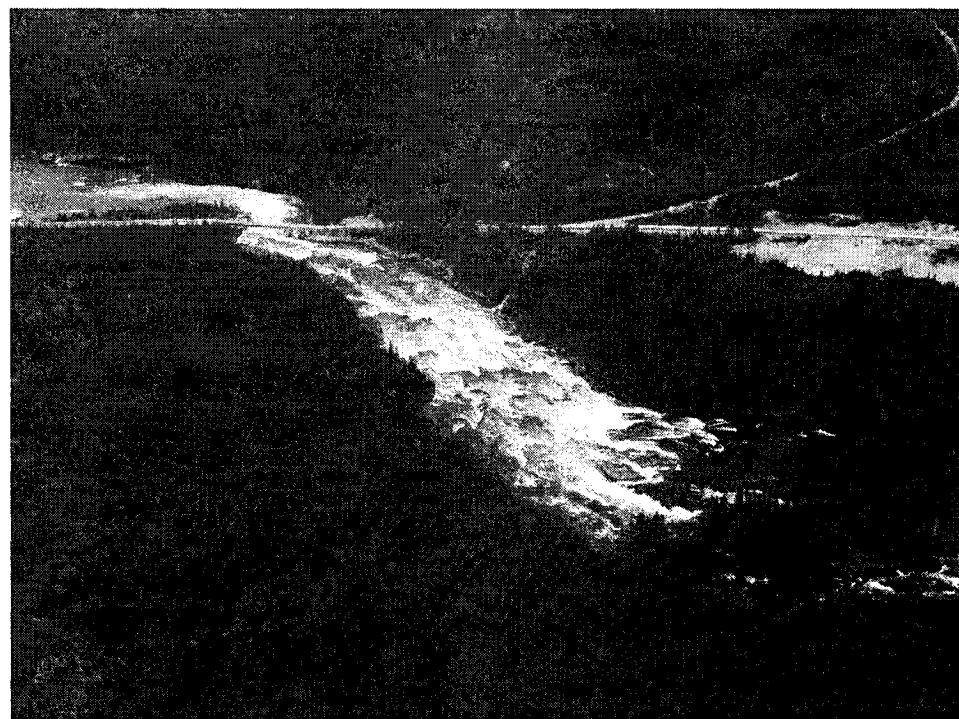


Photo A.9 : Rapide de la rivière Pérignonka – PK 178

ANNEXE B

Résultats d'étalonnage

Tableau B.1 : Table volume/élévation du réservoir CCD

MCPH METRIQUE - PGM, EV7M

4 JUIN 1980

TABLE ELEVATION-VOLUME
CHUTE-DU-Diable

ELEVATION	.00	.02	.04	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18
163.6							0.4	1.0	1.7	2.4
163.8	3.0	3.7	4.4	5.0	5.7	6.4	7.1	7.8	8.5	9.2
164.0	9.9	10.6	11.3	12.0	12.7	13.4	14.1	14.8	15.5	16.2
164.2	16.9	17.6	18.3	19.0	19.8	20.5	21.2	21.9	22.6	23.4
164.4	24.1	24.8	25.5	26.3	27.0	27.7	28.4	29.2	29.9	30.6
164.6	31.4	32.1	32.8	33.5	34.3	35.0	35.7	36.5	37.2	38.0
164.8	38.7	39.4	40.2	40.9	41.6	42.4	43.1	43.9	44.6	45.3
165.0	46.1	46.8	47.6	48.3	49.1	49.8	50.6	51.3	52.0	52.8
165.2	53.5	54.3	55.0	55.8	56.5	57.3	58.0	58.8	59.6	60.3
165.4	61.1	61.8	62.6	63.3	64.1	64.9	65.6	66.4	67.1	67.9
165.6	68.7	69.4	70.2	71.0	71.7	72.5	73.3	74.0	74.8	75.6
165.8	76.3	77.1	77.9	78.7	79.4	80.2	81.0	81.8	82.5	83.3
166.0	84.1	84.9	85.7	86.5	87.2	88.0	88.8	89.6	90.4	91.2
166.2	92.0	92.8	93.6	94.4	95.2	96.0	96.8	97.6	98.4	99.2
166.4	100.0	100.8	101.6	102.4	103.2	104.0	104.8	105.6	106.4	107.2
166.6	108.0	108.9	109.7	110.5	111.3	112.1	112.9	113.8	114.6	115.4
166.8	116.2	117.0	117.9	118.7	119.5	120.3	121.2	122.0	122.8	123.7
167.0	124.5	125.3	126.2	127.0	127.8	128.7	129.5	130.3	131.2	132.0
167.2	132.8	133.7	134.5	135.4	136.2	137.0	137.9	138.7	139.6	140.4
167.4	141.3	142.1	142.9	143.8	144.6	145.5	146.3	147.2	148.0	148.9
167.6	149.7	150.6	151.4	152.3	153.1	154.0	154.8	155.7	156.5	157.4
167.8	158.2	159.1	160.0	160.8	161.7	162.5	163.4	164.2	165.1	165.9
168.0	166.8	167.7	168.5	169.4	170.2	171.1	172.0	172.8	173.7	174.5
168.2	175.4	176.3	177.1	178.0	178.8	179.7	180.6	181.4	182.3	183.2
168.4	184.0	184.9	185.8	186.6	187.5	188.4	189.2	190.1	191.0	191.8
168.6	192.7	193.6	194.5	195.3	196.2	197.1	198.0	198.8	199.7	200.6
168.8	201.5	202.3	203.2	204.1	205.0	205.9	206.7	207.6	208.5	209.4
169.0	210.3	211.2	212.1	212.9	213.8	214.7	215.6	216.5	217.4	218.3
169.2	219.2	220.1	221.0	221.9	222.8	223.7	224.6	225.5	226.4	227.3
169.4	228.3	229.2	230.1	231.0	231.9	232.8	233.8	234.7	235.6	236.6
169.6	237.5	238.4	239.3	240.3	241.2	242.2	243.1	244.0	245.0	245.9
169.8	246.9	247.9	248.8	249.8	250.7	251.7	252.7	253.6	254.6	255.6
170.0	256.6	257.5	258.5	259.5	260.5	261.5	262.5	263.5	264.5	265.5
170.2	266.5	267.5	268.6	269.6	270.6	271.6	272.7	273.7	274.7	275.8
170.4	276.8	277.9	278.9	280.0	281.1	282.1	283.2	284.3	285.4	286.4
170.6	287.5	288.6	289.7	290.8	291.9	293.1	294.2	295.3	296.4	297.6
170.8	298.7	299.9	301.0	302.2	303.3	304.5	305.7	306.8	308.0	309.2
171.0	310.4	311.6	312.8	314.0	315.2	316.4	317.7	318.9	320.1	321.4
171.2	322.6	323.9	325.1	326.4	327.7	329.0	330.2	331.5	332.8	334.1
171.4	335.4	336.7	338.1	339.4	340.7	342.0	343.4	344.7	346.1	347.4
171.6	348.8	350.2	351.5	352.9	354.3	355.7	357.1	358.5	359.9	361.3
171.8	362.7	364.1	365.5	366.9	368.3	369.8	371.2	372.6	374.1	375.5
172.0	377.0	378.4	379.9	381.3	382.8	384.3	385.7	387.2	388.7	390.2
172.2	391.6	393.1	394.6	396.1	397.6	399.1	400.6	402.1	403.6	405.1
172.4	406.6	408.1	409.6	411.1	412.6	414.1	415.6	417.1	418.7	420.2
172.6	421.7	423.2	424.8	426.3	427.8	429.4	430.9	432.4	434.0	435.5
172.8	437.1	438.6	440.2	441.7	443.3	444.8	446.4	448.0	449.5	451.1

LES VOLUMES SONT EN MEGAMETRES CUBES
LES ELEVATIONS SONT EN METRES

N.B. L'ELEVATION NORMALE D'OPERATION CORRESPOND A 172.24 METRES

Tableau B.2 : Résultats sur l'étalonnage du réservoir CCD

Essai 1 (30 h) : + 300 m ³ /s					Volume ajouté :		27	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
164.0	27.45	0.45	-0.01	0,06 à 0,12	88.0	44.0	44.0	
165.0	27.00	0.00	0.00	0,06 à 0,12	88.5	44.0	44.5	
166.0	27.40	0.40	-0.01	0,06 à 0,12	89.0	44.0	45.0	
167.0	27.70	0.70	-0.01	0,06 à 0,12	90.0	44.0	46.0	
168.0	27.15	0.15	0.00	0,06 à 0,12	91.0	44.0	47.0	
169.0	26.65	-0.35	0.00	0,06 à 0,12	94.0	44.0	50.0	
170.0	26.40	-0.60	0.01	0,06 à 0,12	98.0	44.0	54.0	
171.0	27.35	0.35	0.00	0,06 à 0,12	105.0	44.0	61.0	
172.0	27.30	0.30	0.00	0,06 à 0,12	115.0	44.0	71.0	

Essai 2 (30 h) : - 300 m ³ /s					Volume ajouté :		27	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
164.0	-	-	-	0,06 à 0,12	88.0	44.0	44.0	
165.0	29.15	2.15	0.06	0,06 à 0,12	88.5	44.0	44.5	
166.0	28.10	1.10	0.02	0,06 à 0,12	89.0	44.0	45.0	
167.0	28.30	1.30	0.03	0,06 à 0,12	90.0	44.0	46.0	
168.0	28.00	1.00	0.02	0,06 à 0,12	91.0	44.0	47.0	
169.0	26.65	-0.35	0.00	0,06 à 0,12	94.0	44.0	50.0	
170.0	26.30	-0.70	-0.01	0,06 à 0,12	98.0	44.0	54.0	
171.0	26.25	-0.75	-0.01	0,06 à 0,12	105.0	44.0	61.0	
172.0	28.00	1.00	0.01	0,06 à 0,12	115.0	44.0	71.0	

Essai 3 (30 h) : + 100 m ³ /s					Volume ajouté :		9	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
164.0	9.10	0.10	0.00	0,06 à 0,12	88.0	44.0	44.0	
165.0	8.90	-0.10	0.00	0,06 à 0,12	88.5	44.0	44.5	
166.0	9.00	0.00	0.00	0,06 à 0,12	89.0	44.0	45.0	
167.0	9.10	0.10	0.00	0,06 à 0,12	90.0	44.0	46.0	
168.0	9.00	0.00	0.00	0,06 à 0,12	91.0	44.0	47.0	
169.0	8.90	-0.10	0.00	0,06 à 0,12	94.0	44.0	50.0	
170.0	8.90	-0.10	0.00	0,06 à 0,12	98.0	44.0	54.0	
171.0	9.00	0.00	0.00	0,06 à 0,12	105.0	44.0	61.0	
172.0	8.75	-0.25	0.00	0,06 à 0,12	115.0	44.0	71.0	

Essai 4 (30 h) : - 100 m ³ /s					Volume ajouté :		9	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
164.0	-	-	-	0,06 à 0,12	88.0	44.0	44.0	
165.0	9.15	0.15	0.00	0,06 à 0,12	88.5	44.0	44.5	
166.0	9.20	0.20	0.00	0,06 à 0,12	89.0	44.0	45.0	
167.0	9.40	0.40	0.01	0,06 à 0,12	90.0	44.0	46.0	
168.0	9.40	0.40	0.01	0,06 à 0,12	91.0	44.0	47.0	
169.0	8.70	-0.30	0.00	0,06 à 0,12	94.0	44.0	50.0	
170.0	8.65	-0.35	-0.01	0,06 à 0,12	98.0	44.0	54.0	
171.0	9.25	0.25	0.00	0,06 à 0,12	105.0	44.0	61.0	
172.0	9.30	0.30	0.00	0,06 à 0,12	115.0	44.0	71.0	

Tableau B.3 : Table volume/élévation du réservoir futur de la centrale CP

Élévation géodésique	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
174.0	-	-	0.02	0.04	0.07	0.10	0.15	0.20	0.26	0.33
175.0	0.41	0.50	0.59	0.69	0.80	0.92	1.05	1.18	1.32	1.47
176.0	1.63	1.79	1.97	2.14	2.33	2.53	2.73	2.94	3.15	3.38
177.0	3.61	3.85	4.09	4.34	4.60	4.87	5.15	5.43	5.71	6.01
178.0	6.31	6.62	6.94	7.26	7.60	7.94	8.28	8.64	9.00	9.37
179.0	9.74	10.13	10.52	10.92	11.33	11.74	12.17	12.60	13.04	13.48
180.0	13.94	14.40	14.87	15.35	15.84	16.34	16.84	17.35	17.87	18.40
181.0	18.94	19.48	20.04	20.60	21.17	21.74	22.33	22.92	23.52	24.13
182.0	24.74	25.37	26.00	26.63	27.28	27.93	28.59	29.26	29.93	30.61
183.0	31.30	32.00	32.70	33.40	34.12	34.84	35.56	36.30	37.03	37.78
184.0	38.53	39.28	40.04	40.81	41.58	42.36	43.14	43.93	44.72	45.52
185.0	46.32	47.12	47.94	48.75	49.57	50.40	51.23	52.06	52.90	53.74
186.0	54.59	55.44	56.30	57.16	58.02	58.89	59.76	60.64	61.52	62.40
187.0	63.29	64.18	65.07	65.97	66.88	67.78	68.69	69.61	70.52	71.44
188.0	72.37	73.30	74.23	75.16	76.10	77.04	77.99	78.94	79.89	80.85
189.0	81.81	82.77	83.73	84.70	85.67	86.65	87.63	88.61	89.60	90.58
190.0	91.57	92.57	93.57	94.57	95.57	96.58	97.59	98.60	99.62	100.63
191.0	101.66	102.68	103.71	104.74	105.77	106.81	107.85	108.89	109.93	110.98
192.0	112.03	113.08	114.14	115.20	116.26	117.32	118.39	119.46	120.53	121.61
193.0	122.68	123.76	124.85	125.93	127.02	128.11	129.20	130.30	131.40	132.50
194.0	133.60	134.71	135.81	136.93	138.04	139.15	140.27	141.39	142.52	143.64
195.0	144.77	145.90	147.03	148.17	149.30	150.44	151.58	152.73	153.87	155.02
196.0	156.17	157.33	158.48	159.64	160.80	161.96	163.12	164.29	165.46	166.63
197.0	167.80	168.97	170.15	171.33	172.51	173.69	174.88	176.07	177.26	178.45
198.0	179.64	180.84	182.04	183.24	184.44	185.64	186.85	188.06	189.27	190.49
199.0	191.70	192.92	194.14	195.36	196.59	197.82	199.05	200.28	201.52	202.75
200.0	204.00	205.24	206.48	207.73	208.98	210.24	211.49	212.75	214.01	215.28
201.0	216.55	217.82	219.09	220.37	221.64	222.93	224.21	225.50	226.79	228.08
202.0	229.38	230.68	231.98	233.28	234.59	235.90	237.22	238.53	239.85	241.17
203.0	242.50	243.83	245.16	246.49	247.83	249.17	250.51	251.85	253.20	254.55
204.0	255.90	257.26	258.61	259.97	261.34	262.70	264.07	265.44	266.81	268.19
205.0	269.56	270.94	272.32	273.71	275.09	276.48	277.87	279.27	280.66	282.06
206.0	283.46	284.86	286.27	287.67	289.08	290.49	291.91	293.32	294.74	296.16
207.0	297.58	299.01	300.44	301.86	303.30	304.73	306.17	307.61	309.05	310.49
208.0	311.94	313.39	314.84	316.30	317.75	319.21	320.67	322.14	323.61	325.08
209.0	326.55	328.03	329.51	330.99	332.48	333.96	335.46	336.93	338.45	339.95
210.0	341.45	342.96	344.47	345.99	347.50	349.02	350.55	352.08	353.61	355.14
211.0	356.68	358.22	359.77	361.32	362.87	364.43	365.99	367.55	369.12	370.69
212.0	372.26	373.84	375.42	377.01	378.60	380.19	381.79	383.39	384.99	386.60
213.0	388.21	389.82	391.44	393.06	394.69	396.32	397.95	399.59	401.23	402.87
214.0	404.52	406.17	407.83	409.48	411.15	412.81	414.48	416.15	417.83	419.51
215.0	421.19	422.88	424.57	426.26	427.96	429.66	431.36	433.07	434.78	436.49
216.0	438.21	439.93	441.65	443.38	445.11	446.84	448.58	450.32	452.06	453.81
217.0	455.56	457.31	459.06	460.82	462.58	464.34	466.11	467.88	469.65	471.43
218.0	473.21	474.99	476.77	478.56	480.35	482.14	483.94	485.74	487.54	489.34
219.0	491.15	492.96	494.77	496.58	498.40	500.22	502.04	503.87	505.70	507.53
220.0	509.37	511.20	513.04	514.89	516.73	518.58	520.43	522.29	524.14	526.00
221.0	527.87	529.73	531.60	533.47	535.35	537.23	539.11	540.99	542.88	544.77
222.0	546.66	548.56	550.46	552.36	554.27	556.18	558.09	560.00	561.92	563.84
223.0	565.77	567.70	569.63	571.56	573.50	575.44	577.39	579.33	581.29	583.24
224.0	585.20	587.16	589.12	591.09	593.06	595.03	597.01	598.99	600.98	602.96
225.0	604.95	606.95	608.94	610.94	612.95	614.95	616.96	618.98	620.99	623.01
226.0	625.04	627.06	629.09	631.12	633.16	635.20	637.24	639.28	641.33	643.38
227.0	645.44	647.50	649.56	651.62	653.69	655.76	657.84	659.91	662.00	664.08
228.0	666.17	668.26	670.36	672.46	674.56	676.67	678.78	680.90	683.02	685.14
229.0	687.27	689.40	691.54	693.68	695.82	697.98	700.13	702.29	704.46	706.63
230.0	708.80	710.98	713.17	715.36	717.56	719.76	721.97	724.19	726.41	728.64
231.0	730.87	733.11	735.36	737.61	739.87	742.14	744.41	746.69	748.97	751.26
232.0	753.56	755.86	758.17	760.49	762.82	765.15	767.48	769.83	772.17	774.53
233.0	776.89	779.26	781.64	784.02	786.40	788.79	791.19	793.60	796.01	798.42
234.0	800.84	803.27	805.70	808.14	810.58	813.02	815.47	817.93	820.39	822.86
235.0	825.33	827.80	830.28	832.76	835.25	837.74	840.24	842.74	845.25	847.76
236.0	850.27	852.79	855.31	857.84	860.38	862.92	865.46	868.01	870.56	873.12
237.0	875.69	878.26	880.83	883.42	886.00	888.60	891.20	893.81	896.42	899.04
238.0	901.67	904.30	906.95	909.60	912.26	914.92	917.60	920.28	922.98	925.68
239.0	928.39	931.11	933.84	936.57	939.32	942.08	944.85	947.62	950.41	953.21
240.0	956.01	958.83	961.65	964.49	967.34	970.19	973.06	975.94	978.82	981.72
241.0	984.62	987.54	990.47	993.40	996.35	999.30	1 002.27	1 005.24	1 008.22	1 011.22
242.0	1 014.22	1 017.23	1 020.25	1 023.27	1 026.31	1 029.35	1 032.41	1 035.47	1 038.53	1 041.61
243.0	1 044.69	1 047.78	1 050.88	1 053.98	1 057.09	1 060.20	1 063.32	1 066.45	1 069.58	1 072.72
244.0	1 075.87	1 079.02	1 082.18	1 085.35	1 088.52	1 091.70	1 094.88	1 098.08	1 101.28	1 104.49
245.0	1 107.70	1 110.93	1 114.16	1 117.40	1 120.65	1 123.91	1 127.17	1 130.44	1 133.72	1 137.01
246.0	1 140.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

N.B. : L'élévation normale d'opération correspond à 244m

Source : Hydro-Québec

Les volumes sont en hectomètre cube

Les élévations sont en mètre

Tableau B.4 : Résultats sur l'étalonnage du réservoir de la CP – 1

Essai 1 (30 h) : + 300 m ³ /s				Volume ajouté :		27	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]
180	30.50	30.50	0.44	-0.39	173.2	151.8	21.4
185	28.95	28.95	0.21	-0.37	173.2	151.8	21.4
190	26.97	26.97	0.00	-0.38	175.0	151.8	23.2
195	26.94	26.94	0.00	-0.38	176.0	151.8	24.2
200	26.58	26.58	-0.03	-0.38	177.0	151.8	25.2
205	26.76	26.76	-0.02	-0.38	179.0	151.8	27.2
210	26.91	26.91	0.00	-0.41	180.0	151.8	28.2
215	27.41	27.41	0.02	-0.68	180.0	151.8	28.2
220	27.88	27.88	0.05	-1.24	181.0	151.8	29.2
225	26.59	26.59	-0.02	-0.55	181.0	151.8	29.2
230	27.03	27.03	0.00	-0.95	181.0	151.8	29.2
235	26.47	26.47	-0.02	-0.39	181.0	151.8	29.2
240	26.60	26.60	-0.01	-0.39	184.5	151.8	32.7
241	26.92	26.92	0.00	-0.39	185.0	151.8	33.2
242	27.10	27.10	0.00	-0.39	185.0	151.8	33.2
243	27.10	27.10	0.00	-0.39	185.5	151.8	33.7
244	27.03	27.03	0.00	-0.39	186.0	151.8	34.2
245	27.02	27.02	0.00	-0.39	186.5	151.8	34.7

Essai 2 (30 h) : - 300 m ³ /s				Volume ajouté :		27	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreurs de volume [hm ³]	Erreurs d'élévation [m]	Erreurs de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]
185	30.67	30.67	0.72	-0.82	173.2	151.8	21.4
190	27.63	27.63	0.07	-0.82	175.0	151.8	23.2
195	27.01	27.01	0.00	-0.81	176.0	151.8	24.2
200	26.62	26.62	-0.03	-0.82	177.0	151.8	25.2
205	26.79	26.79	-0.02	-0.82	179.0	151.8	27.2
210	26.61	26.61	-0.03	-0.83	180.0	151.8	28.2
215	27.16	27.16	0.01	-0.84	180.0	151.8	28.2
220	25.80	25.80	-0.07	-1.37	181.0	151.8	29.2
225	26.21	26.21	-0.04	-0.96	181.0	151.8	29.2
230	24.52	24.52	-0.12	-1.81	181.0	151.8	29.2
235	26.68	26.68	-0.01	-0.82	181.0	151.8	29.2
240	26.55	26.55	-0.02	-0.82	184.5	151.8	32.7
241	26.66	26.66	-0.01	-0.81	185.0	151.8	33.2
242	26.99	26.99	0.00	-0.82	185.0	151.8	33.2
243	27.17	27.17	0.01	-0.82	185.5	151.8	33.7
244	27.17	27.17	0.01	-0.81	186.0	151.8	34.2
245	27.11	27.11	0.00	-0.82	186.5	151.8	34.7

Tableau B.5 : Résultats sur l'étalonnage du réservoir de la CP – 2

Essai 3 (30 h) : + 100 m ³ /s				Volume ajouté :			9	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreur de volume [hm ³]	Erreur d'élévation [m]	Erreur de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
180	10.02	1.02	0.17	-0.44	173.2	151.8	21.4	
185	9.94	0.94	0.11	-0.41	173.2	151.8	21.4	
190	8.97	-0.03	0.00	-0.42	175.0	151.8	23.2	
195	9.11	0.11	0.01	-0.42	176.0	151.8	24.2	
200	8.89	-0.11	-0.01	-0.42	177.0	151.8	25.2	
205	9.02	0.02	0.00	-0.43	179.0	151.8	27.2	
210	8.96	-0.04	0.00	-0.45	180.0	151.8	28.2	
215	8.98	-0.02	0.00	-0.43	180.0	151.8	28.2	
220	9.22	0.22	0.01	-0.79	181.0	151.8	29.2	
225	8.80	-0.20	-0.01	-0.44	181.0	151.8	29.2	
230	9.21	0.21	0.01	-0.75	181.0	151.8	29.2	
235	8.68	-0.32	-0.01	-0.44	181.0	151.8	29.2	
240	9.06	0.06	0.00	-0.43	184.5	151.8	32.7	
241	9.08	0.08	0.00	-0.44	185.0	151.8	33.2	
242	9.06	0.06	0.00	-0.44	185.0	151.8	33.2	
243	8.98	-0.02	0.00	-0.43	185.5	151.8	33.7	
244	9.17	0.17	0.00	-0.44	186.0	151.8	34.2	
245	9.05	0.05	0.00	-0.44	186.5	151.8	34.7	

Essai 4 (30 h) : - 100 m ³ /s				Volume ajouté :			9	hm ³
Élévation géodésique [m]	Volume ajouté [hm ³]	Erreur de volume [hm ³]	Erreur d'élévation [m]	Erreur de continuité [%]	pk entrée [km]	pk sortie [km]	Longueur du réservoir [km]	
180	9.14	0.14	0.05	-0.60	173.2	151.8	21.4	
185	10.11	1.11	0.15	-0.59	173.2	151.8	21.4	
190	9.00	0.00	0.00	-0.59	175.0	151.8	23.2	
195	9.08	0.08	0.01	-0.58	176.0	151.8	24.2	
200	8.89	-0.11	-0.01	-0.59	177.0	151.8	25.2	
205	8.91	-0.09	-0.01	-0.58	179.0	151.8	27.2	
210	8.83	-0.17	-0.01	-0.60	180.0	151.8	28.2	
215	9.05	0.05	0.00	-0.58	180.0	151.8	28.2	
220	8.24	-0.76	-0.04	-0.98	181.0	151.8	29.2	
225	8.74	-0.26	-0.01	-0.58	181.0	151.8	29.2	
230	8.46	-0.54	-0.02	-0.77	181.0	151.8	29.2	
235	8.63	-0.37	-0.01	-0.59	181.0	151.8	29.2	
240	8.67	-0.33	-0.01	-0.58	184.5	151.8	32.7	
241	8.98	-0.02	0.00	-0.58	185.0	151.8	33.2	
242	8.99	-0.01	0.00	-0.59	185.0	151.8	33.2	
243	8.92	-0.08	0.00	-0.58	185.5	151.8	33.7	
244	9.11	0.11	0.00	-0.59	186.0	151.8	34.2	
245	8.99	-0.01	0.00	-0.59	186.5	151.8	34.7	

Analyse des résultats des périodes de simulation

Série 01 – voir les Figures B.1 et B.2 – (mars 2002)

La série 01 ne donne pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Ceci est dû probablement au couvert de glace présent sur la rivière à cette période de l'année. Sur le graphique du PK 150,6, le niveau d'eau réel semble être influencé grandement par le couvert de glace; les niveaux d'eau simulés sont inférieurs au niveau réel. Pour le PK 96,0, il semble avoir une défectuosité dans la prise de mesure de la station limnimétrique, ce qui rend impossible l'analyse de cette station. Pour le PK 44,0, les niveaux d'eau simulés sont supérieurs au niveau d'eau réel. Les apports intermédiaires sont difficiles à ajuster pour cette période de l'année. Il y a des singularités dans la simulation concernant les apports intermédiaires qui ne peuvent être résolus.

Enfin, l'indice de qualité de cette simulation n'est pas du tout acceptable, que ce soit pour le CAS A ou le CAS B. Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 02 – voir les Figures B.3 et B.4 – (mai 2002)

La série 02 ne donne pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Le mois de mai représente la période de crue du bassin versant CCD. De ce fait, les incertitudes reliées au couvert de glace et aux apports intermédiaires font en sorte que les résultats sont inacceptables. Seules les réponses au PK 150,6 sont acceptables; l'indice de qualité est de 6,68 et 6,94 pour le CAS A et B respectivement.

Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 03, Série 04 et Série 05 – voir les Figures B.5, B.6, B.7, B.8, B.9 et B.10 – (juin et juillet 2002)

Les séries 03 et 04 donnent de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Graphiquement ainsi qu'avec les valeurs de l'IQ, le CAS B est meilleur que le CAS A. Les résultats sont très semblables pour le PK 150,6 et 44,0. Par contre, au PK 96,0, l'IQ est meilleur pour le CAS B. À noter que pour la série 03, le front d'onde positif situé au PK 44,0 se déroulant au début de la période de simulation est très bien reproduit par le modèle.

Pour ces trois séries, le **CAS B** est meilleur que le CAS A.

Série 06 – voir les Figures B.11 et B.12 – (août 2002)

Exceptionnellement pour cette période de simulation, les apports intermédiaires ont été modifiés à la baisse de façon singulière pour les huit premiers jours de simulation. Les apports de la rivière Serpent et Manouane ont été réduits de 10 et 15 % respectivement.

Avec cette manipulation, la série 06 donne de bons résultats en ce qui concerne le CAS B. Les résultats graphiques et numériques des niveaux d'eau au PK 150,6 et 44,0 sont très bons pour les CAS A et B. Par contre, au PK 96,0, les résultats du CAS A sont inacceptables.

Pour cette série, le **CAS B** est meilleur que le CAS A.

Série 07 – voir les Figures B.13 et B.14 – (septembre 2002)

La série 07 donne de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Cette fois, il est impossible de déterminer graphiquement quel est le meilleur cas. Il faut se reporter sur

l'IQ. Au PK 150,6, l'IQ du CAS B est meilleur que celui du CAS A. Pour l'IQ au PK 96,0, le CAS A semble meilleur que le CAS B. Par contre, même si l'IQ est meilleur pour le CAS A, l'erreur localisée du CAS B est meilleur. En plus, l'IQ chute radicalement en passant de 1,43 à 0,03 de 5 à 8cm. Pour ces raisons, le CAS B donne de meilleurs résultats au PK 96,0. Enfin, au PK 44,0, le CAS B semble aussi bon que le CAS A par rapport à l'IQ qui est très faible pour chacun des deux cas étudiés.

Pour cette série, le **CAS B** est meilleur que le CAS A.

Série 08 – voir les Figures B.15 et B.16 – (octobre 2002)

La série 08 ne donne pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Au PK 150,6, les résultats sont considérés bons pour les deux cas étudiés. Cependant, au PK 96,0 et 44,0, les résultats ne concordent pas avec les niveaux d'eau réels des stations limnimétriques. Il semble que les apports intermédiaires soient trop élevés dans la première moitié du mois et trop faibles dans la dernière moitié. D'une part, le coefficient CAI permet d'ajuster soit en augmentant, soit en diminuant les apports intermédiaires sur toute la période de simulation étudiée. Il ne peut pas, en l'occurrence, être ajusté pour cette simulation. D'autre part, il y a d'autres situations qui font en sorte que ce qui se passe physiquement ne peut être expliqué ou modélisé par le modèle actuel.

Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 09 – voir les Figures B.17 et B.18 – (novembre 2002)

La série 09 donne de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Au PK 150,6, les résultats graphiques et numériques sont aussi bons pour le CAS A que pour le CAS B. Des résultats semblables peuvent être observés également au PK 44,0. Par contre, il

semble avoir une défectuosité à la station du PK 96,0; les résultats ne peuvent être analysés correctement.

Pour cette série, le CAS A est aussi bon que le CAS B.

Série 10 – voir les Figures B.19 et B.20 – (décembre 2002)

La série 10 ne donne pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Au mois de décembre, un couvert de glace est installé sur la rivière Pérignonka et fait fluctuer grandement le niveau d'eau à la station du PK 150,6, alors que les apports intermédiaires sont relativement faibles à cette période de l'année. Au PK 96,0, le niveau d'eau à la station monte en flèche; l'analyse des cas pour cette station est donc impossible. Enfin, au PK 44,0, bien que les IQ sont relativement faibles (valeurs de 2,34 et 2,63 pour les CAS A et B respectivement) les résultats ne sont pas pour autant concordants. En effet, le modèle engendre une erreur de plus de 10 cm pendant près de 4 jours. Cette situation est donc considérée inacceptable.

Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 30 et Série 31 – voir les Figures B.21, B.22, B.23 et B.24 – (janvier et février 2003)

Les séries 30 et 31 ne donnent pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. À cette période de l'année, un couvert de glace est installé sur la rivière Pérignonka et fait fluctuer grandement le niveau d'eau à la station du PK 150,6, alors que les apports intermédiaires sont relativement faibles. Bien que les résultats graphiques et numériques soient bons, il est impossible d'affirmer avec certitude que les simulations sont bonnes.

Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 32 – voir les Figures B.25 et B.26 – (mars 2003)

La série 32 ne donne pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. À cette période de l'année, un couvert de glace est installé sur la rivière Pérignonka et fait fluctuer grandement le niveau d'eau à la station du PK 150,6, alors que les apports intermédiaires sont relativement faibles. En fait, ces cas ne donnent aucun résultat satisfaisant que ce soit au niveau graphique ou numérique. Les apports intermédiaires ont été ajustés avec un coefficient CAI de 0, soit le plus petit coefficient qui peut être modélisé. Même avec ce coefficient, les apports intermédiaires semblent être trop élevés pour cette période de l'année.

Pour cette série, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 33 et Série 34 – voir les Figures B.27, B.28, B.29 et B.30 – (avril et mai 2003)

Les séries 33 et 34 ne donnent pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Ces périodes représentent l'avant crue et la crue printanière respectivement. En fait, la source d'erreur provient de la difficulté à ajuster les apports intermédiaires. Pour la série 33, il semble que les apports intermédiaires soient trop élevés en début de simulation et trop faibles vers la fin. Pour la série 34, c'est l'inverse qui se produit : les apports intermédiaires sont trop faibles en début de simulation et trop élevés vers la fin. À noter que le coefficient CAI permet d'effectuer un ajustement global de la simulation, et non d'ajuster de façon singulière les apports intermédiaires.

Pour ces deux séries, comme il est impossible d'ajuster correctement les apports intermédiaires, il est donc impossible d'ajuster les Manning du modèle. Pour ces séries, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 35 – voir les Figures B.31 et B.32 – (juin 2003)

La série 35 donne de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. Au PK 150,6, l'IQ ainsi que l'erreur localisée du CAS B est meilleur que celui du CAS A. Par contre, les résultats de l'IQ et l'erreur localisée du CAS A sont meilleurs au PK 44,0 que ceux du CAS B. À noter que les apports intermédiaires semblent être faibles à partir du milieu de la période de simulation, ce qui a pour effet d'avoir un niveau d'eau simulé inférieur au niveau réel.

Comme les erreurs au PK 44,0 proviennent principalement de la difficulté à ajuster les apports intermédiaires, pour cette simulation, le **CAS A** est meilleur que le **CAS B**.

Série 36 et Série 37 – voir les Figures B.33, B.34, B.35 et B.36 – (juillet et août 2003)

Les séries 36 et 37 ne donnent pas de bons résultats en ce qui concerne les CAS A et B. À noter que le coefficient CAI permet d'effectuer un ajustement global de la simulation, et non d'ajuster de façon singulière les apports intermédiaires.

Pour ces deux séries, comme il est impossible d'ajuster correctement les apports intermédiaires, il est donc impossible d'ajuster les Manning du modèle. Pour ces séries, rien n'indique qu'un cas est meilleur qu'un autre.

Série 01 - mars 2002

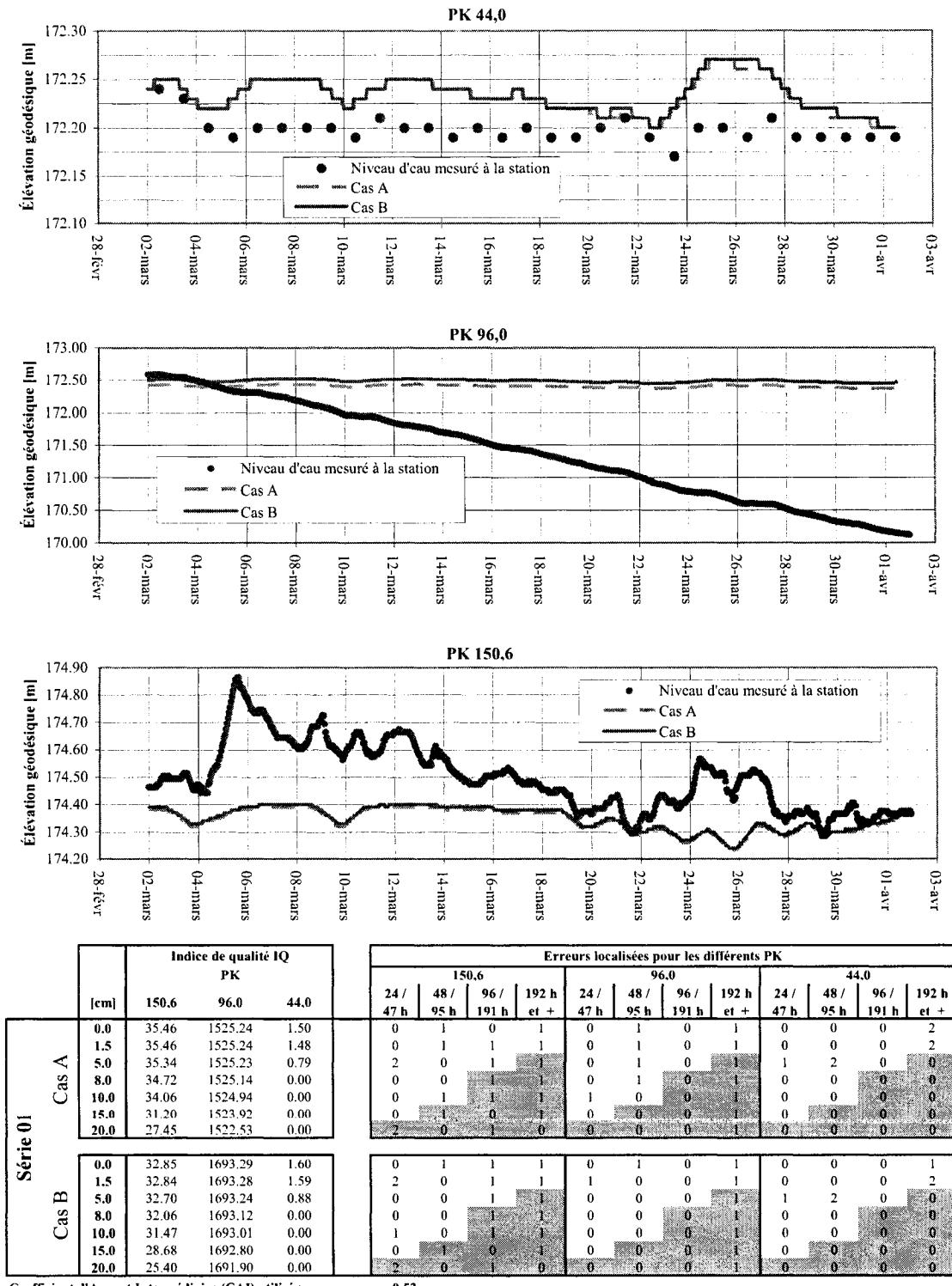


Figure B.1 : Résultats de la série 01

Série 01 - mars 2002 - suite

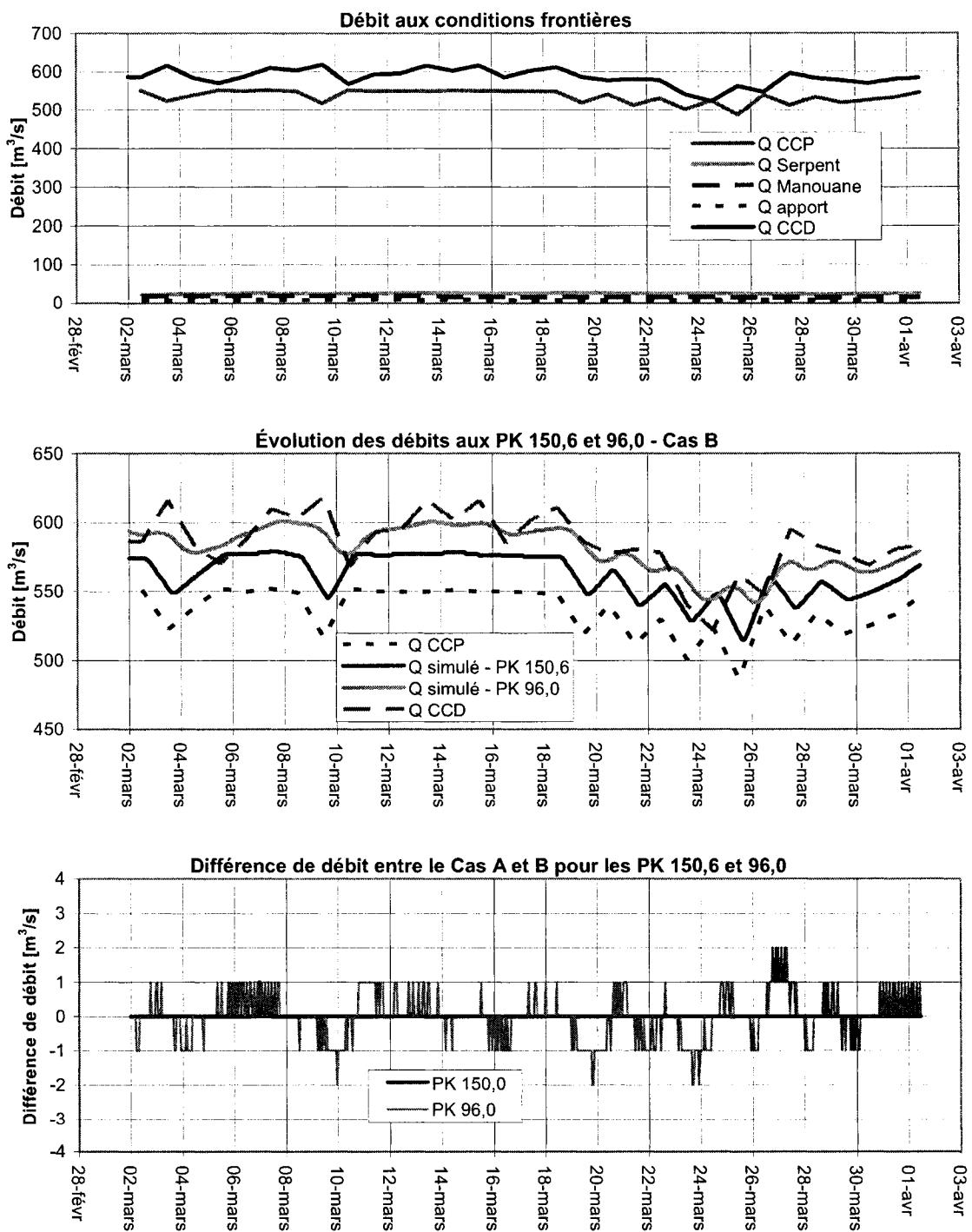


Figure B.2 : Résultats de la série 01 – suite

Série 02 - mai 2002

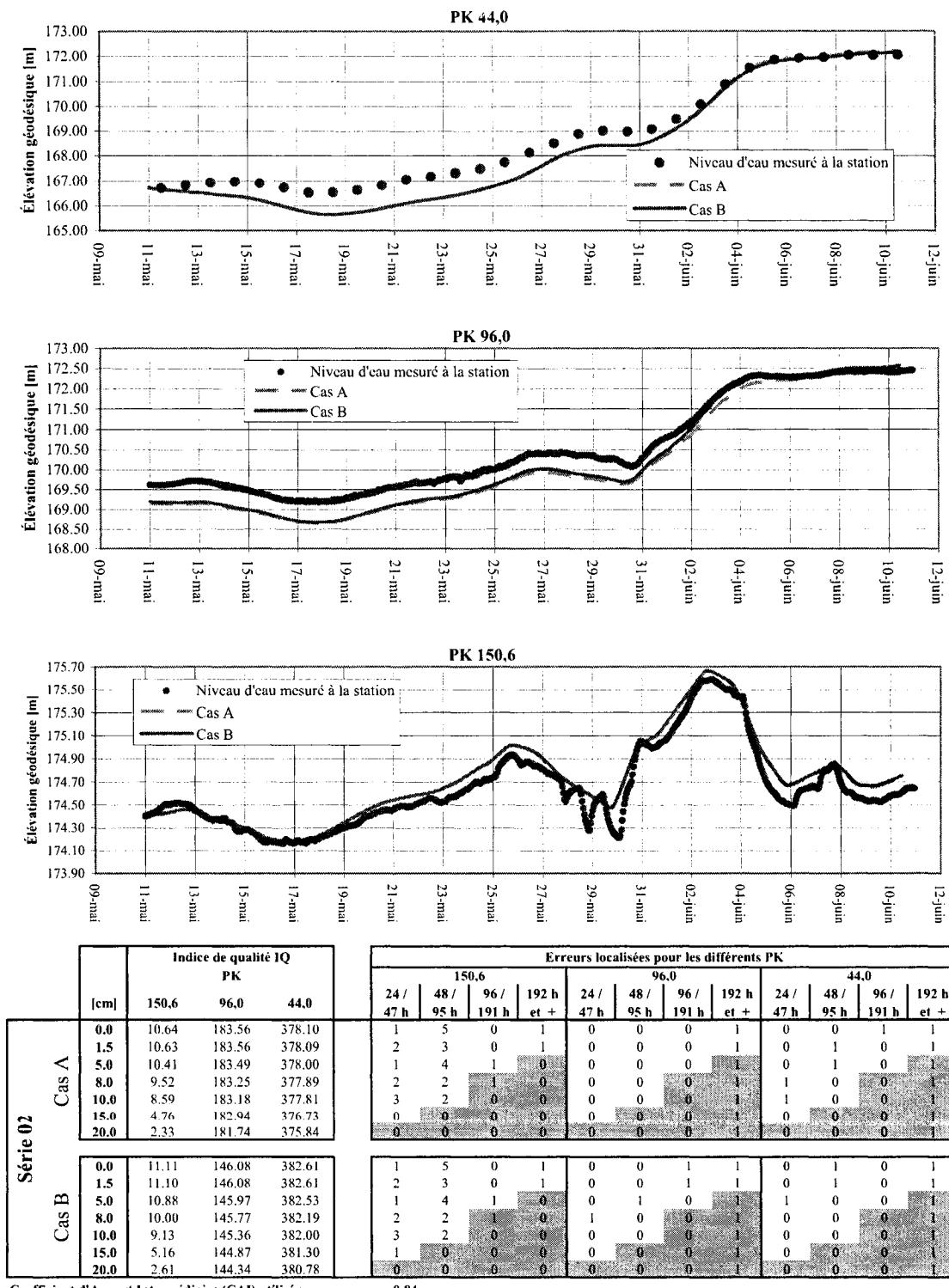


Figure B.3 : Résultats de la série 02

Série 02 - mai 2002 - suite

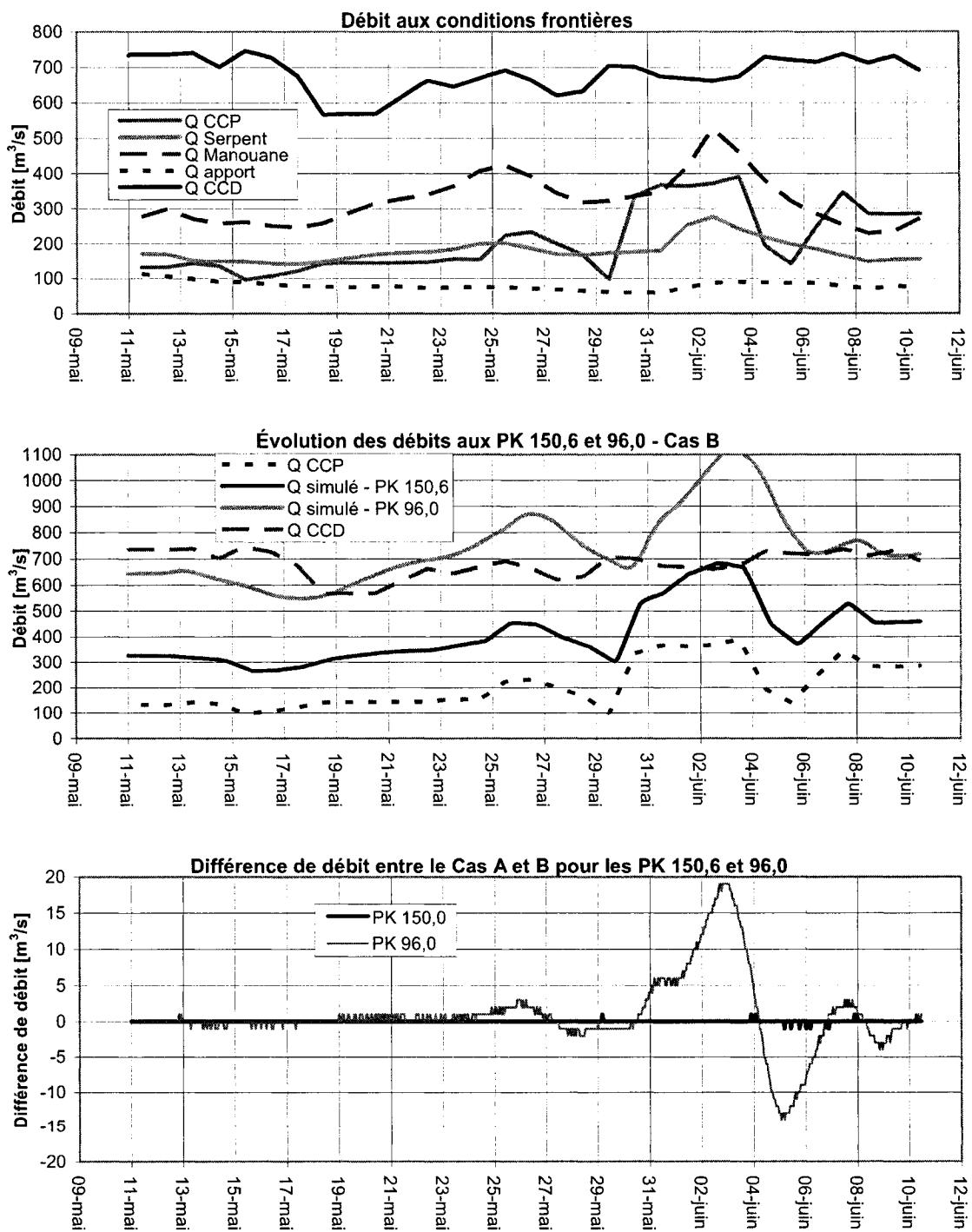


Figure B.4 : Résultats de la série 02 – suite

Série 03 - juin 2002

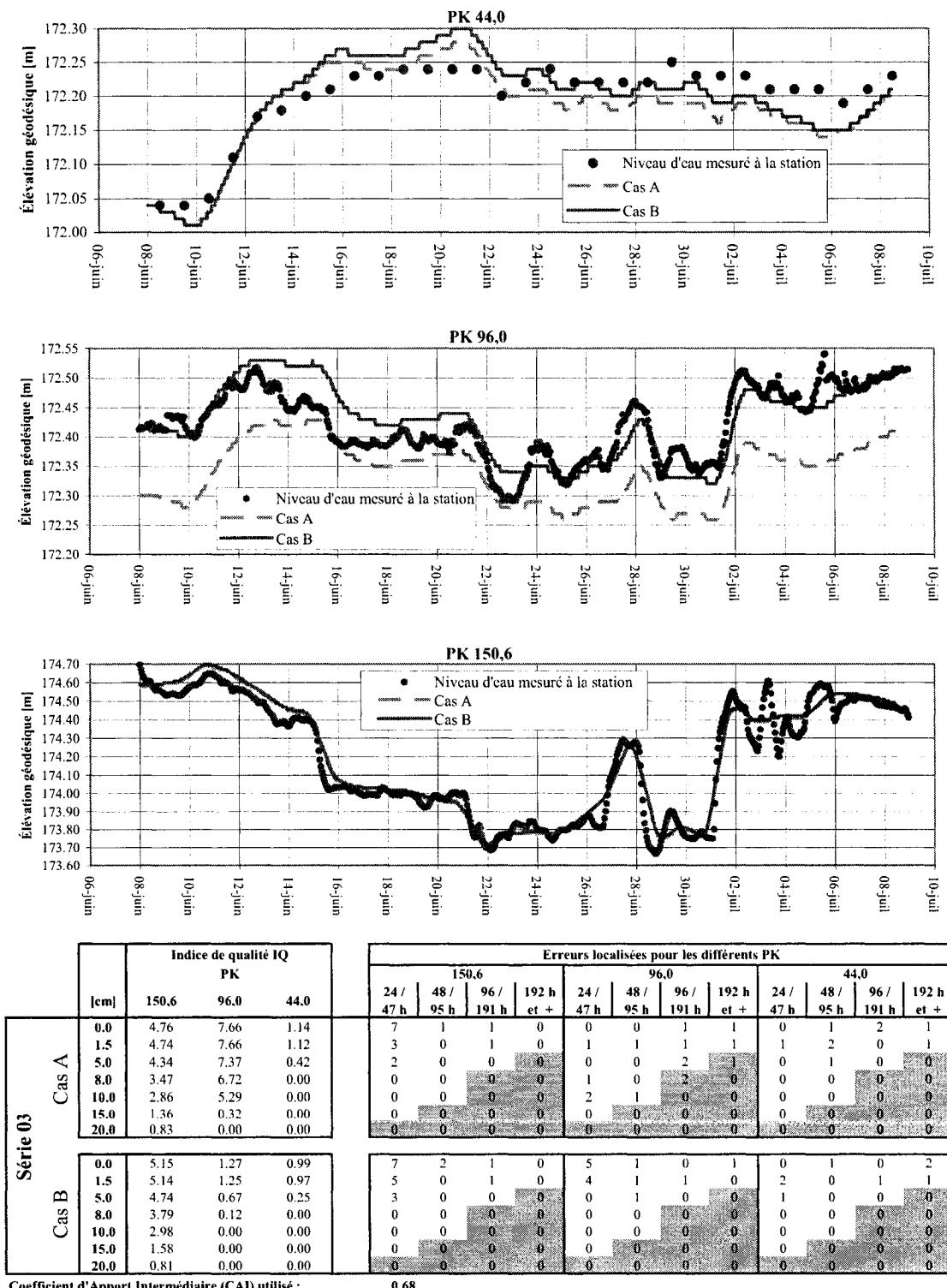


Figure B.5 : Résultats de la série 03

Série 03 - juin 2002 - suite

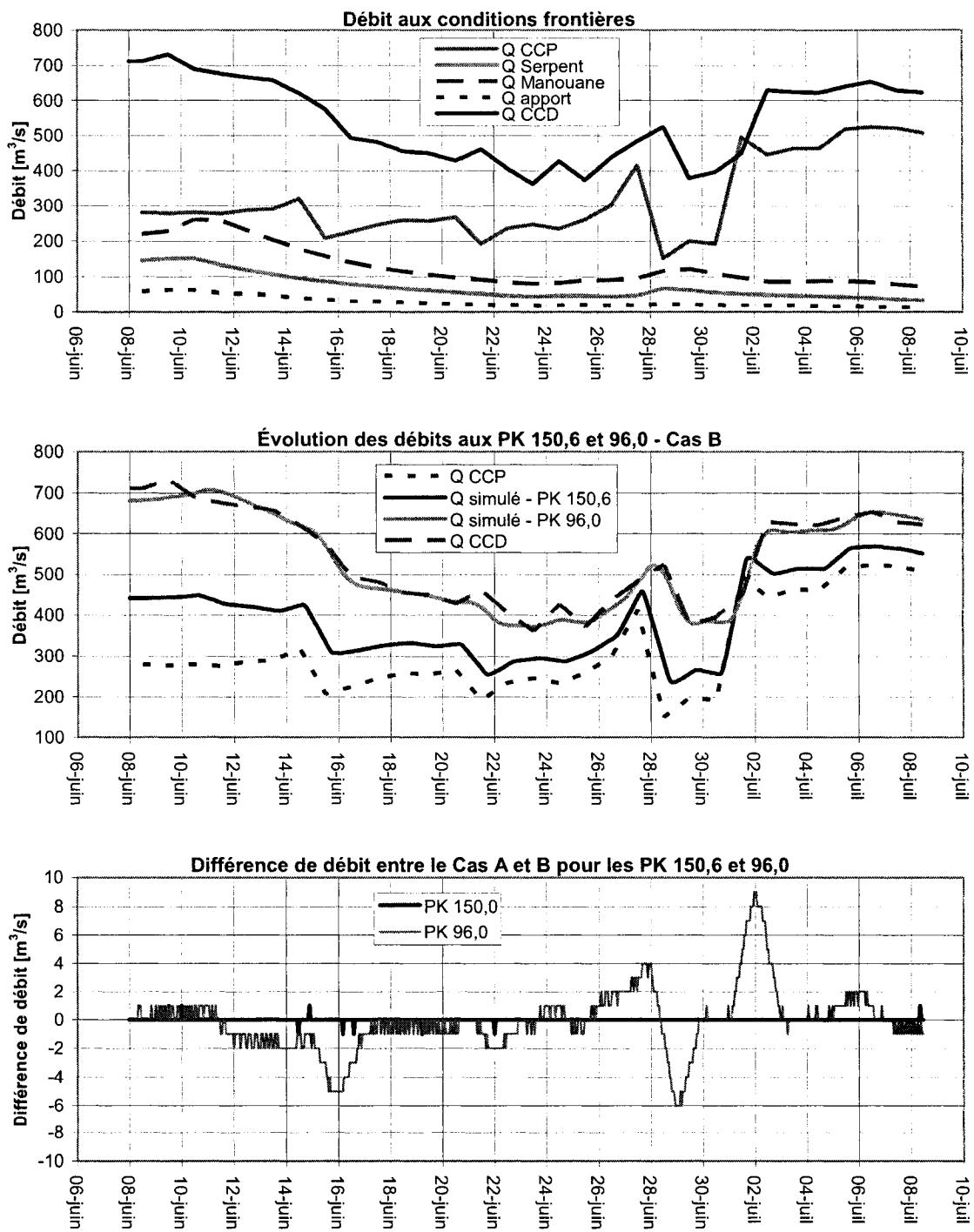
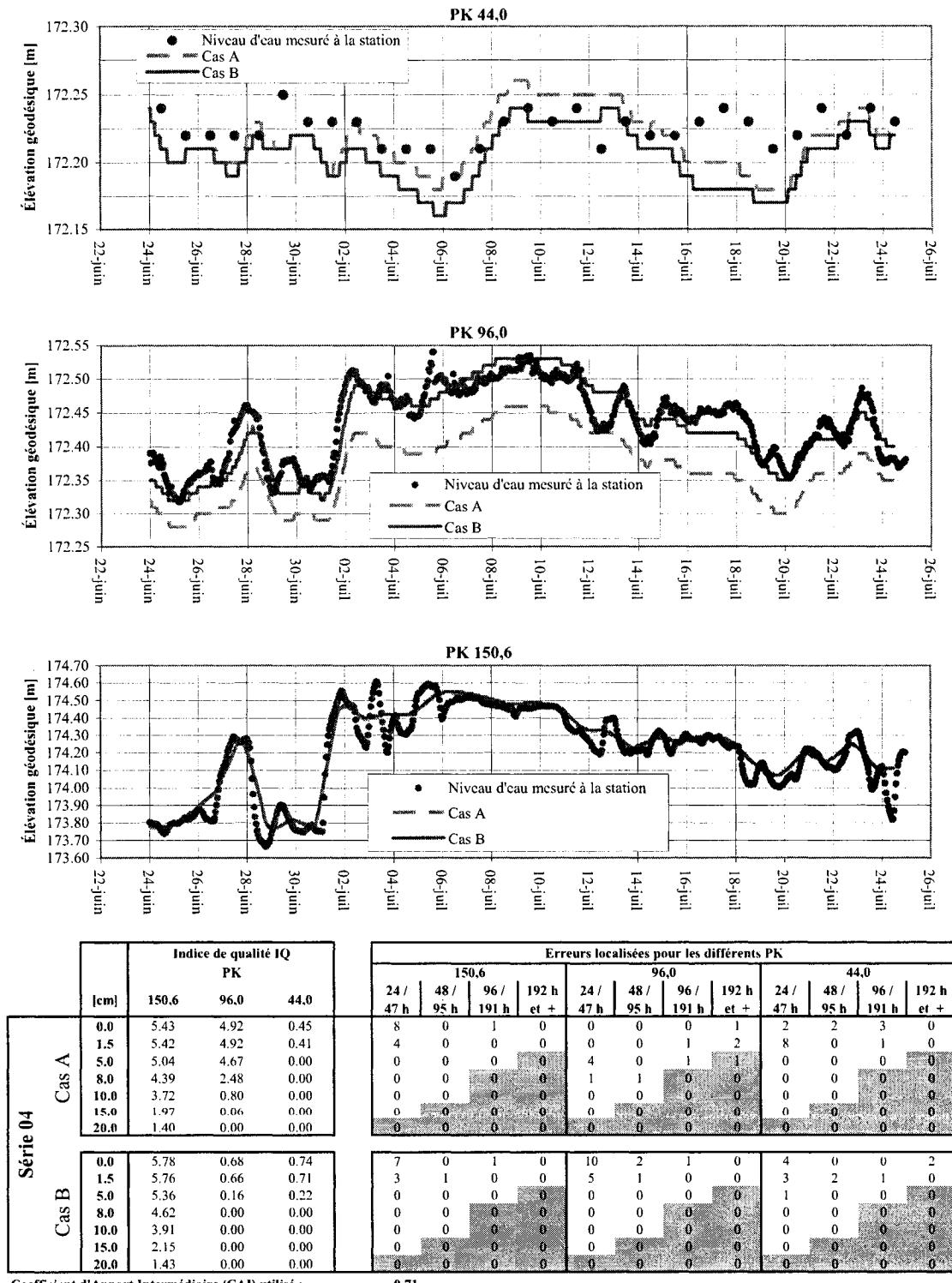


Figure B.6 : Résultats de la série 03 – suite

Série 04 - mi-juin à mi-juillet 2002



cm	Indice de qualité IQ			Erreurs localisées pour les différents PK												
	150.6	96.0	44.0	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +	
0.0	5.43	4.92	0.45	8	0	1	0	0	0	0	1	2	2	3	0	
1.5	5.42	4.92	0.41	4	0	0	0	0	0	1	2	8	0	1	0	
5.0	5.04	4.67	0.00	0	0	0	0	4	0	1	1	0	0	0	0	
8.0	4.39	2.48	0.00	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
10.0	3.72	0.80	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15.0	1.97	0.06	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20.0	1.40	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cas A																
Série 04				0.0	5.78	0.68	0.74	7	0	1	0	10	2	1	0	4
				1.5	5.76	0.66	0.71	3	1	0	0	5	1	0	0	3
				5.0	5.36	0.16	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	1
				8.0	4.62	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				10.0	3.91	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				15.0	2.15	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				20.0	1.43	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Coefficient d'Apport Intermédiaire (CAL) utilisé : 0.71

Figure B.7 : Résultats de la série 04

Série 04 - mi-juin à mi-juillet 2002 - suite

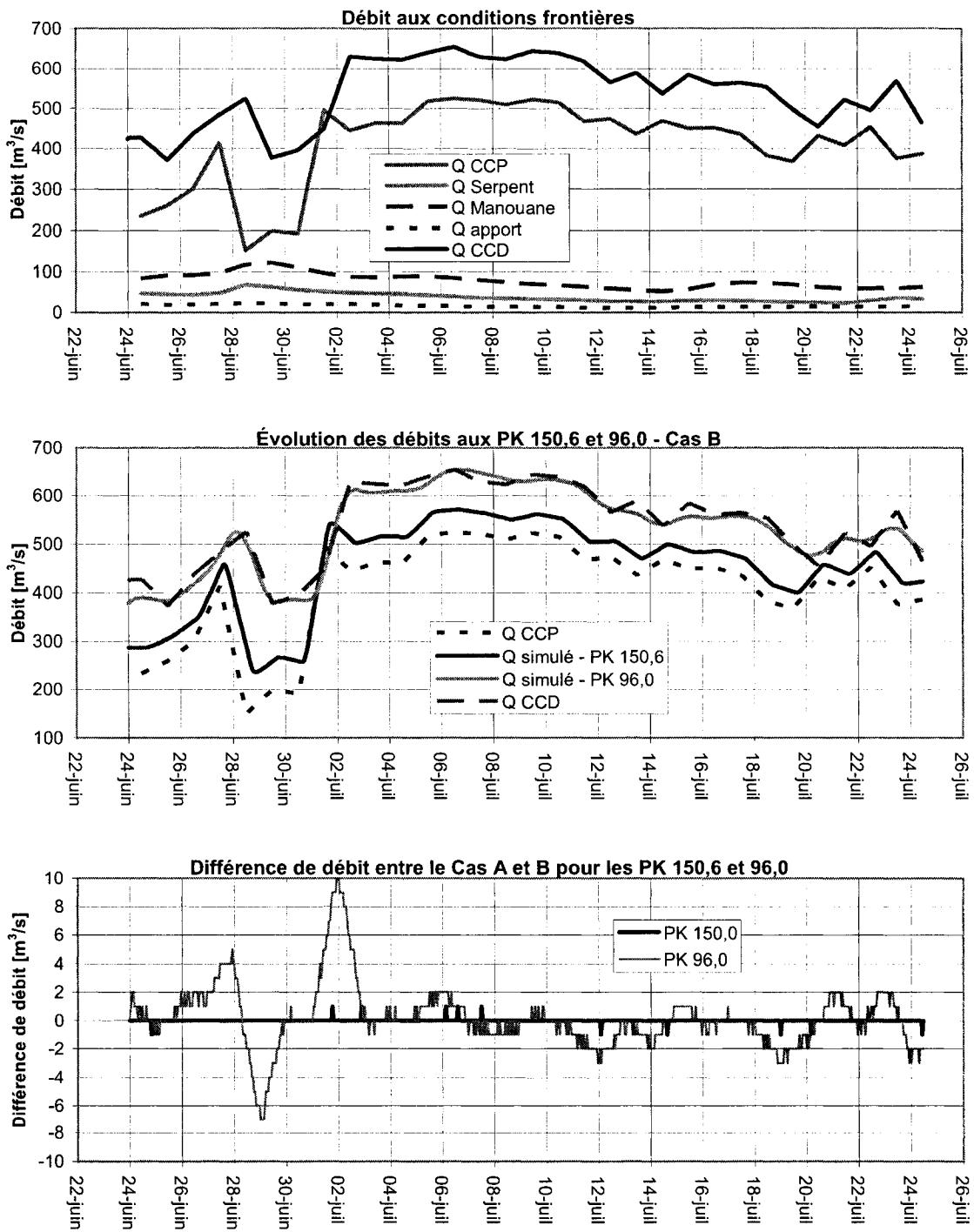


Figure B.8 : Résultats de la série 04 – suite

Série 05 - juillet 2002

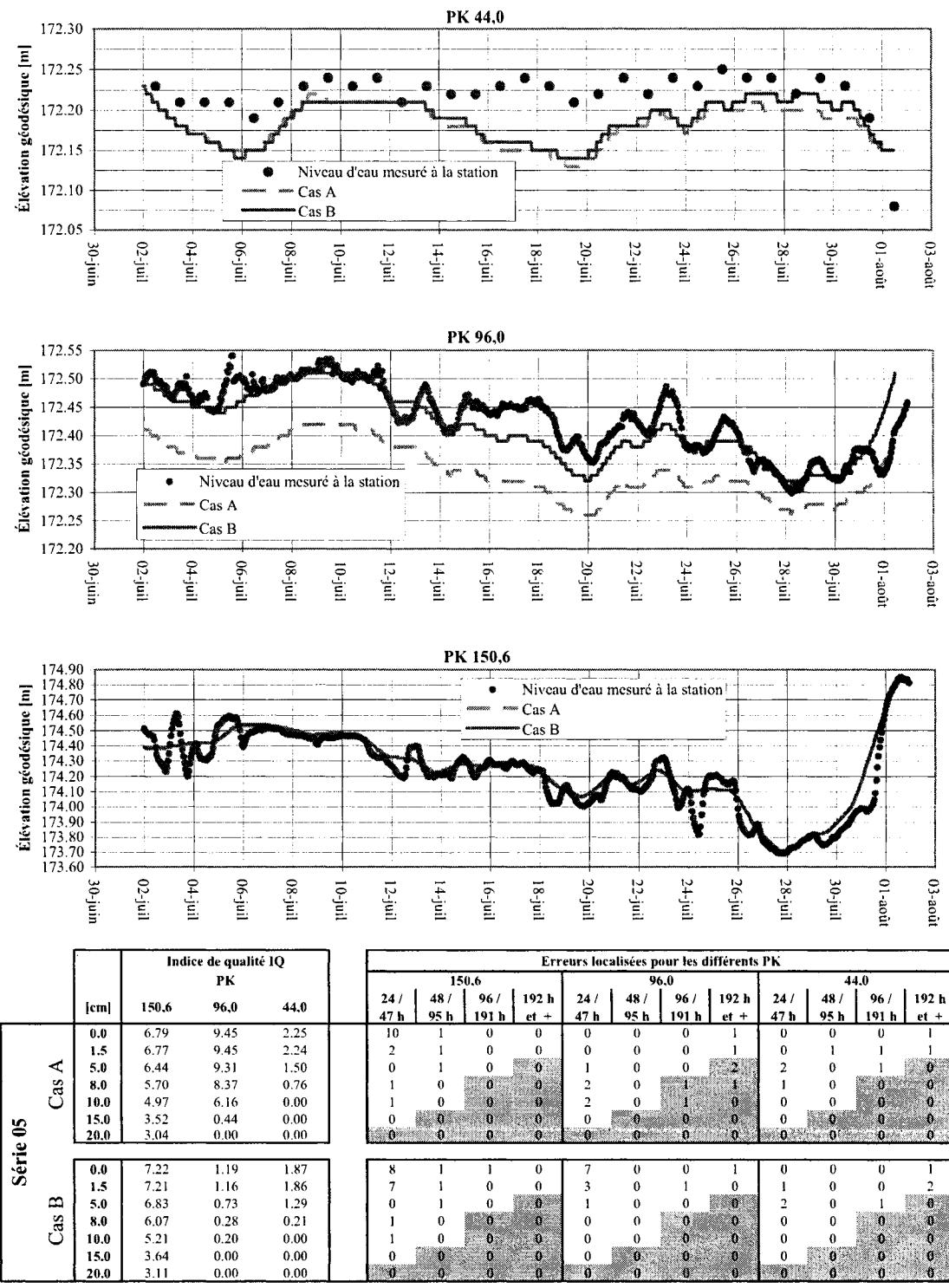


Figure B.9 : Résultats de la série 05

Série 05 - juillet 2002 - suite

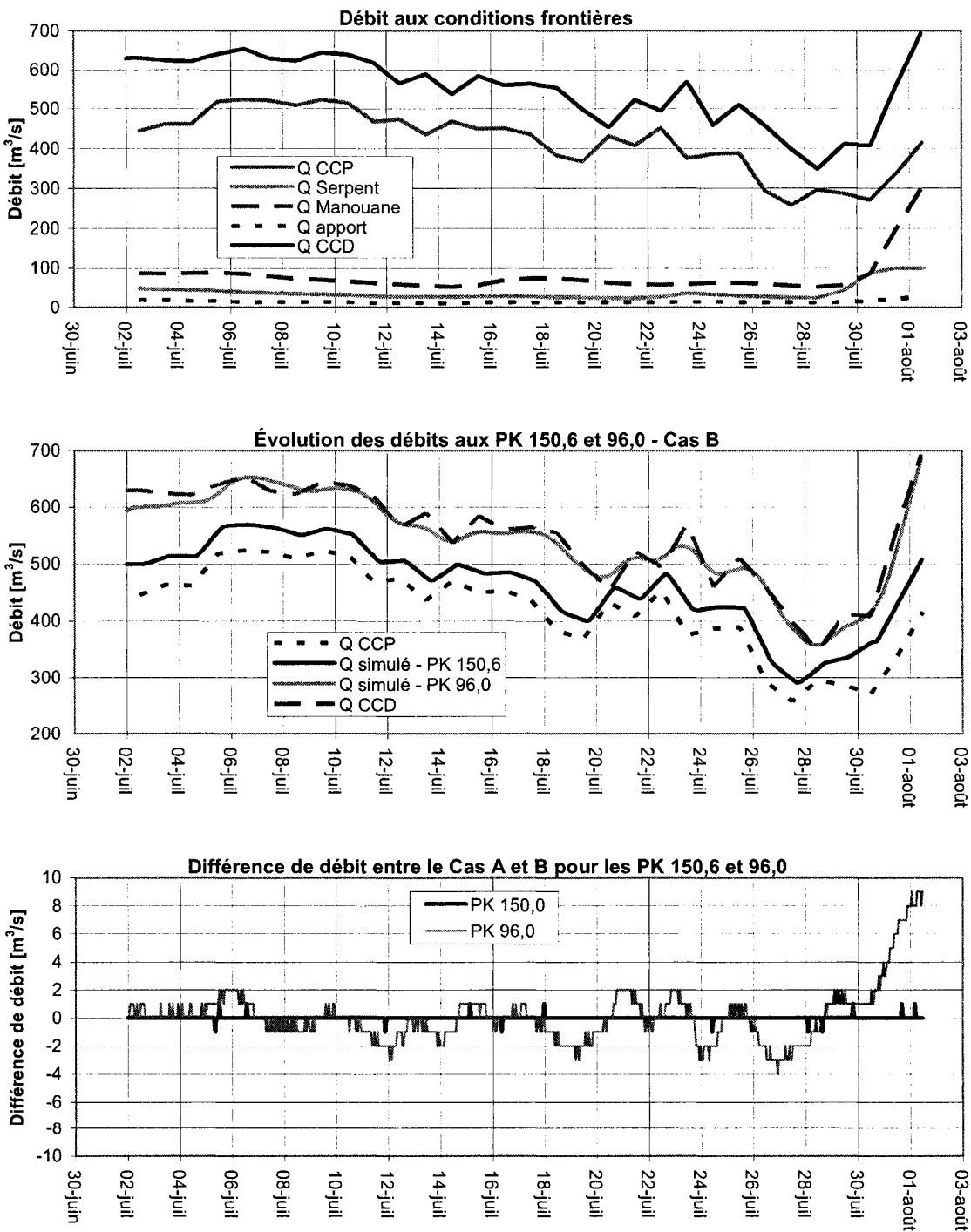
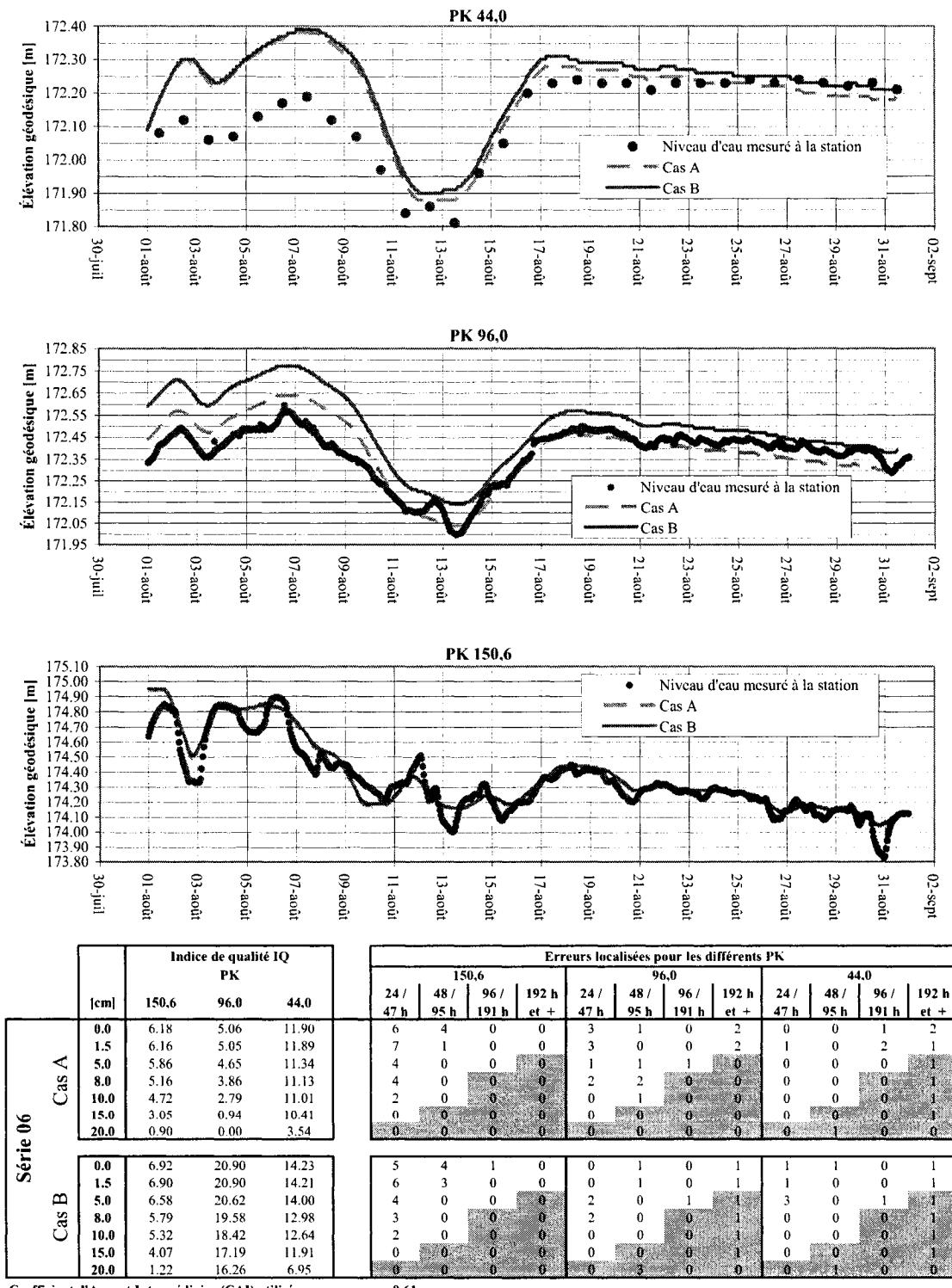


Figure B.10 : Résultats de la série 05 – suite

Série 06 - août 2002



Coefficient d'Apport Intermédiaire (CAL) utilisé :

0.61

Figure B.11 : Résultats de la série 06

Série 06 - août 2002 - suite

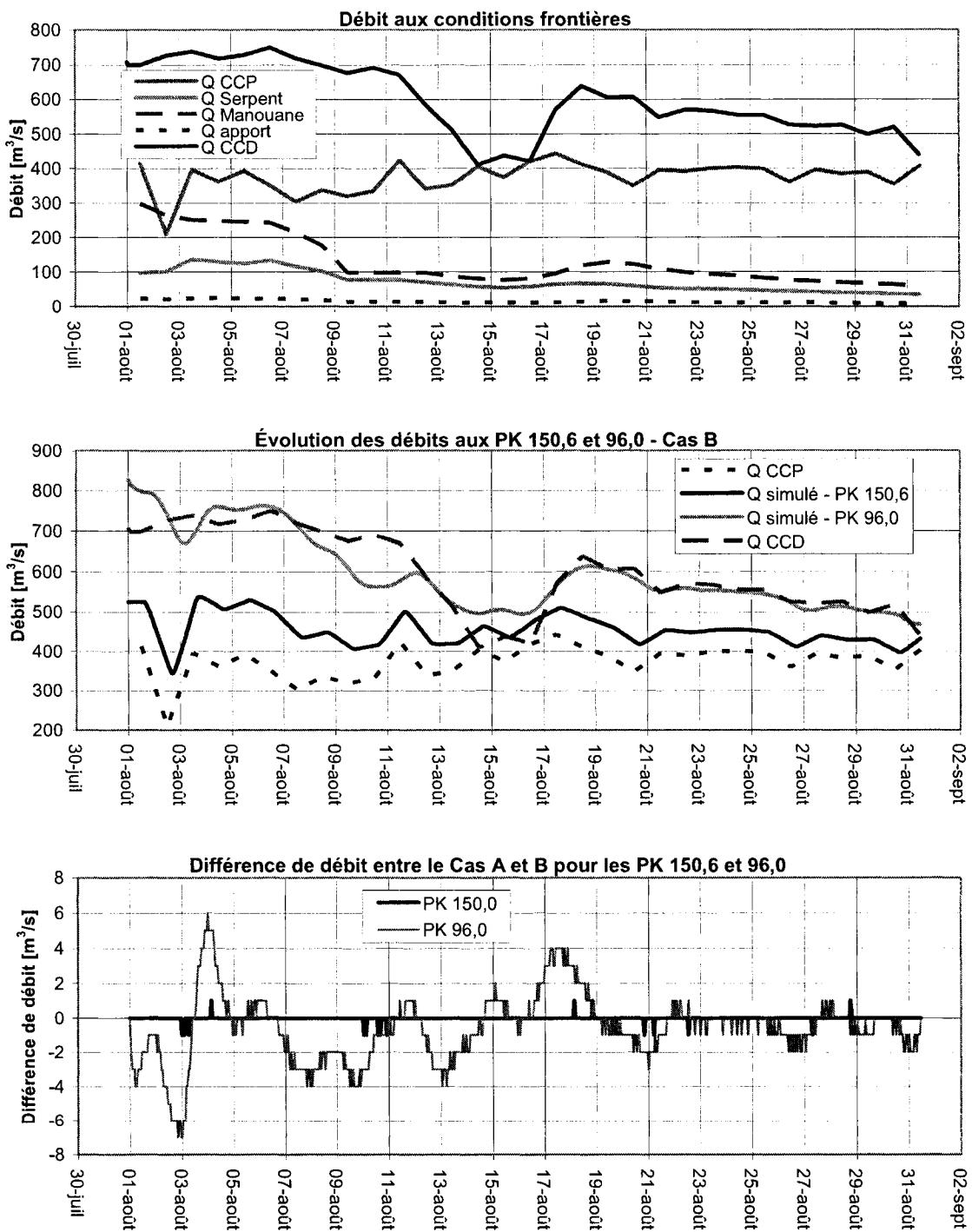


Figure B.12 : Résultats de la série 06 – suite

Série 07 - septembre 2002

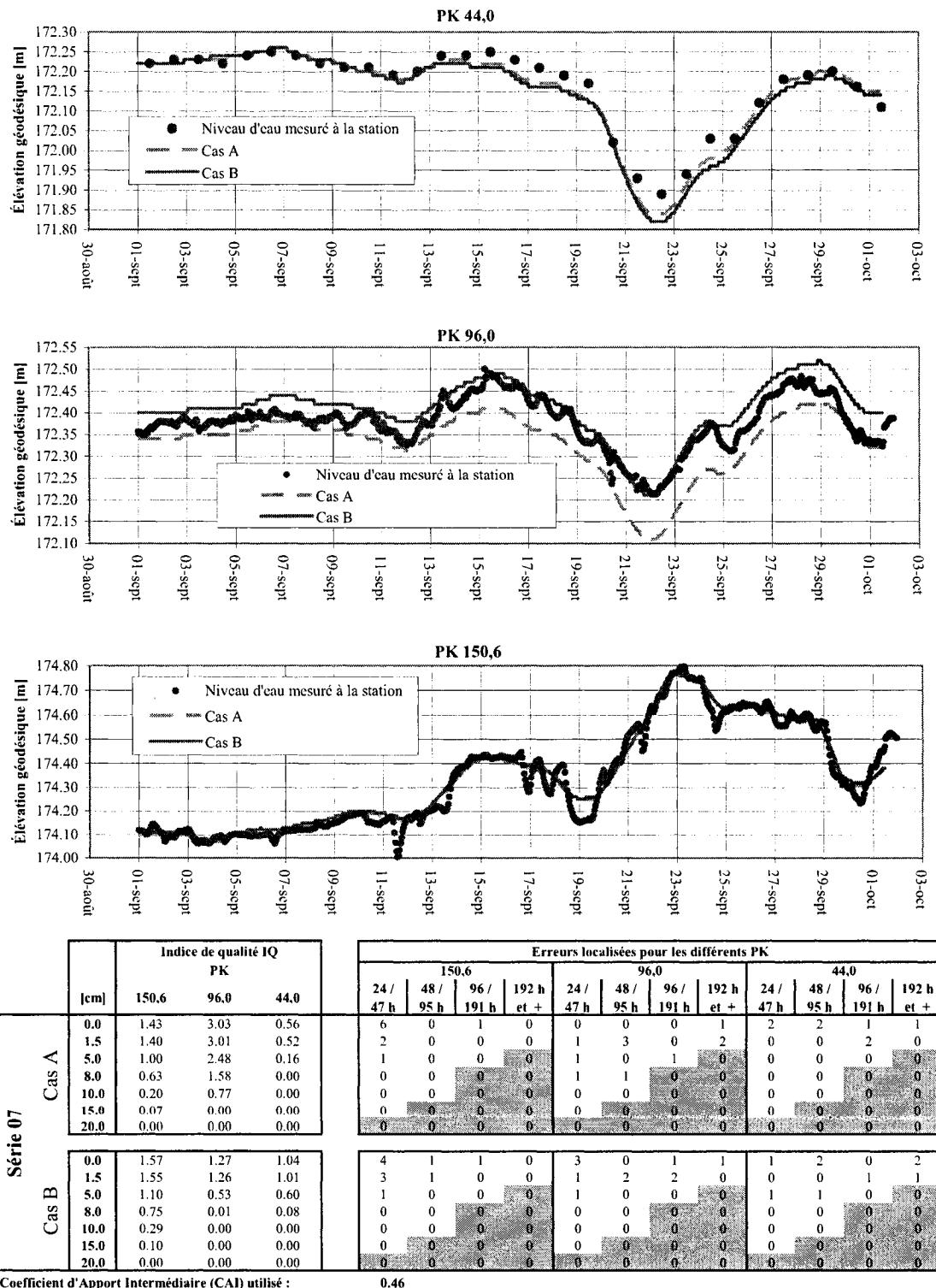


Figure B.13 : Résultats de la série 07

Série 07 - septembre 2002 - suite

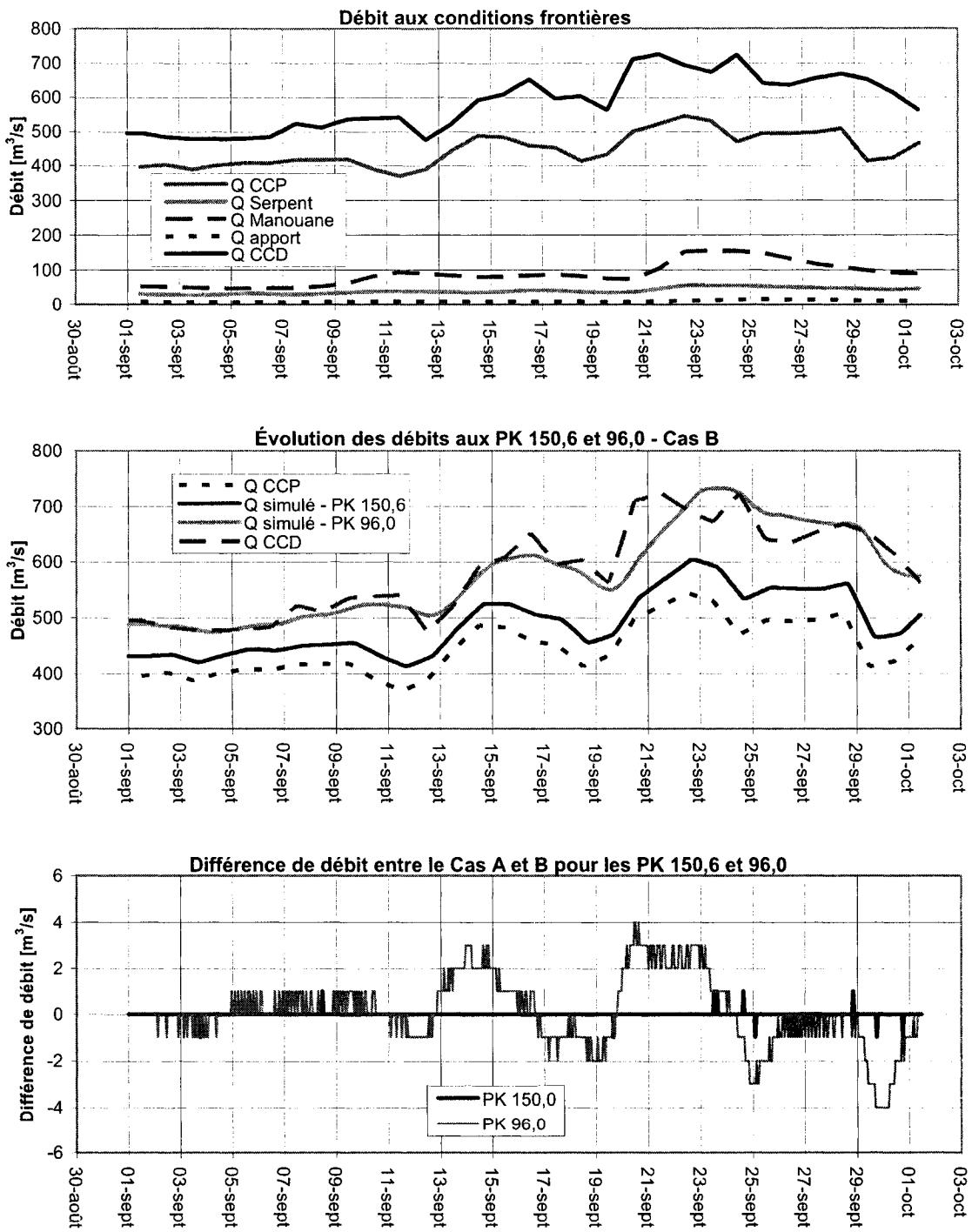


Figure B.14 : Résultats de la série 07 – suite

Série 08 - octobre 2002

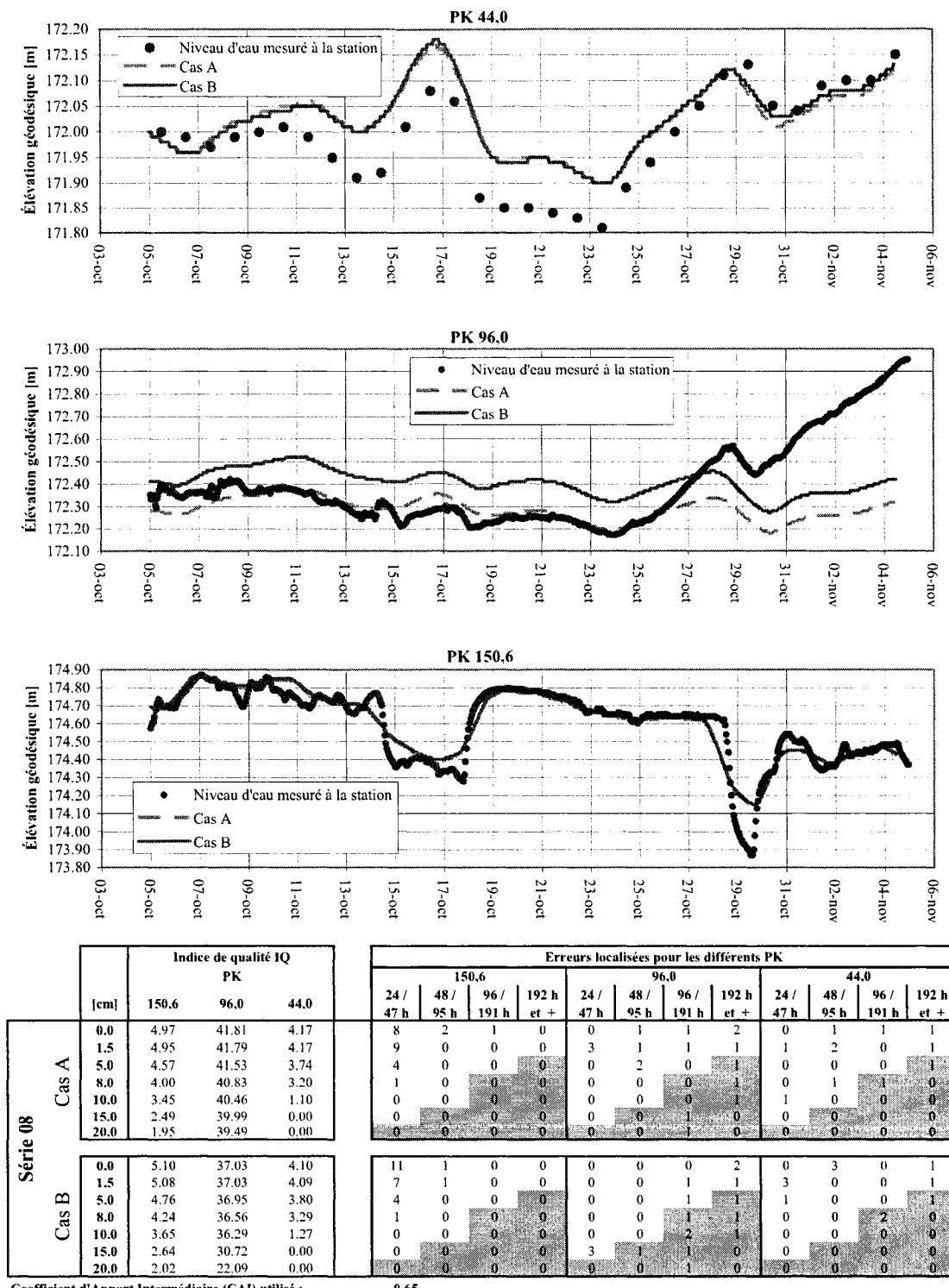


Figure B.15 : Résultats de la série 08

Série 08 - octobre 2002 - suite

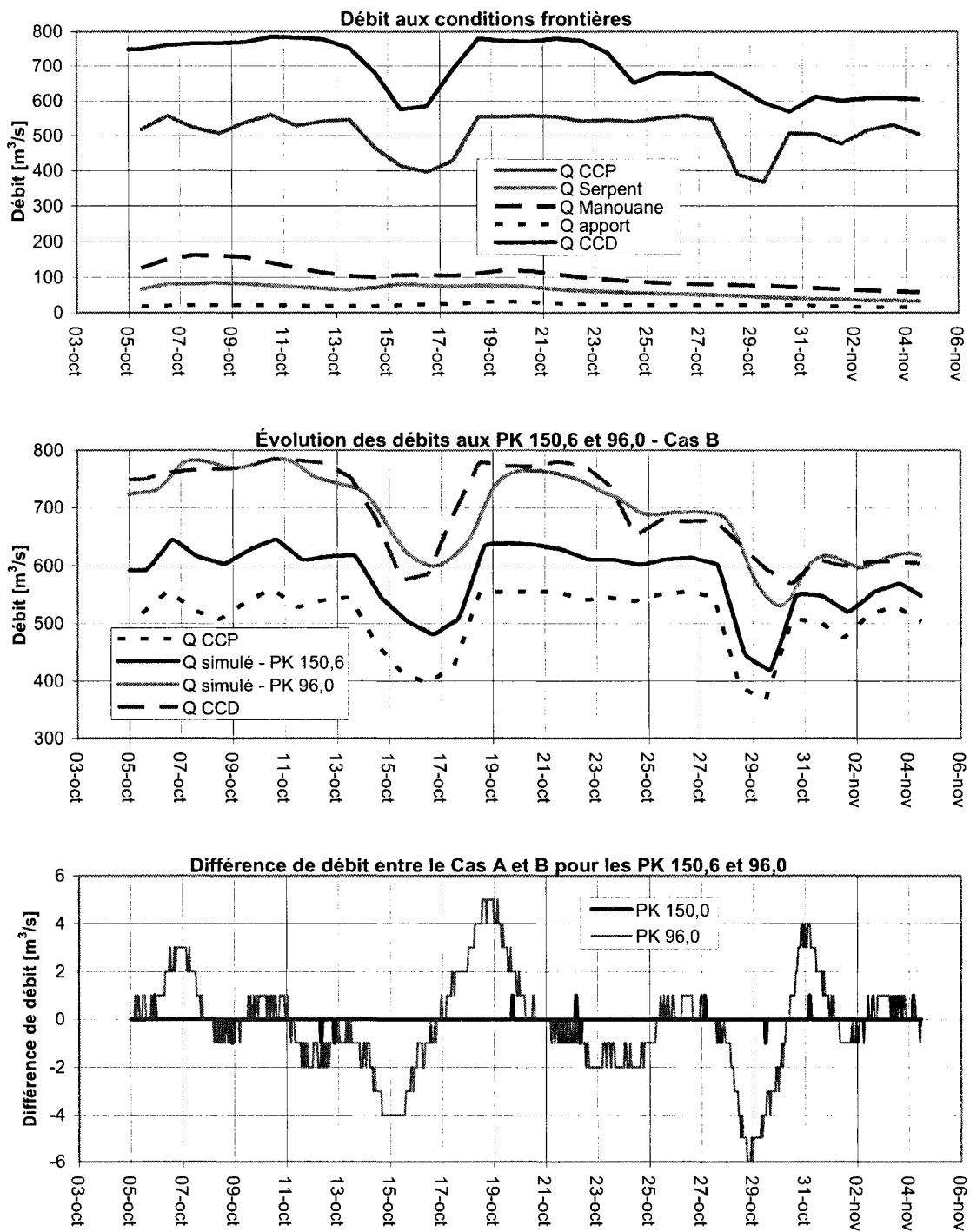


Figure B.16 : Résultats de la série 08 – suite

Série 09 - novembre 2002

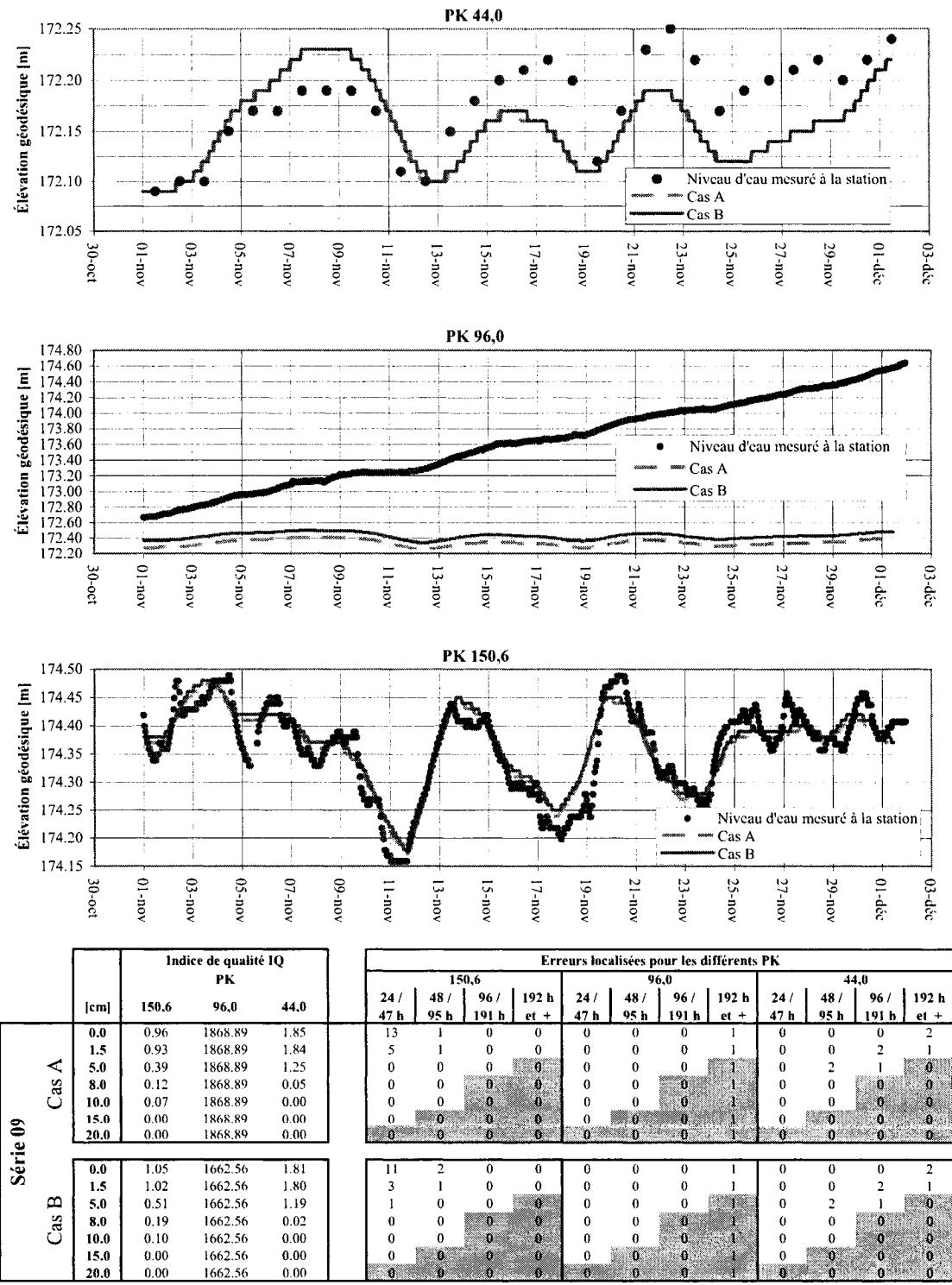


Figure B.17 : Résultats de la série 09

Série 09 - novembre 2002 - suite

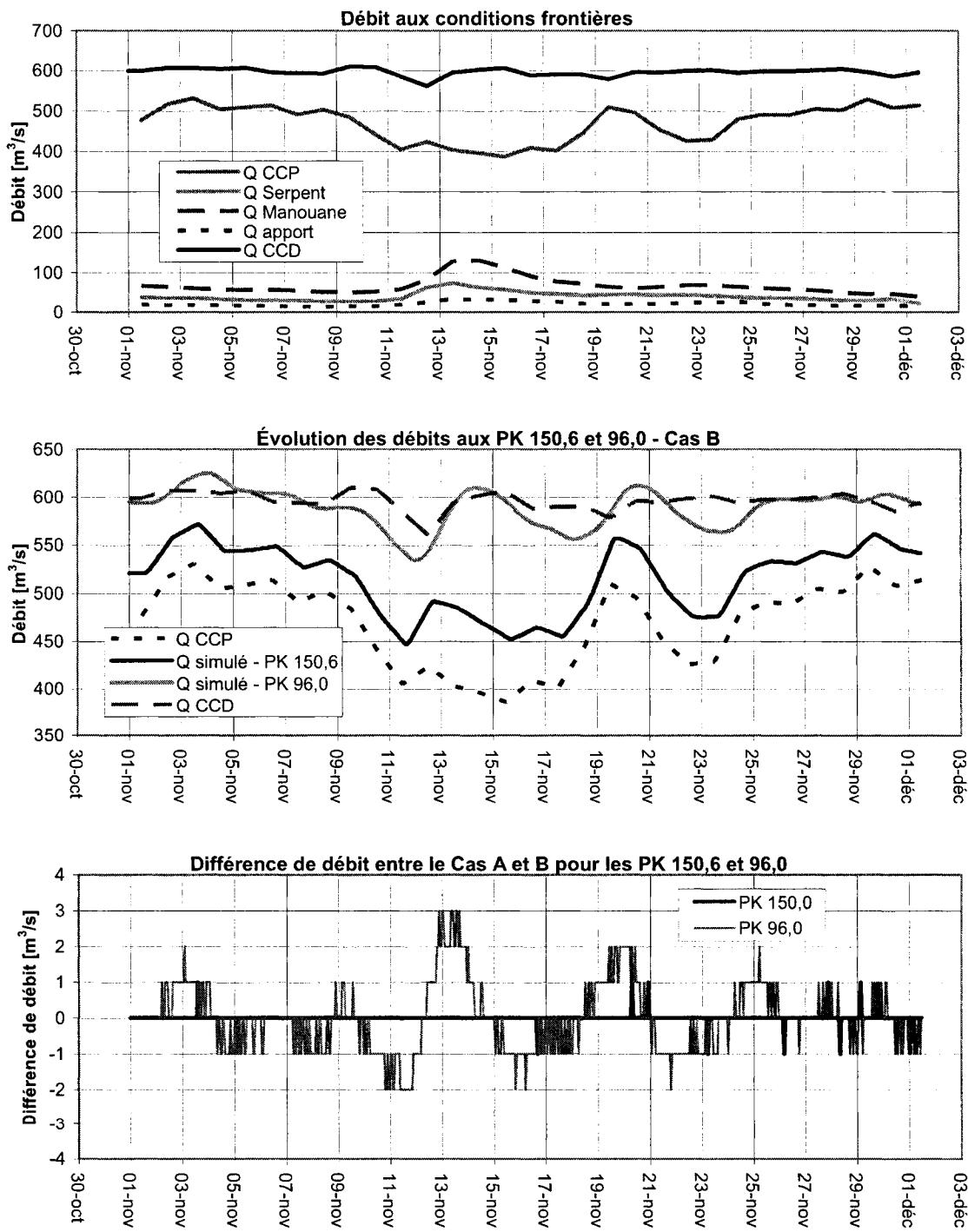
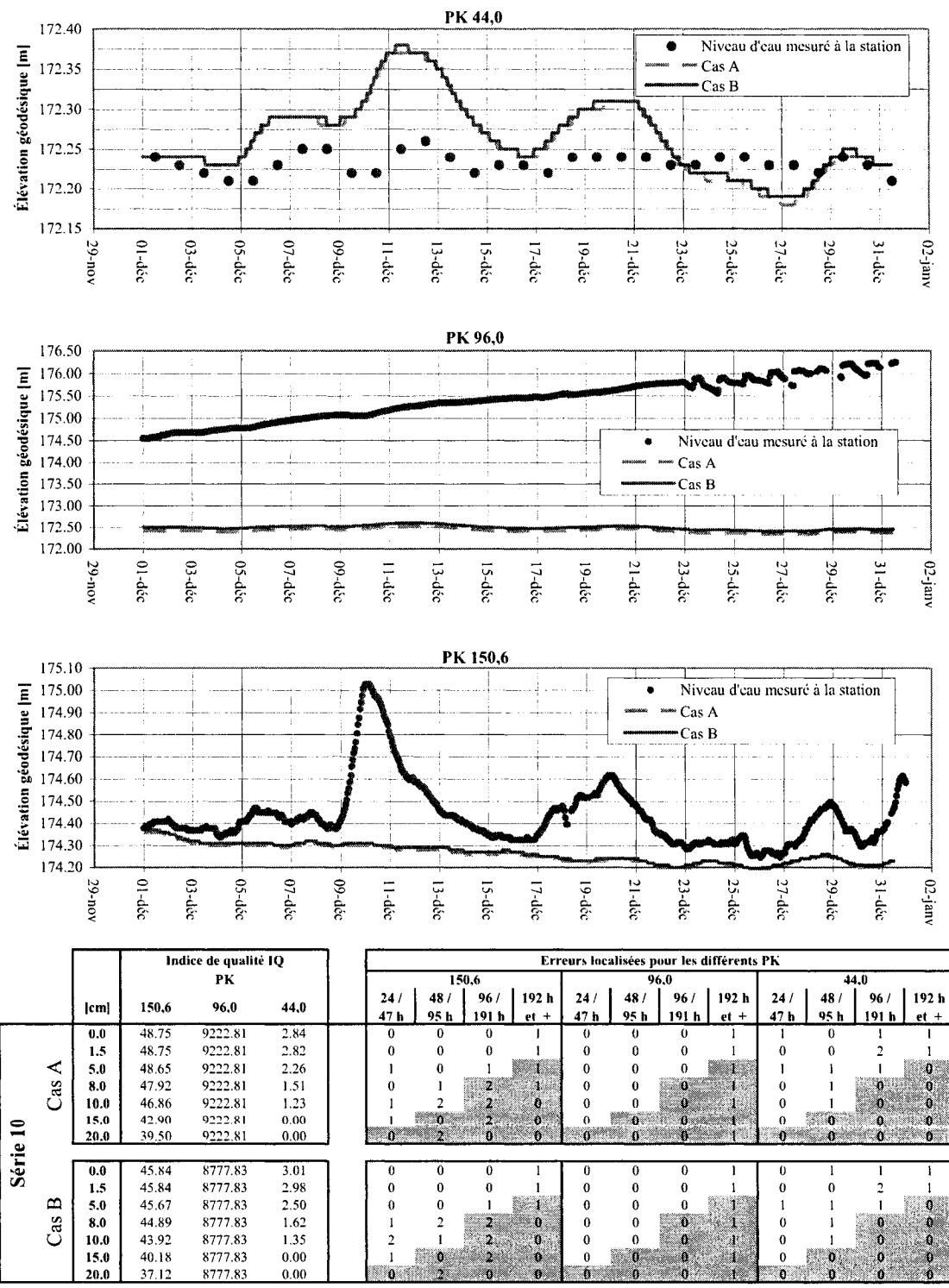


Figure B.18 : Résultats de la série 09 – suite

Série 10 - décembre 2002



Coefficient d'Apport Intermédiaire (CAI) utilisé :

0.73

Figure B.19 : Résultats de la série 10

[cm]	Indice de qualité IQ			Erreurs localisées pour les différents PK														
	PK			150.6			96.0			44.0			24 / 47 h			48 / 95 h		
	150.6	96.0	44.0	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	24 / 47 h	48 / 95 h	96 / 191 h	192 h et +		
0.0	48.75	9222.81	2.84	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	-	-
1.5	48.75	9222.81	2.82	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1
5.0	48.65	9222.81	2.26	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
8.0	47.92	9222.81	1.51	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
10.0	46.86	9222.81	1.23	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
15.0	42.90	9222.81	0.00	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20.0	39.50	9222.81	0.00	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Série 10																		
Cas A																		
0.0	45.84	8777.83	3.01	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
1.5	45.84	8777.83	2.98	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	1
5.0	45.67	8777.83	2.50	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
8.0	44.89	8777.83	1.62	1	2	2	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0
10.0	43.92	8777.83	1.35	2	1	2	0	0	0	0	0	4	1	0	1	1	0	0
15.0	40.18	8777.83	0.00	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
20.0	37.12	8777.83	0.00	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Série 10 - décembre 2002 - suite

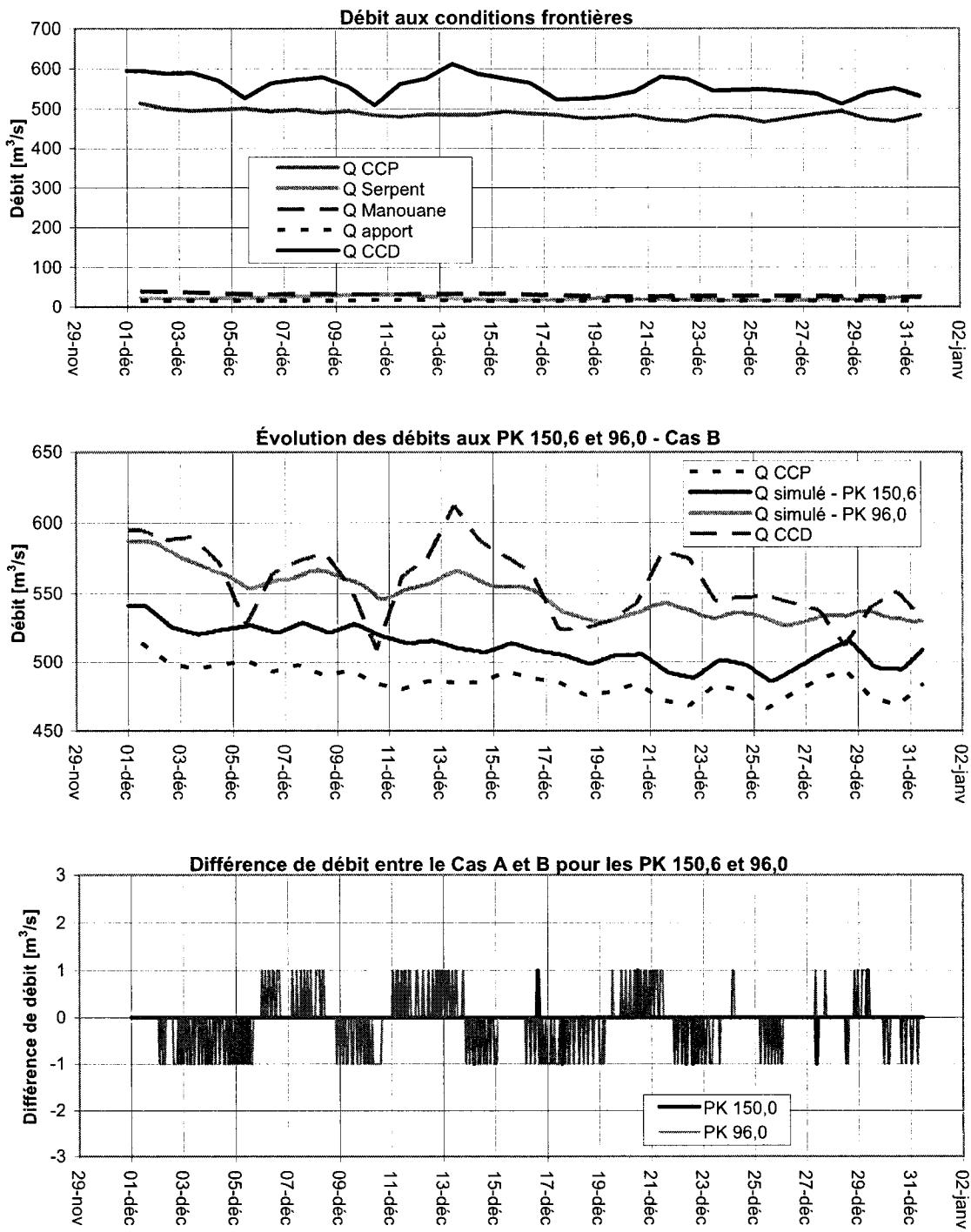


Figure B.20 : Résultats de la série 10 – suite

Série 30 - janvier 2003

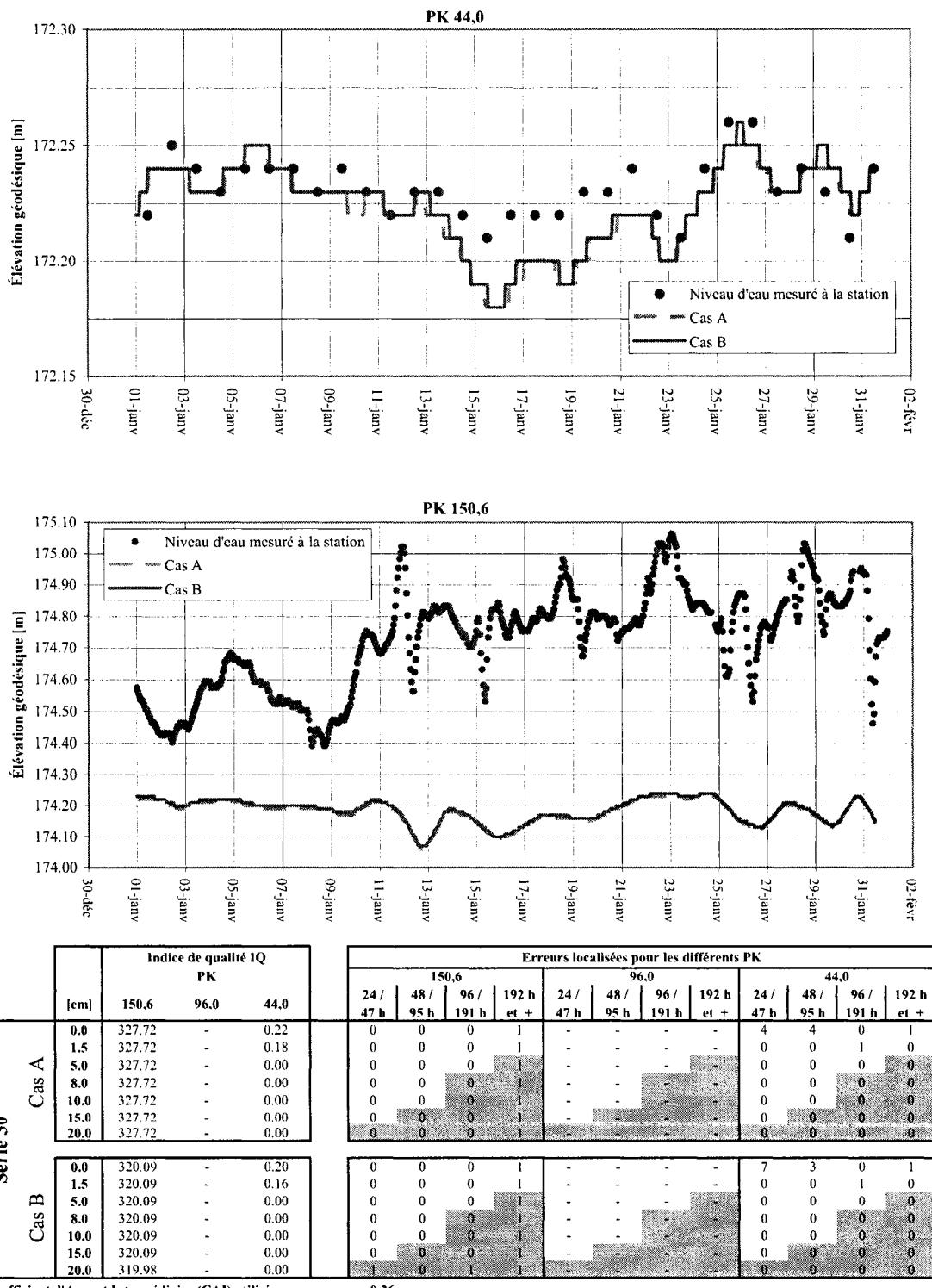


Figure B.21 : Résultats de la série 30

Série 30 - janvier 2003 - suite

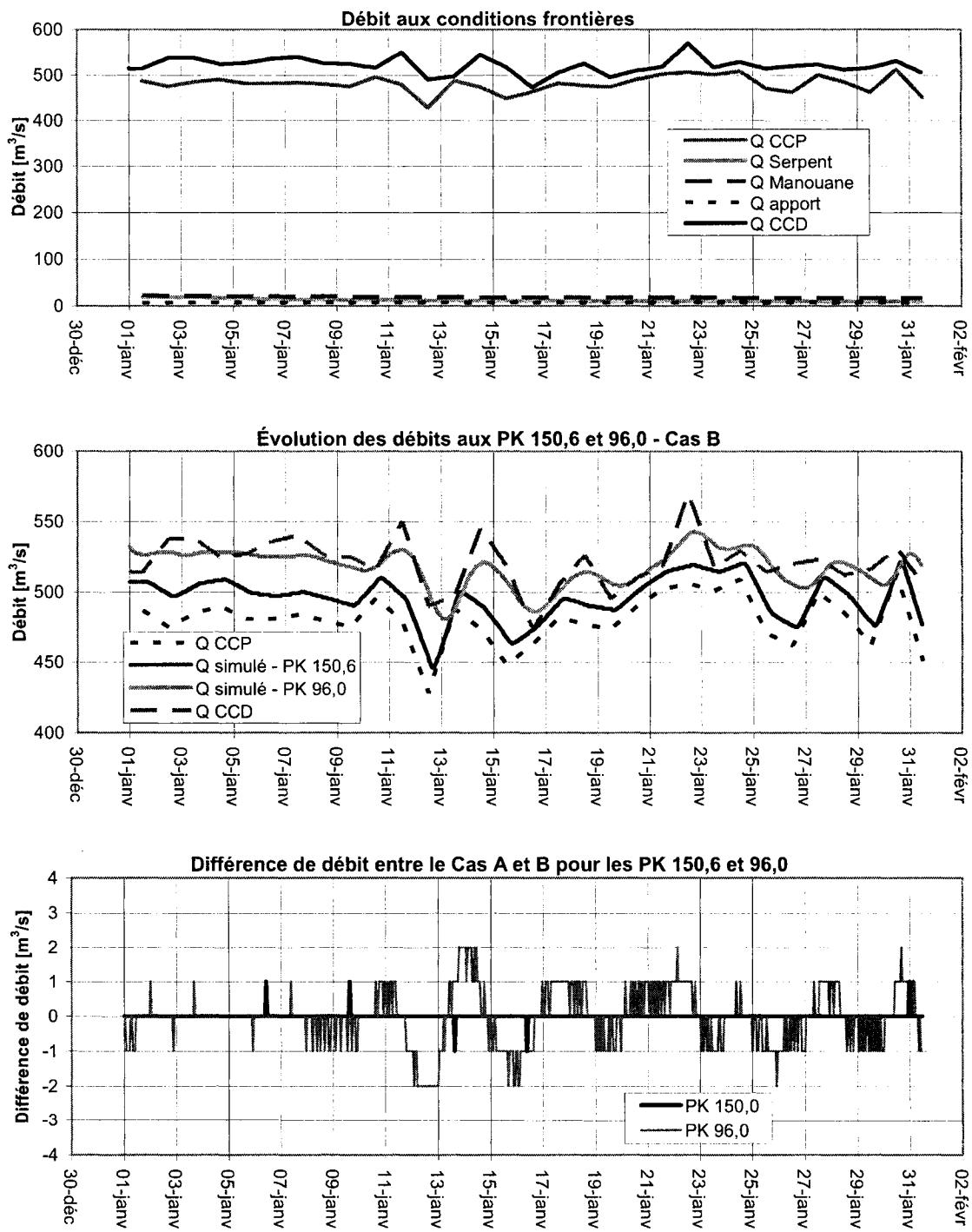


Figure B.22 : Résultats de la série 30 – suite

Série 31 - février 2003

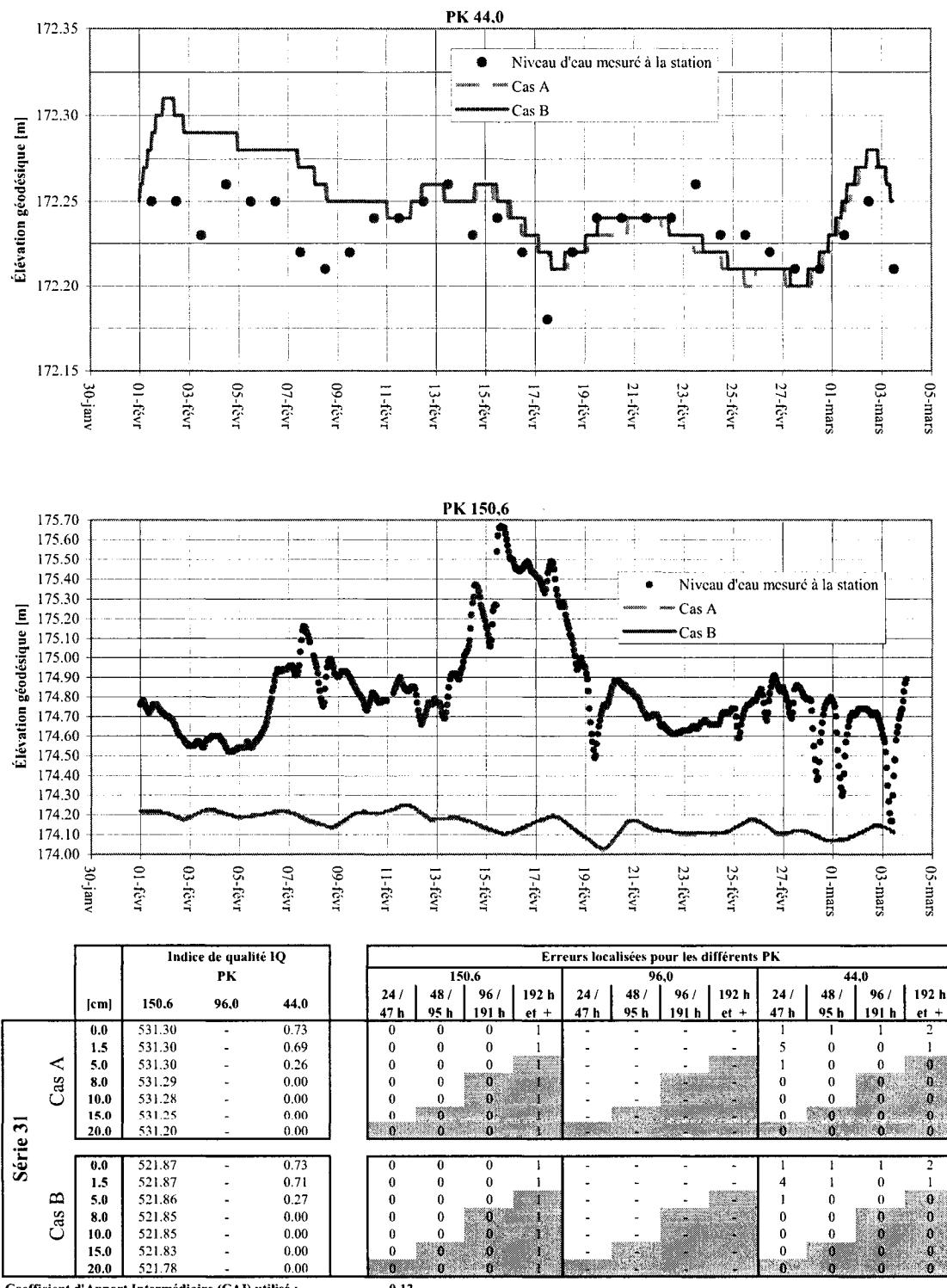


Figure B.23 : Résultats de la série 31

Série 31 - février 2003 - suite

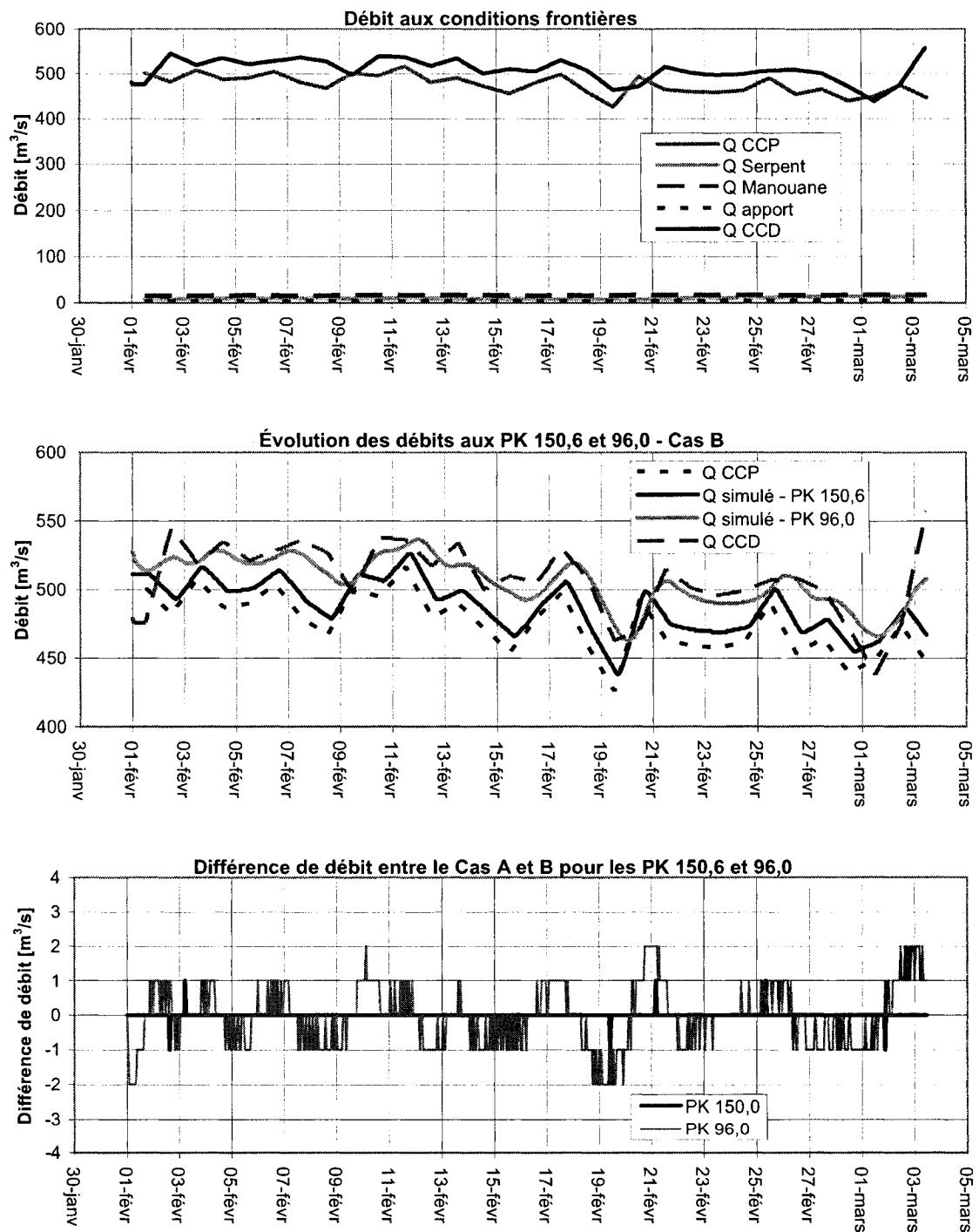


Figure B.24 : Résultats de la série 31 – suite

Série 32 - mars 2003

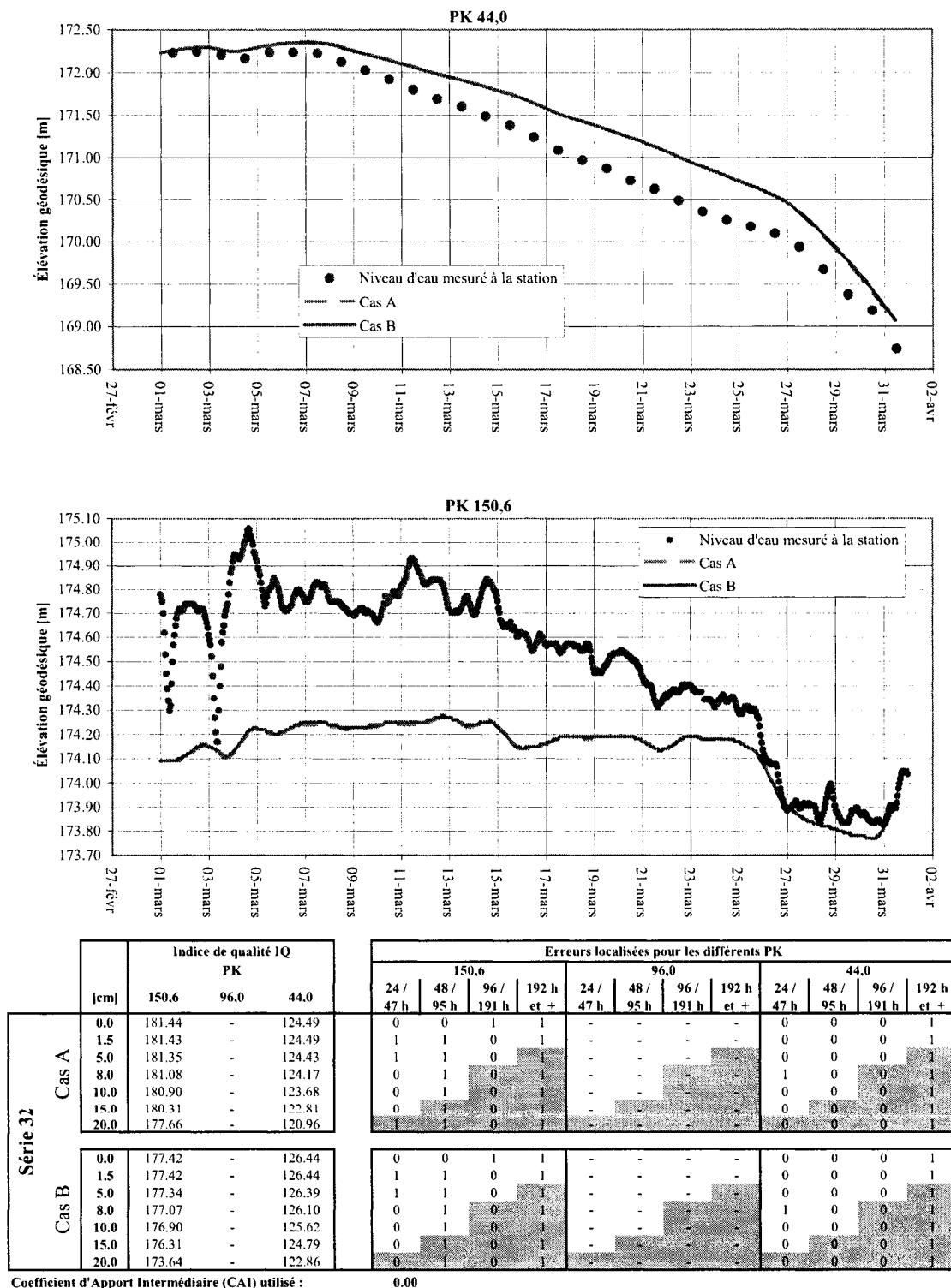


Figure B.25 : Résultats de la série 32

Série 32 - mars 2003 - suite

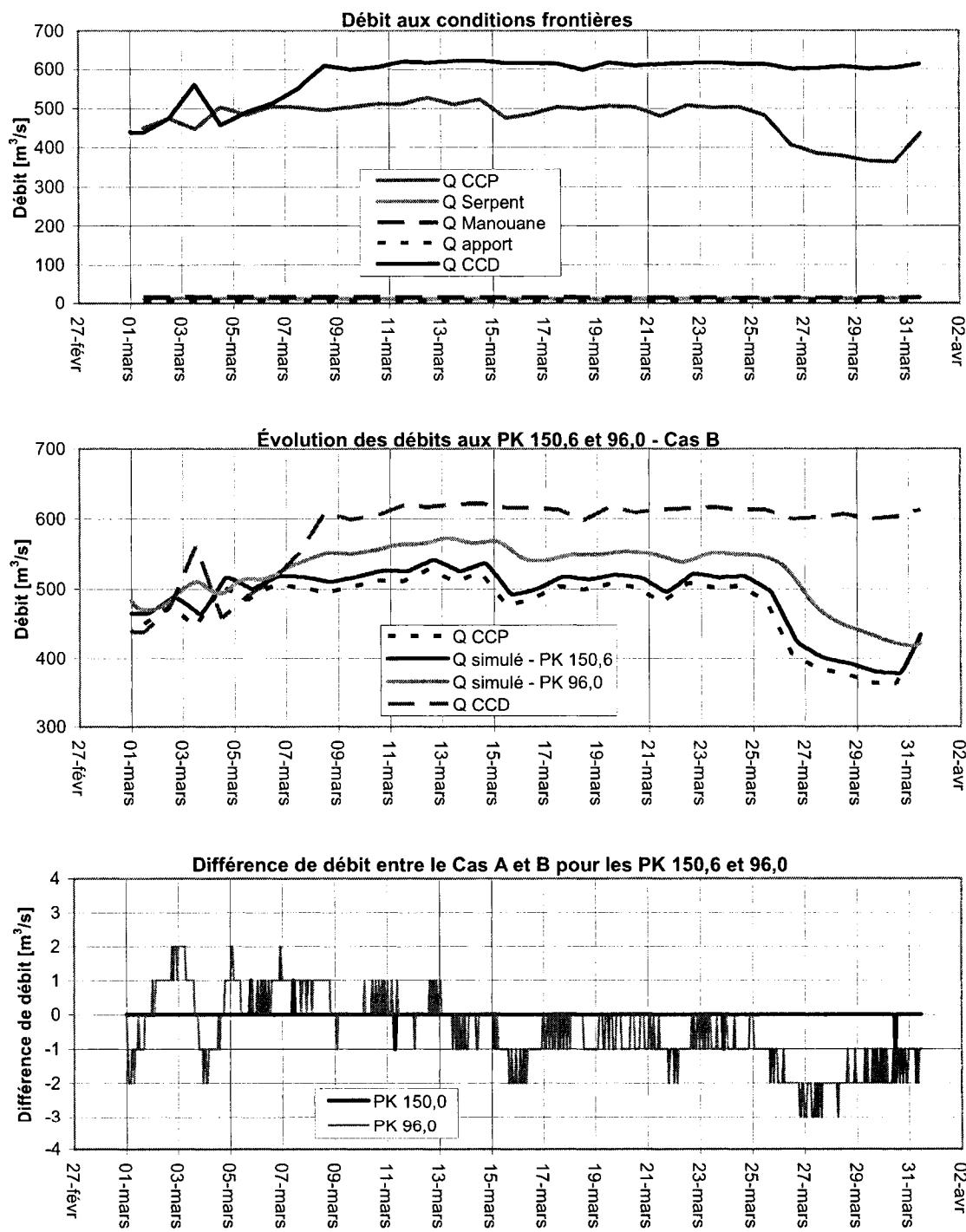


Figure B.26 : Résultats de la série 32 – suite

Série 33 - avril 2003

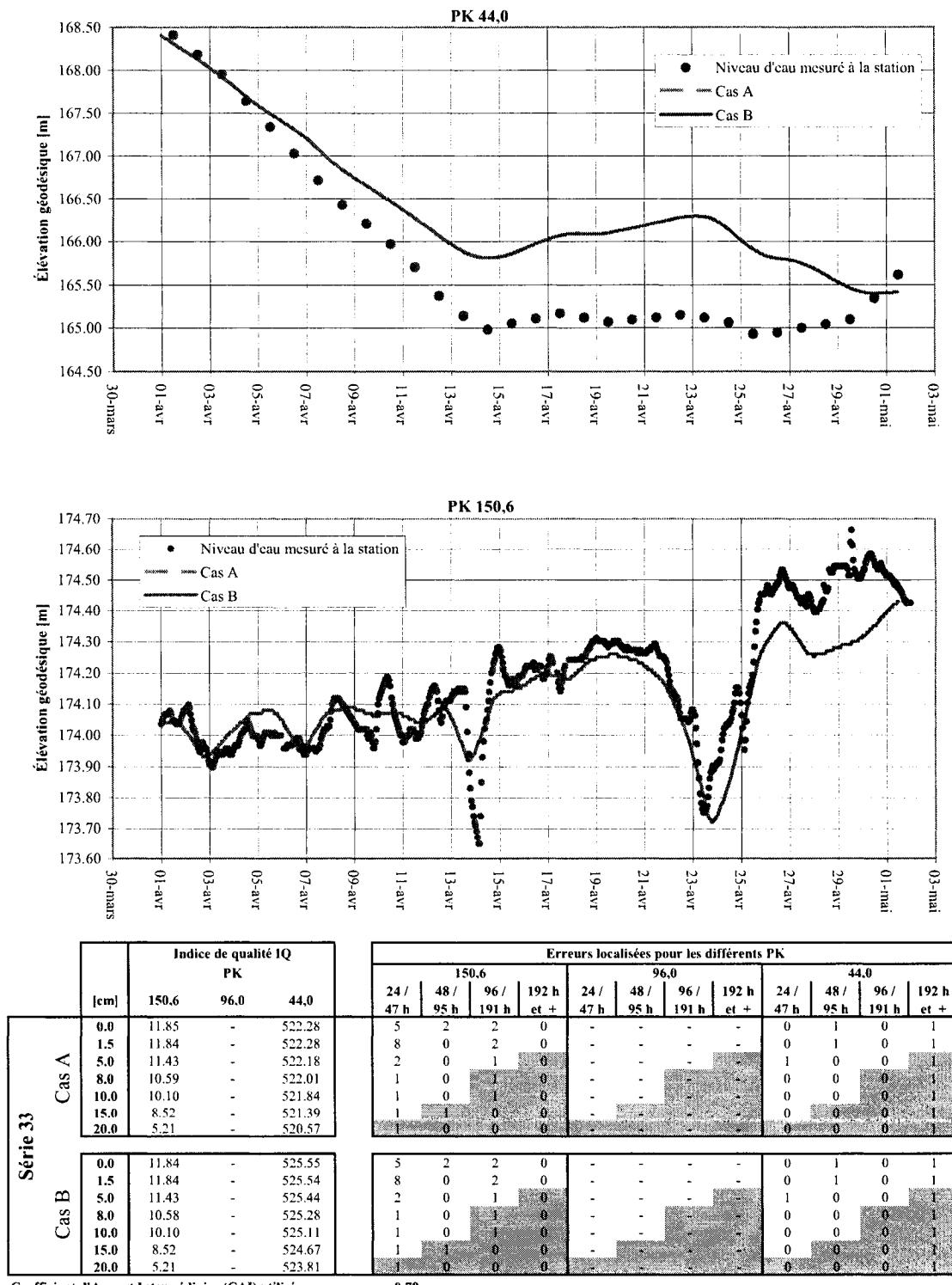


Figure B.27 : Résultats de la série 33

Série 33 - avril 2003 - suite

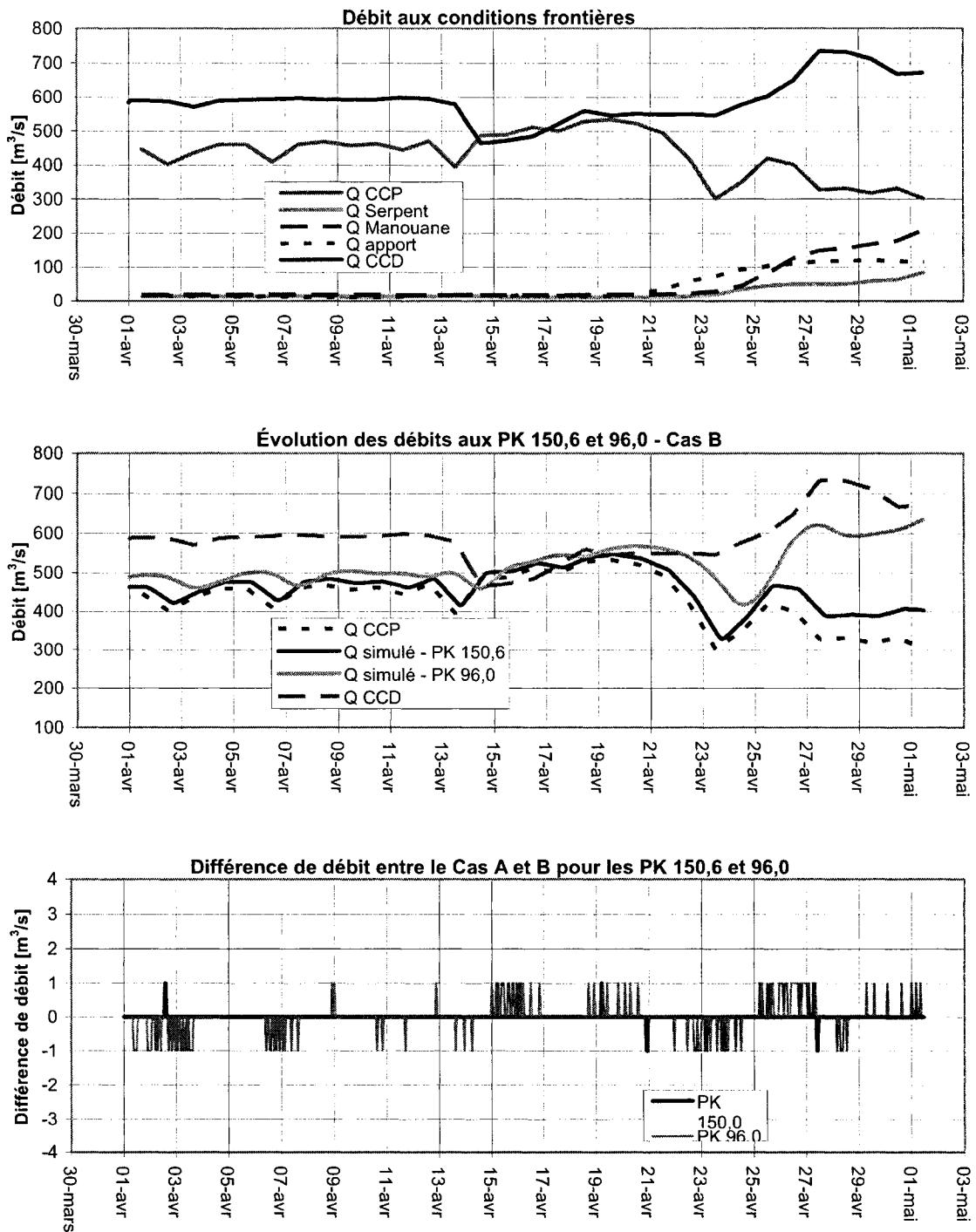


Figure B.28 : Résultats de la série 33 – suite

Série 34 - mai 2003

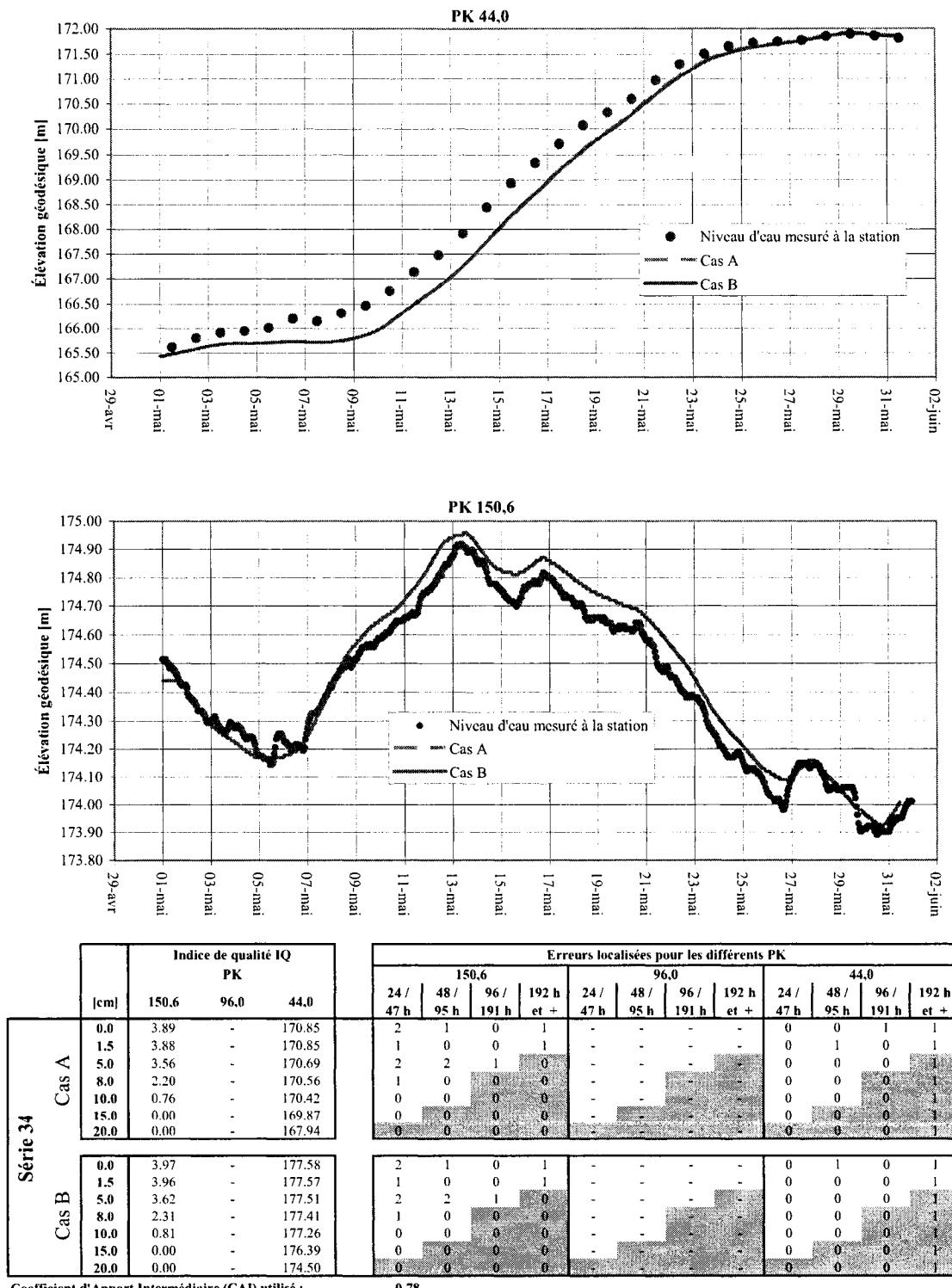


Figure B.29 : Résultats de la série 34

Série 34 - mai 2003 - suite

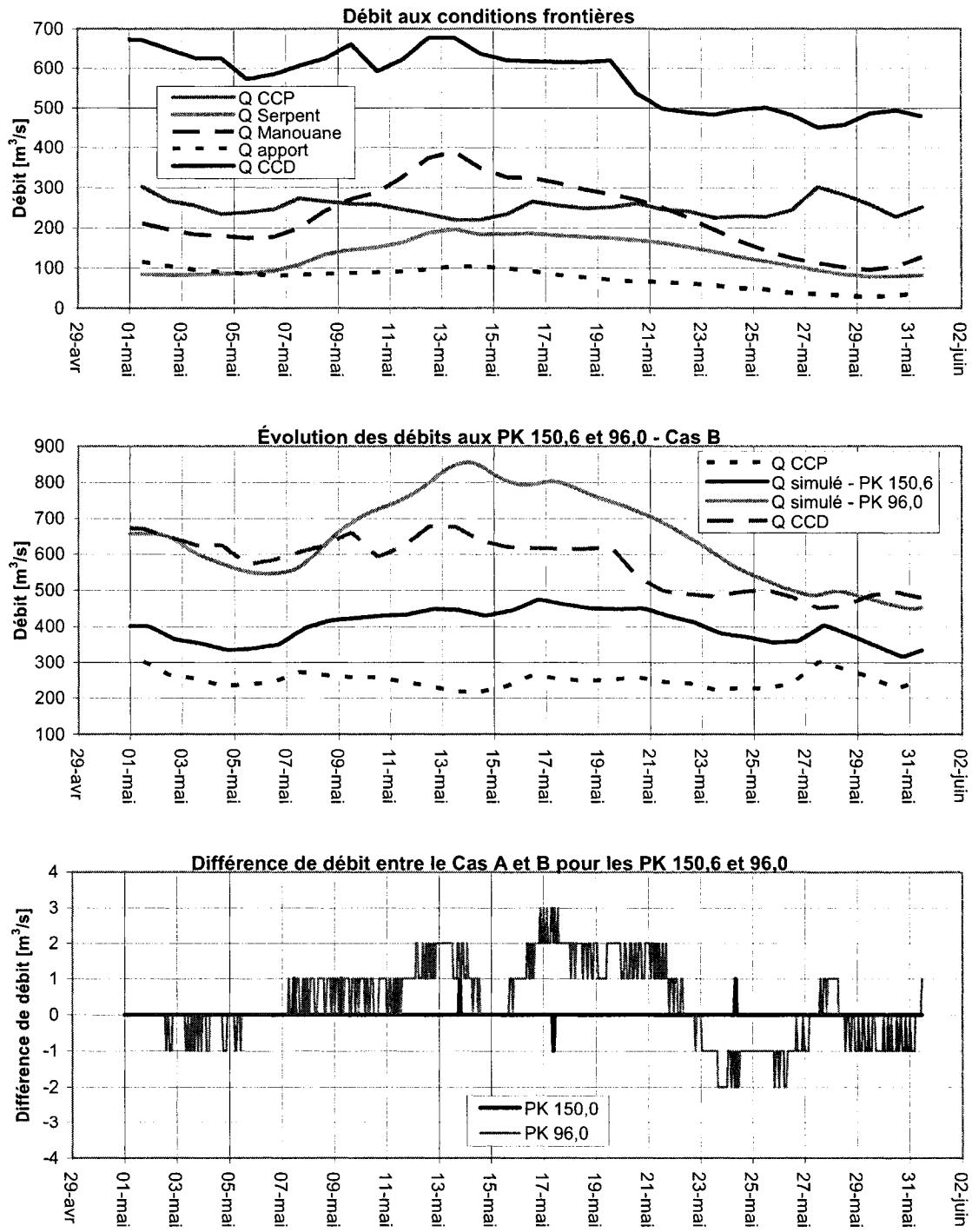


Figure B.30 : Résultats de la série 34 – suite

Série 35 - juin 2003

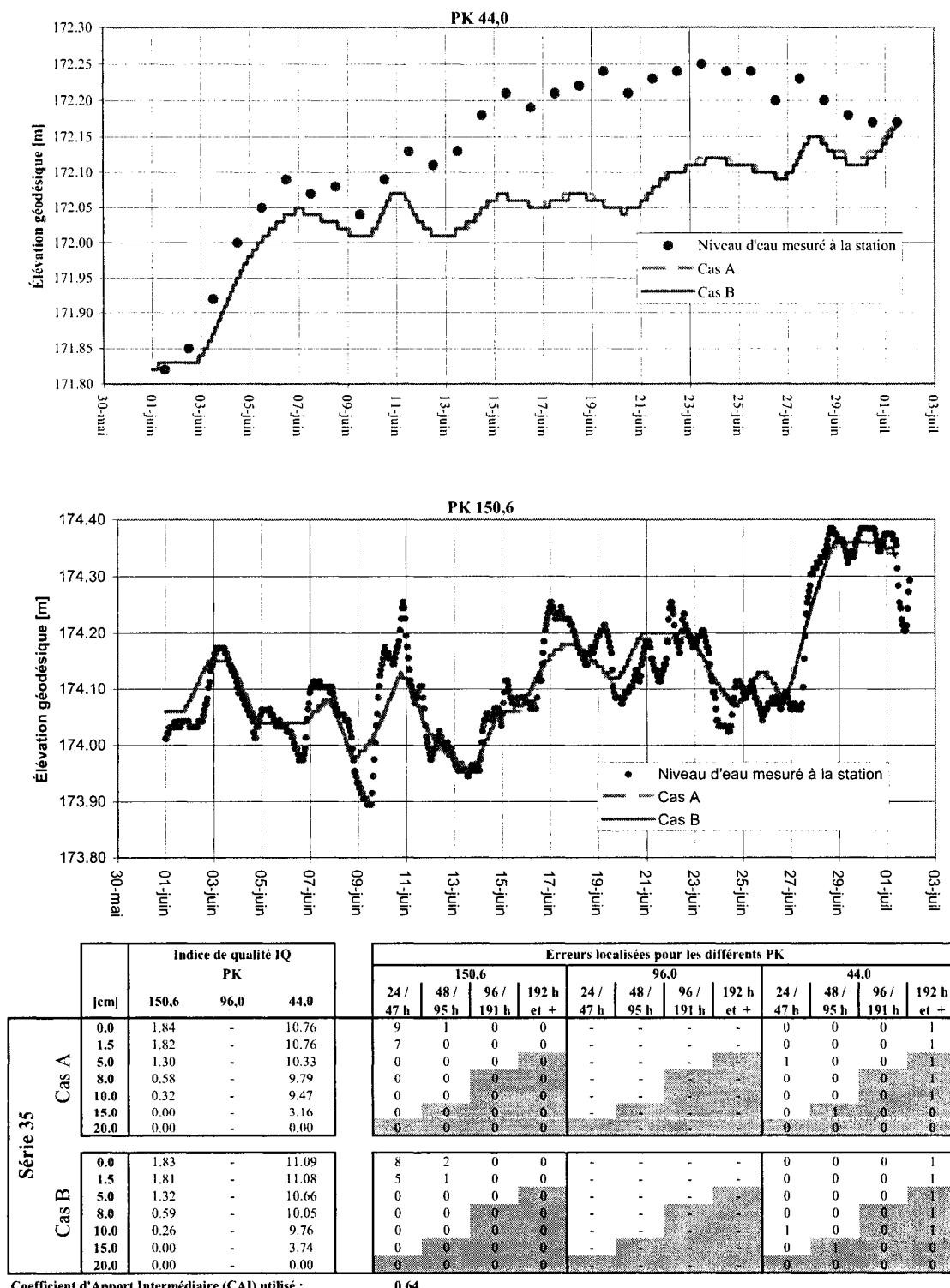


Figure B.31 : Résultats de la série 35

Série 35 - juin 2003 - suite

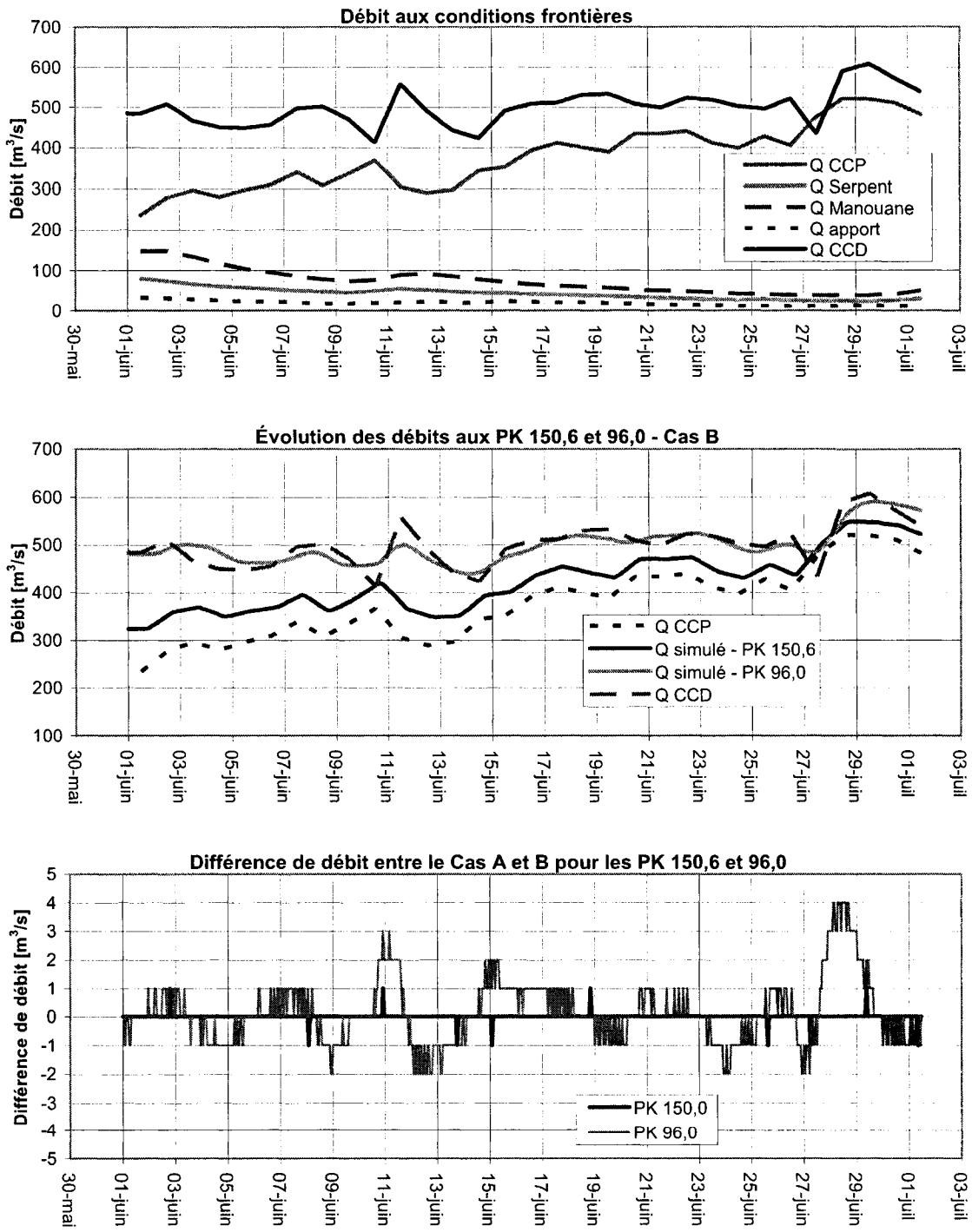
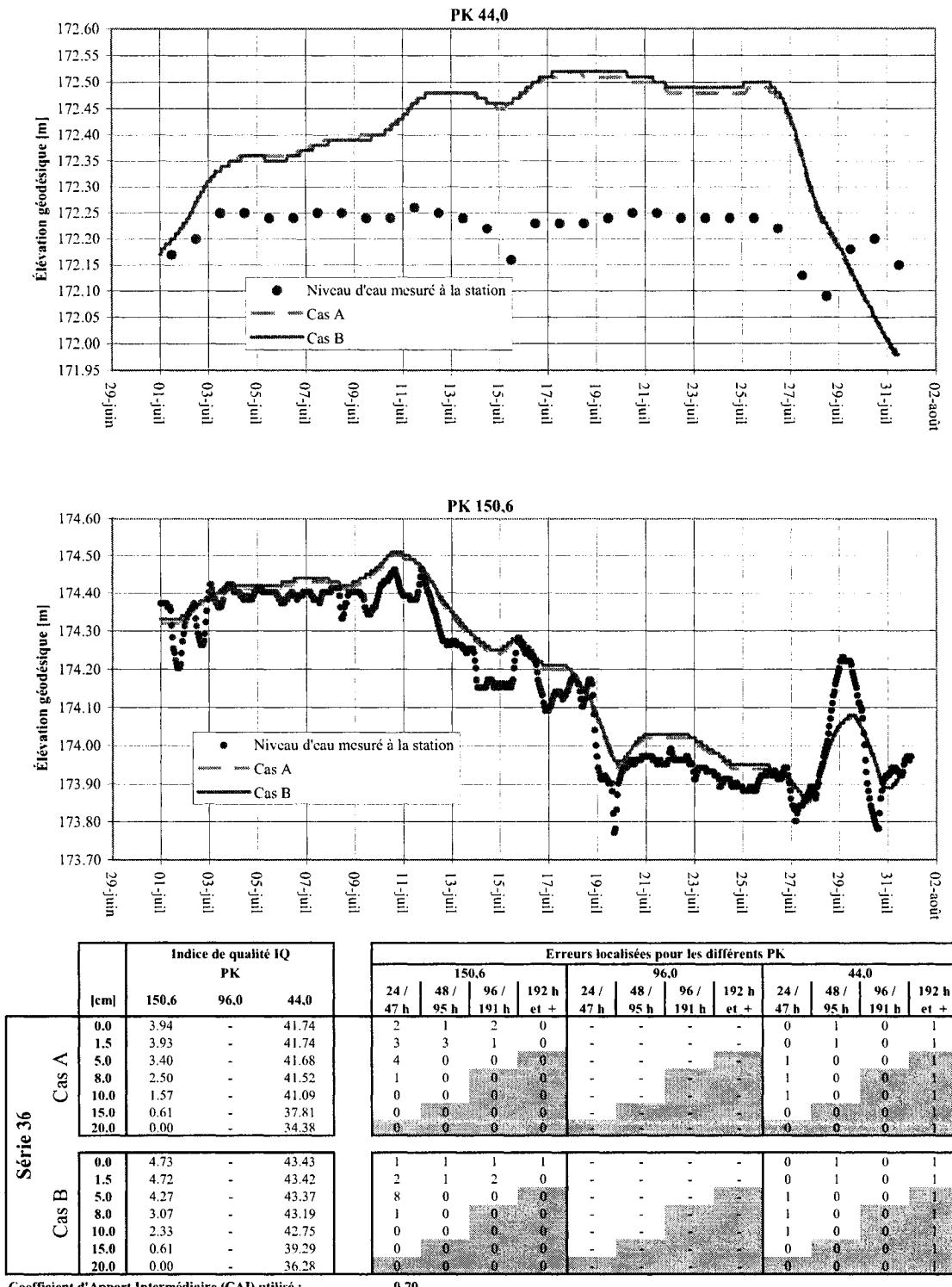


Figure B.32 : Résultats de la série 35 – suite

Série 36 - juillet 2003



Coefficient d'Apport Intermédiaire (CAI) utilisé : 0.70

Figure B.33 : Résultats de la série 36

Série 36 - juillet 2003 - suite

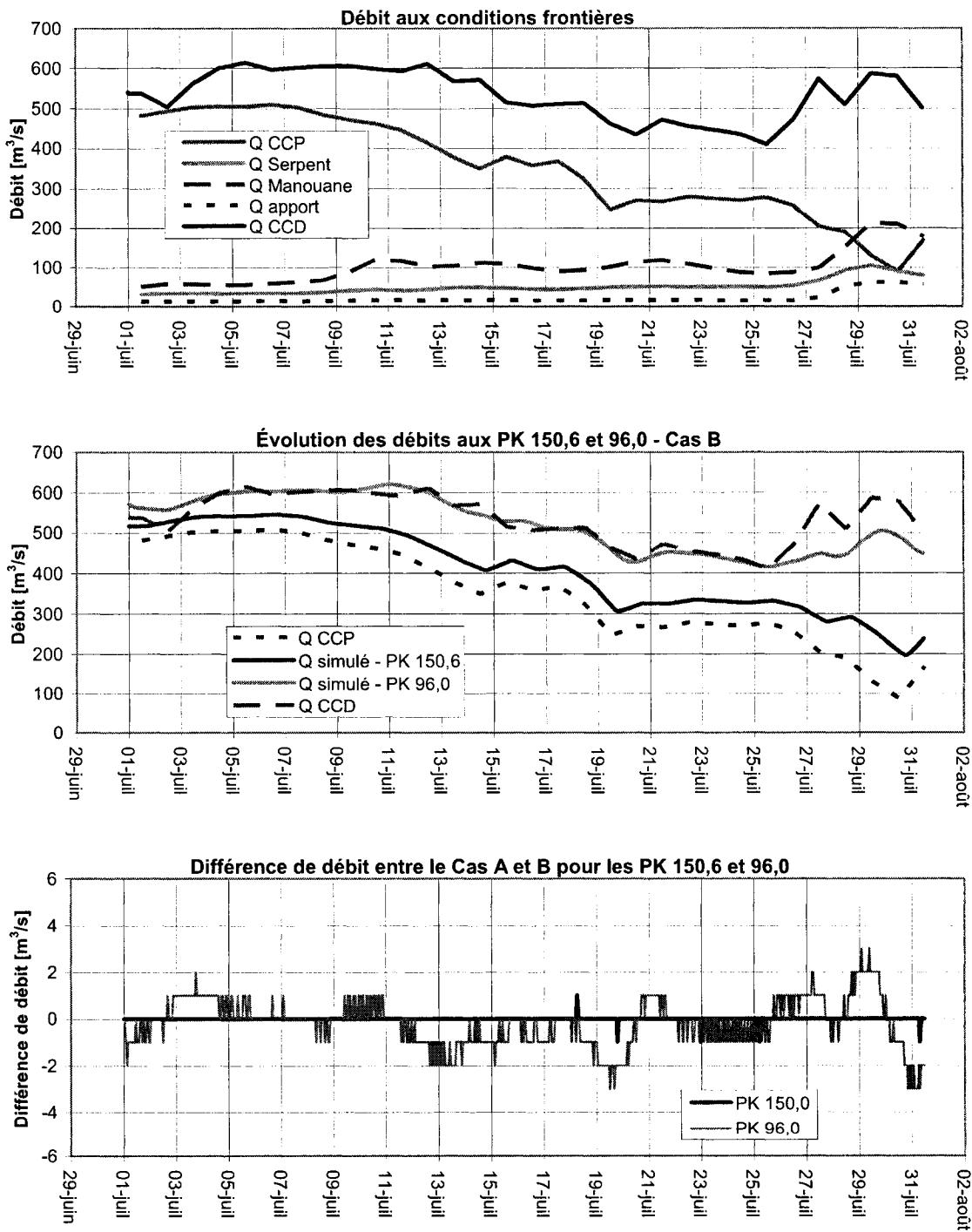
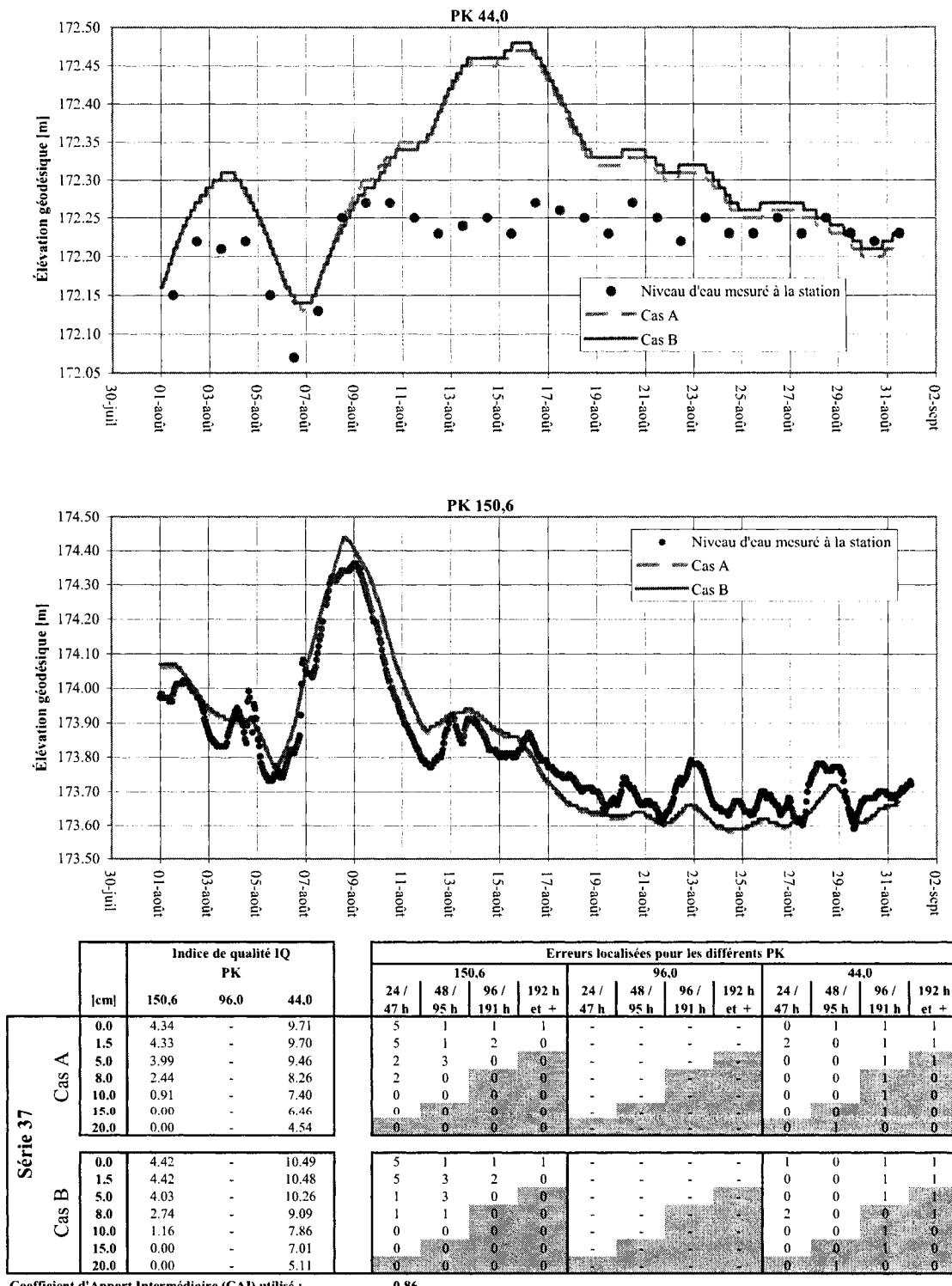


Figure B.34 : Résultats de la série 36 – suite

Série 37 - août 2003



Coefficient d'Apport Intermédiaire (CAI) utilisé :

0.86

Figure B.35 : Résultats de la série 37

Série 37 - août 2003 - suite

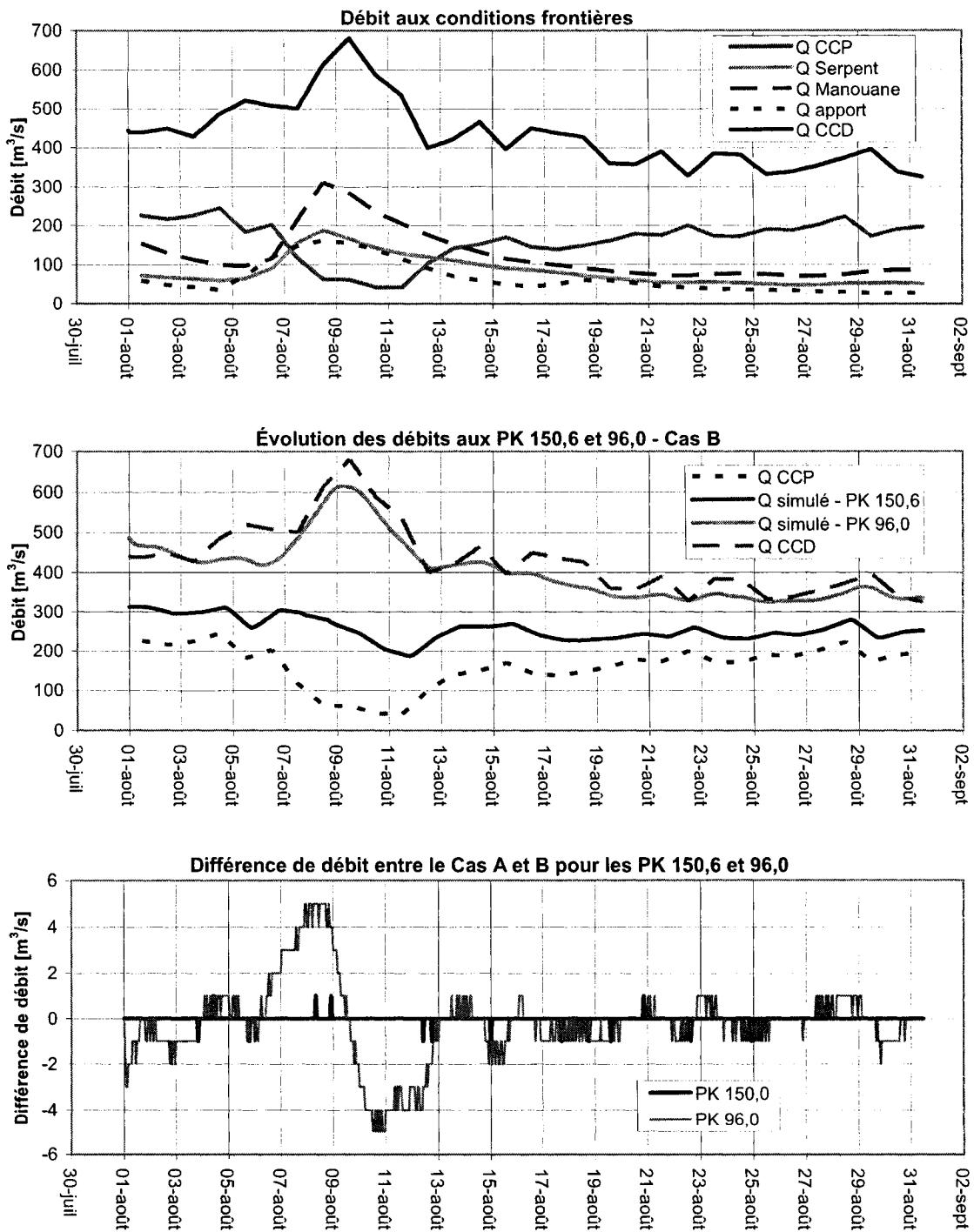


Figure B.36 : Résultats de la série 37 – suite

ANNEXE C

Modèle de la rivière Pérignonka

29 mars 2005 (20 lignes max.) - SANS réservoir CP - Simulation du 1er septembre au 1er octobre 2002

Modélisation tenant compte des aspects suivants :

Sans pente négative			
Bathymétric H-Q (version 2000 et 2001)	- pk 188.7 @ 87.5 + r.	Serpent	
Bathymétric Alcan (version ??)	- pk 44 @ 87 + lac	tchitogama	
Rivière Pérignon au complet + 3 Tributaires			
Rivière Serpent	- section 41	pk 158.5	7.8km
Barrage CP	- section 49	pk 151.8	
Rivière Manouane	- section 53	pk 150.6	7.0km
Lac Tchitogama	- section 110	pk 73.5	14.0km
Barrage CCD	- section 140	pk 44.0	

Bug trouvés : - Le débit d'hydrogramme d'entrée doit être différent (diff de 0.1m³/s) de celui turbiné
- * = correction de la pente négative

EOM

NO DESC

1) EPSY THETA F1 XFACT DTHYD DTOUT METRIC
 0.001 0.8 0.6 1000. 0. 0. 1
 2) JN NU ITMAX KWARM KFLP NET ICOND IFUT(3)
 4 8 200 5 0 0 0 0 0 0
 3) NYQD KCG NCG KPRES (rayon hydraulique)
 0 0 0 1
 4) NCS KPL JNK KREVR S NFGRF
 12 3 9 1 0
 5) IOBS KTERM NP NPST NPEND
 0 0 0 0 0
 7) TEH DTHII DTHPLT FRDFR DTEXP MDT
 100.0 0.2 0.2 0.05 0 0
 10) NLEV DHLV DTHLV
 0 0 0
 12) NBT(1) NPT(1,1) NPT(2,1) MRV(1) NJUNJ(1) ATF(1) EPQJ(1) COFW(1) VWIND(1) WINAGL(1)
 142 1 2 0.01 0. 0. 0.
 12) NBT(2) NPT(1,1) NPT(2,1) MRV(1) NJUNJ(1) ATF(1) EPQJ(1) COFW(1) VWIND(1) WINAGL(1) R. Serpent
 19 1 2 1 41 90.0 0.01 0. 0. 0.
 12) NBT(2) NPT(1,1) NPT(2,1) MRV(1) NJUNJ(1) ATF(1) EPQJ(1) COFW(1) VWIND(1) WINAGL(1) R. Manouane
 9 1 2 1 53 90.0 0.01 0. 0. 0.
 12) NBT(3) NPT(1,J) NPT(2,J) MRV(J) NJUNJ(J) ATF(J) EPQJ(J) COFW(J) VWIND(J) WINAGL(J) Lac Tchitogama
 15 1 2 1 110 90.0 0.01 0. 0. 0.
 13) KU(1) KD(1) NQL(1) NGAGE(1) NRCM1(1) NQCM(1) IFUT(4)
 2 5 3 3 10 0 0 0 0 0
 13) KU(2) KD(2) NQL(2) NGAGE(2) NRCM1(2) NQCM(2) IFUT(4) R. Serpent
 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0
 13) KU(3) KD(3) NQL(3) NGAGE(3) NRCM1(3) NQCM(3) IFUT(4) R. Manouane
 2 0 0 0 1 0 0 0 0 0
 13) KU(4) KD(4) NQL(4) NGAGE(4) NRCM1(4) NQCM(4) IFUT(4) Lac Tchitogama
 2 0 0 0 1 0 0 0 0 0
 14) MIXF(1) MUD(1) KFTR(1) KLOS(1) IFUT(6)
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 14) MIXF(1) MUD(1) KFTR(1) KLOS(1) IFUT(6) R. Serpent
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 14) MIXF(1) MUD(1) KFTR(1) KLOS(1) IFUT(6) R. Manouane
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 14) MIXF(J) MUD(J) KFTR(J) KLOS(J) IFUT(6) Lac Tchitogama
 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 15) KLPI : power used in the LPI technique (0 = diffusion) (10 = dynamique)
 0 0 0 0
 18) XT(I,1): Location of cross sections (I=1,NBT(1))
 188.7 187.9 186.7 186.0 184.6 183.6 182.9 181.5 180.4 179.4
 178.6 177.6 177.2 177.0 176.2 175.7 175.0 174.6 174.2 173.2
 172.2 171.3 170.9 169.7 168.8 167.8 167.4 167.0 166.4 165.8
 164.0 163.8 163.3 162.8 162.5 162.2 161.6 160.9 160.3 159.3
 158.5 158.3 157.0 155.8 155.2 154.6 153.8 152.0 151.8 151.65
 151.6 150.9 150.6 150.1 149.5 149.4 147.8 147.1 145.4 144.7
 142.4 140.5 140.0 137.7 136.4 136.3 135.8 133.7 133.6 130.8

130.5	129.2	128.3	127.4	125.9	124.8	124.2	123.4	122.7	121.0
118.0	116.9	115.9	110.0	106.0	101.7	95.7	93.9	92.6	92.0
91.3	90.3	89.6	88.4	87.5	87.0	86.0	85.0	84.0	83.0
82.0	81.0	80.0	79.0	78.0	77.0	76.0	75.0	74.0	73.5
73.0	72.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0	64.0
63.0	62.0	61.0	60.0	59.0	58.0	57.0	56.0	55.0	54.0
53.0	52.0	51.0	50.0	49.0	48.0	47.0	46.0	45.0	44.0
43.9	43.8								

19) DXM(I,1): Minimum distance step between cross sections (I=1,NBT(1)-1)

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.	0.1
0.1	0.1	0.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.
0.									

20) KRCHT(I,1): Routing method or internal boundary condition in each reach (I=1,NBT(1)-1)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0									

18) XT(I,1)

7.8	7.5	7.0	5.8	5.5	4.8	4.5	4.2	4.1	3.9
3.5	3.1	2.8	2.5	2.2	2.1	0.9	0.4	0.0	

R. Serpent

19) DXM(I,1)

0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025

R. Serpent

20) KRCHT(I,1)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

R. Serpent

18) XT(I,1)

7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	1.5	1.0	0.0	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--

R. Manouane

19) DXM(I,1)

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--

R. Manouane

20) KRCHT(I,1)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	--

R. Manouane

18) XT(I,J)

14.0	13.0	12.0	11.0	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0
4.0	3.0	2.0	1.0	0.0					

Lac Tchitogama

19) DXM(I,J)

0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.05	0.05	0.05	0.05						

Lac Tchitogama

20) KRCHT(I,J)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0						

Lac Tchitogama

28) LAD(K,1) HDD(K,1) CLL(K,1) CDOD(K,1) QTD(K,1) ICHAN(K,1)

n. max: 172.24m

-- CCD -- à 173m

d'élévation, la largeur du barrage est de 715.02m

140 182.88 3200.0 12.0 -1.0 1
 29) ICG(K,I) HSPD(K,I) SPL(K,I) CSD(K,I) HGTD(K,I) CGD(K,I)
 0 172.2 700.0 200.0 0.0 0.0
 32) QTT(L,K,J) Q CCD
 270 270 270 270 270 270 270 270
 33) TQT(L,K,J) T CCD
 0 20 30 40 50 75 100 200
 47) TFH(K,J) DTHDB(K,J) HFDD(K,J) BBD(K,J) ZBCH(K,J) YBMIN(K,J) BREXP(K,J) CPIP(K,J)
 0.1 0.2 180.0 0.0 0.5 150.0 1.0 0
 50) LQ1(K,J) Apport #1 (entre canal de fuite CCP et CP) pk 167.8
 26
 51) QL(L,K,J) Lateral inflow (selon le temps hydrogramme d'entrée)
 3 3 3 3 3 3 3 3
 50) LQ1(K,J) Apport #2 (entre CP et CCD) pk 136.4
 65
 51) QL(L,K,J) Lateral inflow (selon le temps hydrogramme d'entrée)
 10 10 10 10 10 10 10 10
 50) LQ1(K,J) Apport #3 (entre CP et CCD) pk 92.6
 89
 51) QL(L,K,J) Lateral inflow (selon le temps hydrogramme d'entrée)
 10 10 10 10 10 10 10 10
 52) NGS(K,I): Sequence number of each plotting station on river 1 (L=1,NGAGE(1))
 53 KM 150.6
 87 KM 95.7
 140 KM 44.0
 56) ST1(L,1) : Stages or discharges at upstream boundary of river 1. (L=1,NU) Q CCP
 300 300 300 600 300 300 300 300
 57) T1(L,1) : Time array associated with upstream hydrograph ST1(L,1). (L=1,NU) T CCP
 0 0.2 35 36 37 38 39 200
 56) ST1(L,1) Q Serpent
 30 30 30 30 30 30 30 30 Q Serpent
 57) T1(L,1) T Serpent
 0 0.2 35 36 37 38 39 200
 56) ST1(L,1) Q
 Manouanc 40 40 40 40 40 40 40 40
 57) T1(L,1) T
 Manouanc 0 0.2 35 35.2 36.2 36.4 44 200
 56) ST1(L,J) Q
 Tchitogama 2 2 2 2 2 2 2 2
 57) T1(L,J) T
 Tchitogama 0 0.2 30 40 50 75 100 200
 63) SLFI(1) : Bed/initial water surface slope of the main river 0.001
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 188.7 - Canal de fuite CCP - Début de la modélisation
 0.0 0.0 148.1 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 241.60 241.73 241.87 242.00 242.50 243.00 243.50 244.00 244.50 245.00
 252.04 259.08
 72) BS(L,I,1) 0.0 6.9 13.9 20.8 29.7 38.5 58.3 78.1 87.5 96.9
 173.4 250.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 187.9 *
 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) (élévation no.1 : +5m)
 235.50 235.80 235.90 236.00 238.00 240.00 242.00 242.67 243.33 244.00
 251.54 259.08

72) BS(L,I,1)
 0.0 14.0 15.0 15.6 20.8 29.2 49.0 52.4 55.9 59.4
 184.7 310.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0

...

70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,1) pk 159.3 *
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) (élévation no.1 : -0.75m)
 170.70 171.50 172.00 174.00 175.50 190.00 213.36 228.60 236.22 243.84
 251.46 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 6.3 47.9 120.8 165.6 1134.0 1314.0 1424.0 1503.5 1593.0
 1744.0 1895.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,1) pk 158.5 - Jonction avec la rivière Serpent
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 170.69 170.74 171.24 172.48 173.60 190.00 213.36 228.60 236.22 243.84
 251.46 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 9.4 54.3 120.0 155.3 1104.3 1284.3 1417.1 1530.4 1653.6
 1745.7 1837.9
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,1) pk 158.3
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 170.45 170.50 171.00 172.00 173.00 190.00 213.36 228.60 236.22 243.84
 251.46 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 10.4 56.3 119.8 152.1 1122.0 1302.0 1440.0 1562.5 1695.0
 1777.5 1860.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0

...

70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,1) pk 152.0 *
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) (él. no.1 : +7.4m)(él. no.2 : +7.35m)(él. no.3 : +5.7m)(él. no.4 : +3.75m)(él. no.5 : +1.8m)
 169.60 169.65 169.70 169.75 169.80 190.00 213.36 228.60 236.22 243.84
 251.46 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 14.3 28.6 58.2 67.7 206.7 386.7 556.7 611.7 676.7
 762.5 798.3
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,1) pk 151.8 * - Début du barrage CP
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) (él. no.1 : +2.6m)(él. no.2 : +1.65m)(él. no.3 : +0.7m)
 169.60 169.65 169.70 170.00 171.00 172.00 175.00 190.00 213.36 228.60
 243.84 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 18.0 47.0 110.0 128.0 132.0 148.0 180.0 360.0 520.0
 560.0 620.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 151.65 * - Fin du barrage CP - copie de la section au pk 151.8
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : +2.6m)(él. no.2 : +1.65m)(él. no.3 : +0.7m)
 169.60 169.65 169.70 170.00 171.00 172.00 175.00 190.00 213.36 228.60
 243.84 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 18.0 47.0 110.0 128.0 132.0 148.0 250.0 400.0 560.0
 610.0 670.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 151.6 *
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : +5.9m)(él. no.2 : +5.45m)(él. no.3 : +3.5m)(él. no.4 : +1.55m)
 169.40 169.45 169.50 169.55 170.00 172.00 174.00 175.80 177.60 179.40
 181.20 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 6.7 19.1 34.3 91.6 133.6 338.7 370.9 403.2 435.5
 467.7 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 150.9 *
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : +1.1m)(él. no.2 : +1.05m)(él. no.3 : +0.4m)
 169.30 169.35 169.40 170.00 172.00 174.00 175.50 177.00 178.50 180.00
 181.50 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 19.1 83.0 104.0 140.2 183.2 236.0 288.8 341.6 394.4
 447.2 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 150.6 * Jonction rivière Manouane
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : -1.1m)
 169.20 171.00 172.00 173.00 174.00 175.29 176.57 177.86 179.14 180.43
 181.71 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 19.1 41.0 253.8 333.9 357.6 381.4 405.1 428.8 452.5
 476.3 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 150.1 * Jonction rivière Manouane - copie de 150.6
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : -1.1m)
 169.20 171.00 172.00 173.00 174.00 175.29 176.57 177.86 179.14 180.43
 181.71 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 19.1 41.0 253.8 333.9 357.6 381.4 405.1 428.8 452.5
 476.3 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 149.5 *
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : -1.15m)
 169.15 170.40 171.00 172.00 174.00 175.29 176.57 177.86 179.14 180.43
 181.71 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 28.6 153.6 211.8 301.5 329.8 358.2 386.6 414.9 443.3
 471.6 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

0.0 0.0

...

70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) pk 74.0 - modif vol. 06
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 158.18 158.26 158.33 158.41 158.48 160.77 163.06 165.34 167.63 169.91
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,I)
 0.0 165.0 330.0 495.0 660.0 771.7 1058.3 1115.0 1156.7 1218.3
 1530.0 1700.0
 77) BSS(L,I,I)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) pk 73.5 - DÉBUT Jonction Lac Tchitogama - modif vol. 06
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 158.18 158.26 158.33 158.41 158.48 160.77 163.06 165.34 167.63 169.91
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,I)
 0.0 113.1 226.3 339.4 452.5 546.3 815.0 853.8 908.5 921.3
 1215.0 1375.0
 77) BSS(L,I,I)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) pk 73.0 - modif vol. 06
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 158.18 158.26 158.33 158.41 158.48 160.77 163.06 165.34 167.63 169.91
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,I)
 0.0 61.3 122.5 183.8 245.0 320.8 591.7 592.5 613.3 624.2
 900.0 1050.0
 77) BSS(L,I,I)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) pk 72.0 - modif vol. 06
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 158.18 158.26 158.33 158.41 158.48 160.77 163.06 165.34 167.63 169.91
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,I)
 0.0 55.0 110.0 165.0 220.0 257.5 415.0 432.5 435.0 457.5
 645.0 1050.0
 77) BSS(L,I,I)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 ...
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) pk 45.0 - modif vol. 05
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 146.30 146.38 146.53 146.60 150.87 155.13 159.40 163.67 170.00 171.00
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,I)
 0.0 93.8 281.3 375.0 410.0 445.0 480.0 615.0 620.0 741.1
 785.0 3200.0
 77) BSS(L,I,I)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(I,I,I) Aval pk 44.0 - Barrage CCD - modif vol. 05
 0.0 172.20 0.0 0.0
 71) HS(L,I,I)
 146.30 146.38 146.53 146.60 150.87 155.13 159.40 163.67 170.00 171.00

172.20 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 52.5 157.5 210.0 263.3 316.7 370.0 523.3 525.0 686.9
 730.0 3200.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 43.9 - Dernière section - copie de pk 44 - fin du barrage CCD
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 146.30 146.38 146.45 146.53 146.60 150.87 155.13 159.40 163.67 167.93
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 52.5 105.0 157.5 210.0 263.3 316.7 370.0 523.3 576.7
 730.0 3200.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 43.8 - Dernière section - copie de pk 44
 0.0 147.30 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 146.30 146.38 146.45 146.53 146.60 150.87 155.13 159.40 163.67 167.93
 172.20 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 52.5 105.0 157.5 210.0 263.3 316.7 370.0 423.3 476.7
 530.0 3000.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 7.8 - Début de la rivière Serpent - Amont
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 269.95 270.00 270.25 270.50 270.75 271.00 271.17 271.33 271.50 271.67
 271.83 272.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 1.0 3.6 6.3 21.9 37.5 42.0 46.5 51.0 54.9
 58.7 62.5
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 7.5
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 268.00 268.17 268.33 268.50 268.75 269.00 269.17 269.33 269.50 269.67
 269.83 270.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 5.2 10.4 15.6 26.0 36.5 38.9 41.3 43.8 46.5
 49.3 52.1
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 7.0
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 266.00 266.17 266.33 266.50 266.75 267.00 267.17 267.33 267.50 267.67
 267.83 268.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 3.1 6.3 9.4 19.3 29.2 33.3 37.5 41.7 45.5
 49.3 53.1
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 5.8
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 229.45 229.50 230.00 230.50 231.00 231.50 235.61 239.73 243.84 248.92

254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 1.0 6.3 32.3 42.7 54.2 103.4 152.7 202.0 283.3
 364.7 446.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 5.5
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 226.45 226.50 227.00 227.50 228.00 228.50 233.61 238.73 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 3.1 15.6 32.3 35.4 39.6 109.7 179.9 250.0 318.3
 386.7 455.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 4.8
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 216.00 216.50 217.00 217.50 218.00 223.30 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 19.8 60.4 77.1 87.5 144.8 202.0 283.0 364.0 416.0
 468.0 520.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 4.5
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 214.45 214.50 215.00 215.50 216.00 222.30 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 3.1 27.1 66.7 72.9 161.5 250.0 332.5 415.0 475.0
 535.0 595.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 4.2
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 212.95 213.00 213.50 214.00 214.50 221.55 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 7.3 47.9 71.9 78.1 188.1 298.0 382.0 466.0 534.0
 602.0 670.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 4.1
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 212.50 213.00 213.50 214.00 214.50 221.55 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 25.0 43.8 49.0 54.2 184.1 314.0 398.5 483.0 553.7
 624.3 695.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,I,1) pk 3.9
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 211.70 212.00 212.50 213.00 213.50 214.00 221.30 228.60 236.22 243.84

251.46 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 15.6 61.5 86.5 93.8 99.0 210.5 322.0 426.5 531.0
 655.0 779.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 3.5
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 210.50 211.00 211.50 212.00 217.53 223.07 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 42.7 61.5 69.8 143.2 216.6 290.0 472.5 655.0 775.0
 895.0 1015.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 3.1
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 209.80 210.00 210.50 211.00 211.50 220.05 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 10.4 58.3 62.5 70.8 164.4 258.0 518.5 779.0 936.3
 1093.7 1251.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 2.8
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 209.40 210.00 210.50 211.00 216.87 222.73 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 71.9 75.0 79.2 140.1 201.1 262.0 533.0 804.0 1000.0
 1196.0 1392.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 2.5
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 208.50 209.00 210.00 211.00 216.87 222.73 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 15.6 62.5 70.8 140.6 210.3 280.0 537.5 795.0 1035.0
 1275.0 1515.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 2.2
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 208.30 209.00 210.00 211.00 216.87 222.73 228.60 236.22 243.84 248.92
 254.00 259.08
 72) BS(L,I,1)
 0.0 12.5 95.8 104.2 168.8 233.4 298.0 542.0 786.0 1070.0
 1354.0 1638.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,I) pk 2.1
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 208.00 209.00 210.00 211.00 216.87 222.73 228.60 236.22 243.84 248.92

193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 0.0 112.5 225.0 337.5 450.0 562.5 675.0 787.5 900.0 916.7
 933.3 950.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 4.0 - Rivière Manouanc
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 175.96 176.82 177.69 178.55 179.42 180.28 181.15 182.01 182.88 187.96
 193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 0.0 131.3 262.5 393.8 525.0 656.3 787.5 918.8 1050.0 1066.7
 1083.3 1100.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 3.0 - Rivière Manouanc
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 174.27 175.34 176.42 177.50 178.57 179.65 180.73 181.80 182.88 187.96
 193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 0.0 175.0 350.0 525.0 700.0 875.0 1050.0 1225.0 1400.0 1416.7
 1433.3 1450.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 2.5 - Rivière Manouanc
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 173.42 174.60 175.79 176.97 178.15 179.33 180.52 181.70 182.88 187.96
 193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 0.0 131.3 262.5 393.8 525.0 656.3 787.5 918.8 1050.0 1075.0
 1100.0 1125.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 1.5 - Rivière Manouanc
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 171.73 173.13 174.52 175.91 177.31 178.70 180.09 181.49 182.88 187.96
 193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 0.0 175.0 350.0 525.0 700.0 875.0 1050.0 1225.0 1400.0 1416.7
 1433.3 1450.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 1.0 - Début de la rivière Manouanc - Aval
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1) : Elevation to each topwidth BS(L,I,1). (L=1,NCS)
 170.89 172.39 173.89 175.39 176.88 178.38 179.88 181.38 182.88 187.96
 193.04 198.12
 72) BS(L,I,1)
 174.3 277.5 380.7 483.9 587.1 690.4 793.6 896.8 1000.0 1150.0
 1300.0 1450.0
 77) BSS(L,I,1): Topwidth of dead storage of channel
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(1,I,1) pk 0.0 - copie de la section 150.6 Jonction rivière Pérignonka
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)(él. no.1 : -1.1m)
 169.20 171.00 172.00 173.00 174.00 175.29 176.57 177.86 179.14 180.43

181.71 183.00
 72) BS(L,I,1)
 0.0 19.1 41.0 253.8 333.9 357.6 381.4 405.1 428.8 452.5
 476.3 500.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 14.0 -- Amont et fin du Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 171.28 171.34 171.40 171.46 171.52 171.58 173.47 175.35 177.23 179.11
 181.00 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 22.0 44.0 66.0 88.0 110.0 141.7 173.3 205.0 236.7
 268.3 300.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 13.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 171.28 171.34 171.40 171.46 171.52 171.58 173.47 175.35 177.23 179.11
 181.00 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 63.0 126.0 189.0 252.0 315.0 317.5 320.0 322.5 325.0
 327.5 330.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 12.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 168.28 168.34 168.40 168.46 168.52 168.58 170.97 173.35 175.73 178.11
 180.50 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 89.0 178.0 267.0 356.0 445.0 445.8 446.7 447.5 448.3
 449.2 450.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 11.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 168.28 168.34 168.40 168.46 168.52 168.58 170.97 173.35 175.73 178.11
 180.50 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 67.0 134.0 201.0 268.0 335.0 354.2 373.3 392.5 411.7
 430.8 450.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 10.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 165.38 165.44 165.50 165.56 165.62 165.68 168.55 171.42 174.28 177.15
 180.01 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 111.0 222.0 333.0 444.0 555.0 566.7 578.3 590.0 601.7
 613.3 625.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,I) YDI(I,I) QDI(I,I) AS(1,I,1) pk 9.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 165.18 165.24 165.30 165.36 165.42 165.48 168.38 171.28 174.18 177.08

179.98 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 111.0 222.0 333.0 444.0 555.0 562.5 570.0 577.5 585.0
 592.5 600.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 8.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 163.68 163.74 163.80 163.86 163.92 163.98 167.13 170.28 173.43 176.58
 179.73 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 122.0 244.0 366.0 488.0 610.0 611.7 613.3 615.0 616.7
 618.3 620.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 7.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 163.68 163.74 163.80 163.86 163.92 163.98 167.13 170.28 173.43 176.58
 179.73 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 178.0 356.0 534.0 712.0 890.0 900.0 910.0 920.0 930.0
 940.0 950.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 6.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 162.18 162.24 162.30 162.36 162.42 162.48 165.88 169.28 172.68 176.08
 179.48 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 178.0 356.0 534.0 712.0 890.0 900.0 910.0 920.0 930.0
 940.0 950.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 5.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 160.68 160.74 160.80 160.86 160.92 160.98 164.63 168.28 171.93 175.58
 179.23 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 200.0 400.0 600.0 800.0 1000.0 1008.3 1016.7 1025.0 1033.3
 1041.7 1050.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 4.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 160.68 160.74 160.80 160.86 160.92 160.98 164.63 168.28 171.93 175.58
 179.23 182.88
 72) BS(L,I,1)
 0.0 210.0 420.0 630.0 840.0 1050.0 1075.0 1100.0 1125.0 1150.0
 1175.0 1200.0
 77) BSS(L,I,1)
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 0.0 0.0
 70) FLST(I,1) YDI(I,1) QDI(I,1) AS(I,1,1) pk 3.0 -- Lac Tchitogama
 0.0 0.0 0.0 0.0
 71) HS(L,I,1)
 159.08 159.14 159.20 159.26 159.32 159.38 163.30 167.22 171.13 175.05

ANNEXE D

Présentation et validation des FTD

Tableau D.1 : FTD pour la CCP à la CCD – Série 1

Tableau D.2 : FTD pour la CCP à la CCD – Série 1 (suite)

Tableau D.3 : FTD pour la CCP à la CCD – Série 2

Tableau D.4 : FTD pour la CCP à la CCD – Série 2 (suite)

Tableau D.5 : FTD pour la CCP à la CP – Série 3

Caractéristiques des FTD	Matrices FTD				
	101-1	102-1	101-2	401-1	401-2
H CP [m] :	242,7	242,7	244,2	242,7	244,2
Q CCD [m^3/s] :	100	100	100	400	400
Q Serpent [m^3/s] :	30	200	30	30	30
Q ANC [m^3/s] :	-	-	-	-	-
Q CP [m^3/s] :	135	305	135	435	435
Temps [h]	Pourcentage de débit « pQ »				
0	5,54	5,61	6,36	4,38	5,41
1	56,64	56,63	56,49	54,26	56,04
2	21,31	21,42	20,66	25,68	22,82
3	10,04	10,03	9,54	10,11	9,82
4	4,22	4,14	4,32	3,59	3,77
5	1,53	1,48	1,77	1,31	1,39
6	0,48	0,47	0,57	0,57	0,60
7	0,14	0,14	0,20	0,10	0,14
8	0,10	0,08	0,09	-	0,01
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-
55	-	-	-	-	-
56	-	-	-	-	-
57	-	-	-	-	-
58	-	-	-	-	-
59	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-
61	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-
64	-	-	-	-	-

Tableau D.6 : FTD pour la CP à la CCD – Série 4

Tableau D.7 : FTD pour la CP à la CCD – Série 4 (suite)

Caractéristiques des FTD	Matrices FTD													
	240-3	300-3	400-3	500-3	600-3	700-3	800-3	240-4	300-4	400-4	500-4	600-4	700-4	800-4
H CCD [m] :	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0
Q CP [m ³ /s] :	175	175	175	350	350	525	525	175	175	175	350	350	525	525
Q Manouane [m ³ /s] :	40	100	200	125	225	150	250	40	100	200	125	225	150	250
Q Tchitogamu [m ³ /s] :	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Q ANC [m ³ /s] :	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Q CCD [m ³ /s] :	240	300	400	500	600	700	800	240	300	400	500	600	700	800
Temps [h]	Pourcentage de débit « pQ »							Pourcentage de débit « pQ »						
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	0,03	0,09	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	0,06	0,20	0,34	0,59	-	-	-	-	0,01	0,07	0,18
8	-	0,01	0,13	0,41	0,74	1,03	1,37	-	-	-	0,15	0,44	0,80	1,13
9	0,07	0,26	0,65	1,03	1,52	1,94	2,37	-	-	-	0,44	1,13	1,48	-
10	0,48	0,76	1,30	1,82	2,42	2,89	3,33	0,01	0,20	0,56	1,02	1,49	1,98	2,34
11	0,96	1,36	2,09	2,66	3,32	3,69	4,13	0,21	0,60	1,11	1,72	2,31	2,83	3,21
12	1,52	2,07	2,85	3,44	4,08	4,51	4,95	0,63	1,04	1,79	2,43	3,14	3,62	4,00
13	2,16	2,73	3,51	4,09	4,54	4,82	5,02	1,05	1,62	2,52	3,22	3,93	4,26	4,56
14	2,81	3,33	4,09	4,51	5,01	5,08	5,07	1,54	2,23	3,22	3,87	4,38	4,81	5,01
15	3,30	3,90	4,43	4,92	5,10	5,09	5,07	2,09	2,83	3,81	4,27	4,93	5,08	5,09
16	3,73	4,19	4,82	5,05	5,12	5,09	5,07	2,55	3,31	4,19	4,74	5,09	5,10	5,09
17	4,12	4,39	5,00	5,05	5,11	5,09	5,06	3,09	3,76	4,50	4,98	5,09	5,10	5,09
18	4,21	4,53	5,07	5,05	5,10	5,05	4,88	3,38	4,15	4,82	5,06	5,09	5,08	-
19	4,33	4,81	5,03	4,99	4,99	4,82	4,64	3,81	4,25	4,88	5,06	5,09	5,06	4,94
20	4,42	4,62	4,91	4,82	4,77	4,49	4,27	4,08	4,39	4,88	4,99	4,99	4,87	4,73
21	4,39	4,54	4,65	4,60	4,44	4,23	4,07	4,17	4,51	4,83	4,82	4,77	4,60	4,35
22	4,33	4,41	4,35	4,25	4,15	4,03	3,81	4,18	4,58	4,72	4,59	4,43	4,24	4,12
23	4,22	4,27	4,15	4,05	3,94	3,72	3,47	4,22	4,37	4,42	4,28	4,18	4,05	3,92
24	4,12	4,10	4,01	3,83	3,57	3,38	3,21	4,17	4,28	4,22	4,10	3,97	3,77	3,54
25	4,01	3,97	3,68	3,49	3,29	3,13	2,97	4,15	4,17	4,06	3,90	3,64	3,42	3,26
26	3,75	3,66	3,39	3,20	3,02	2,88	2,71	4,07	4,05	3,83	3,59	3,32	3,15	3,01
27	3,49	3,42	3,19	2,95	2,78	2,66	2,48	3,96	3,85	3,56	3,28	3,06	2,91	2,75
28	3,31	3,15	2,99	2,71	2,61	2,39	2,29	3,73	3,61	3,30	3,01	2,81	2,67	2,53
29	3,10	2,97	2,68	2,50	2,27	2,15	2,02	3,45	3,35	3,04	2,80	2,63	2,43	2,29
30	2,91	2,71	2,49	2,21	2,03	1,94	1,89	3,33	3,15	2,79	2,58	2,32	2,18	2,00
31	2,71	2,54	2,25	1,98	1,90	1,77	1,74	3,13	3,00	2,65	2,33	2,08	1,96	1,88
32	2,56	2,33	1,98	1,86	1,74	1,70	1,61	2,94	2,72	2,34	2,07	1,91	1,80	1,73
33	2,29	2,09	1,86	1,72	1,58	1,52	1,39	2,75	2,50	2,11	1,91	1,75	1,67	1,60
34	2,04	1,95	1,72	1,59	1,35	1,26	1,25	2,63	2,29	1,94	1,74	1,60	1,41	1,37
35	1,95	1,78	1,51	1,35	1,13	1,09	1,04	2,40	2,05	1,79	1,60	1,40	1,27	1,20
36	1,81	1,70	1,32	1,10	1,03	1,01	0,97	2,20	1,95	1,70	1,42	1,18	1,09	1,05
37	1,72	1,45	1,16	0,99	0,95	0,93	0,93	2,00	1,78	1,44	1,25	1,05	0,99	0,96
38	1,56	1,35	1,01	0,93	0,93	0,93	0,90	1,91	1,71	1,28	1,04	0,95	0,93	0,93
39	1,38	1,13	0,94	0,93	0,87	0,86	0,83	1,76	1,49	1,09	0,97	0,93	0,90	0,87
40	1,30	1,03	0,93	0,86	0,75	0,76	0,73	1,70	1,36	0,99	0,93	0,87	0,82	0,79
41	1,06	0,95	0,88	0,76	0,69	0,68	0,68	1,50	1,15	0,93	0,89	0,77	0,73	0,70
42	1,00	0,94	0,77	0,68	0,68	0,67	0,67	1,38	1,05	0,93	0,81	0,70	0,68	0,67
43	0,94	0,90	0,69	0,67	0,48	0,63	0,64	1,21	0,96	0,85	0,71	0,68	0,65	0,66
44	0,94	0,82	0,67	0,61	0,32	0,32	0,35	1,04	0,94	0,75	0,68	0,56	0,50	0,48
45	0,90	0,75	0,57	0,47	0,26	0,26	0,26	0,98	0,91	0,69	0,66	0,32	0,34	0,26
46	0,82	0,70	0,40	0,34	0,26	0,26	0,26	0,94	0,84	0,67	0,46	0,26	0,26	0,26
47	0,74	0,63	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,93	0,74	0,55	0,27	0,26	0,26	0,26
48	0,69	0,46	0,26	0,26	0,22	0,26	0,26	0,87	0,70	0,42	0,26	0,26	0,26	0,26
49	0,68	0,37	0,26	0,26	0,17	0,18	0,26	0,80	0,68	0,26	0,26	0,26	0,26	0,23
50	0,62	0,26	0,26	0,20	0,11	0,14	0,19	0,72	0,62	0,26	0,26	0,18	0,15	0,18
51	0,44	0,26	0,26	0,17	0,10	0,10	0,10	0,68	0,36	0,26	0,25	0,10	0,10	0,18
52	0,39	0,26	0,18	0,14	0,07	0,11	0,10	0,67	0,27	0,26	0,17	0,10	0,10	0,11
53	0,26	0,26	0,15	0,11	0,03	0,03	0,11	0,56	0,26	0,20	0,10	0,06	0,06	0,05
54	0,26	0,26	0,10	0,07	-	-	-	0,42	0,26	0,17	0,09	0,04	-	-
55	0,26	0,26	0,10	-	-	-	-	0,27	0,26	0,10	0,04	-	-	-
56	0,25	0,16	0,05	-	-	-	-	0,26	0,25	0,11	-	-	-	-
57	0,17	0,12	-	-	-	-	-	0,26	0,17	0,06	-	-	-	-
58	0,17	0,10	-	-	-	-	-	0,27	0,17	-	-	-	-	-
59	0,12	0,03	-	-	-	-	-	0,27	0,10	-	-	-	-	-
60	0,10	-	-	-	-	-	-	0,21	0,10	-	-	-	-	-
61	0,07	-	-	-	-	-	-	0,18	0,05	-	-	-	-	-
62	0,06	-	-	-	-	-	-	0,16	0,01	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-
64	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-

Tableau D.8 : Fonctions de transfert de débit moyennes (FTDm)

Tableau D.9 : Fonctions de transfert de débit moyennes cumulées (FTDmc)

Tableau D.10 : Matrices de correction (MC)

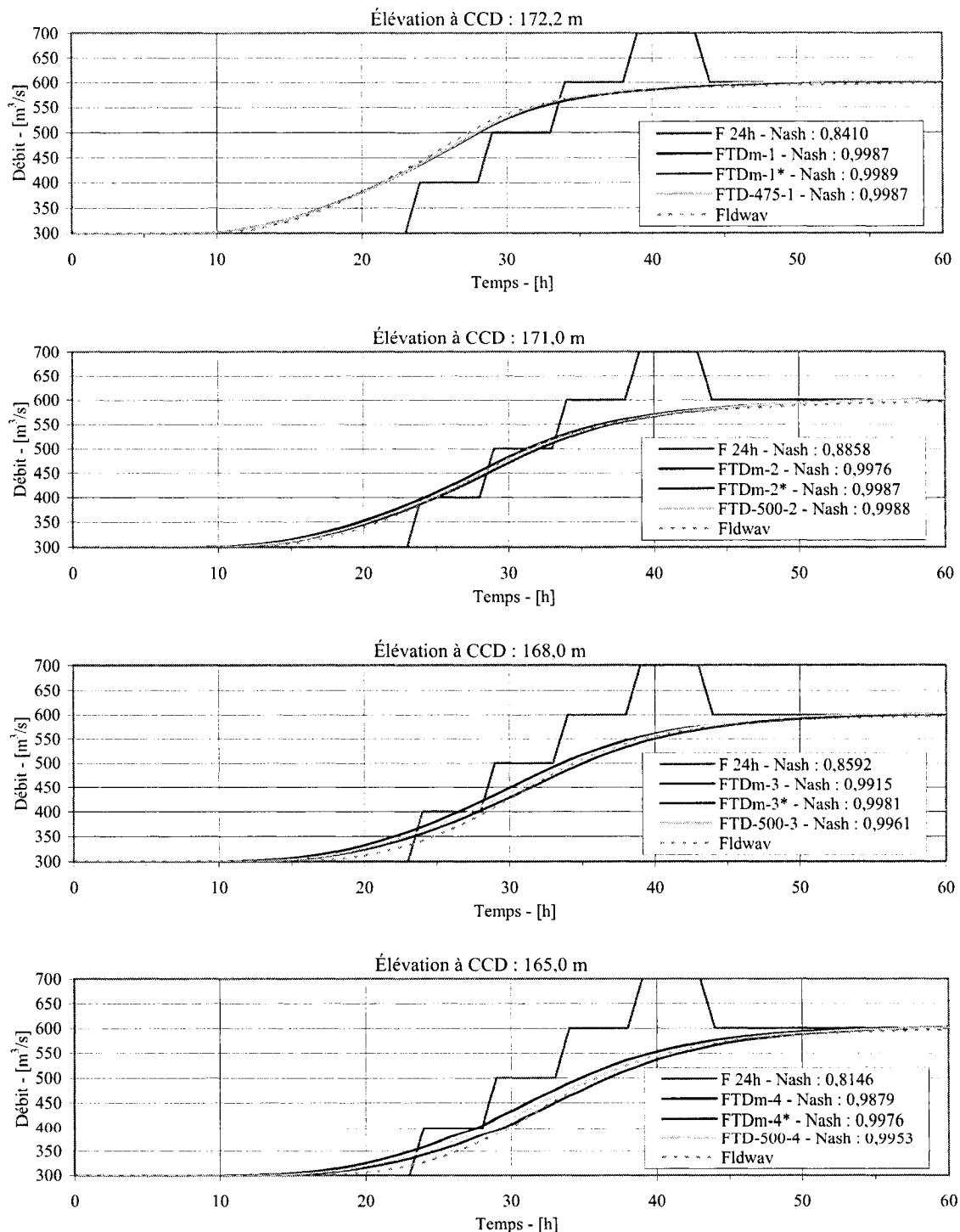


Figure D.1 : Tronçon entre la CCP et la CCD – Simulation 1

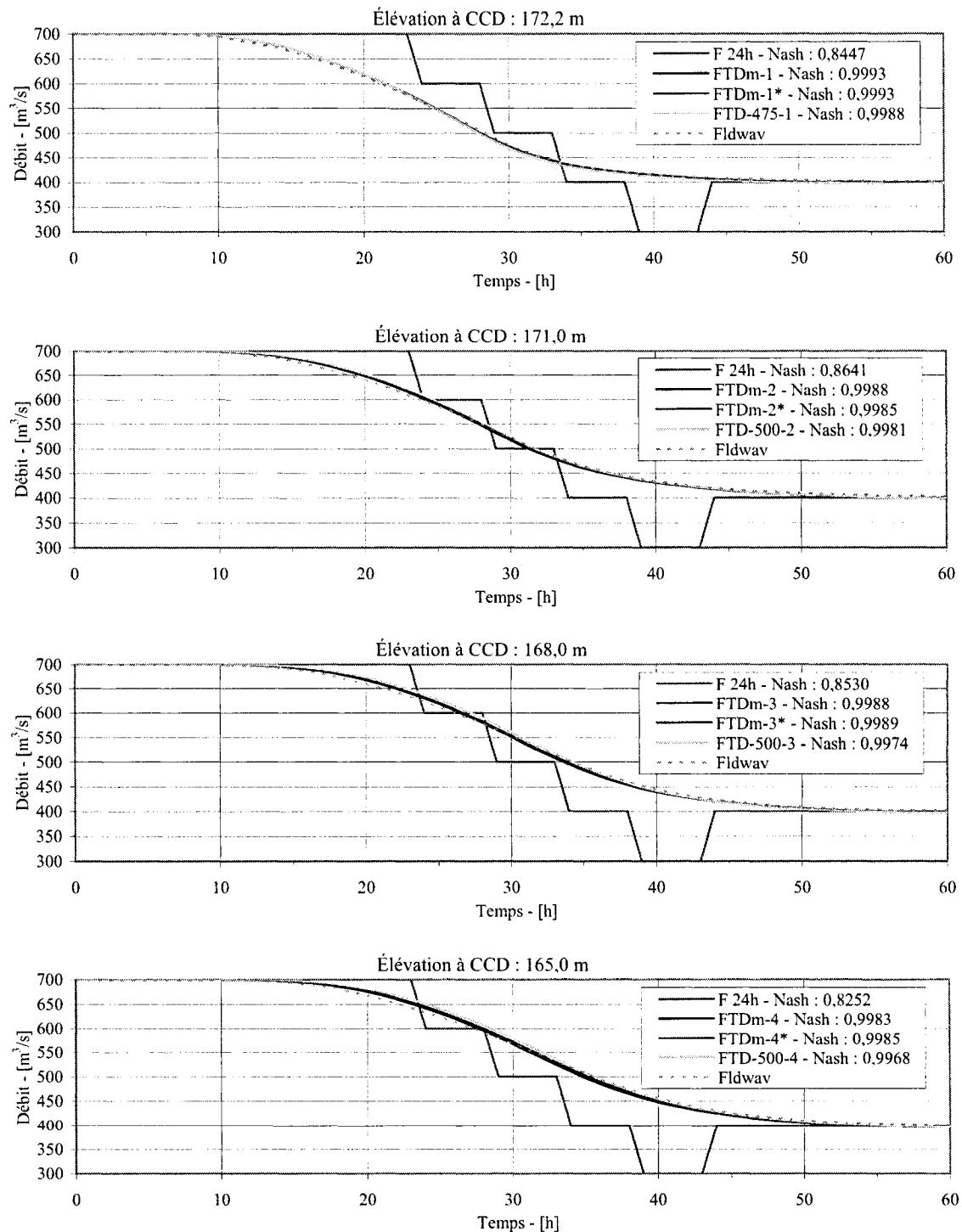


Figure D.2: Tronçon entre la CCP et la CCD – Simulation 2

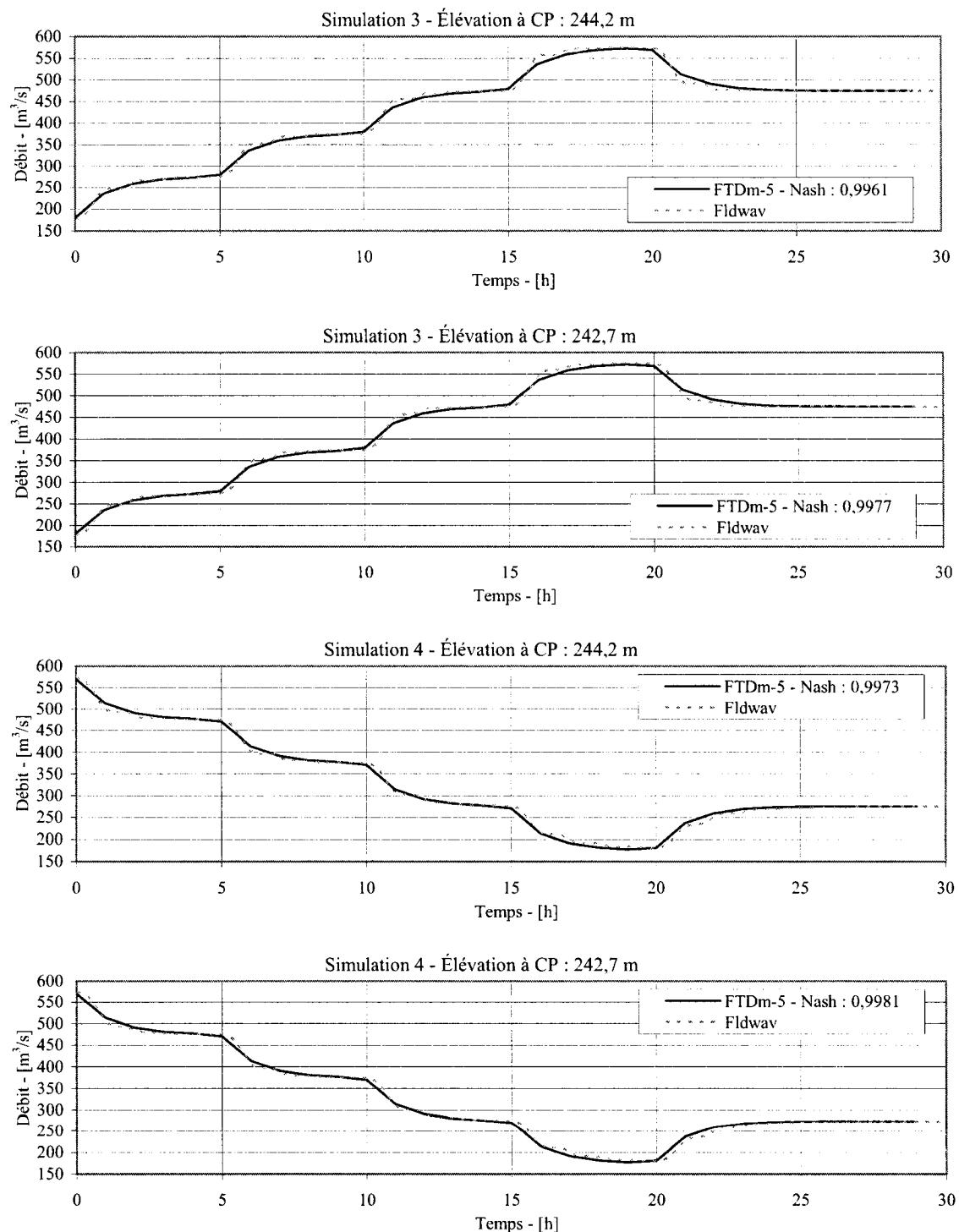


Figure D.3 : Tronçon entre la CCP et la CP – Simulation 3 et 4

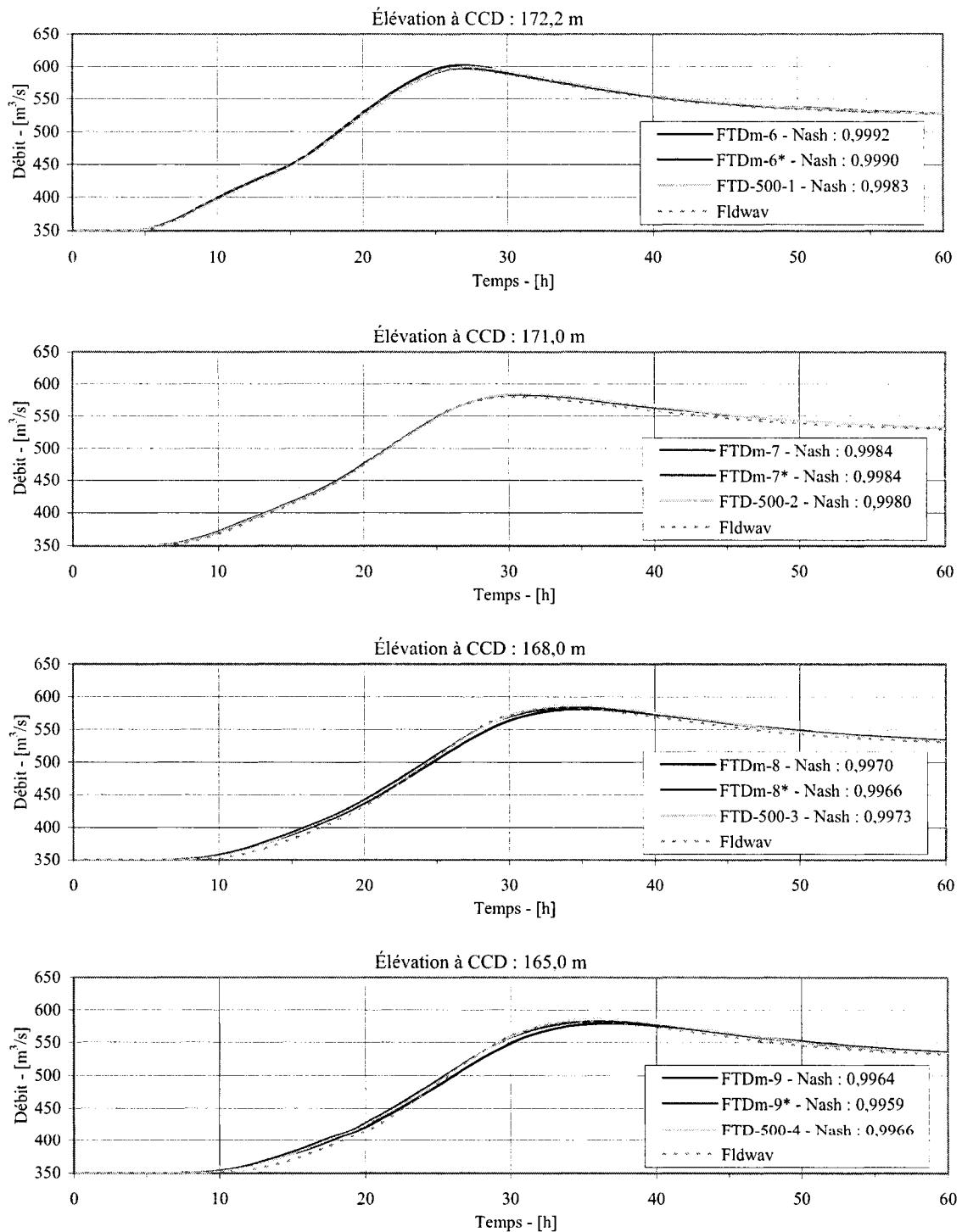


Figure D.4 : Tronçon entre la CP et la CCD – Simulation 5

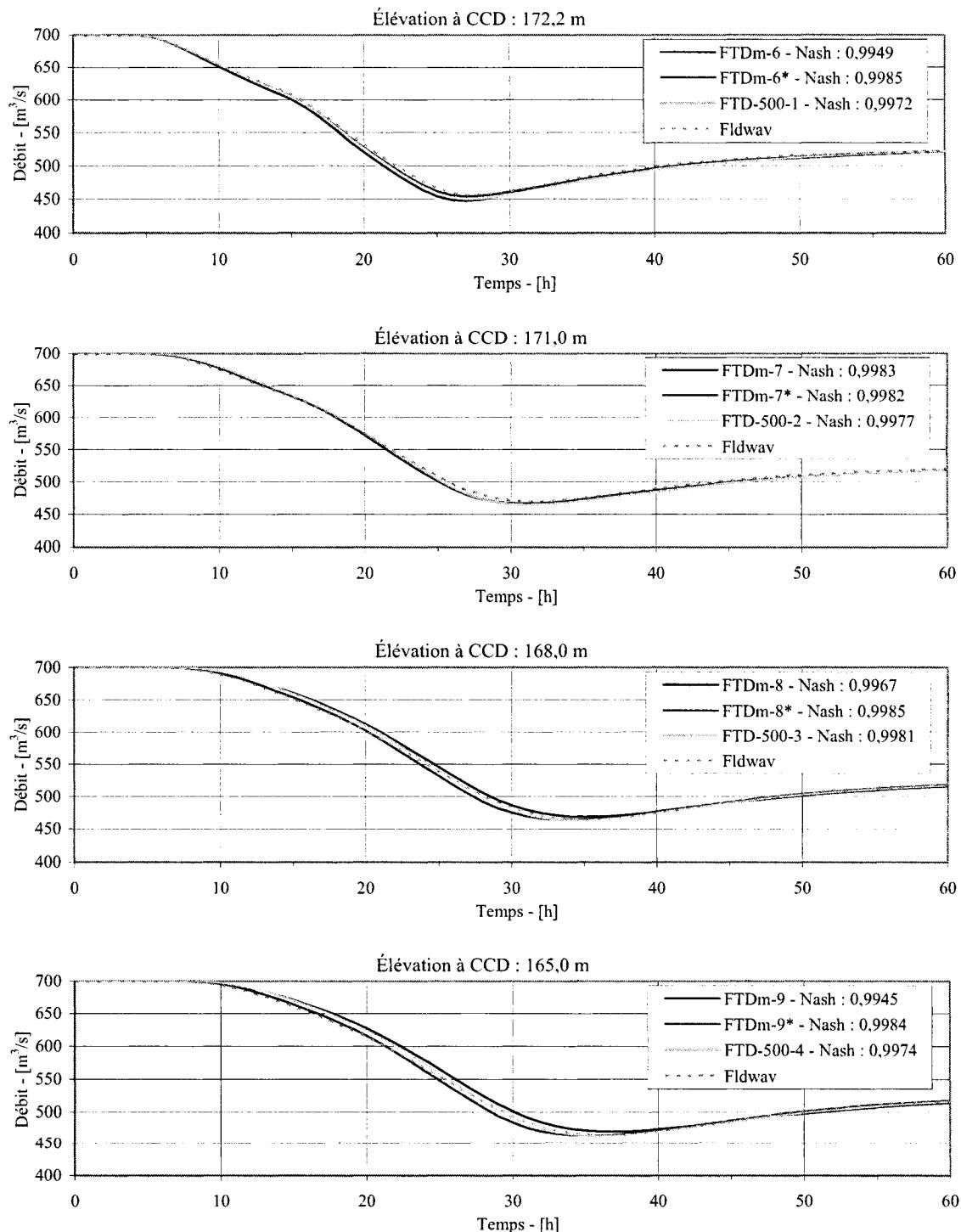


Figure D.5 : Tronçon entre la CP et la CCD – Simulation 6