

**ÉLABORATION D'UNE MÉTHODOLOGIE
DE VALIDATION DES NIVEAUX D'EAU
DES RÉSERVOIRS EN TEMPS RÉEL
(PHASE 2)**

**PROJET CONJOINT UNIVERSITÉ / INDUSTRIE *
INRS-EAU / ALCAN**

**ÉLABORATION D'UNE MÉTHODOLOGIE DE VALIDATION DES NIVEAUX D'EAU
DES RÉSERVOIRS EN TEMPS RÉEL (PHASE 2)**

Rapport final (01/09/1994 - 31/08/95)

Préparé par Mario Haché
Révisé par Bernard Bobée

Novembre 1995

*
Projet de recherche à incidence industrielle (RII)
Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie, dossier 6830025/94
Subvention CRSNG IOR168828

1. Introduction

Ce projet de partenariat intitulé "Élaboration d'une méthodologie de validation des niveaux d'eau des réservoirs en temps réel (Phase 2)" a débuté le 1^{er} septembre 1994 pour prendre fin le 31 août 1995. Cette collaboration visait principalement à élaborer une méthodologie globale de validation et d'estimation des niveaux des réservoirs et des débits des rivières à un pas de temps horaire et en temps réel. En effet, il est important pour la compagnie SÉCAL (Société d'électrolyse et de chimie Alcan Ltée) de disposer de données fiables et de bonne qualité pour assurer une gestion efficace et rigoureuse de ses ressources hydriques.

Nous avons divisé le projet en cinq grandes étapes:

- Sous-projet A: *Procédure de calcul en temps réel du niveau représentatif d'un réservoir (N_R);*
- Sous-projet B: *Méthodologie d'estimation en temps réel des données manquantes de débit en rivières ou des données rejetées lors de l'étape de validation (phase 1);*
- sous-projet C: *Méthodologie d'estimation en temps réel du niveau "moyen" horaire (N_E) d'un réservoir à partir de données hydrométéorologiques;*
- Sous-projet D: *Examen de la cohérence de la méthode d'estimation de N_E (sous-projet C) à partir des calculs de N_R (sous-projet A);*
- Sous-projet E: *Prévision des apports non contrôlés au site Chute du Diable à partir des débits des rivières Serpent et Manouane.*

2. Principales réalisations en relation avec les objectifs du projet (01/09/94 à 31/08/95)

Dans le présent rapport, nous faisons le point sur les activités réalisées du 1^{er} septembre 1994 au 31 août 1995. Les différents travaux de recherche réalisés pour les sous-projets A, B, C, D et E y sont résumés.

2.1 Sous-projet A : Procédure de calcul en temps réel du niveau représentatif d'un réservoir (N_R)

Une connaissance précise des niveaux d'eau des réservoirs est très importante pour une gestion adéquate des ressources hydriques dont dispose la compagnie Alcan. En effet, c'est à partir de ces données qu'Alcan peut planifier et gérer d'une manière optimale l'exploitation des ouvrages hydrauliques à court, moyen et long termes tout en respectant les contraintes concernant les risques d'inondation et la sécurité des ouvrages.

Le niveau d'eau est également une variable nécessaire pour le calcul de l'apport non contrôlé que reçoit un réservoir, c'est-à-dire la quantité d'eau à l'amont d'un ouvrage hydraulique. La variable d'apport non contrôlé est utilisée lors de la calibration ou de l'utilisation des modèles hydrologiques déterministes qui permettent de prévoir les apports non contrôlés pour différents horizons temporels.

Les trois grands réservoirs d'Alcan (lac St-Jean, Passes-Dangereuses et lac Manouane) sont équipés chacun de deux ou trois limnimètres qui mesurent le niveau d'eau. Ces instruments localisés à différents endroits d'un même réservoir doivent théoriquement indiquer la même mesure de niveau. Toutefois, en raison des instabilités d'origine naturelle du plan d'eau (vent, glace) ou des différences de niveau dues à l'exploitation hydro-électrique, les jauges d'un même réservoir ne donnent généralement pas la même valeur de niveau.

La détermination d'un niveau représentatif, noté N_R , à partir des mesures enregistrées aux stations limnimétriques d'un même réservoir est primordiale afin de fournir aux gestionnaires d'Alcan l'état du réservoir qui représente le mieux la réalité. La méthode actuellement utilisée par Alcan qui consiste à prendre la moyenne arithmétique des valeurs mesurées par les différentes jauges peut conduire à une surestimation ou à une sous-estimation du niveau réel des réservoirs. Par ailleurs, l'utilisation d'une seule station limnimétrique considérée comme étant la plus représentative ne permet pas une exploitation optimale de toute l'information disponible.

Les méthodes privilégiées dans notre travail sont basées sur la moyenne pondérée des mesures des stations du réservoir:

$$N_R = \sum_{i=1}^n w_i N_i \quad \text{avec} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (1)$$

où w_i est le poids assigné à la mesure N_i de la station i et n est le nombre de stations limnimétriques du réservoir. Quatre méthodes de calcul ont été retenues pour déterminer le niveau représentatif (N_R):

- La *moyenne arithmétique* (Linsley *et al.*, 1958; Unesco, 1981; Allerup *et al.*, 1982; Singh et Chowdhury, 1986); ce qui revient à considérer un poids uniforme pour toutes les stations ($w_i = 1/n$).
- La *moyenne pondérée de Thiessen* (Linsley *et al.*, 1958; Diskin, 1969 et 1970; Unesco, 1981; Allerup *et al.*, 1982; Singh et Chowdhury, 1986) qui consiste à diviser l'aire totale A du réservoir en n sous-régions d'aire A_i . Chaque zone A_i est sous l'influence de la station i ($i=1, \dots, n$). Les poids de l'équation (1) sont donnés par $w_i = A_i/A$ pour chacune des stations.
- La *modélisation de la surface par une fonction* (Unwin, 1969; Chidley et Keys, 1970; Allerup *et al.*, 1982; Singh et Chowdhury, 1986) qui consiste à ajuster une fonction $f(x,y)$ (dans le cas du réservoir lac St-Jean, par exemple, il s'agit d'un plan) aux niveaux mesurés aux différentes stations.
- La *moyenne pondérée en fonction de la distance* entre le centre du réservoir et les stations (McGuinness et Harold (1965); Pentland et Cuthbert (1971); Sherman (1975); Singh et Chowdhury (1986)) qui consiste à attribuer un poids étant inversement proportionnel à la distance entre la station et le centre géométrique du réservoir.

Ces quatre méthodes tiennent compte des particularités du réservoir et du réseau de mesure. En effet, le nombre et l'emplacement des stations limnimétriques ainsi que la forme du réservoir peuvent influencer significativement le calcul du niveau représentatif. Cependant, la qualité des données n'est pas identique d'une station à l'autre. Une série de critères permettant de déterminer la qualité des données à chaque station a donc été établie:

- sensibilité de la station au vent;
- fréquence d'inspection des stations;
- accumulation d'humidité dans le système bulles à bulles du limnimètre pouvant causer des erreurs;
- sédimentation des orifices de sorties qui peut fausser la mesure;

- calibration de l'appareil de mesure à partir de données satellitaires (rattachement géodésique).

La méthode de la moyenne pondérée de Thiessen a conduit aux résultats les plus réalistes en tenant compte de ces critères de qualité des données.

Une étude de l'effet du vent sur le niveau du lac St-Jean nous a permis de développer une variante de la méthode de la moyenne pondérée de Thiessen qui consiste à faire varier le poids attribué à chacune des stations en fonction de la représentativité des mesures dans certaines conditions météorologiques.

2.2 Sous-projet B : Méthodologie d'estimation en temps réel des données manquantes de débit en rivières ou des données rejetées lors de l'étape de validation (phase 1)

Pour Alcan, il est important d'avoir accès à un maximum d'information hydrométrique. Le débit des rivières est une variable essentielle pour la gestion optimale de la ressource hydrique. Il intègre le comportement hydrologique général du bassin versant et permet ainsi d'avoir une idée relativement précise de l'apport non contrôlé qui alimente les réservoirs. De plus, les données de débit sont essentielles à l'estimation des niveaux d'un réservoir (sous-projets C et D) et à la prévision des apports non contrôlés à Chute du Diable (sous-projet E).

Plusieurs facteurs, tels que les problèmes de transmission, le bris d'instruments ou encore le rejet par la procédure de validation peuvent faire en sorte que les données horaires de débit soient manquantes.

L'approche adoptée dans ce travail consiste à combiner l'information obtenue à partir de différents modèles (Bates et Granger, 1969; Winkler et Makridakis, 1983; Perreault *et al.* 1991). Deux modèles sont combinés pour obtenir une estimation du débit manquant :

- un modèle spatial qui considère l'information régionale;
- un modèle temporel qui tient compte du caractère autorégressif des mesures de débit.

Formellement, le débit estimé, $\hat{Q}_{Y,t}$, à l'heure t au site Y s'exprime de la manière suivante:

$$\hat{Q}_{Y,t} = w_t^s \hat{Q}_{Y,t}^s + w_t^T \hat{Q}_{Y,t}^T \quad (2)$$

où $\hat{Q}_{Y,t}^s$ et $\hat{Q}_{Y,t}^T$ sont les estimations au site Y du débit provenant respectivement du modèle spatial et du modèle temporel et w_t^s et w_t^T sont les poids respectifs affectés aux estimations $\hat{Q}_{Y,t}^s$ et $\hat{Q}_{Y,t}^T$ avec la condition $w_t^s + w_t^T = 1$. En pratique, w_t^s et w_t^T sont fonction de la somme des carrés des résidus des modèles.

Les modèles spatial et temporel sont respectivement de la forme suivante:

Modèle spatial
$$\hat{Q}_{Y,t}^s = \hat{K}_{X,t} Q_{X,t} \quad (3)$$

où $Q_{X,t}$ est le débit mesuré à une rivière voisine X (choisie en fonction de sa corrélation avec le site Y). $\hat{K}_{X,t}$ est l'estimation du coefficient de transfert du débit de la rivière X à la rivière Y et il est déterminé à chaque pas de temps à partir d'une procédure de lissage exponentiel.

Modèle temporel

$$\hat{Q}_{Y,t}^T = Q_{Y,t-1} + \Delta\hat{Q}_{Y,t} \quad (4)$$

où $Q_{Y,t-1}$ est le débit mesuré de la rivière Y à l'heure précédente (t-1). $\Delta\hat{Q}_{Y,t}$ est l'estimation de la première différence de débits de la rivière Y obtenue à l'aide d'une procédure de lissage exponentiel.

L'application du lissage exponentiel permet d'incorporer dans le modèle les éventuels changements rencontrés dans les paramètres.

Le modèle résultant qui consiste à combiner les estimations spatiale et temporelle a été appliqué à cinq séries témoins de données horaires de débit provenant de rivières du bassin hydrographique d'Alcan pour la période 1991 à 1993. Les résultats obtenus montrent que la combinaison des modèles conduisent à des estimations de meilleure qualité que celles obtenues individuellement par le modèle temporel ou par le modèle spatial.

2.3 Sous-projet C: Méthodologie d'estimation en temps réel du niveau "moyen" horaire (N_E) d'un réservoir à partir de données hydrométriques

La méthodologie développée dans ce sous-projet est générale et elle a été appliquée ici au réservoir du lac St-Jean

Pour la bonne gestion de la ressource hydrique du bassin exploité par la compagnie Alcan, il est essentiel de connaître le plus précisément possible le niveau d'eau des réservoirs. Cela est particulièrement important pour le réservoir du lac St-Jean pour lequel des contraintes pour garantir la sécurité de la population avoisinante et le bon fonctionnement des ouvrages doivent être respectées.

Comme on l'a déjà souligné, La mesure du niveau des réservoirs est parfois erronée en raison de facteurs tels que l'exploitation des ouvrages hydrauliques, les conditions météorologiques ou encore le bris mécanique des instruments de mesure. Ainsi, les niveaux mesurés peuvent être différents de plusieurs centimètres du niveau réel du réservoir. De plus, l'incertitude des limnimètres (1 cm) induit un bruit dans les mesures de niveau qui se reflète directement sur les apports non contrôlés calculés par la méthode du bilan hydrique. Étant donnée l'importance des mesures de niveau et des apports non contrôlés pour l'exploitation optimale des réservoirs, une estimation fiable en temps réel de ces deux variables est nécessaire.

La mesure du débit en rivière est de qualité supérieure à celle des niveaux. La méthodologie développée dans ce projet s'appuie donc sur l'estimation en temps réel des apports non contrôlés à partir du débit des affluents du lac St-Jean (82% de la superficie du bassin versant du lac St-Jean est jaugé). Les niveaux horaires sont simplement déduits des apports non contrôlés horaires estimés par l'équation du bilan hydrique et la courbe d'emménagement du réservoir. Plus formellement, l'estimation du niveau s'effectue en trois étapes:

- 1) Estimation de l'apport non contrôlé $ANC_{LSJ,t}^*$ à partir des affluents (voir figure 1) du lac St-Jean:

$$ANC_{LSJ,t}^* = P_t + k_t SDR_t \quad (5)$$

où P_t est la précipitation directe sur le réservoir et SDR_t est la somme des débits des affluents du lac St-Jean. le paramètre k_t est le coefficient de transfert des débits qui peut

être estimé à chaque pas de temps par des techniques de lissage exponentiel ou de moyenne mobile.

2) Calcul du volume, $V_{LSJ,t}$, à l'aide de l'équation du bilan hydrique (voir figure 1)

$$V_{LSJ,t} = (Q_{CS,t} - Q_{LSJ,t} + ANC_{LSJ,t}^*) \Delta T - \Delta V_{GD,t} - V_{LSJ,t-1} \quad (6)$$

où $Q_{CS,t}$ est le débit total (débit déversé et débit turbiné) au site Chute à la Savane, $Q_{LSJ,t}$ est le débit total (débit déversé et débit turbiné) relâché au lac St-jean et $\Delta V_{GD,t}$ est la variation du volume de Grande Décharge. L'équation (6) est une équation itérative. En effet, le volume du pas de temps précédent doit être connu afin d'évaluer le volume au pas de temps courant. Habituellement, le processus itératif débute avec un volume connu et fiable (défini à la section 2.4).

3) Calcul du niveau, $N_{LSJ,t}$, à partir de l'équation d'emmagasinement:

$$N_{LSJ,t} = \sum_{i=0}^9 b_i V_t^i \quad (7)$$

où b_i sont les coefficients de l'équation polynomiale d'emmagasinement.

La méthode développée dans ce sous-projet a été appliquée à quatre séries témoins pour la période 1991 à 1993. L'examen graphique des résultats montre que la courbe des niveaux estimés est plus lisse que la courbe des niveaux observés et correspond mieux aux variations réelles du niveau du réservoir. En particulier, le bruit aléatoire induit par la limite de précision de l'appareil de mesure est atténué et les changements brusques de niveau (effet du vent) sont éliminés.

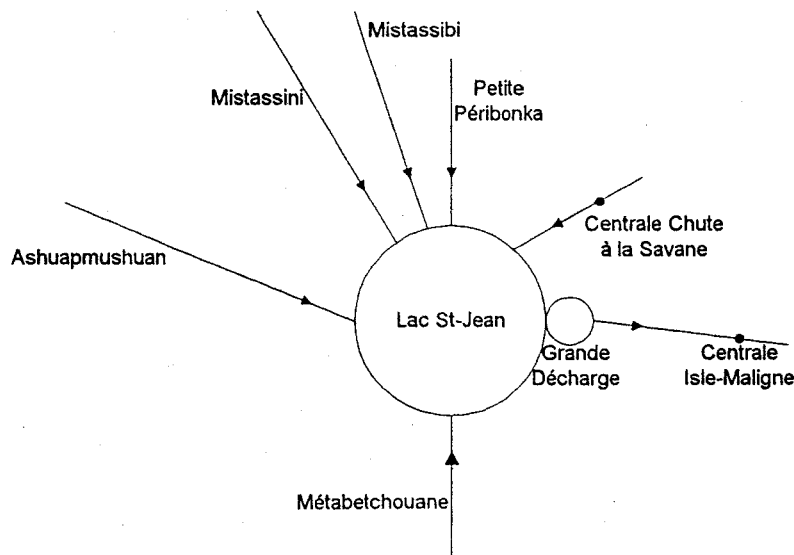


Figure 1 Illustration du lac St-Jean et de ses affluents majeurs

2.4 Sous-projet D: Examen de la cohérence de la méthode d'estimation de N_r (sous-projet C) à partir des calculs de N_r (sous-projet A)

Tout comme le sous-projet C, la méthodologie appliquée ici au lac St-Jean est transposable.

De manière générale, la méthode d'estimation des niveaux en temps réel reproduit fidèlement la tendance mais, toutefois, en raison de sa nature itérative, elle conduit à une addition des imprécisions. À partir d'un niveau initial, le niveau estimé peut s'écarter du niveau observé après quelques heures. Le même phénomène est observé pour le cumul successif d'une variable indépendante qui suit une distribution normale $N(0, \sigma^2)$. Ainsi, même si la méthode est adéquate, les estimations peuvent s'écarter des valeurs observées avec le temps.

On dispose, pour un même réservoir, des données horaires suivantes:

- le niveau représentatif basé sur les niveaux observés (sous-projet A);
- le niveau estimé basé sur le débit des rivières (sous-projet D).

Pour un réservoir donné, la qualité du calcul du niveau représentatif dépend de la variabilité des mesures horaires aux jauges du réservoir. Lorsque toutes les jauges donnent la même mesure, le niveau représentatif correspond, avec une forte probabilité, au niveau réel du réservoir. Cela est d'autant plus vrai que la disposition des limnimètres sur le lac St-Jean est triangulaire. Également, en présence de vents faibles, la surface du lac est peu perturbée et le niveau représentatif a une probabilité accrue d'être égal au niveau réel. Ainsi, dans le présent travail, un niveau fiable est défini comme étant le niveau représentatif du réservoir lorsque la lecture des trois jauges du lac St-jean situées à Roberval, St-Gédéon et St-Henri ne diffère de pas plus de 1 cm (précision de mesure de l'appareil) et que la vitesse du vent est inférieure à 15 km/h. Naturellement, la définition d'un niveau fiable peut varier d'une situation à l'autre et d'un réservoir à l'autre en fonction de la précision des appareils de mesure et des conditions météorologiques.

Les valeurs fiables des niveaux observés sont utilisées afin d'effectuer un réajustement en temps différé des niveaux estimés. Une telle approche permet de garantir une plus grande cohérence de la méthode d'estimation des niveaux. La technique employée consiste à corriger les niveaux estimés de façon linéaire afin de les faire correspondre aux niveaux fiables.

2.5 Sous-projet E: Prévion des apports non contrôlés à Chute du Diable à partir des débits des rivières Serpent et Manouane

L'objectif du sous-projet E est d'examiner la méthode de prévision des apports non contrôlés actuellement utilisée par Alcan et de fournir des recommandations pour la prévision des apports non contrôlés à Chute du Diable. Ce projet a été divisé en trois étapes:

1) Examen de la méthode employé par Alcan

La méthode de prévision développée par Alcan utilise l'information fournie par les débits des rivières Manouane et Serpent situées dans le bassin de Chute du Diable et d'une rivière voisine, la Petite Péribonka. Les mesures de débit sont généralement beaucoup plus fiables que les données d'apports non contrôlés calculés par bilan hydrique, ce qui explique le choix de cette variable.

Le modèle mathématique de prévision est basé sur une régression multiple (Neter *et al.*, 1989) avec des contraintes sur les coefficients. Les contraintes imposées aux coefficients

de la régression ont pour but d'assurer leur sens physique (coefficients positifs et inférieurs à 10). L'estimation des coefficients est effectuée chaque jour et est basée sur une méthode numérique impliquant un nombre important de calculs. Dans cette étape, nous avons développé une méthode d'estimation des coefficients plus simple et plus rapide que celle actuellement employé à Alcan, ce qui a conduit à une amélioration du temps de calcul de la procédure utilisée.

2) Examen du temps de cheminement de l'eau

Les stations mesurant le débit des rivières Manouane et Serpent sont éloignées du site Chute du Diable. En effet, la distance séparant les stations des rivières Manouane et Serpent de Chute du Diable est respectivement de 158 km et de 124 km.

Une étude de trois séries témoins de données de débit et d'apport (1992 à 1993) et des travaux antérieurs effectués sur ce sujet (Jolly; 1979) indique que le temps de cheminement moyen de l'eau entre les stations des rivières Manouane et Serpent est respectivement de 22 et 18 heures.

Une étude a été également entreprise afin de tenter de relier le temps de cheminement de l'eau avec d'autres variables (apport, débit déversé, etc...). Cependant, aucun lien significatif n'a pu être établi entre ces variables.

3) Application de la méthode du sous-projet D à Chute du Diable

La méthode d'estimation de l'apport non contrôlé au lac St-Jean développée dans sous-projet D pour le lac St-jean a été transposée au bassin de Chute du Diable. Cette méthode a été appliquée aux trois séries témoins utilisées à l'étape 2. Les résultats obtenus par cette méthode sont comparables à ceux de la méthode régressive utilisée actuellement à Alcan

3. Résumé des travaux restant à accomplir

Toutes les étapes du projet, définies dans la demande de subvention initiale, ont été réalisées en respectant les échéances et l'ensemble des objectifs du projet ont été atteints. Une version préliminaire des rapports scientifiques décrivant en détails les résultats de recherche associés à chacun des sous-projets a été envoyée à Alcan dans le courant de l'été. Dès que les commentaires et suggestions des chercheurs d'Alcan qui ont collaborés au projet nous parviendront, nous rédigerons une version finale de ces rapports (date prévue: fin novembre).

4. Utilisations futures des résultats de la recherche

Pour Alcan, il est indispensable de connaître avec un maximum de précision les données hydrologiques utilisées tant pour établir l'inventaire des réserves hydriques que pour planifier la production hydroélectrique à court et moyen terme ou pour respecter les contraintes de sécurité de la population.

La validation des niveaux des réservoirs réalisée dans ce projet permet aux gestionnaires d'Alcan d'avoir une meilleure évaluation des ressources hydriques disponibles sur une base de temps horaire et en temps réel. De plus, en travaillant à partir de données de base de bonne qualité, les hydrologues de l'entreprise obtiendront des résultats plus représentatifs et fiables lors de l'utilisation de leurs modèles hydrologiques déterministes.

Tout au long du projet, un stagiaire à Alcan avait pour fonction d'effectuer une implantation préliminaire des méthodes développées dans ce projet sur l'ordinateur VAX du groupe Ressources hydrauliques. Une implantation plus raffinée des procédures de validation mises au point dans ce projet sera accomplie par les informaticiens d'Alcan dans un proche avenir et elles seront alors utilisées sur une base régulière.

5. Difficultés survenues pendant la conduite du projet

Nous n'avons rencontré aucun problème particulier au cours du projet. Avant d'entreprendre ce projet de partenariat, l'équipe de l'INRS-Eau entretenait déjà une collaboration privilégiée avec les membres du groupe Ressources hydrauliques d'Alcan. Ceci nous a permis d'éviter les problèmes d'intégration de deux équipes provenant d'horizons différents.

6. Commentaires sur l'expérience et sur ses bénéfices

L'expérience a été très positive tant sur le plan scientifique que sur le plan humain. La mise sur pied de ce projet a permis de raffermir la collaboration que notre équipe entretenait déjà avec Alcan. En effet, au cours du projet, deux nouveaux contrats de recherche portant sur l'ajustement des valeurs extrêmes respectivement d'apport non contrôlé et de précipitation ont été élaborés et sont en cours de réalisation. De plus, un étudiant de 3^e cycle de notre groupe (Stéphane Lapointe) effectue actuellement son travail de recherche en collaboration avec Alcan dans le cadre d'une bourse de partenariat CRSNG-Alcan.

La méthodologie développée dans ce travail est générale et peut être transposée à d'autres réservoirs et adaptée à d'autres variables hydrométéorologiques, c'est pourquoi nous entendons en favoriser la diffusion. Ainsi, une présentation des résultats de recherche issus de ce projet aura lieu à la 49^e conférence annuelle de l'Association canadienne des ressources hydriques (ACRH) en juin 1996 à Québec. La diffusion des résultats obtenus se fera également par le biais de la publication d'un article scientifique rédigé en collaboration avec les chercheurs d'Alcan.

7. État des dépenses

SUBVENTION POUR L'ANNÉE 1994 - 1995	34 612.00 \$
DÉPENSES (PÉRIODE DU 1 ^{er} SEPTEMBRE 1994 AU 31 AOÛT 1995)	
Salaire et avantages sociaux	16 240.42 \$
Étudiants de 2 ^e et 3 ^e cycle	10 750.00 \$
Appareillage	5 608.14 \$
Équipement, fourniture et autres dépenses	1 827.49 \$
Frais de déplacement	185.95 \$
TOTAL	34 612.00 \$
SOLDE	0.00 \$

8. Liste des publications réalisées dans le cadre du projet

Rapports de recherche

Comme on l'a indiqué (point 3), une version préliminaire de ces rapports a déjà été fournie à Alcan et nous prévoyons en produire une version finale pour la fin novembre 1995.

HACHÉ, M., B., LAROUCHE, L., PERREAULT et B., BOBÉE (1995). Validation en temps réel des niveaux des réservoirs et des débits des rivières. INRS-Eau, Rapport de recherche R-451, En cours de rédaction.

HACHÉ, M., B., LAROUCHE, L., PERREAULT et B., BOBÉE (1995). Procédure de calcul en temps réel du niveau représentatif d'un réservoir. INRS-Eau, Rapport de recherche R-452, En cours de rédaction.

HACHÉ, M., B., LAROUCHE, L., PERREAULT et B., BOBÉE (1995). Méthodologie d'estimation en temps réel des données non disponibles de débit horaire. INRS-Eau, Rapport de recherche R-453, En cours de rédaction.

HACHÉ, M., B., LAROUCHE, L., PERREAULT et B., BOBÉE (1995). Méthodologie d'estimation en temps réel des niveaux horaires des réservoirs. INRS-Eau, Rapport de recherche R-454, En cours de rédaction.

HACHÉ, M., B., LAROUCHE, L., PERREAULT et B., BOBÉE (1995). Prévion des apports non contrôlés à Chute du Diable. INRS-Eau, Rapport de recherche R-455, En cours de rédaction.

Conférence

HACHÉ, M., et B. LAROUCHE (1996). Validation des niveaux en temps réel. 49e Conférence annuelle de l'Association canadienne des ressources hydriques (ACRH), Session INRS-Eau.

9. Bibliographie

ALLERUP P., H. MADSEN et J. RIIS (1982). Methods for Calculating Areal Precipitation - Applied to the Susa-Catchment. *Nordic Hydrology*, 13, pp 263-278.

BATES, J.M. et C.W.J. GRANGER (1969). The combination of forecast. *Op. Res. Quart.*, 20(4), pp. 451-468.

CHIDLEY, T.R.E. et K.M. KEYS (1970). A Rapid Method of Computing Areal Rainfall. *Journal of Hydrology*, 12(1), pp. 15-24.

DINSKIN M.H. (1969). Thiessen Coefficients by a Monte Carlo Procedure. *Journal of Hydrology*, 8(3), pp. 323-335.

DINSKIN M.H. (1970). On the Computer Evaluation of Thiessen Weights. *Journal of Hydrology*, 11(1), pp. 69-78.

- JOLLY, J.P. (1979). Determination of Flow Travel Times From Chute-des-Passes to Chute du Diable, Peribonca River. Shawinigan, Report 5829-00-1-79.
- LINSLEY, R.K., M.A. KOHLER et J.L.H. PAULHUS (1958). *Hydrology for Engineers*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, New York, pp. 34-47.
- MCGUINNESS, J.L. et L.L. HAROLD (1965). Role of Storm Surveys in Small Watershed Research. *Water Resources Research*, 1(2), pp. 219-222.
- NETER, J., W. WASSERMAN et M.H. KUTNER (1989). *Applied Linear Regression Models*. Irwin, Homewood, Illinois, 667 pp.
- PENTLAND, R.L. et D.R. CUTHBERT (1971). Operational Hydrology for Ungaged Streams by the Grid Square Technique. *Water Resources Research*, 8(2), pp. 283-291.
- PERREAULT, L., R. ROY, B. BOBÉE et L. MATHIER (1991). *Validation et estimation des apports journaliers*. Rapport scientifique no 217, INRS-Eau, Université du Québec, 20 pp.
- SHERMAN, R.J. (1975). Computer quality control of daily and monthly rainfall data. *Meteorological Magazine*, 104, pp.102-108.
- SINGH, V.P. et P.K. CHOWDHURY (1986). Comparing some method of estimating mean areal rainfall. *Water Resources Bulletin*, 22(2), pp.275-282.
- UNESCO (1981). *Methods of computation of the water balance of large lakes and reservoirs - Volume I - Methodology*. Edited by H.L. Ferguson and V.A. Znamensky, 122 pp.
- UNWIN, D.J. (1969). The Areal Extension of Rainfall Records: An Alternative Model. *Journal of Hydrology*, 7, pp. 404-414.
- WINKLER, R.L. et S. MAKDRIDAKIS (1983). The combination of forecasts. *J. R. Statist. Soc. A*, 146, pp. 150-157.