*Prévision des apports naturels par le
modèle HYDROTEL sur les bassins
d'Hydro-Québec*

**Prévision des apports naturels par le modèle HYDROTEL
sur les bassins d'Hydro-Québec**

Proposition à Hydro-Québec

par

Jean-Pierre Fortin
et
Monique Bernier

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

2 décembre 1998

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	i
1. INTRODUCTION	1
2. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 1999	2
2.1 Étalonnage du modèle hydrologique HYDROTEL sur le bassin de la rivière Saint-Maurice	2
2.1.1 ● L'acquisition et la validation des données descriptives du bassin	2
2.1.2 ● L'acquisition et la validation des données hydrométriques et météorologiques	2
2.1.3 ● La préparation de la base de données de bassin	2
2.1.4 ● L'obtention d'informations quantitatives sur tous les barrages	2
2.1.5 ● L'étalonnage du modèle HYDROTEL	3
2.1.6 ● Une comparaison des prévisions en temps réel fournies par HYDROTEL avec celles obtenues avec le modèle actuel d'Hydro-Québec	3
2.1.7 ● Rapports	3
2.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec	4
2.2.1 ● L'acquisition des données en temps réel	4
2.2.2 ● L'intégration des prévisions météorologiques	4
2.2.3 ● Le développement d'une procédure de mise à jour de la distribution spatiale des équivalents en eau du couvert de neige et de l'humidité du sol	4
2.2.4 ● Rapport	5
2.3 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec	6
2.3.1 Accélération de la détermination des directions d'écoulement dans les zones plates ..	6
2.3.2 Identification plus facile des lacs et réservoirs à l'aide du réseau hydrographique numérisé et d'images TM	6
2.3.3 ● Rapport	7
3. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 2000	8
3.1 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec	8
3.1.1 ● L'utilisation des données de précipitation en provenance des radars météorologiques	8
3.1.2 ● Le développement d'une procédure de répartition au pas de temps désiré des données météorologiques bi-journalières des stations avec observateurs	8
3.1.3 ● La gestion des barrages en temps réel	9
3.1.4 ● Le développement d'une procédure de simulation de l'effet des embâcles sur les débits en amont et en aval du point d'embâcle	9

3.1.5 ● La production d'informations hydrologiques supplémentaires sur les possibilités d'inondations	9
3.1.6 ● Les informations fournies à chaque prévision	10
3.1.7 ● Traitement des lacs à double exutoire	10
3.1.8 ● Rapports	10
3.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec	11
3.2.1 ● Intégration des algorithmes permettant l'intégration des informations en provenance du modèle numérique d'altitude, du réseau hydrographique numérisé et des images TM en vue d'une détermination plus rapide et précise du sens de l'écoulement sur le sol et dans les plans d'eau	11
3.2.2 ● Prise en compte des modifications à la direction des écoulements en rivières produites par les détournements de rivières à l'aide de digues	11
3.2.3 ● Traitement des lacs à double exutoire	11
3.2.4 ● Rapport	12
4. PERSONNEL AFFECTÉ AU PROJET	13
5. ESTIMÉ DES COÛTS ASSOCIÉS À LA RÉALISATION DU PROJET	14
5.1 Informations sur les coûts	14
5.1.1 Les coûts associés au salaire du personnel	14
5.1.2 Les coûts associés à l'achat de données de base	14
5.1.3 Les coûts associés aux frais de secrétariat et de fournitures et matériels divers	14
5.1.4 Les coûts associés à l'achat d'un ordinateur dédié au projet	14
5.2 Résumé des coûts pour les activités reliées au projet	15
6. ÉCHÉANCIER	17
ANNEXE	18

1. INTRODUCTION

Suite aux discussions des dernières années sur l'opportunité d'utiliser un modèle hydrologique distribué pour effectuer les prévisions hydrologiques d'apports naturels sur les bassins versants servant à la production d'électricité par Hydro-Québec, le service Prévisions et Ressources Hydriques d'Hydro-Québec a demandé à l'INRS-Eau de lui faire une proposition concernant l'utilisation du modèle hydrologique distribué HYDROTEL. Cette proposition constitue la réponse de l'INRS-Eau à cette demande.

Les activités proposées sont réparties sur deux années budgétaires d'Hydro-Québec. L'échéancier de réalisation correspond à la compréhension que nous avons présentement des priorités d'Hydro-Québec concernant l'implantation d'HYDROTEL sur les bassins d'Hydro-Québec. Suite à la première année du projet et aux activités complémentaires réalisées par l'IREQ pour le service Prévisions et Ressources Hydriques, les activités prévues pour l'année suivante du projet, de même que son échéancier pourront être revus. Ainsi, certaines activités pourront être remplacées ou modifiées et d'autres pourront être ajoutées. Nous pensons en particulier à l'accélération de l'implantation d'HYDROTEL sur de nouveaux bassins versants, en fonction des résultats obtenus précédemment, des budgets disponibles et des priorités du service.

Au cours de la première année, le modèle HYDROTEL sera étalonné sur le bassin de la rivière Saint-Maurice et les premières modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec seront réalisées. En outre, une comparaison des résultats de simulation et de prévision obtenus par HYDROTEL, lors de divers événements hydrologiques sur les sous-bassins de la rivière Saint-Maurice, et des résultats obtenus avec le modèle actuel d'Hydro-Québec sera effectuée. Cette comparaison visera, en particulier, à évaluer à partir de quand la prévision effectuée avec un modèle distribué n'est pas significativement meilleure que celle fournie par un modèle global. Enfin, des améliorations seront faites au logiciel PHYSITEL afin de faciliter la préparation de la base de données sur les bassins d'Hydro-Québec.

La seconde année permettra de réaliser les activités portant sur l'intégration d'HYDROTEL dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec. Les activités proposées viseront aussi à compléter les besoins d'Hydro-Québec en matière de prévisions hydrologiques. Il en sera de même pour PHYSITEL, en ce qui a trait à la préparation des bases de données.

Mentionnons, enfin, que d'autres activités complémentaires pourraient être ajoutées à celles qui sont proposées. Ainsi, en 2001 nous pourrions implanter HYDROTEL sur un second bassin, en plus de compléter les manuels et l'aide contextuelle pour l'utilisateur. L'entraînement du personnel serait aussi prévu au cours de cette année. Tel que mentionné plus haut, l'implantation d'HYDROTEL sur un second bassin pourrait aussi se faire au cours de la seconde année, en remplacement de certaines des activités prévues en 2000 ou avec un budget plus élevé pour cette année. Comme activités complémentaires, nous pensons aussi à l'estimation de la distribution spatiale des précipitations à l'aide d'images satellitaires et à leur répartition entre précipitation liquide et précipitation solide.

2. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 1999

2.1 Étalonnage du modèle hydrologique HYDROTEL sur le bassin de la rivière Saint-Maurice

L'objectif visé est d'étalonner le modèle HYDROTEL afin de d'estimer les apports naturels sur divers sous-bassins de la rivière Saint-Maurice. Les activités prévues dans cette section comprennent la rédaction d'un rapport et portent sur:

2.1.1 ● L'acquisition et la validation des données descriptives du bassin

Il s'agit ici d'un modèle numérique d'altitude, du réseau hydrographique numérique, d'images TM pour l'occupation du sol, de cartes sur papier pour la distribution spatiale des types de sol (à moins que des cartes numériques facilement utilisables ne soient disponibles).

2.1.2 ● L'acquisition et la validation des données hydrométriques et météorologiques

Il s'agit ici des données nécessaires à l'étalonnage du modèle HYDROTEL sur le bassin de la rivière Saint-Maurice. Le pas de temps de prévision désiré par Hydro-Québec est de six (6) heures.

Selon nos informations, le format actuel d'acquisition de données météorologiques en temps réel du ministère de l'Environnement et de la Faune et d'Hydro-Québec sera remplacé par un nouveau format et une structure plus moderne de transmission qui devraient être opérationnels au printemps 1999. En plus des données horaires qui seront normalement disponibles, après mise à jour tous les trois (3) heures, le nouveau système permettra aussi l'accès aux données bi-journalières des observateurs des stations climatologiques du ministère. Il semble, par ailleurs, que les données sur les débits ne seront disponibles qu'après un décalage de plusieurs heures.

Dans notre proposition, nous supposons que les données seront disponibles dans la base de données sur ORACLE d'Hydro-Québec. La procédure de lecture et de stockage des données adoptée dans HYDROTEL sera donc revue en conséquence (activité 2.2.1).

Enfin, le réseau de stations retenu pour l'étalonnage du modèle sera choisi en fonction des stations qui seront disponibles pour les prévisions.

2.1.3 ● La préparation de la base de données de bassin

Cette base de données décrivant la structure hydrologique, l'occupation du territoire et les types de sol sur le bassin de la rivière Saint-Maurice sera préparée à l'aide du logiciel PHYSITEL.

2.1.4 ● L'obtention d'informations quantitatives sur tous les barrages

Des informations quantitatives sur les barrages susceptibles d'affecter les débits sur le bassin (position, relation niveau-débit, règles de gestion,...) devront être obtenues et intégrées.

2.1.5 ● L'étalonnage du modèle HYDROTEL

Le modèle hydrologique HYDROTEL sera étalonné sur le bassin étudié. Cet étalonnage comprendra en particulier la sélection et la préparation de la base de données hydrologiques et météorologiques utilisées, la détermination des caractéristiques quantitatives des classes d'occupation du territoire et des types de sol et l'étalonnage proprement dit, à un pas de temps de six (6) heures.

Nous évaluerons en particulier la capacité du réseau météorologique fonctionnant au pas de temps horaire à bien représenter la distribution spatiale des précipitations.

En outre, si la période de disponibilité de données horaires fiables n'est pas suffisamment longue pour assurer un bon étalonnage du modèle au pas de temps choisi, nous devrons aussi utiliser les données journalières disponibles à ces stations, ces dernières données étant normalement disponibles sur de plus grandes périodes et permettant d'étalonner le modèle à l'aide de données plus représentatives du régime hydrologique sur le bassin étudié. Ces données sont d'autant plus importantes que le but recherché est de pouvoir simuler les débits de crue avec la plus grande précision possible.

Comme un certain nombre de barrages importants sur la rivière Saint-Maurice affectent les débits en aval, nous devons en priorité étalonner le modèle sur les sous-bassins pour lesquels des débits en conditions naturelles seront disponibles et suffisamment précis. Par la suite, le modèle ainsi étalonné sera appliqué sur les sous-bassins intermédiaires entre deux barrages importants et pour lesquels les débits estimés sont moins précis. Un ajustement plus fin des paramètres sera alors fait au besoin.

2.1.6 ● Une comparaison des prévisions en temps réel fournies par HYDROTEL avec celles obtenues avec le modèle actuel d'Hydro-Québec

Une fois le modèle étalonné sur le bassin, nous nous assurerons par des simulations et des tests de prévision que tout fonctionne parfaitement bien en temps réel, de l'acquisition des données avec des données manquantes ou non à la fourniture des apports naturels pour les sous-bassins désirés.

Des tests de prévisions pour des événements divers et pour différentes échéances allant jusqu'à un nombre de jours définis conjointement avec Hydro-Québec seront alors effectués, afin de déterminer si un modèle distribué peut fournir des prévisions plus précises que l'actuel modèle global utilisé par Hydro-Québec et si oui, à partir de quel moment un modèle distribué ne peut fournir des résultats plus précis.

2.1.7 ● Rapports

Un rapport portant sur les activités 2.1.1 à 2.1.5 sera présenté en juin 1999 et un second en novembre 1999, suite à la comparaison des résultats obtenus avec le modèle HYDROTEL et le modèle d'Hydro-Québec.

2.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec

2.2.1 ● L'acquisition des données en temps réel

Dans notre proposition, nous supposons que les données seront disponibles dans la base de données sur ORACLE d'Hydro-Québec. La procédure de lecture et de stockage des données adoptée dans HYDROTEL sera donc revue en conséquence, afin de déterminer et réaliser les modifications les plus adéquates.

Cette partie demandera tout d'abord la vérification des formats de stockage des données dans la base de données en vue de la préparation de prévisions en temps réel, l'écriture d'un nouveau module de lecture automatique des données météorologiques (et hydrométriques) et d'intégration de ces données dans la base de données météorologiques (et hydrométriques) interne du modèle HYDROTEL. Tel que mentionné plus haut, nous verrons aussi s'il y a lieu de modifier la structure actuelle de stockage des informations dans HYDROTEL afin d'optimiser la lecture et le traitement des données.

Comme le modèle devra aussi être étalonné sur les différents bassins d'Hydro-Québec, il faudra en outre nous assurer de pouvoir lire les données appropriées dans la base de données d'Hydro-Québec. En d'autres termes, il faudra être en mesure de lire tous les formats nécessaires pour l'étalonnage et l'utilisation opérationnelle du modèle.

2.2.2 ● L'intégration des prévisions météorologiques

En vue de produire des prévisions valables pour des durées plus longues, il faudra revoir au besoin avec Hydro-Québec les détails de la transformation des prévisions météorologiques en données quantitatives de précipitations et de températures au pas de temps désiré en fonction de leur utilisation dans un modèle hydrologique distribué, et prévoir un mode facile d'intégration de ces informations aux données observées comportant une interface d'édition très conviviale.

2.2.3 ● Le développement d'une procédure de mise à jour de la distribution spatiale des équivalents en eau du couvert de neige et de l'humidité du sol

Lorsqu'un modèle hydrologique est bien étalonné et que les données d'entrée sont représentatives, la mise à jour des variables d'état à des fins de prévisions n'est pas absolument nécessaire. Toutefois, les données d'entrée ne sont pas toujours représentatives et la possibilité de mise à jour des valeurs des variables d'état peut s'avérer très précieuse au moment de la prévision.

On vise donc à mettre à jour l'équivalent en eau du couvert de neige au sol à l'aide des données ponctuelles fournies par le réseau nivométrique du Québec, données qui ne sont recueillies que quelques fois entre les mois de février et avril, et de la cartographie de l'équivalent en eau produite à partir d'images RADARSAT traitées par le logiciel EQeau. Il faudra, en particulier, pouvoir lire les différentes données qui serviront à mettre à jour la cartographie des équivalents en eau du

couvert nival estimée par le modèle à l'aide des données aux stations météorologiques. De plus, une procédure de mise à jour basée sur les données aux stations de lignes de neige ainsi que sur la cartographie des équivalents en eau fournies par le logiciel EQeau sera développée. Cette procédure de mise à jour sera particulièrement précieuse pour la prévision de la crue de printemps résultant de la fonte de la neige.

De plus, afin de mieux prévoir certaines crues, particulièrement en été, il importe d'avoir une estimation suffisamment précise de l'humidité du sol au moment d'effectuer la simulation et d'émettre la prévision. Une mauvaise distribution de l'humidité du sol dans les jours précédant le moment d'une prévision se traduira, en particulier, par des débits simulés pour ces mêmes jours nettement différents des débits observés. Encore ici, la précision de la distribution spatiale de l'humidité du sol, telle que simulée par le modèle, est tributaire de la représentativité des précipitations aux stations météorologiques. Nous souhaitons donc établir une procédure de mise à jour de l'humidité du sol basée sur une modification des précipitations observées aux stations au cours des jours précédant le moment de la prévision, lorsque l'écart entre débits simulés et observés sera trop grand.

2.2.4 ● Rapport

Un rapport portant sur les activités 2.2.1 à 2.2.3 sera présenté en juin 1999.

2.3 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec

Le dernier rapport remis à Hydro-Québec sur le "Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT¹" comportait la détermination des sous-bassins versants de LG4, Laforge et Caniapiscau. En dépit des difficultés rencontrées (énormes zones plates constituées en particulier par les réservoirs, discontinuités aux limites des feuillets cartographiques,...), PHYSITEL s'est très, très bien comporté. Toutefois, il y aurait lieu d'accélérer encore la rapidité d'exécution des algorithmes en plus de compléter l'intégration dans PHYSITEL d'autres algorithmes permettant de mettre à profit les informations sur le réseau hydrographique numérisé pour déterminer le sens des écoulements. Ceci est particulièrement nécessaire sur les bassins sur lesquels il y a eu des additions de superficies par des digues. De plus, en considérant qu'HYDROTEL sera progressivement appliqué sur les bassins d'Hydro-Québec, ces modifications faciliteront et accéléreront la préparation de la base de données sur chaque bassin, donc leur coût sera compensé par une diminution du coût nécessaire à la préparation de ces bases de données, après les modifications requises à PHYSITEL.

Ces modifications débuteront en 1999 et se poursuivront l'année suivante.

2.3.1 Accélération de la détermination des directions d'écoulement dans les zones plates

PHYSITEL permet déjà de très bien déterminer les orientations d'écoulement dans les zones plates, en plus de permettre la correction informatisée de bon nombre d'orientations erronées. Les résultats obtenus sur les sous-bassins en amont du barrage de LG4 le prouvent. Il reste toutefois que les calculs ont été très longs et que certaines des interventions de l'utilisateur auraient pu être évitées si les algorithmes nécessaires avaient déjà été inclus dans PHYSITEL.

Nous avons déjà noté des modifications aux algorithmes qui accéléreraient le processus de détermination des orientations dans les très grandes zones plates. Nous comptons donc effectuer ces modifications, en plus d'ajouter de nouveaux algorithmes facilitant ou remplaçant les interventions de l'utilisateur.

2.3.2 Identification plus facile des lacs et réservoirs à l'aide du réseau hydrographique numérisé et d'images TM

La représentation vectorielle du réseau hydrographique numérisé ne permet pas toujours de bien identifier les lacs et réservoirs, même quand les contours sont bien fermés. Comme les informations en provenance d'images TM sont déjà utilisées dans PHYSITEL pour déterminer la variation spatiale de l'occupation du sol sur les bassins, l'information spatiale concernant les étendues d'eau (pixels

---

¹Bernier, M., J.P. Fortin, Y. Gauthier, R. Turcotte et A. Royer. 1998. Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT. Rapport d'étape pour le Service Prévisions et Ressources Hydriques d'Hydro-Québec. Rapport de recherche no. 523c, 30 septembre. 45p.

classés comme "eau") peut être utilisée, en complémentarité avec les données vectorielles, pour aider à bien identifier les lacs et réservoirs. Nous comptons donc intégrer les informations en provenance du réseau hydrologique numérique et les informations sur les étendues et les cours d'eau tirées des images TM afin de mieux identifier les étendues et cours d'eau dans PHYSITEL. Ceci est particulièrement important pour les bassins d'Hydro-Québec situés dans le nord du Québec qui comptent un nombre impressionnant de lacs et réservoirs. Dans ce cas, il est impensable de distinguer toutes les surfaces d'eau importantes par rapport à des zones de sol relativement horizontales, leur rôle hydrologique étant très différents. La méthodologie que nous comptons développer comprendra la possibilité d'une identification interactive des lacs, dans les cas où l'identification est problématique sans une intervention de l'utilisateur, ainsi que le contrôle interactif des résultats.

2.3.3 ● Rapport

Un rapport portant sur les activités 2.3.1 et 2.3.2 sera présenté en novembre 1999.

3. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 2000

3.1 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec

3.1.1 ● L'utilisation des données de précipitation en provenance des radars météorologiques

Il existe actuellement quelques radars météorologiques (Carp, Sainte-Anne-de-Bellevue et Villeroy) dont les données peuvent être utilisées pour fournir une distribution spatiale des précipitations sur le Québec, dans un rayon acceptable de 120km. Les radars "voient" les précipitations jusqu'à disons 250km, mais au-delà de 120km le faisceau commence à être trop haut au-dessus du sol pour fournir des estimations fiables. Pour les bassins d'Hydro-Québec situés en partie dans les zones couvertes par les radars, il serait intéressant d'intégrer les informations fournies par ces derniers aux informations ponctuelles des stations météorologiques afin de pouvoir mieux estimer les précipitations.

Pour les prévisions, il faudra donc que nous disposions des données en temps réel. Par ailleurs, comme les données des radars météorologiques sont estimées au départ pour des pas de temps inférieurs à l'heure et n'ont pas, selon nos informations, un étalonnage suffisamment précis pour des applications hydrologiques, il faudra éliminer les échos anormaux, parfaire leur étalonnage à l'aide des données en provenance des stations au sol et les cumuler pour correspondre au pas de temps utilisé pour les prévisions hydrologiques.

Dans le cadre de ce projet, nous supposerons que les données en provenance des radars météorologiques ont été corrigées et étalonnées préalablement. Nous verrons essentiellement à intégrer l'information fournie par les radars météorologiques à notre méthodologie de répartition spatiale des précipitations. En d'autres termes, pour les parties d'un bassin couvertes par les données en provenance d'un radar météorologique, nous comptons remplacer les valeurs de précipitations estimées par interpolation à partir des stations météorologiques par les valeurs estimées par radar, en contrôlant l'étalonnage aux stations météorologiques.

3.1.2 ● Le développement d'une procédure de répartition au pas de temps désiré des données météorologiques bi-journalières des stations avec observateurs

Le nouveau système de collecte et de transmission de données météorologiques en cours de développement devant aussi fournir deux fois par jour les données des stations climatologiques disponibles, nous souhaitons ajouter les données en provenance de ces stations sur les bassins où le réseau des stations fournissant des données horaires n'est pas suffisant pour bien représenter la variabilité spatiale des précipitations. Dans ce cas, leur apport pourrait être crucial pour obtenir une meilleure représentativité de la variation spatiale des précipitations.

Le modèle hydrologique HYDROTEL peut actuellement fonctionner avec des données horaires ou journalières, ces types de données étant les seules disponibles jusqu'à maintenant. Il faudra donc ajouter une procédure de lecture des données des stations climatologiques qui seront transmises deux fois par jour et, surtout, développer une procédure d'intégration des deux types de données, procédure basée sur la répartition dans le temps des données aux stations climatologiques à l'aide des données horaires des stations les plus rapprochées fournissant des données horaires. Finalement, les données seront intégrées dans le temps selon le pas de temps sélectionné.

3.1.3 ● La gestion des barrages en temps réel

Une fois les informations sur les opérations de barrages acquises en temps réel, il faut prévoir l'intégration de ces informations à la prévision pour effectuer l'estimation des hauteurs d'eau en amont des ouvrages et des débits en aval. Rappelons qu'il ne s'agit pas ici des barrages opérés par Hydro-Québec pour la production d'électricité mais des autres barrages possiblement situés sur les bassins d'Hydro-Québec et qui pourraient avoir une influence sur les apports naturels.

3.1.4 ● Le développement d'une procédure de simulation de l'effet des embâcles sur les débits en amont et en aval du point d'embâcle

Un modèle hydrologique ne permet pas de prévoir les embâcles. Toutefois, il est possible dans un modèle comme HYDROTEL de simuler l'effet d'un embâcle sur les débits en vue de mieux prévoir la production d'une inondation en amont d'un embâcle.

La procédure prévue sera basée sur les informations fournies sur les caractéristiques des embâcles et une évaluation de leur effet (position exacte de l'embâcle sur la rivière, pourcentage du débit amont bloqué, dimensions,...). La procédure devra aussi pouvoir faciliter la modification des caractéristiques des embâcles avec le temps, ainsi que leur nombre et leur position.

3.1.5 ● La production d'informations hydrologiques supplémentaires sur les possibilités d'inondations

Le modèle HYDROTEL peut fournir les débits prévus tout le long d'une rivière. Ces informations sont déjà très importantes pour juger des menaces potentielles de crues. Il est toutefois possible de convertir ces débits en informations sur les lames d'eau disponibles, sur les niveaux atteints et sur la zone pouvant être inondée. Dans ce qui suit, nous proposons deux options:

3.1.5.1 ■ Si les sections en travers aux points de prévision sont connues, les débits peuvent être convertis en niveaux d'eau en considérant une section en travers quelconque permettant une estimation plus précise des débits, avec établissement d'une cote d'alerte et estimation d'une largeur approximative d'inondation.

3.1.5.2 ■ Si l'on peut compter sur un modèle numérique d'élévation plus précis pour la plaine inondable des bassins versants, l'estimation approximative des zones inondées pourra s'étendre sur l'ensemble des cours d'eau du bassin. On pourra voir d'un seul coup d'oeil toutes les zones inondées sur un bassin versant avec la possibilité d'effectuer un "zoom" sur chacune de ces zones pour avoir plus de détails.

3.1.6 ● Les informations fournies à chaque prévision

La détermination des différentes informations qui devront être fournies lors de chaque prévision devra aussi être décidée en collaboration avec Hydro-Québec. Cette activité comprend en particulier la sélection des points de prévision, le choix des variables désirées, la forme d'information (tableaux, graphiques et leur complexité), le degré d'interactivité et de souplesse de la procédure et le mode de transmission des informations pour utilisation dans les autres logiciels d'Hydro-Québec. L'objectif visé est de fournir les informations spécifiques désirées pour répondre le mieux possible aux besoins exprimés en temps réel.

3.1.7 ● Traitement des lacs à double exutoire

La structure d'écoulement actuellement implantée dans HYDROTEL et à la base de toute définition de bassin versant à partir de modèles numériques d'altitude (MNA) suppose des écoulements convergeant vers l'exutoire, unique par définition, du bassin versant. Les lacs à double exutoire produisent, au contraire, des écoulements divergeants à leur sortie.

Il devient donc nécessaire, en fonction du niveau atteint dans chaque lac pouvant avoir deux exutoires, de modifier la structure d'écoulement en rivière dans HYDROTEL afin de tenir compte de ces possibilités. Cela veut dire en particulier de déterminer à chaque pas de temps si les lacs identifiés comme pouvant avoir deux exutoires, ont atteint le niveau au-dessus duquel le deuxième exutoire entre en action, d'estimer les débits sortant de chaque exutoire, de considérer comme perdu pour le bassin tout débit sortant du deuxième exutoire vers un autre bassin et, enfin, de tenir compte du changement de sens de l'écoulement pour une certaine partie du sous-bassin, lorsque le deuxième exutoire ne fait que provoquer un autre chemin vers l'exutoire du sous-bassin.

Rappelons que l'identification des lacs pouvant avoir un double exutoire et l'étude des effets de ces exutoires sur les écoulements sont proposés à la section 3.2.3, plus bas.

3.1.8 ● Rapports

Un rapport portant sur les activités 3.1.1 à 3.1.6 sera présenté en juin 2000 et un second sur l'activité 3.1.7 en décembre 2000.

3.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec

3.2.1 ● Intégration des algorithmes permettant l'intégration des informations en provenance du modèle numérique d'altitude, du réseau hydrographique numérisé et des images TM en vue d'une détermination plus rapide et précise du sens de l'écoulement sur le sol et dans les plans d'eau

Une fois les informations en provenance du réseau hydrographique numérique et des images TM bien intégrées, il faudra améliorer les algorithmes déjà développés et utiliser ces informations, en complémentarité de celles fournies par un modèle numérique d'altitude (MNA), pour la détermination des directions d'écoulement sur l'ensemble de la zone couverte par ce MNA, aussi bien sur le sol que dans les lacs et réservoirs.

Nous avons déjà débuté l'intégration des données en provenance d'un réseau hydrographique numérique et de celles d'un MNA. Il importe maintenant de continuer de façon rationnelle l'intégration de ces informations complémentaires. Cela suppose une structuration des algorithmes permettant de simplifier l'addition de cas non prévus à l'origine, l'optimisation de certains algorithmes de manière à diminuer au maximum le temps de calcul et la production d'une interface très conviviale facilitant l'édition et la manipulation des fichiers.

3.2.2 ● Prise en compte des modifications à la direction des écoulements en rivières produites par les détournements de rivières à l'aide de digues

La construction de digues visant à détourner le cours d'un cours d'eau a comme résultat de changer la direction d'un cours d'eau sans changer le MNA du sous-bassin versant correspondant. En d'autres termes, la topographie d'un sous-bassin versant n'est évidemment pas changée par la construction d'une digue. Dans notre récente détermination de l'ensemble des sous-bassins en amont du barrage à LG4, nous avons très bien relevé le défi, mais grâce à un bon nombre d'interventions de l'utilisateur, en plus de la localisation précise de chacune des digues et barrages. Nous désirons diminuer le nombre d'interventions de l'opérateur en informatisant les tâches qui peuvent l'être de manière à ne conserver que celles qui ne le peuvent pas.

3.2.3 ● Traitement des lacs à double exutoire

Compte tenu de la topographie, il peut arriver que certains lacs puissent avoir deux exutoires selon le niveau de l'eau. Divers cas de figure peuvent se présenter.

En fonction du niveau d'eau atteint, l'eau du lac peut s'écouler par deux exutoires simultanément sans que cela influence significativement les débits à l'endroit en aval où ils sont désirés sur la rivière. C'est le cas d'un exutoire laissant écouler un débit très nettement plus faible que celui qui s'écoule par l'exutoire principal et qui n'affecte qu'une partie relativement restreinte du bassin en

amont du point où le débit est désiré, sans que l'eau ne soit perdue pour ce sous-bassin. Les débits peuvent être légèrement différents par suite d'un parcours différent à l'intérieur du même sous-bassin.

Le deuxième exutoire peut affecter une partie d'un sous-bassin de façon non négligeable, mais sans provoquer un écoulement en dehors de ce sous-bassin. Il modifie essentiellement le circuit emprunté par les écoulements et affecte davantage la distribution temporelle des débits au pas de temps horaire ou journalier, mais pas les lames décadaires ou mensuelles.

Enfin, le deuxième exutoire peut, en certaines occasions, évacuer une quantité appréciable d'eau vers un autre bassin, d'où une influence nette sur les débits en aval.

Nous proposons donc d'identifier tout d'abord, en collaboration avec Hydro-Québec, un certain nombre de lacs ayant ou étant soupçonnés d'avoir un double exutoire et de les classer dans un des trois cas énumérés plus haut. Il se peut que des cas de figure plus nombreux soient repertoriés. Il s'agira alors de développer une méthodologie permettant de détecter les lacs ayant possiblement un double exutoire, d'identifier si possible à partir de quel niveau un écoulement significatif s'échappe par ce deuxième exutoire et, enfin, de déterminer de quelle manière et jusqu'où le sens des écoulements est affecté en aval de ce second exutoire. Cette méthodologie devrait aussi permettre de déterminer les traitements appropriés pour chaque lac.

3.2.4 ● Rapport

Un rapport portant sur les activités 3.2.1 à 3.2.2 sera présenté en décembre 2000.

4. PERSONNEL AFFECTÉ AU PROJET

La responsabilité administrative du projet sera assumée par le professeur Jean-Pierre Fortin.

La responsabilité scientifique du projet sera assumée conjointement par les professeurs Jean-Pierre Fortin et Monique Bernier. Le premier verra plus spécifiquement à la réalisation des activités portant sur la modélisation hydrologique et la professeure Bernier s'occupera plus spécifiquement des activités menées en télédétection. Les deux professeurs ont une longue expérience dans les domaines de la modélisation hydrologique et de la télédétection.

En plus, monsieur Richard Turcotte, M.Sc. en génie civil, qui possède une solide expérience du modèle HYDROTEL et de la programmation du logiciel, participera aux activités reliées à la modélisation hydrologique.

De même, monsieur Yves Gauthier, M.Sc. en géographie et spécialiste en télédétection et en SIG, participera aux activités plus directement reliées à la télédétection.

Enfin, monsieur Alain Royer, technicien en informatique qui participe au développement des logiciels HYDROTEL, PHYSITEL et EQeau , apportera son concours pour la réalisation des différentes activités prévues.

5. ESTIMÉ DES COÛTS ASSOCIÉS À LA RÉALISATION DU PROJET

5.1 Informations sur les coûts

5.1.1 Les coûts associés au salaire du personnel

Les temps prévus pour le personnel affecté au projet sont présentés aux tableaux A-1(1999) et A-3 (2000) en annexe, tandis que les coûts salariaux associés le sont aux tableaux A-2 (1999) et A-4 (2000). Selon l'échéancier de réalisation et le budget alloué au projet, nous comptons engager du personnel supplémentaire au besoin. Nous pensons en particulier à un informaticien et à un jeune diplômé (étudiant éventuellement) en génie.

5.1.2 Les coûts associés à l'achat de données de base

Le bassin de la rivière Saint-Maurice s'étend sur six feuillets au 1/250000e. Les modèles numériques d'altitude (MNA) et les réseaux hydrographique numérisés correspondant à ces feuillets devront être acquis, à moins qu'Hydro-québec ne puisse nous les fournir.

Le MAPAQ vient de publier une carte numérisée d'occupation du sol dans le sud du Québec. Ces informations peuvent être disponibles pour les partenaires du Gouvernement. Il pourrait donc être possible d'utiliser gratuitement cette carte afin d'obtenir la distribution spatiale de l'occupation du sol sur le bassin de la rivière Saint-Maurice. Par ailleurs, il faudra acquérir des cartes permettant de déterminer la distribution spatiale des caractéristiques hydrauliques des dépôts de surface sur les bassins versants.

5.1.3 Les coûts associés aux frais de secrétariat et de fournitures et matériels divers

Même si maintenant nous tapons nos rapports et préparons les graphiques, du temps de secrétariat est encore nécessaire pour la mise en forme finale des rapports, les photocopies, les messages téléphoniques, etc. De plus, il faut ajouter les coûts reliés aux fournitures diverses (papier, disquettes, films, entretien des ordinateurs et périphériques,...), et à l'achat matériel pour le terrain.

5.1.4 Les coûts associés à l'achat d'un ordinateur dédié au projet

Dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec, des prévisions doivent être préparées le plus rapidement possible pour un certain nombre de bassins versants. Nous considérons donc important d'acquérir un ordinateur très performant afin de le dédier au développement des algorithmes proposés et à des tests de rapidité d'exécution le plus près possible des conditions d'opération réelles à Hydro-Québec.

5.2 Résumé des coûts pour les activités reliées au projet

Les numéros et titres suivants se rapportent aux sections précédemment décrites dans la proposition.

2. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 1999

●2.1 Étalonnage du modèle hydrologique HYDROTEL sur la rivière Saint-Maurice

Salaires:.....	\$ 37 671.14
Données de base (MNA, réseau hydrographique numérisé, sols):.....	\$ 2 600.00
Frais de secrétariat, fournitures et matériel:.....	<u>\$ 4 000.00</u>
Sous-total.....	\$ 44 271.14

●2.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec

Salaires 2.2.1: L'acquisition des données en temps réel.....	\$ 6 422.34
Salaires 2.2.2: L'intégration des prévisions météorologiques.....	\$ 5 310.95
Salaires 2.2.3: La mise à jour des variables d'état.....	\$ 18 268.71
Salaires 2.2.4 :Le rapport.....	<u>\$ 4 495.81</u>
Sous-total sur salaires pour l'ensemble des options:.....	\$34.497.80
Frais de secrétariat, fournitures et matériel:.....	<u>\$ 3 500.00</u>
Sous-total:.....	\$ 37 997.80

●2.3 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec

Salaires 2.3.1 : La détermination des directions d'écoulement (zones plates)	\$ 4 947.36
Salaires 2.3.2 : L'identification plus facile des lacs et réservoirs.....	\$ 8 669.24
Salaires 2.3.3 : Le rapport.....	<u>\$ 4 104.12</u>
Sous-total sur salaires pour l'ensemble des options:.....	\$ 17 720.72
Frais de secrétariat, fournitures et matériel:.....	<u>\$ 1 700.00</u>
Sous-total:.....	\$ 19 420.72

● **TOTAL pour l'année 1999.....** **\$101 689.66**

3. ACTIVITÉS PROPOSÉES EN 2000

●3.1 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation d'HYDROTEL pour la préparation des prévisions dans le cadre opérationnel d'Hydro-Québec

Salaires 3.1.1: Les données de précipitation des radars météorologiques.....	\$ 3 312.98
Salaires 3.1.2: Les données météorologiques bi-journalières.....	\$ 5 142.42
Salaires 3.1.3: La gestion des barrages en temps réel.....	\$ 6 909.23
Salaires 3.1.4: La simulation de l'effet des embâcles.....	\$ 6 225.87
Salaires 3.1.5: Les informations sur les possibilités d'inondations	
Salaires 3.1.5.1 ■ niveaux d'eau (section en travers quelconque).....	\$12 863.20
Salaires 3.1.5.2 ■ zones inondées sur l'ensemble du bassin.....	\$22 153.41
Salaires 3.1.6: Les informations fournies à chaque prévision.....	\$ 3 774.35

Salaires 3.1.7: Le traitement des lacs à double exutoire.....	\$ 5 825.78
Salaires 3.1.8: Le rapport.....	\$ 12 246.63
Sous-total sur salaires pour ensemble des options	
(avec option 3.1.5.1):.....	\$ 56 300.46
Sous-total sur salaires pour ensemble des options	
(avec option 3.1.5.2):.....	\$ 65 590.67
Frais de secrétariat, fournitures et matériel:.....	\$ 5 600.00
Sous-total (avec option 3.1.5.1):.....	\$ 61 900.46
Sous-total (avec option 3.1.5.2):.....	\$ 71 190.67

● **3.2 Modifications visant à faciliter et accélérer l'utilisation de PHYSITEL pour la préparation des bases de données sur les bassins d'Hydro-Québec**

Salaires 3.2.1: L'intégration des algorithmes (écoulement sol et plans d'eau)	\$ 12 420.68
Salaires 3.2.2: La prise en compte des détournements de rivières (digues)....	\$ 3 098.08
Salaires 3.2.3: Le traitement des lacs à double exutoire.....	\$ 10 679.61
Salaires 3.2.4: Le rapport.....	\$ 6 358.22
Sous-total sur salaires pour l'ensemble des options:.....	\$32 556.59
Frais de secrétariat, fournitures et matériel:.....	\$ 3 200.00
Sous-total:.....	\$ 35 756.59

● **TOTAL pour l'année 2000:**

Avec option 3.1.5.1.....	\$ 97 657.05
Avec option 3.1.5.2.....	\$106 947.26

4. TOTAL POUR LE PROJET

● **TOTAL pour les activités reliées au projet**

Avec option 3.1.5.1.....	\$199 346.71
Avec option 3.1.5.2.....	\$208 636.91

● **Coût d'achat d'un ordinateur performant.....\$ 4 500.00**

● **GRAND TOTAL**

Avec option 3.1.5.1.....	\$203 846.71
Avec option 3.1.5.2.....	\$213 136.91

6. ÉCHÉANCIER

L'échéancier proposé repose sur notre évaluation de la possibilité de réaliser le projet sans ajouter de personnel.

Nous sommes tout disposés à modifier les options proposées, ainsi qu'à en ajouter de nouvelles ou en laisser tomber. L'important pour nous est de fournir à Hydro-Québec les résultats souhaités.

ANNEXE

Tableau A-1: Temps alloué en jours en 1999 pour la réalisation du projet

ACTIVITES	M.B.	J.P.F.	Y.G.	A.R.	R.T.
2.1 Étalonnage du modèle sur la Saint-Maurice					
2.1.1 Acquisition et validation des données descriptives du bassin	0,5	0,5	1		6
2.1.2 Acquisition et validation des données hydro. et météo.		0,5			2
2.1.3 Préparation de la base de données de bassin	0,5	1	4	8	16
2.1.4 Obtention d'informations quantitatives sur tous les barrages					6
2.1.5 Etalonnage du modèle HYDROTEL		5			17
2.1.6 Comparaison des prévisions HYDROTEL et modèle actuel d'HQ		1			4
2.1.7 Rapport		2			9
Sous-total	1	10	5	8	60
2.2 Modifications pour l'utilisation d'HYDROTEL à Hydro-Québec					
2.2.1 Acquisition des données en temps réel.		0,5		11	8
2.2.2 Intégration des prévisions météorologiques		2,5		7,5	3
2.2.3 Mise à jour des variables d'état	1	5	0,5	12	25
2.2.4 Rapport		2			7
Sous-total	1	10	0,5	30,5	43
2.3 Modifications pour l'utilisation de PHYSITEL sur les bassins d'HQ					
2.3.1 Détermination des directions d'écoulement dans les zones plates.				7	8
2.3.2 Identification plus facile des lacs et réservoirs	0,5	1	0,5	5	15
2.3.3 Rapport		2			6
Sous-total	0,5	3	0,5	12	29
TOTAL	2,5	23	6	50,5	132

Tableau A-2: Coûts salariaux en 1999 pour la réalisation du projet

ACTIVITES	M.B.	J.P.F.	Y.G.	A.R.	R.T.	TOTAL
2.1 Étalonnage du modèle sur la Saint-Maurice						
2.1.1 Acquisition et validation des données descriptives du bassin	\$360,77	\$438,50	\$521,07	\$0,00	\$2 350,14	\$3 670,47
2.1.2 Acquisition et validation des données hydro. et météo.	\$0,00	\$438,50	\$0,00	\$0,00	\$783,38	\$1 221,88
2.1.3 Préparation de la base de données de bassin	\$360,77	\$876,99	\$2 084,28	\$2 072,96	\$6 267,04	\$11 662,04
2.1.4 Obtention d'informations quantitatives sur tous les barrages	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2 350,14	\$2 350,14
2.1.5 Etalonnage du modèle HYDROTEL	\$0,00	\$4 384,95	\$0,00	\$0,00	\$6 658,73	\$11 043,68
2.1.6 Comparaison des prévisions HYDROTEL et modèle actuel d'HQ	\$0,00	\$876,99	\$0,00	\$0,00	\$1 566,76	\$2 443,75
2.1.7 Rapport	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$0,00	\$3 525,21	\$5 279,19
Sous-total	\$721,53	\$8 769,90	\$2 605,35	\$2 072,96	\$23 501,40	\$37 671,14
2.2 Modifications pour l'utilisation d'HYDROTEL à Hydro-Québec						
2.2.1 Acquisition des données en temps réel.	\$0,00	\$438,50	\$0,00	\$2 850,32	\$3 133,52	\$6 422,34
2.2.2 Intégration des prévisions météorologiques	\$0,00	\$2 192,48	\$0,00	\$1 943,40	\$1 175,07	\$5 310,95
2.2.3 Mise à jour des variables d'état	\$721,53	\$4 384,95	\$260,54	\$3 109,44	\$9 792,25	\$18 268,71
2.2.4 Rapport	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$0,00	\$2 741,83	\$4 495,81
Sous-total	\$721,53	\$8 769,90	\$260,54	\$7 903,16	\$16 842,67	\$34 497,80
2.3 Modifications pour l'utilisation de PHYSITEL sur les bassins d'HQ						
2.3.1 Détermination des directions d'écoulement dans les zones plates.	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1 813,84	\$3 133,52	\$4 947,36
2.3.2 Identification plus facile des lacs et réservoirs	\$360,77	\$876,99	\$260,54	\$1 295,60	\$5 875,35	\$8 669,24
2.3.3 Rapport	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$0,00	\$2 350,14	\$4 104,12
Sous-total	\$360,77	\$2 630,97	\$260,54	\$3 109,44	\$11 359,01	\$17 720,72
TOTAL	\$1 803,83	\$20 170,77	\$3 126,42	\$13 085,56	\$51 703,08	\$89 889,66

Tableau A-3: Temps alloué en jours en 2000 pour la réalisation du projet

ACTIVITÉS	MB.	J.P.F.	Y.G.	A.R.	R.I.
3.1 Modifications pour l'utilisation d'HYDROTEL à Hydro-Québec					
3.1.1 Données de précipitation des radars météorologiques		1		3	4
3.1.2 Données météorologiques bi-journalières		2		2	7
3.1.3 Gestion des barrages en temps réel.		2		1	12
3.1.4 Simulation de l'effet des embâcles		2		3	9
3.1.5 Informations sur les possibilités d'inondations					
3.1.5.1 Niveaux d'eau (section en travers quelconque)		2	0,5	4	24
3.1.5.2 Zones inondées sur l'ensemble du bassin	0,5	4	0,5	14	35
3.1.6 Informations fournies à chaque prévision				11	2
3.1.7 Traitement des lacs à double exutoire		2			10
3.1.8 Rapport		7			15
Sous-total (avec option 3.1.5.1)	0	18	0,5	24	83
Sous-total (avec option 3.1.5.2)	0,5	20	0,5	34	94
3.2 Modifications pour l'utilisation de PHYSITEL sur les bassins d'HQ					
3.2.1 Intégration des algorithmes (écoulement sol et plans d'eau).				28	12
3.2.2 Prise en compte des détournements de rivières à l'aide de digues.				10	1
3.2.3 Traitement des lacs à double exutoire	0,5	5	2		12
3.2.4 Rapport		4			7
Sous-total	0,5	9	2	38	32
TOTAL(avec option 3.1.5.1)	0,5	27	2,5	62	115
TOTAL(avec option 3.1.5.2)	1	29	2,5	72	126

Tableau A-4: Coûts salariaux en 2000 pour la réalisation du projet

ACTIVITÉS	M.B.	J.P.F.	Y.G.	A.R.	R.T.	TOTAL
3.1 Modifications pour l'utilisation d'HYDROTEL à Hydro-Québec						
3.1.1 Données de précipitation des radars météorologiques	\$0,00	\$876,99	\$0,00	\$807,27	\$1 628,72	\$3 312,98
3.1.2 Données météorologiques bi-journalières	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$538,18	\$2 850,26	\$5 142,42
3.1.3 Gestion des barrages en temps réel.	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$269,09	\$4 886,16	\$6 909,23
3.1.4 Simulation de l'effet des embâcles	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$807,27	\$3 664,62	\$6 225,87
3.1.5 Informations sur les possibilités d'inondations						
3.1.5.1 Niveaux d'eau (section en travers quelconque)	\$0,00	\$1 753,98	\$260,54	\$1 076,36	\$9 772,32	\$12 863,20
3.1.5.2 Zones inondées sur l'ensemble du bassin	\$366,36	\$3 507,96	\$260,54	\$3 767,26	\$14 251,30	\$22 153,41
3.1.6 Informations fournies à chaque prévision	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2 959,99	\$814,36	\$3 774,35
3.1.7 Traitement des lacs à double exutoire	\$0,00	\$1 753,98	\$0,00	\$0,00	\$4 071,80	\$5 825,78
3.1.8 Rapport	\$0,00	\$6 138,93	\$0,00	\$0,00	\$6 107,70	\$12 246,63
Sous-total (avec option 3.1.5.1)	\$0,00	\$15 785,82	\$260,54	\$6 458,16	\$33 795,94	\$56 300,46
Sous-total (avec option 3.1.5.2)	\$366,36	\$17 539,80	\$260,54	\$9 149,06	\$38 274,92	\$65 590,67
3.2 Modifications pour l'utilisation de PHYSITEL sur les bassins d'HQ						
3.2.1 Intégration des algorithmes (écoulement sol et plans d'eau).	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$7 534,52	\$4 886,16	\$12 420,68
3.2.2 Prise en compte des détournements de rivières à l'aide de digues.	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2 690,90	\$407,18	\$3 098,08
3.2.3 Traitement des lacs à double exutoire	\$366,36	\$4 384,95	\$1 042,14	\$0,00	\$4 886,16	\$10 679,61
3.2.4 Rapport	\$0,00	\$3 507,96	\$0,00	\$0,00	\$2 850,26	\$6 358,22
Sous-total	\$366,36	\$7 892,91	\$1 042,14	\$10 225,42	\$13 029,76	\$32 556,59
TOTAL(avec option 3.1.5.1)	\$366,36	\$23 678,73	\$1 302,68	\$16 683,58	\$46 825,70	\$88 857,04
TOTAL(avec option 3.1.5.2)	\$732,71	\$25 432,71	\$1 302,68	\$19 374,48	\$51 304,68	\$98 147,26