Record Number: 18960
Author, Monographic: Fortin, J. P.//Turcotte, R.//Royer, A.
Author Role:
Title, Monographic: Intégration d'HYDROTEL au système de prévision d'Hydro-Québec
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 2000
Original Publication Date: 30 juin 2000
Volume Identification:
Extent of Work: ix, 35
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 567
Location/URL:
ISBN: 2-89146-341-2
Notes: Rapport annuel 2000-2001
Abstract: Rapport rédigé pour l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
Call Number: R000567
Keywords: rapport/ ok / dl

Intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec

Rapport de recherche No R567

30 juin 2000

Intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec

Rapport présenté à

L'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)

par

Jean-Pierre Fortin,
Richard Turcotte
et Alain Royer

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

Rapport de recherche No R567

30 juin 2000

© INRS-Eau, 2000

ISBN: 2-89146-341-2

L'ÉQUIPE DE RECHERCHE :

Jean-Pierre Fortin, professeur en hydrologie
Richard Turcotte, ingénieur civil spécialisé en hydrologie et en développement informatique
Alain Royer, technicien en informatique

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES V

LISTE DES FIGURES VII

LISTE DES TABLEAUX IX

1 INTRODUCTION 1

2 SOMMAIRE DES RÉALISATIONS 3

3 COUPLAGE D'HYDROTEL AVEC LA BASE DE DONNÉES D'HYDRO-QUÉBEC 5

4 INTERFACE POUR LA MISE À JOUR DES VARIABLES D'ÉTAT 11

5 DÉFINIR PLUSIEURS JEUX DE PARAMÈTRES PAR BASSIN 15

6 SIMULATION DES CRUES DE PRINTEMPS 1999 ET 2000 SUR LE BASSIN DE LA RIVIÈRE MITIS 19

6.1 CRUE DU PRINTEMPS 1999 19

6.2 CRUE DU PRINTEMPS 2000 29

7 CONCLUSION 33

RÉFÉRENCES 35

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3.1 Fenêtre servant à la sélection des formats associés à chacune des stations. 8

FIGURE 3.2 Fenêtre d'interface de propriétés de liaisons de données telles qu'affichée par Windows après ouverture par l'intermédiaire d'Hydrotel. 9

FIGURE 4.1 Fenêtre servant au suivi des simulations pour la mise à jour des variables d'état 12

FIGURE 4.2 Fenêtre servant à définir les dates caractéristiques de la mise à jour des variables d'état 13

FIGURE 4.3 Fenêtre servant à initialiser le module de recherche de la meilleure mise à jour des variables d'état. . 14

FIGURE 5.1 Exemple de boîte de dialogue tiré du sous-modèle de bilan vertical en trois couches permettant de spécifier les paramètres pour chaque groupe de sous-bassins. 16

FIGURE 5.2 Fenêtre de l'interface graphique permettant la construction de groupes de sous-bassins. 17

FIGURE 6.1 Apports du printemps 1999, au lac Mitis, observés, au pas de temps journalier, et simulés, au pas de temps de six heures, avec et sans l'utilisation des observations de la neige au sol pour la mise à jour des simulations. 20

FIGURE 6.2 Évolution au printemps 1999 de l'équivalent en eau simulé de la neige au sol en moyenne sur le bassin calculé avec et sans mise à jour en fonction des observations. 21

FIGURE 6.3 Précipitations moyenne du printemps 1999 sur le bassin du lac Mitis sous forme de hauteurs de pluie et de neige. 23

FIGURE 6.4 Températures moyenne du printemps 1999 sur le bassin du lac Mitis. 23

FIGURE 6.5 Simulation de prévisions d'apports du printemps 1999 au pas de temps de six heures au lac Mitis, en utilisant la mise à jour des variables d'état en fonction des écarts entre les apports simulés et observés 26

FIGURE 6.6 Apports du printemps 2000, au lac Mitis, observés, au pas de temps journalier, et simulés, au pas de temps de six heures, avec et sans l'utilisation des observations de la neige au sol pour la mise à jour des simulations. 30

FIGURE 6.7 Évolution au printemps 2000 de l'équivalent en eau simulé de la neige au sol en moyenne sur le bassin, calculé avec et sans mise à jour en fonction des observations. 30

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3.1 Définition des tables et des champs du modèle de base de données 6

TABLEAU 6.1 Caractéristiques des simulations des apports au lac Mitis effectuées à un pas de temps de six heures. 20

TABLEAU 6.2 Coefficients utilisés pour la mise à jour des variables d'état 27

TABLEAU 6.3 Hauteurs de précipitations moyennes en pluie et en neige, entre le 1 novembre et le 30 avril de chaque année hydrologique, sur le bassin du lac Mitis tel qu'interpolé avec Hydrotel à partir des mesures prises aux stations de Ouimet et de Mistigougèche et où les données manquantes à l'une et/ou l'autre des stations ont été remplacées par des mesures prises à proximité. 32

1 INTRODUCTION

Le présent rapport fait état des travaux réalisés, en date du 30 juin 2000, par le centre Eau de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) dans le cadre d'un contrat de service, visant l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec (HQ) et la simulation des apports sur la rivière Gatineau (Fortin et Bernier, 2000), signé avec l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ).

Pour bien mettre en contexte les travaux évoqués dans ce rapport, il est à propos de bien synthétiser la nature de la collaboration récente entre l'INRS-Eau et l'IREQ concernant le modèle hydrologique Hydrotel. Un premier mandat portant sur la simulation de crues maximales probables et la prévision des apports sur le bassin de la rivière Mitis a été réalisé au cours de l'année 1999 (Fortin et Bernier, 1999). Deux rapports ont été déposés dans le cadre de ce mandat, soit un premier rapport traitant de l'ajustement d'Hydrotel pour tenir compte des règles de laminage de crues définies par Hydro-Québec aux ouvrages au fil de l'eau de même que de l'étalonnage du modèle et du calcul de scénarios de crues maximales probables sur le bassin de la rivière Mitis (Fortin *et al.*, 1999a -version confidentielle- et 2000 -version à circulation libre-) et un second rapport traitant d'ajustements apportés au modèle Hydrotel, notamment l'ajout d'un moteur de calcul pour la mise à jour des variables d'état, pour permettre la prévision d'apport dans un contexte temps réel (Fortin *et al.*, 1999b). Le second mandat, dont le présent rapport est l'un des biens livrables, vise la définition de modules informatiques favorisant l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec de même que l'étalonnage du modèle sur un deuxième bassin versant, celui de la rivière Gatineau (Fortin et Bernier, 2000). Le présent rapport fait état des travaux réalisés à mi-chemin du second mandat. Suivant l'échéancier du projet (Fortin et Bernier, 2000), les travaux concernés sont reliés spécifiquement à l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec.

Le présent rapport est subdivisé en 7 parties, la première et la dernière étant l'introduction et la conclusion. Dans la seconde partie, l'ensemble des réalisations effectuées à ce jour dans le cadre du présent mandat est révisé. Les troisième, quatrième, cinquième et sixième parties traitent, quant à elles, de certaines de ces réalisations pour lesquelles des détails pertinents sont donnés.

2 SOMMAIRE DES RÉALISATIONS

Suivant l'échéancier du projet (Fortin et Bernier, 2000), les activités abordés dans le présent rapport exclues les travaux portant sur le bassin de la rivière Gatineau et sont reliées spécifiquement à l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec. Ainsi, dans la présente section, l'état d'avancement de chacune de ces activités est présenté sommairement. Lorsque cela s'avère pertinent, des détails plus pointus concernant les activités font l'objet de sections complètes du rapport.

Rappelons d'abord que l'objectif final des activités d'intégration est l'utilisation d'Hydrotel sur les bassins des rivières Mitis et Gatineau, dans un contexte de tests et d'essais, à l'intérieur de la procédure de prévision des apports en place chez Hydro-Québec. Pour ce faire, il a été prévu de réaliser dans une première étape, se terminant à la fin juin 2000, la majorité des développements informatiques et de débuter les tests sur la rivière Mitis alors que, dans une seconde étape, se terminant en décembre 2000, les tests sur la Mitis et la Gatineau se feront plus intensifs et les développements informatiques seront complétés.

Du côté des développements informatiques, les éléments qu'il était prévu d'aborder à ce jour sont (1) le couplage d'Hydrotel avec la base de données d'Hydro-Québec, (2) la construction d'une interface pour la mise à jour des variables d'état, (3) la possibilité de définir plusieurs jeux de paramètres par bassin, (4) l'utilisation des prévisions aux points de grille et (5) l'utilisation conjointe de données de radars météorologiques et de stations au sol. Les trois premiers éléments ont eu un impact majeur sur le logiciel Hydrotel et sur son interface graphique et, en ce sens, font respectivement l'objet des section 3, 4 et 5 du présent rapport. Par ailleurs, les travaux qui s'y rapportent ont tous atteint le même niveau soit, une implantation avancée des fonctionnalités informatiques qui leur sont associées et une phase préliminaire de tests assurant un fonctionnement minimal. Dans les mois à suivre, ces fonctionnalités informatiques devront être testées intensivement de manière à permettre en bout de course l'utilisation d'Hydrotel à l'intérieur de la procédure de prévision d'Hydro-Québec sur les deux bassins ciblés. Quant aux deux derniers éléments de développement, les travaux qui les concernent sont restés circonscrits à l'intérieur du moteur de calcul du logiciel Hydrotel et n'ont donc pas influencé l'interface graphique du logiciel. Pour ces deux éléments, nous nous sommes assurés que le logiciel Hydrotel inclut dorénavant les fonctionnalités demandées sans pour autant arrimer ces fonctionnalités avec une façon de faire et des données propres à Hydro-Québec. Comme convenu avec le personnel de l'IREQ, cette étape d'arrimage se fera au fur et à mesure qu'Hydro-Québec

fournira des jeux d'exemples des données concernées et devrait normalement être réalisée dans les mois qui suivent.

En ce qui concerne le début des tests sur la rivière Mitis, les travaux couverts par ce rapport sont orientés vers la simulation des apports des crues de printemps de 1999 et 2000 en mode prévision et font l'objet de la section 6 du présent rapport. Ces simulations ont été effectuées par Hydrotel à l'extérieur du système de prévision d'Hydro-Québec et, en ce sens, représentent le premier échelon à gravir vers l'objectif mentionné plus haut. Notons par ailleurs qu'une visite d'un des membres de l'équipe de l'INRS-Eau au siège social d'Hydro-Québec a permis de bien comprendre le contexte d'application d'Hydrotel dans l'exercice de prévision d'apport au jour le jour chez Hydro-Québec et, en ce sens, constitue un avancement non négligeable vers cet objectif. Cette rencontre a aussi permis de faire progresser les simulations des crues de 1999 et 2000.

Finalement, en cours de projet, l'IREQ a demandé quelques petites modifications au logiciel Hydrotel qui n'étaient pas prévues spécifiquement dans l'entente. Ces modifications sont (1) l'ajout d'une option « zoom » sur les fenêtres graphiques d'Hydrotel et (2) la définition d'un algorithme pour attribuer des valeurs par défaut aux précipitations et aux températures dans le cas où celles-ci sont manquantes à toutes les stations pour un ou plusieurs pas de temps. Dans le cas de l'option « zoom », les modifications ont été faites et ont nécessité une vingtaine de jours/personne de travail. Pour ce qui est des valeurs par défaut de précipitations et de températures, des travaux qui ont permis de structurer le moteur de calcul d'Hydrotel de manière à implanter un algorithme pouvant obtenir des valeurs par défaut ont été effectués. Ces travaux, qui ont nécessité deux jours/personne de travail, permettront que l'algorithme, sur lequel l'IREQ et l'INRS-Eau s'entendront, soit implanté très rapidement. L'INRS-Eau devra aussi offrir dans l'interface graphique d'Hydrotel la possibilité pour un usager de se prévaloir de l'option de remplacer les données manquantes par des valeurs par défaut. Il est prévu que 4 jours/personne seront nécessaires pour compléter l'ensemble de ces travaux. Ces travaux supplémentaires seront absorbés à l'intérieur de l'enveloppe budgétaire déjà convenue.

3 COUPLAGE D'HYDROTEL AVEC LA BASE DE DONNÉES D'HYDRO-QUÉBEC

Préalablement aux travaux réalisés dans le cadre du présent projet, le modèle Hydrotel lisait les données d'entrée dont il a besoin et sauvegardait les résultats de ses simulations dans des fichiers de formats divers incluant des formats spécifiques à Hydro-Québec (Fortin *et al.*, 1999b). Une intégration plus complète d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec nécessite que ces données puissent dorénavant transiter par une base de données, en l'occurrence des bases de données de types Oracle et MS-Access.

En effet, une base de données de type Oracle est utilisée chez Hydro-Québec pour le stockage principal de l'ensemble des données relatives à la prévision des apports. De plus, des bases de données de type MS-Access, qui sont constituées à partir de copies partielles de la base de données principale sous Oracle, sont souvent utilisées par les usagers internes chez Hydro-Québec sur leurs postes locaux. Pour satisfaire ces besoins, il a été convenu d'utiliser les composantes Windows-ADO (ActiveX Data Object) et les librairies C++ correspondantes qui permettent le recours à une interface d'interrogation de base de données dans le langage SQL qui est indépendante du type de base de données. Ainsi, à l'intérieur des spécifications sur le nom des tables et sur le nom des champs à l'intérieur de ces tables décrits plus loin, Hydrotel peut dorénavant puiser ses données d'entrée et retourner ses résultats dans une base de données pour lequel il existe un fournisseur dans Windows-ADO (SQL Server, MS-Access, Oracle, MS-Excel, ...) et ainsi remplir les exigences d'Hydro-Québec.

Pour ce qui est des échanges avec la base de données, les travaux à effectuer couvrent les données d'entrée et certains résultats du modèle. Pour ce faire, un modèle simple de base de données a été défini par l'IREQ. Ce modèle est présenté au tableau 3.1. Il faut noter que lorsqu'une lecture des données d'entrée et/ou qu'une écriture des résultats, par l'intermédiaire d'un format relié à une base de données spécifique à HQ, sont demandées; celles-ci sont obligatoirement effectuées dans des tables et des champs identiques à ceux spécifiés au tableau 3.1. Par ailleurs, il faut noter la similarité entre le contenu du tableau 3.1 et les formats d'Hydro-Québec qui existaient déjà dans Hydrotel (Fortin *et al.*, 1999b).

Tableau 3.1 Définition des tables et des champs du modèle de base de données

Nom de la table	Noms des champs	Type	Description
HYDROTEL_APPORTOBS1H	STATION	Texte	Identificateur de la station (maximum 7 caractères)
	DATEHEURE	Date/Heure	Date et heure de la fin de la période d'une heure
	APPORT	Réel	Données d'apports (m^3/s)
HYDROTEL_APPORTOBS24H	STATION	Texte	Identificateur de la station (maximum 7 caractères)
	DATEHEURE	Date/Heure	Date et heure de la fin de la période de 24 heures
	APPORT	Réel	Données d'apports (m^3/s)
HYDROTEL_METEOOBS1H	STATION	Texte	Identificateur de la station (maximum 7 caractères)
	DATEHEURE	Date/Heure	Date et heure de la fin de la période d'une heure
	TEMPERATURE	Réel	Données de température (C)
	CUMUL_PRECIPITATION	Réel	Données de précipitations cumulées aux précipitomètres (mm)
	PRECIPITATION	Réel	Données de précipitations sur la période d'une heure (mm)
HYDROTEL_METEOOBS24H	STATION	Texte	Identificateur de la station (maximum 7 caractères)
	DATEHEURE	Date/Heure	Date et heure de la fin de la période de 24 heures
	TEMPERATUREMAX	Réel	Données de température maximale (C)
	TEMPERATUREMIN	Réel	Données de température minimale (C)
	PLUIE	Réel	Données de pluie (mm)
	NEIGE	Réel	Données de neige (mm)
HYDROTEL_METEOPREV1H	STATION	Texte	Identificateur de la station (maximum 7 caractères)
	DATE_ACTUELLE	Date/Heure	Date (sans l'heure) de l'émission de la prévision
	HEURE_ACTUELLE	Texte	Moment de la journée de l'émission de la prévision (AM ou PM)
	HEURE_PREVISION	Entier	Décalage en heures entre la date d'émission de la précipitation à zéro heure et l'heure pour laquelle la prévision s'applique
	TEMPERATURE	Entier	Données de températures prévues (C)
	PLUIEINF	Réel	Limite minimale de la pluie prévue (mm)
	PLUIESUP	Réel	Limite maximale de la pluie prévue (mm)
	NEIGEINF	Réel	Limite minimale de la neige prévue (mm)
	NEIGESUP	Réel	Limite maximale de la neige prévue (mm)
HYDROTEL_RESULTATS	DATEHEURE	Date/Heure	Date et heure du début du pas de temps de simulation
	PAS_DE_TEMPS	Entier	Durée du pas de temps de simulation (h)
	NOTRONCON	Entier	Numéro du tronçon pour lequel les résultats s'appliquent
	ID	Entier	Identificateur du type de la valeur sauvegardée – les types sont définis dans la table HYDROTEL_DESCRIPTIONTYPES
	VALEUR	Réel	Valeur sauvegardée
HYDROTEL_DESCRIPTIONTYPES	ID	Entier	Identificateur du type de valeurs sauvegardées – correspond aux types de la table HYDROTEL_RESULTATS
	NOMTYPE	Texte	Nom du type (exemple : PLUIE, DÉBIT_SIMULÉ,...)
	DESCRIPTION	Texte	Description du type
	UNITEMESURE	Texte	Unité de mesure associée au type
	TYPEINTEGRATION	Texte	Entité à partir duquel les valeurs ont été intégrées ; TR : tronçon ou SB : sous-bassin

Seule les tables et les champs nécessaires pour Hydrotel sont indiqués.

Pour faciliter la sélection des formats associés et des données d'entrée pour chacune des stations météorologiques, hydrométriques et nivométriques, une fenêtre graphique a été construite dans Hydrotel (figure 3.1). Dans le cas des stations dont les données sont situées dans une base de données, le bouton « Éditer » de la figure 3.1 permet de faire démarrer l'interface de propriétés de liaisons de données de Windows (figure 3.2). Cette interface permet de choisir le type de base de données et, ce choix fait, de guider l'usager dans l'exercice de définition de l'ensemble des paramètres spécifiques au type de bases de données choisies. Il permet aussi de sauvegarder le fichier de liaison de données (.udl) correspondant.

Finalement, une fenêtre de l'interface graphique d'Hydrotel permettant la sauvegarde des résultats dans une base de données est en fin de construction. Les facilités disponibles pour l'édition des fichiers de liaisons de données décrites plus haut ont ici aussi été implantées. Par ailleurs, il est à noter qu'un nom de simulation est nécessaire pour bien associer les résultats de simulation stockés dans la base de données à la simulation qui les a générée. Il est prévu d'offrir l'option de proposer un nom de simulation par défaut basé sur le nom du projet et la date et l'heure du moment où débute la simulation.

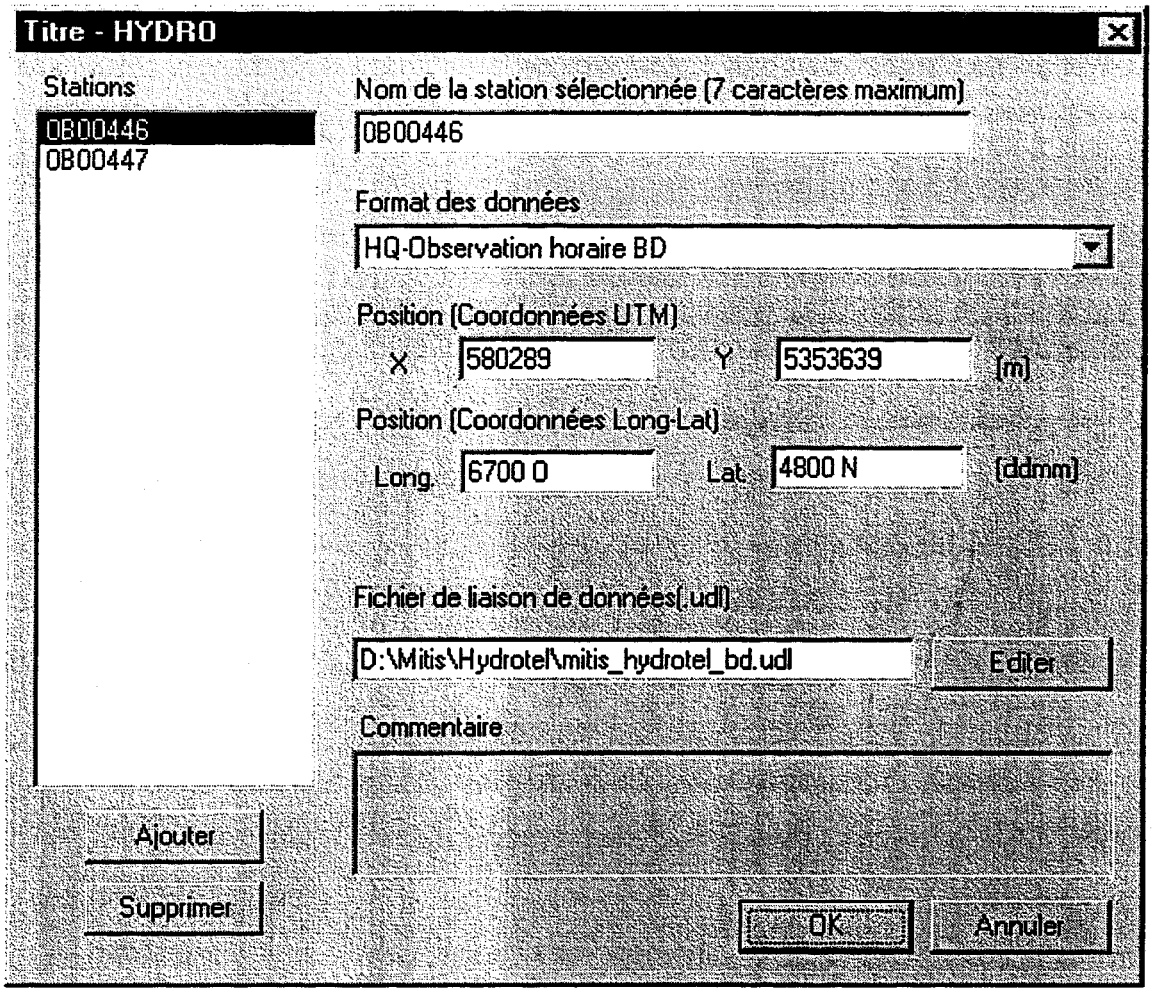

Figure 3.1 Fenêtre servant à la sélection des formats associés à chacune des stations.

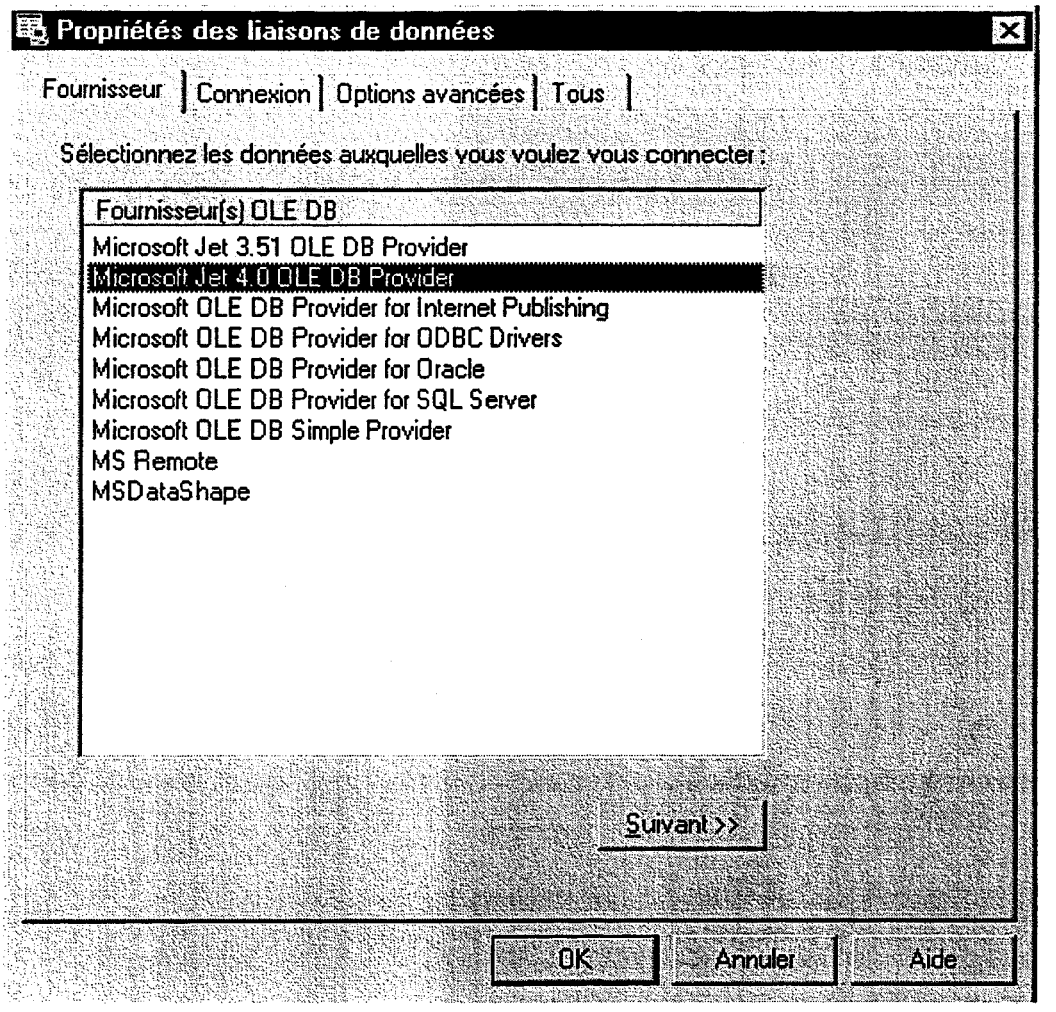

Figure 3.2 Fenêtre d'interface de propriétés de liaisons de données telles qu'affichée par Windows après ouverture par l'intermédiaire d'Hydrotel.

4 INTERFACE POUR LA MISE À JOUR DES VARIABLES D'ÉTAT

Les travaux évoqués dans Fortin *et al.* (1999b) font état de la construction d'un moteur de calcul pour la mise à jour des variables d'état en fonction des écarts entre les débits observés et simulés. L'activité effectuée dans le cadre du présent rapport a consisté à intégrer ce moteur de calcul dans l'interface graphique d'Hydrotel. Essentiellement, il a été nécessaire de construire une fenêtre permettant le suivi des simulations qui servent à mettre à jour les variables d'état (figure 4.1) et deux boîtes de dialogues permettant de spécifier les paramètres propres à la mise à jour (figure 4.2 et figure 4.3). Ces deux dernières boîtes de dialogue servent respectivement à la définition des dates essentielles au module de mise à jour et des paramètres qui permettent de contrôler la recherche automatique du « meilleur » état du bassin. Finalement, il est à noter que lorsque le processus d'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec sera suffisamment avancé, il a été prévu qu'une série de règles par défaut pour définir simultanément l'ensemble des dates apparaissant à la figure 4.2 sera implantée.

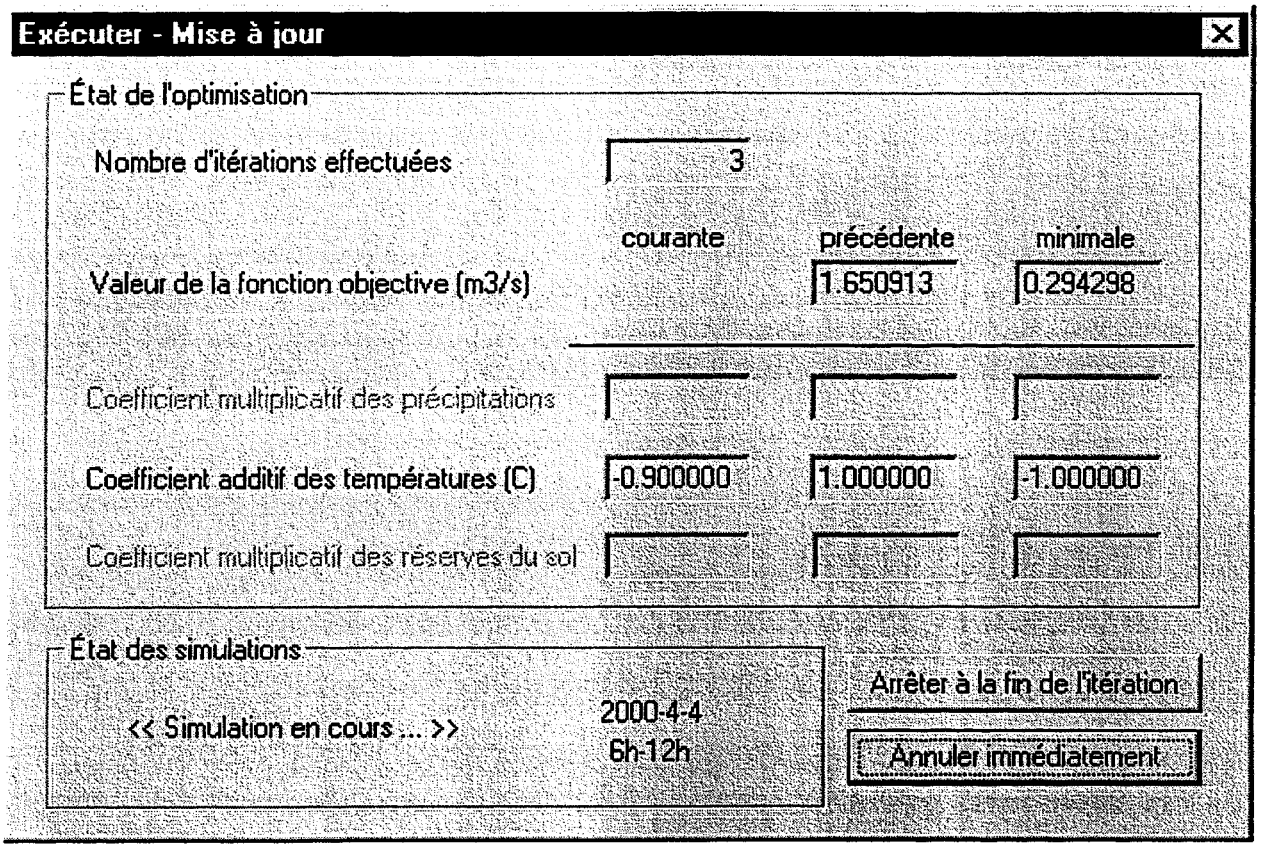

Figure 4.1 Fenêtre servant au suivi des simulations pour la mise à jour des variables d'état. La fenêtre indique le coefficient utilisé pour la simulation courante, une évaluation de la qualité, de même que le coefficient utilisé lors de la simulation précédente et une évaluation de la qualité, de même que le coefficient utilisé pour la meilleure simulation à date.

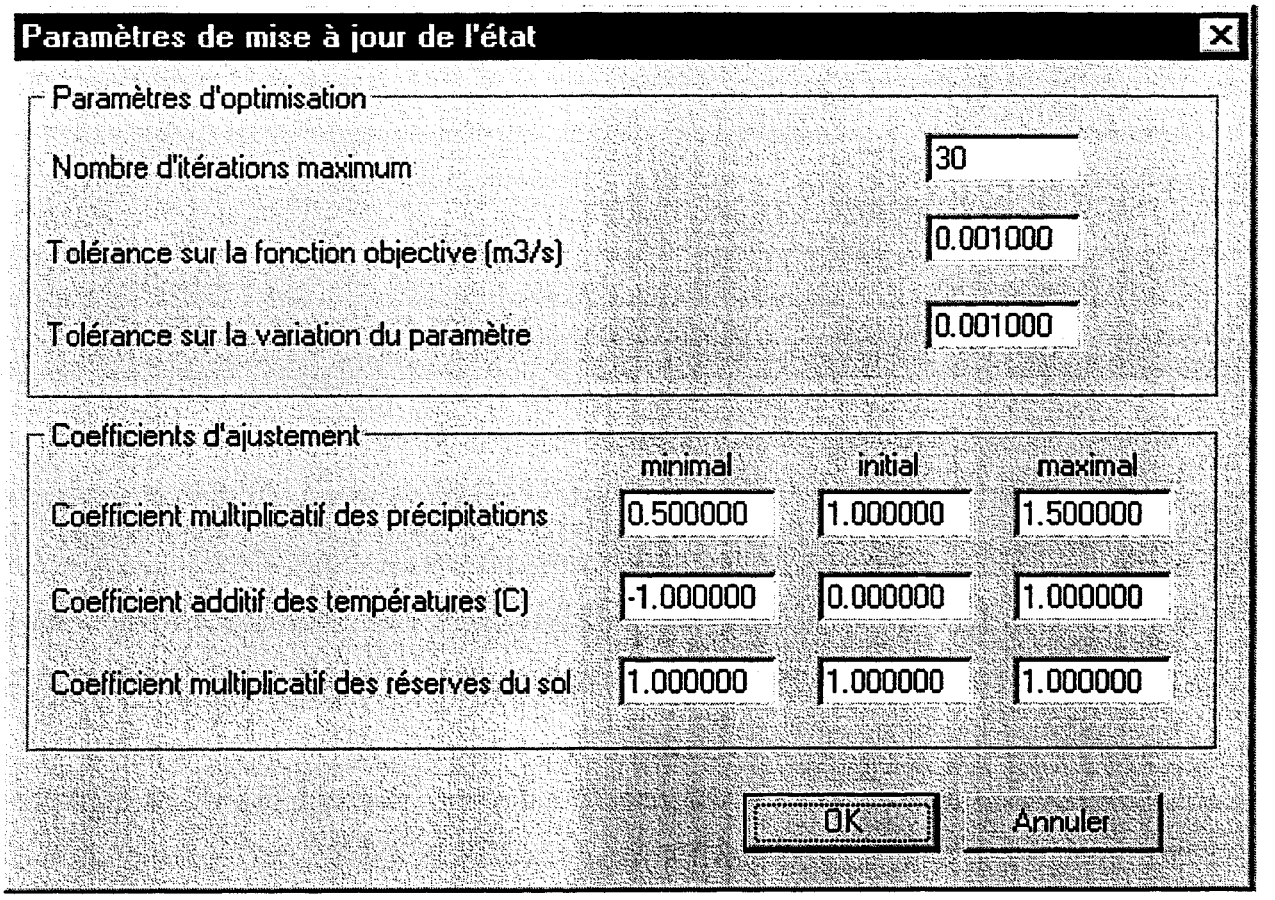

Figure 4.3 Fenêtre servant à initialiser le module de recherche de la meilleure mise à jour des variables d'état.

5 DÉFINIR PLUSIEURS JEUX DE PARAMÈTRES PAR BASSIN

Cette activité portait sur la modification du logiciel Hydrotel pour qu'il permette que plusieurs jeux de paramètres différents puissent être définis sur un bassin versant à l'étude. On entend ici par paramètres, les coefficients qui permettent d'ajuster les équations des sous-modèles de calcul sur un bassin donné. Ces paramètres sont, par exemple, les facteurs de fonte du modèle de fonte de neige ou le gradient vertical de la température du modèle d'interpolation des données météorologiques. Les paramètres concernés par la présente activité ne doivent pas être confondus avec les données d'entrée à caractère distribué, altitudes du terrain, l'occupation du sol, les types de sols, etc., qui étaient déjà introduites avec leur distribution spatiale dans le modèle avant les modifications présentées ici.

Suivant la stratégie retenue, un jeu de paramètres distinct a été défini pour chaque regroupement de sous-bassins élémentaires de calcul. Les regroupements sont effectués par l'usager et sont construit par lui en fonction de ses besoins. Par exemple, l'usager pourrait définir des regroupements de sous-bassins en fonction des tributaires importants d'un cours d'eau à l'étude dont il sait pertinemment qu'ils ont un comportement hydrologique légèrement différent. Par exemple, sur le bassin de la rivière Mitis, des jeux de paramètres différents pourraient être définis pour chacun des groupes de sous-bassins élémentaires de calcul inclus à l'intérieur des sous-bassins des lacs Mitis et Mistigougèche et de Mitis intermédiaire (voir Fortin *et al.*, 2000, pour des détails sur ce bassin versant).

Les travaux qui ont été nécessaires pour permettre la définition de plusieurs jeux de paramètres par bassin sont de deux types. D'abord, il a fallu modifier le noyau de calcul d'Hydrotel de manière à permettre que chaque sous-bassin de calcul soit rattaché à un groupe de sous-bassins élémentaires de simulation. De même, il a fallu assurer la sauvegarde et la lecture des différents jeux de paramètres à l'intérieur des fichiers de projets d'Hydrotel. Ces travaux relèvent essentiellement d'un exercice d'analyse et de programmation informatiques. Ensuite, il a été nécessaire de définir des fonctionnalités de l'interface graphique qui permettent à un usager de pouvoir consulter les paramètres associés aux différents groupes de sous-bassins (figure 5.1) et de construire graphiquement des groupes de sous-bassins (figure 5.2).

Au niveau de l'état d'avancement des travaux, il faut noter que le noyau de calcul et l'interface graphique ont été ajustés pour tenir compte de différents jeux de paramètres pour les sous-modèles d'interpolation des données météorologiques, de fonte de neige et de bilan vertical en trois couches, soit les sous-modèles pour lesquels il s'était avéré nécessaire de choisir des jeux de paramètres différents pour une simulation satisfaisante du bassin de la rivière Mitis (Fortin *et al.*, 2000). Les travaux sur les autres sous-modèles seront complétés d'ici la fin du projet. Pour ce qui est de l'interface de sélection des sous-bassins, les travaux sont complétés à 100%.

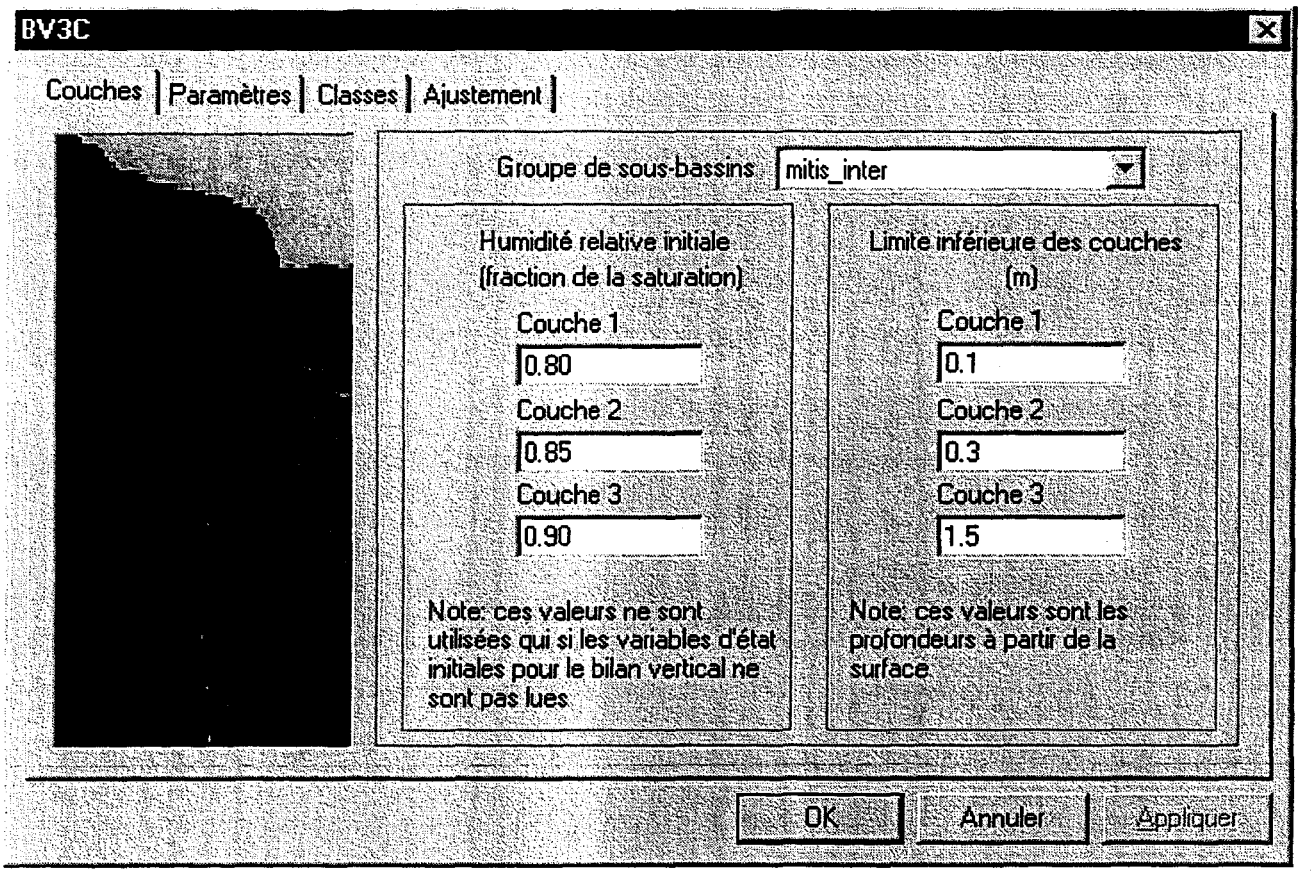

Figure 5.1 Exemple de boîte de dialogue tiré du sous-modèle de bilan vertical en trois couches permettant de spécifier les paramètres pour chaque groupe de sous-bassins.

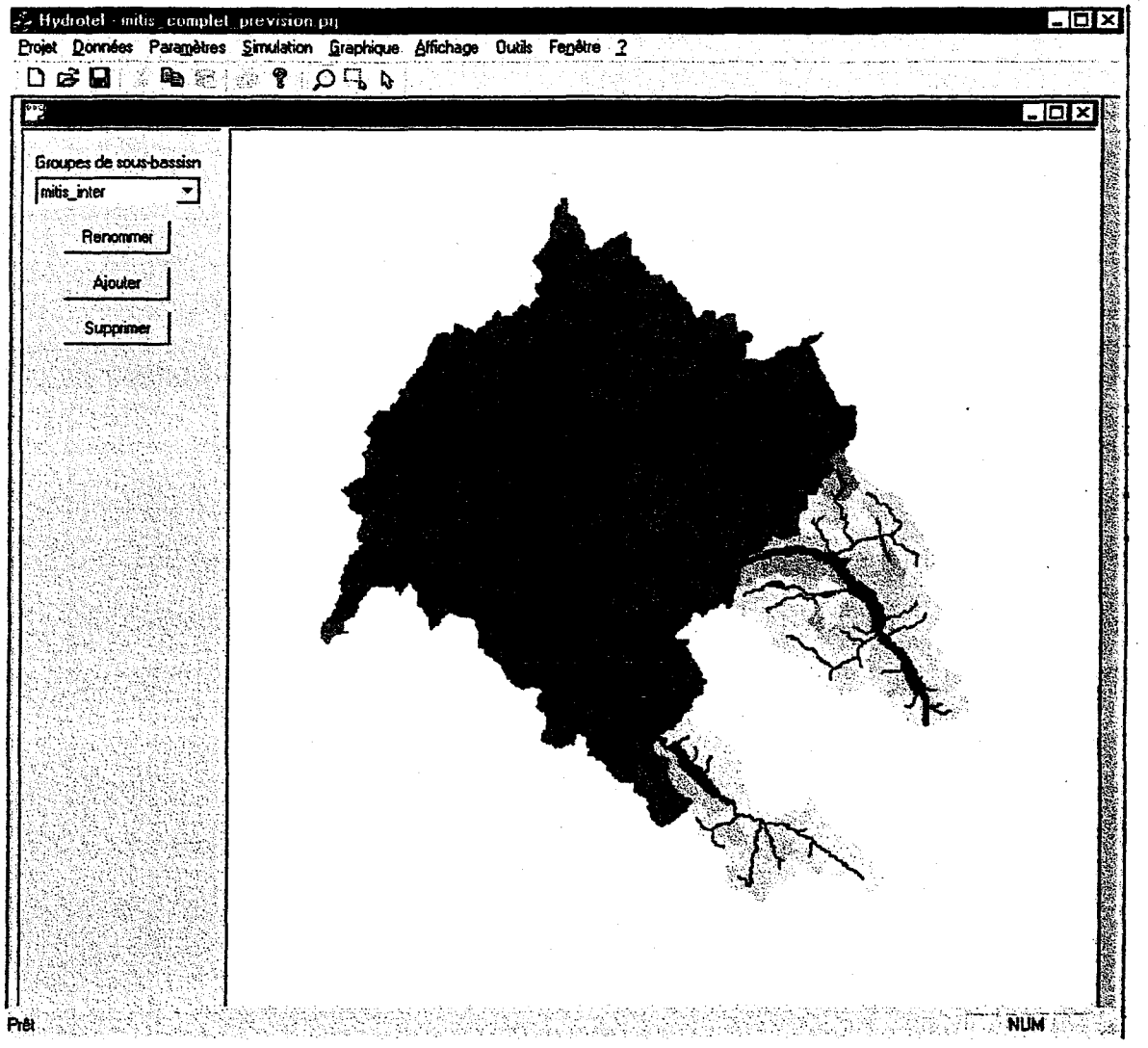

Figure 5.2 Fenêtre de l'interface graphique permettant la construction de groupes de sous-bassins. Les sous-bassins apparaissant en différentes variantes de rouge font partie du regroupement actif apparaissant dans la zone « groupes de sous-bassins », dans cet exemple, le regroupement actif qui portent le nom de « mitis_inter ». Les sous-bassins apparaissant en ton de gris font partie d'autres regroupements de sous-bassins qui peuvent à leur tour aussi être activés par la zone « groupes de sous-bassins ». La sélection des sous-bassins pour des fins de regroupement se fait soit (1) en sélectionnant un à un les sous-bassins – outil flèche à l'extrême droite de la barre d'outils - ou soit (2) en sélectionnant l'ensemble des sous-bassins s'inscrivant à l'intérieur d'un rectangle – outil flèche et rectangle de la barre d'outils - et en leur attribuant un groupe de sous-bassins.

6 SIMULATION DES CRUES DE PRINTEMPS 1999 ET 2000 SUR LE BASSIN DE LA RIVIÈRE MITIS

Les premiers tests d'utilisation d'Hydrotel en prévision sur le bassin de la rivière Mitis ont été effectués avec les crues des printemps de 1999 et 2000. Compte tenu des données que l'INRS-Eau a actuellement en main et du temps disponible dans cette première partie de mandat, cinq jeux de simulations, concernant l'estimation des apports au lac Mitis à un pas de temps de six heures, ont été effectués (voir tableau 6.1). Ces jeux de simulations, trois touchant la crue de printemps de 1999 et deux touchant la crue de printemps 2000, sont présentés dans les sections suivantes.

6.1 Crue du printemps 1999

Les deux premiers jeux de simulations ont été effectués avec la crue du printemps 1999. Pour la première de ces deux simulations, Hydrotel a été alimenté uniquement avec les observations météorologiques des stations de Ouimet et de Mistigougèche sans qu'aucune mise à jour ne soit effectuée. Pour la deuxième simulation, des mesures de l'équivalent en eau de la neige au sol datant de la fin des mois de janvier, février et mars et du milieu d'avril 1999 et prisent à proximité des ouvrages des lacs Mitis et Mistigougèche et aux stations plus éloignées de St-Moïse et de Mitis-Price, qui sont localisées près de la centrale Mitis 1, ont été utilisées en supplément des observations météorologiques précitées. Dans ce deuxième cas, le module d'Hydrotel (Fortin *et al.*, 1999b) de mise à jour de la neige au sol en fonction des observations a donc pu être utilisé.

Les apports résultant de ces deux simulations, effectuées à un pas de temps de six heures, de même que les apports observés à l'échelle journalière sont présentés à la figure 6.1. On y note que la crue de fonte de neige, qui correspond aux deux premières pointes de crues, est très bien reproduite par le modèle. Pour cette même partie de la crue qui correspond à la fonte de la neige, on note aussi que, dans cet exemple-ci, l'ajout de l'information sur la neige observée pour la mise à jour ne contribue pas à améliorer la qualité de la simulation. Au contraire, les résultats sont légèrement détériorés par la mise à jour. La figure 6.2 présente l'évolution du couvert de neige en moyenne sur le bassin avec et sans mise à jour en fonction des observations.

Tableau 6.1 Caractéristiques des simulations des apports au lac Mitis effectuées à un pas de temps de six heures.

Période de Simulation	Données d'entrée utilisées	Modules de simulation d'Hydrotel utilisés
Printemps 1999	Données météorologiques observées +	Simulation de base
Printemps 1999	Données météorologiques observées + Observation de la neige au sol	Simulation de base + Mise à jour de la neige au sol
Printemps 1999	Données météorologiques observées + Observation de la neige au sol + Apports observés	Simulation de base + Mise à jour de la neige au sol + Mise à jour des variables d'état en fonction des écarts entre les apports observés et simulés
Printemps 2000	Données météorologiques observées	Simulation de base
Printemps 2000	Données météorologiques observées + Observation de la neige au sol	Simulation de base + Mise à jour de la neige au sol

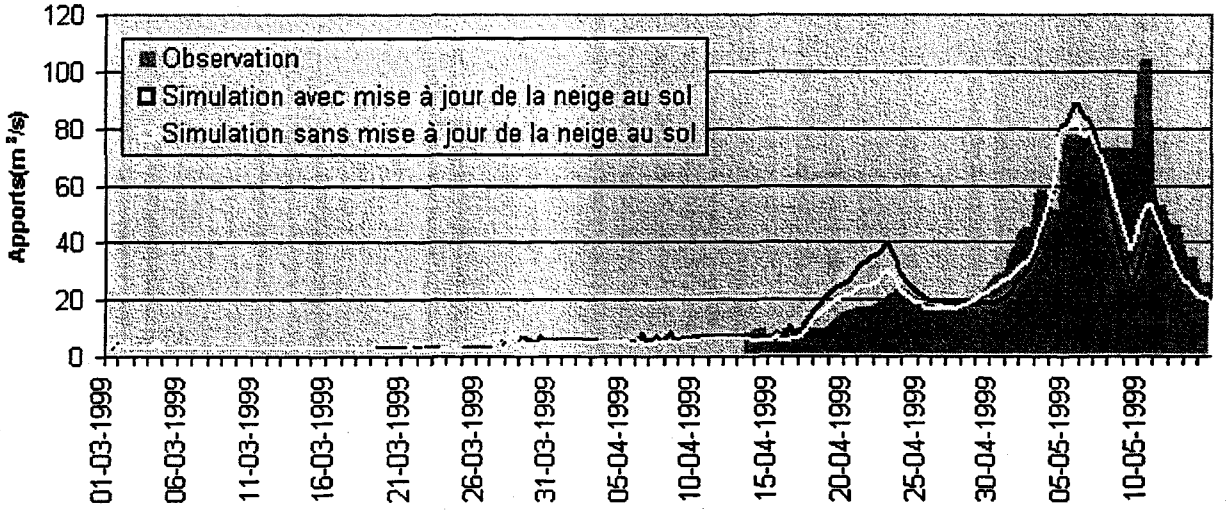

Figure 6.1 Apports du printemps 1999, au lac Mitis, observés, au pas de temps journalier, et simulés, au pas de temps de six heures, avec et sans l'utilisation des observations de la neige au sol pour la mise à jour des simulations.

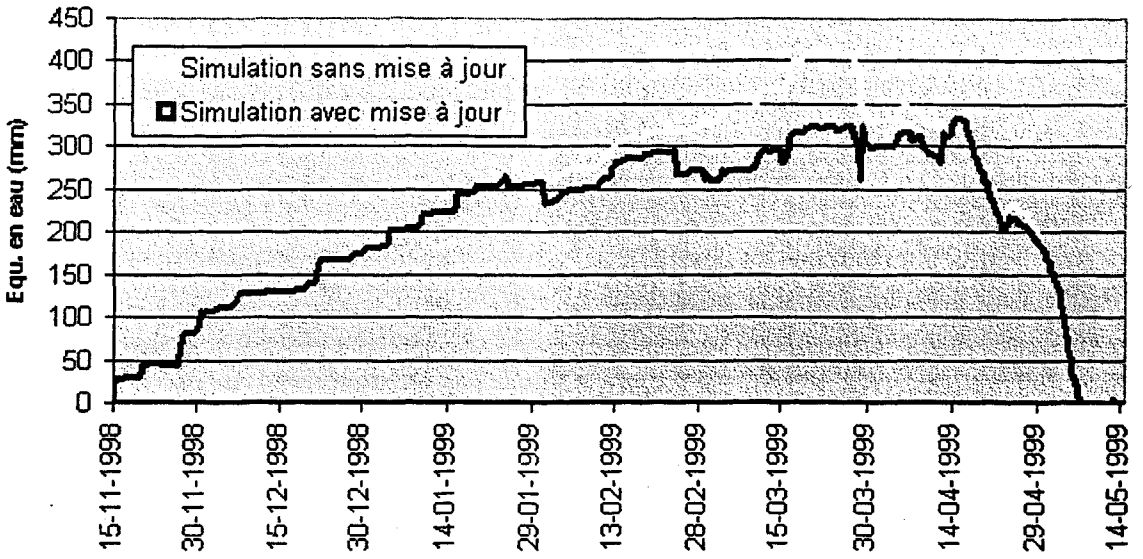

Figure 6.2 Évolution au printemps 1999 de l'équivalent en eau simulé de la neige au sol en moyenne sur le bassin calculé avec et sans mise à jour en fonction des observations.

À ce sujet, il faut bien comprendre que l'information ajoutée par les observations de la neige au sol n'est pas complète en elle-même. En effet, seuls quelques points de mesure sont disponibles (2 stations réellement à proximité et deux autres plutôt éloignées) et ne peuvent donc pas représenter l'ensemble de la variation spatiale des conditions d'évolution du couvert de neige. Ceci est exacerbé par le fait que la localisation de ces stations est caractérisée par une seule occupation du sol (une forêt de feuillus dans le cas des 4 stations utilisées ici) et, de ce fait, ne représente pas nécessairement l'ensemble des occupations du territoire du bassin versant. Le système de base de données d'Hydro-Québec ne permet actuellement que le stockage des équivalents en eau de la neige, l'information ajoutée provenant des observations nivométriques ne permet donc pas, dans notre exemple, d'ajuster la densité et, du même coup, les hauteurs de neige au sol. À cela, il faut ajouter le fait que des mesures sont disponibles uniquement pour quelques dates (3 dates dans notre exemple) pour bien comprendre que l'information provenant des observations du couvert de neige donne une indication valable des quantités de neige sans pour autant être systématiquement meilleures que l'estimation qui peut être déduite d'une bonne simulation effectuée à partir de données météorologiques d'entrée qui sont précises. Il faut noter par ailleurs que l'utilisation des observations nivométriques pour la mise à jour demeure souhaitable dans la mesure où elle peut éviter une divergence trop importante des résultats de

simulation, la simulation de la crue de printemps de l'an 2000 présentée plus loin (section 6.2) sera à ce sujet un excellent exemple.

Par ailleurs pour la dernière partie de la crue, correspondant à la deuxième semaine du mois de mai, la crue est principalement générée par une chute de pluie importante (figure 6.3). Ceci est confirmé par l'absence de neige au sol au moment de l'événement (figure 6.2) et par les températures qui sont nettement supérieures au point de congélation pour une période de plusieurs jours avant cette chute de pluie (figure 6.4). Il s'avère que les apports simulés pour cette crue sont nettement inférieurs aux observations fournies. Il demeure qu'une analyse superficielle des apports observés pour cette période indique que la forme de l'hydrogramme observé a une forme peu naturelle. Il est communément admis (Fortin *et al.*, 2000) que la mesure des débits d'apports pour des réservoirs comme celui du lac Mitis est sujet à beaucoup de bruit, provenant entre autres de l'oscillation du plan d'eau et de la précision des appareils de mesure. Dans ce contexte, l'incertitude associée aux apports calculés sur de courtes périodes (par exemple, 24 heures et moins) est relativement importante. Cette incertitude à plutôt tendance à s'amenuiser lorsque des périodes de temps plus importantes sont considérées. Il serait donc peu réaliste de voir le modèle épouser parfaitement à l'échelle journalière l'hydrogramme observé de la figure 6.1. Il demeure néanmoins que sur une période de quelques jours autour de la crue, période de temps pour laquelle on peut s'attendre à avoir en moyenne des observations plus représentatives de la réalité, les volumes d'apports observés demeurent plus élevés que les simulations.

Pour le troisième jeu de simulations, le modèle Hydrotel a été alimenté à la fois par les observations météorologiques, par les mesures de neige au sol et par les observations d'apports journalières. Ceci a nécessité le recours au module de mise à jour des variables d'état du modèle en fonction de l'écart entre les débits observés et simulés Fortin *et al.* (2000) en plus du module de mise à jour du couvert de neige. L'utilisation du module de mise à jour des variables d'état, pour la crue de printemps de 1999, devait servir deux objectifs : (1) tester et valider les algorithmes implantés et (2) tenter d'expliquer les écarts observés pour la crue de la deuxième semaine de mai. Il est à noter que quoique les apports observés sont d'une précision incertaine au début du mois de mai, ils ont été utilisés, pour fins de tests, comme s'ils étaient de fidèles représentants de la réalité.

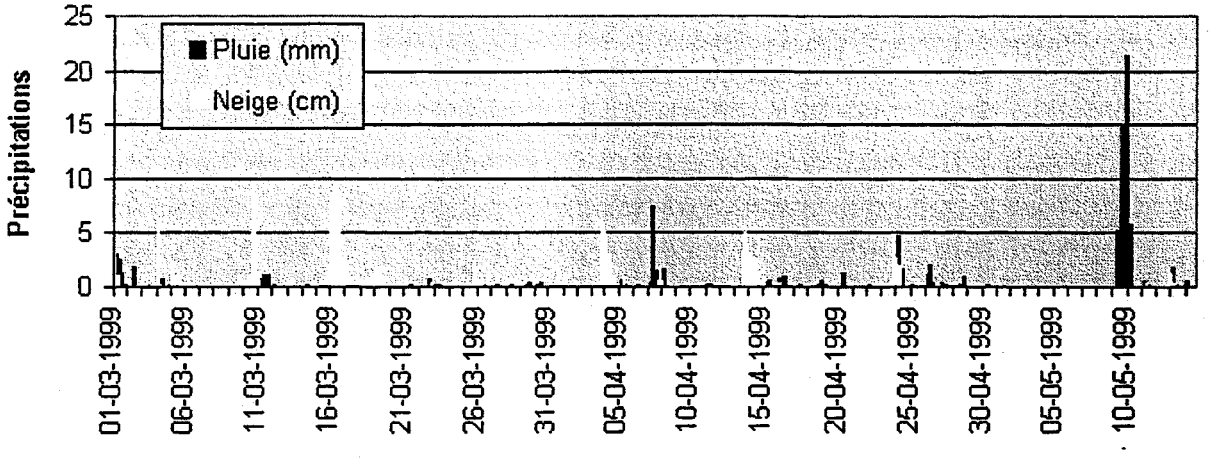

Figure 6.3 Précipitations moyennes du printemps 1999 sur le bassin du lac Mitis sous forme de hauteurs de pluie et de neige.

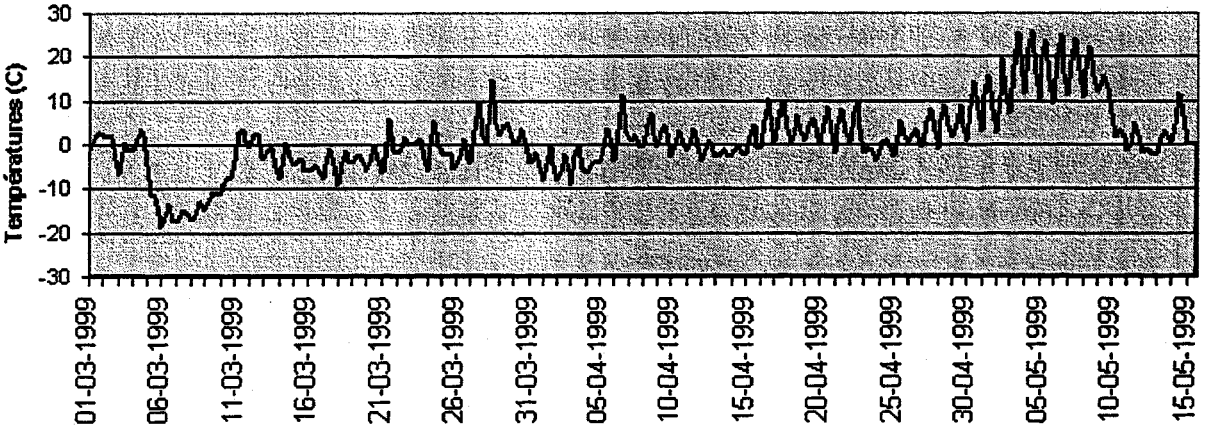

Figure 6.4 Températures moyennes du printemps 1999 sur le bassin du lac Mitis.

Avant de présenter des résultats, il est à propos de discuter brièvement du module de mise à jour des variables d'état. En effet, en mode prévision, la stratégie généralement utilisée pour tenter de réduire les erreurs sur les simulations consiste à effectuer la mise à jour des variables d'état du modèle hydrologique utilisé en fonction de l'écart entre les débits observés et simulés (WMO, 1992). À la demande d'Hydro-Québec, l'INRS-Eau a développé pour le modèle Hydrotel un module de mise à jour de ce type décrit en détail dans Fortin *et al.* (2000). Ce module s'appuie sur l'hypothèses que les erreurs sur les données d'entrée météorologiques sont généralement parmi les erreurs de simulation les plus importantes. Le module recherche les conditions météorologiques permettant, pour une période donnée, de reproduire au mieux les apports observés et, du même coup, de mettre à jour les variables qui décrivent l'état du bassin versant pour cette même période. Dans le contexte de la prévision, une pareille recherche de conditions météorologiques optimales vise à ce que les apports prévus pour le futur, à partir de la mise à jour de l'état du bassin, soient de meilleures indicateurs des apports à venir. Ceci est possible dans la mesure où l'on admet qu'une amélioration de la simulation des apports du passé récent est un gage d'amélioration des apports à venir. Cette hypothèse peut évidemment être remise en doute mais ce ne sera pas l'objet des travaux présentés ici.

Essentiellement, le module de mise à jour des variables d'état implanté dans Hydrotel permet de modifier une des deux entrées météorologiques : les précipitations ou les températures. La modification des précipitations est généralement utilisée pour tenter d'ajuster la performance du modèle lors des crues dont la chute importante de pluie est le principal moteur. La modification des températures est plutôt utilisée pour améliorer la simulation des crues de fonte de neige en aidant la synchronisation de la fonte simulée avec celle observée. Dans le contexte de la crue de printemps de 1999, la modification des températures et celle des précipitations ont été utilisées tour à tour. La modification des températures a servi à effectuer la mise à jour des variables d'état jusqu'au 9 mai inclusivement alors que pour la fin de la période, une modification des précipitations a été effectuée.

Pour bien coller au contexte d'Hydro-Québec et à l'échelle temporelle des observations d'apports qui ont été fournies à l'INRS-Eau, la mise à jour des variables d'état a été effectuée une fois par période de vingt-quatre heures. Chaque fois, l'objectif était de minimiser l'écart entre les apports observés et simulés sur les quatre pas de temps de six heures correspondant à cette période de vingt-quatre heures. Pour ce faire, les températures ou les précipitations, selon la période de vingt-quatre heures, ont été ajustées à l'aide d'un coefficient additif dans le cas des températures et multiplicatif dans le cas des précipitations. Ce coefficient, uniforme dans l'espace, a été appliqué sur une période de cinq jours se terminant avec le dernier des quatre pas de temps

appartenant aux vingt-quatre heures pendant lesquels l'écart entre les observations et les simulations était minimisé.

La figure 6.5 présente les hydrogrammes de crues prévues avec un délai de 1,3 et 5 jours suivant la journée pour laquelle les écarts entre les apports ont été minimisés. Ceci signifie, par exemple, que pour la courbe de 1 jour de délai, les valeurs d'apports prévus présentées à chaque pas ont été calculé avec le modèle mise à jour en fonction des débits observés de la journée précédente. Ainsi, pour la courbe de 1 jour de délai, les apports prévus pour les quatre pas de temps de la journée du 20 avril ont été calculés à l'aide du modèle remis à jour avec les observations d'apports du 19 avril alors que pour la courbe de 3 jours de délai, les apports prévus pour la même journée (le 20 avril) ont été calculé à l'aide du modèle remis à jour en fonction des observations du 17 avril. Le lecteur attentif aura compris qu'il a été nécessaire d'effectuer un calcul de mise à jour, dont l'algorithme itératif nécessite entre 5 et 15 simulations pour trouver le coefficient optimal, et une simulation avec le modèle mis à jour pour chaque période de vingt-quatre heures. La figure 6.5 présente, en ce sens, qu'une synthèse partielle des résultats de simulations qui ont été obtenus.

Le tableau 6.2 présente, quant à lui, les coefficients additifs, pour les températures, et multiplicatifs, pour les précipitations, qui ont été utilisés pour la mise à jour de chaque période de vingt-quatre heures. Il faut noter à ce sujet que les coefficients additifs des températures ont été limités à l'intérieur d'un intervalle de plus ou moins 5 degrés Celsius alors que les coefficients multiplicatifs ont été bornés par les valeurs 0.5 et 2.0. Le fait d'imposer pareilles limites assure que des corrections absolument irréalistes ne puissent être effectuées.

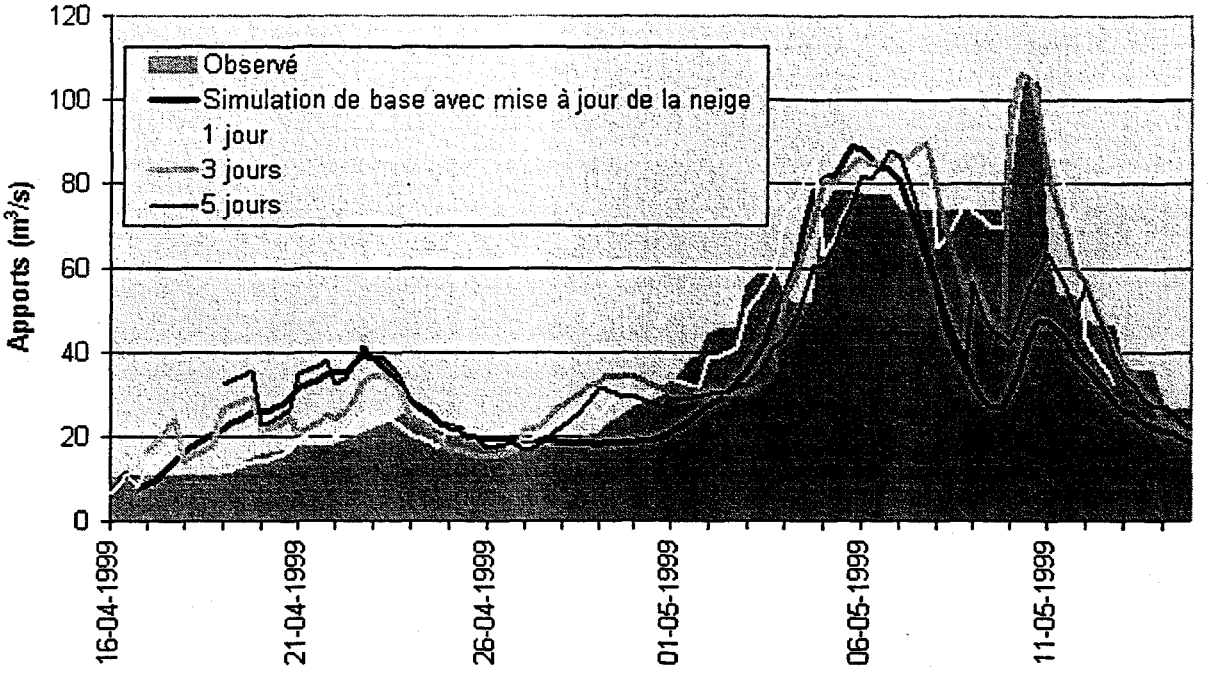

Figure 6.5 Simulation de prévisions d'apports du printemps 1999 au pas de temps de six heures au lac Mitis, en utilisant la mise à jour des variables d'état en fonction des écarts entre les apports simulés et observés. Les prévisions sont données pour 1,3 et 5 jour d'avance, les apports observés sont fournis à l'échelle journalière, les apports simulés sans mise à jour des variables d'état incluent, par contre, la mise à jour de la neige au sol en fonction des mesures de neige au sol.

Tableau 6.2 Coefficients utilisés pour la mise à jour des variables d'état

Jour pendant lequel l'écart entre les apports observés et simulés a été minimisée	Coefficient additif des températures (C)	Coefficient multiplicatif des précipitations
16 avril	1.46	aucun
17 avril	-0.02	aucun
18 avril	-1.12	aucun
19 avril	-0.65	aucun
20 avril	0.07	aucun
21 avril	-0.19	aucun
22 avril	-0.28	aucun
23 avril	0.12	aucun
24 avril	1.35	aucun
25 avril	1.25	aucun
26 avril	0.67	aucun
27 avril	0.34	aucun
28 avril	0.20	aucun
29 avril	-0.52	aucun
30 avril	-0.43	aucun
1 mai	4.25	aucun
2 mai	5.00	aucun
3 mai	4.58	aucun
4 mai	-0.66	aucun
5 mai	0.63	aucun
6 mai	-0.99	aucun
7 mai	-5.00	aucun
8 mai	-3.43	aucun
9 mai	aucun	2.00
10 mai	aucun	1.48
11 mai	aucun	0.88

L'analyse conjointe de la figure 6.5 et du tableau 6.2 nous permet de bien cerner les éléments principaux qui ressortent de l'exercice de mise à jour des variables d'état. Notons d'abord de manière macroscopique que la mise à jour a permis, dans cet exemple précis, une amélioration de la qualité des apports prévues dans la mesure où pour les fins de tests, on considère les apports observés comme exacts. De manière plus précise, il est à noter qu'en début de fonte (troisième semaine d'avril) les apports simulés, sans mise à jour des variables d'état, surestimaient les apports observés. L'algorithme de mise à jour a donc dû recourir du artificiellement rabattre les températures (tableau 6.2) de manière à réduire la fonte simulée et les apports correspondants.

Dans les jours suivants, c'est plutôt la stratégie inverse qui a été mise en place de manière à augmenter légèrement les apports simulés. Le modèle réussi par ailleurs, jusque là, à bien suivre le comportement du bassin.

À partir du début du mois de mai, la variation inter-journalière des apports observés est moins stable. Ceci se manifeste par la présence d'oscillations qui sont possiblement artificielles. Ces oscillations dans les observations obligent, lorsque les mises à jour sont systématiquement effectuées à chaque vingt-quatre heures, a réajusté l'état du bassin de façon assez importante chaque jour. Les ajustements des 4 et 5 mai sont des exemples évidents d'ajustement forcés par les oscillations des apports observés. Il est à ce point intéressant de se questionner sur la période de comparaison des écarts entre les apports observés et simulés pour des fins de mise à jour tirerait probablement avantage, à la lumière des résultats évoqués ici, à être plus longue que la période des oscillations des observations. Pour le début de mai, il faut noter aussi les ajustements très forts, voire même jusqu'à la limite maximale qui a été fixée, des températures du 1, 2 et 3 mai qui sont nécessaires pour obtenir une fonte permettant d'atteindre les valeurs d'apports observées.

Du 5 au 9 mai, les apports observés sont relativement constants. Ceci est particulièrement vrai pour les 7, 8 et 9 mai où un apport d'exactement 73 m^3/s est fourni comme valeur observée. Quoique ce plateau d'apports constants est fort probablement artificiel et qu'il est plus probable que la courbe d'apports devait décroître légèrement, il a été possible par mise à jour de forcer le modèle à suivre tant bien que mal les valeurs des apports observés. Pour y arriver, des coefficients négatifs des températures, permettant de retarder la fonte, ont été utilisés. Ceci a permis qu'une quantité faible de neige au sol perdure jusqu'au moment où les pluies du 9 mai arrivent, ce qui explique que la crue du 10 mai, générée principalement par ces pluies, a été relativement bien prévue à l'intérieur d'un délai de trois jours.

De manière systématique, trois mises à jour, faites par ajustement des précipitations, ont été effectuées en fonction des apports observés des 9, 10 et 11 mai. Dans le cas de cette crue du printemps 1999, ces ajustements effectués aux vingt-quatre heures n'ont pas contribué de façon importante à améliorer les prévisions, la mise à jour finale de la période de fonte effectuée pour le 8 mai aurait conduit à des résultats équivalents sans mise à jour subséquente. Une meilleure compréhension de la mise à jour par l'ajustement des précipitations nécessitera des tests sur d'autres crues. Il n'apparaît pas évident, à la lumière du présent test, qu'une mise à jour par période de vingt-quatre heures soit suffisant pour suivre les crues principalement causées par les pluies fortes sur un bassin dont le temps de réponse est aussi rapide que celui du lac Mitis.

Finalement, il est fondamental de noté que, faute de prévisions météorologiques pour la période considérée dans la base de données actuellement à la disposition de l'INRS-Eau, seules des observations météorologiques ont été utilisées pour produire les résultats présentés à la figure 6.5. Ces observations jouent donc le rôle de prévisions dans la mesure où elles sont utilisées pour prévoir les apports à venir. Cette façon de faire à l'avantage d'éviter d'ajouter les erreurs de prévision météorologique aux erreurs de prévision hydrologique en supposant que des prévisions d'aussi bonne qualité que les mesures sont effectuées pour une période future allant de 1 à 5 jours, selon la courbe considérée.

6.2 Crue du printemps 2000

Les deux derniers jeux de simulations ont été effectués sur la crue du printemps 2000. Comme dans le cas des crues de 1999, Hydrotel a d'abord été alimenté uniquement avec les observations météorologiques des stations de Ouimet et de Mistigougèche sans aucune mise à jour. Il a ensuite été alimenté conjointement par les observations météorologiques et des mesures de l'équivalent en eau de la neige au sol datant du 3 et du 13 avril 2000, prises à Ouimet et Mistigougèche uniquement, qui ont servi à la mise à jour de la neige au sol.

Les résultats de ces deux simulations, de même que les apports observés à l'échelle journalière, sont présentés à la figure 6.6. L'analyse de cette figure montre clairement que, dans cet exemple précis, le recours à la mise à jour de la neige au sol en fonction des observations, permet une amélioration importante de la qualité de la simulation. En effet, sans le recours aux observations de la neige au sol, les résultats de simulation d'apports sont nettement inférieurs aux observations. Cette sous-évaluation des apports est la conséquence directe d'une sous-évaluation de la neige au sol (voir figure 6.7), qui elle-même peut fort probablement être tributaire d'une sous-évaluation des précipitations.

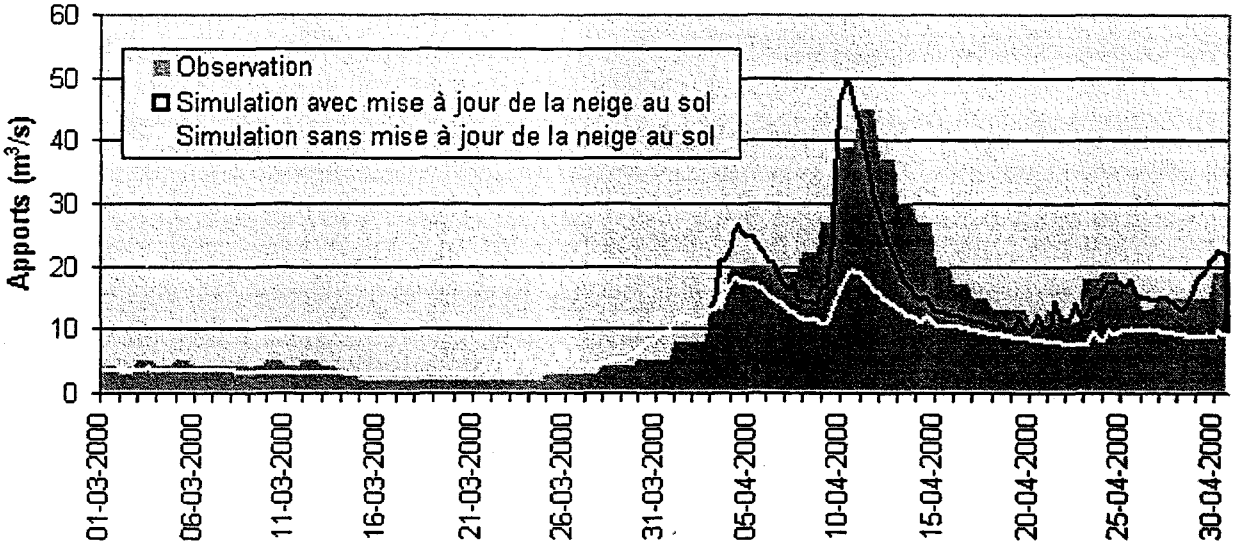

Figure 6.6 Apports du printemps 2000, au lac Mitis, observés, au pas de temps journalier, et simulés, au pas de temps de six heures, avec et sans l'utilisation des observations de la neige au sol pour la mise à jour des simulations.

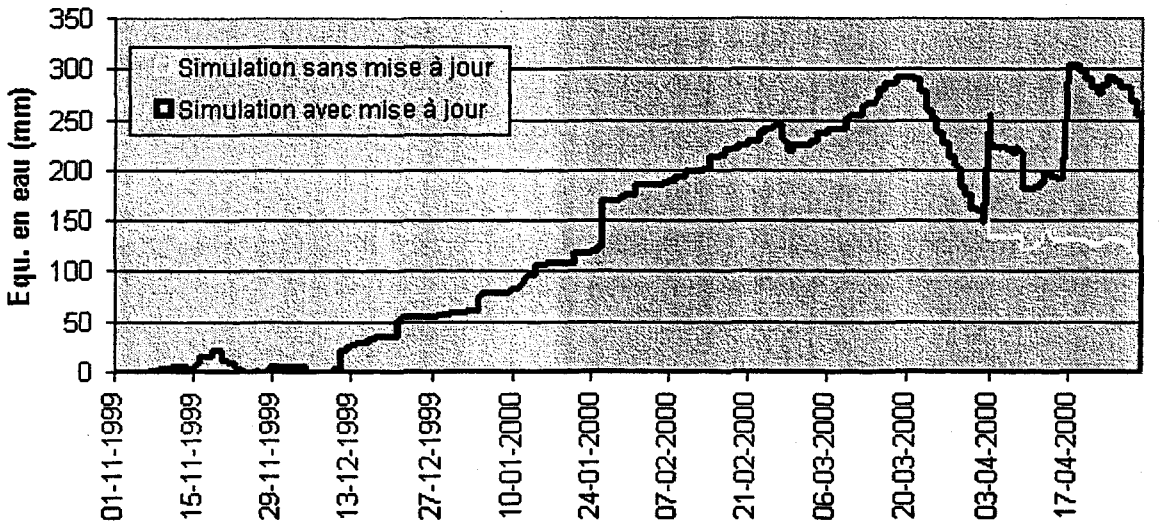

Figure 6.7 Évolution au printemps 2000 de l'équivalent en eau simulé de la neige au sol en moyenne sur le bassin, calculé avec et sans mise à jour en fonction des observations.

En effet, est-ce que les stations de mesure météorologique, dont on sait pertinemment qu'elles ont éprouvé des problèmes techniques à l'hiver 1999-2000 (problème de transmission à Ouimet caractérisé par de nombreuses données manquantes et problème de vidange des pluviomètres à Mistigougèche), ont sous-évalué les quantités de précipitations tombées? À ce sujet, nous n'avons pas de réponse absolue. Nous constatons tout de même qu'une hauteur de seulement 417 cm en chute de neige, tel qu'interpolé par Hydrotel à partir des stations de Ouimet et de Mistigougèche, a été enregistrée pour l'hiver 1999-2000 sur le bassin du lac Mitis. Si on la compare au court historique que nous avons en main (voir tableau 6.3), cette hauteur de chute de neige est plutôt faible. Est-ce le signe d'une année de faible hydraulicité ou plutôt un indice comme quoi il y aurait une erreur dans la mesure des précipitations réellement tombée? À ce point de nos travaux, aucune conclusion définitive n'a encore été tirées, quoique que l'hypothèse d'une sous-évaluation des précipitations semble la plus plausible.

Cette hypothèse permet de justifier les écarts entre les apports observés et simulés qui demeurent même après l'utilisation des observations de la neige pour effectuer la mise à jour. En effet, introduire dans le modèle les équivalents en eau de la neige qui sont observés permet de corriger tant bien que mal les valeurs simulées par le modèle à l'aide des données météorologiques boiteuses. Cette stratégie, aussi utile soit-elle, fournit relativement peu d'information (voir section 6.1) et ne peut compenser parfaitement pour la perte d'information en provenance du réseau de stations météorologiques. En fait, l'utilisation de la mise à jour de la neige au sol, selon l'algorithme implanté (Fortin *et al.*, 1999b), n'est pas indépendante de la qualité de la simulation avant la mise à jour; dans la mesure où cet algorithme réutilise, faute de mieux, des résultats de simulation pour, entre autres, distribuer la valeur mesurée entre les diverses occupation du sol et évaluer la densité et la hauteur de neige à partir de l'équivalent en eau lorsque, comme c'est le cas ici, ces deux valeurs ne sont pas disponibles. La simulation de la crue de printemps de 1999 (section 6.1) permet aussi d'illustrer cette idée car, rappelons-le, on y note que lorsque la simulation de la crue de fonte de neige est plutôt valable avant la mise à jour, il est possible que l'introduction des mesures de la neige au sol pour une mise à jour diminue légèrement la qualité des résultats.

Il faut, par ailleurs, noter que les données que nous avons en main au moment de produire le rapport ne permettent pas de couvrir l'ensemble de la période de fonte de l'année 2000 qui en toute vraisemblance, si l'on s'appuie sur la quantité de neige non-négligeable au sol en date du 1 mai 2000, devrait se poursuivre sur encore quelques jours.

Tableau 6.3 Hauteurs de précipitations moyennes en pluie et en neige, entre le 1 novembre et le 30 avril de chaque année hydrologique, sur le bassin du lac Mitis tel qu'interpolé avec Hydrotel à partir des mesures prises aux stations de Ouimet et de Mistigougèche et où les données manquantes à l'une et/ou l'autre des stations ont été remplacées par des mesures prises à proximité.

Année hydrologique	Pluie(mm)	Neige(cm)
1993-1994	162	664
1994-1995	211	634
1995-1996	237	490
1996-1997	129	477
1998-1999	149	476
1999-2000	224	417

7 CONCLUSION

L'état d'avancement des travaux associés au premier livrable de l'entente entre l'INRS-Eau et l'IREQ portant sur l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec et la simulation des apports sur la rivière Gatineau (Fortin et Bernier, 2000) a été présenté. À ce moment, l'échéancier initial du projet est, dans les grandes lignes, respecté. L'INRS-Eau s'efforcera dans les prochaines semaines d'intensifier les tests sur les nouveaux modules implantés. L'INRS-Eau débutera les travaux de mise en place et d'étalonnage sur le bassin de la rivière Gatineau dès que les données nécessaires lui seront fournies par l'IREQ.

RÉFÉRENCES

Fortin, J.P., Bernier, M. (1999). Simulation de crues maximales probables et prévision des apports sur le bassin de la rivière Mitis par le modèle Hydrotel. Proposition à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec. INRS-Eau, Sainte-Foy, Québec. 14 p. + annexes.

Fortin, J.P., Bernier, M. (2000). Proposition pour l'intégration d'Hydrotel au système de prévision d'Hydro-Québec et la simulation des apports sur la rivière Gatineau. Proposition à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec. INRS-Eau, Sainte-Foy, Québec. 13 p. + annexes.

Fortin, J.P., Turcotte, R., Gauthier, Y., Royer, A., Bernier, M. (1999a). Simulations de crues maximales probables et prévisions des apports sur le bassin de la rivière Mitis par le modèle HYDROTEL, Rapport d'étape, Rapport No R-551a, INRS-Eau, Sainte-Foy, 103 p. + annexe.

Fortin, J.P., Turcotte, R., Gauthier, Y., Royer, A., Bernier, M. (2000). Extrait du rapport : Simulations de crues maximales probables et prévisions des apports sur le bassin de la rivière Mitis par le modèle HYDROTEL, Rapport d'étape, Rapport No R-551s1, INRS-Eau, Sainte-Foy, 85 p. + annexe.

Fortin, J.P., Turcotte, R., Royer, A. (1999b). Ajustement du modèle hydrologique Hydrotel pour la prévision d'apports sur le bassin de la rivière Mitis, Rapport de recherche, Rapport No R-554, INRS-Eau, Sainte-Foy, 37 p.

World Meteorological Organization, WMO (1992). Simulated Real-Time Intercomparison of hydrological models, Operational Hydrology Report No.38, WMO – No. 779, Genève, 241 p.