

**RAPPORT FINAL**

**ÉVALUATION DE SOURCES DIFFUSES DE POLLUANTS**

**PROVENANTS DE LA FONTE DES NEIGES (SIMNEIG1)**

**PAR:**

**Denis Lévesque**

**Jean Stein**

**Gérald Jones**

**Serge Proulx**

**INRS-EAU**

**Décembre 1993**

# LE SIMULATEUR DE FONTE SIMNEIG1

## Le module physique de SIMNEIG1

Le module physique, écrit en langage C, a été validé en comparant ses extrants avec ceux du programme FORTRAN pour la saison de fonte de 1988 au Lac Laflamme. Les résultats concordent parfaitement. Le modèle a été réécrit sous forme d'objet (C++) afin de pouvoir l'appliquer à une grille bidimensionnelle de parcelles de terrain. Encore une fois, les extrants ont été validés en les comparant à ceux du modèle FORTRAN. Par la suite le modèle a été modifié pour tirer profit de la base de données topographique. Les paramètres du modèle ont été ajustés pour bien refléter l'influence de divers facteurs tels que la pente, l'orientation et l'occupation du territoire par les résineux et les feuillus.

## Le module chimique de SIMNEIG1

Le module chimique a dû être reformulé afin de réduire son besoin excessif en espace mémoire dans l'environnement bidimensionnel de SIMHYD. Les ions simulés sont:  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{NH}_4^+$ . Il a été validé en vérifiant que la charge ionique apportée par les précipitations additionnée à la charge totale au début de la simulation correspond à la charge totale relâchée lorsque la simulation est effectuée jusqu'à la disparition complète du couvert nival. Toutefois, dans son état actuel, la simulation ne peut commencer sur un sol nu que s'il n'intervient aucune fonte importante durant la période d'accumulation. Cette situation ne pourra être corrigée qu'en complexifiant le modèle. Il faudra alors tenir compte du potentiel chimique des ions dans l'eau et dans la neige, du temps de parcours de l'eau de fonte dans le couvert et de la vitesse de diffusion des ions dans la phase solide.

RAPPORT D'ÉTAPE 1

ÉVALUATION DE SOURCES DIFFUSES DE POLLUANTS  
PROVENANT DE LA FONTE DES NEIGES (SIMNEIG1)

PAR:

S. PROULX  
J. STEIN

INRS-EAU

Fevrier 1993

## Préambule

Le présent rapport a pour but de résumer les activités reliées au développement du modèle SIMNEIG1 pour la période octobre 1992-février 1993.

Le temps alloué à cette activité par l'assistant de recherche a été consacré à se familiariser avec le module physique du modèle, à effectuer une revue de littérature sur le sujet et à débiter les analyses de sensibilité considérées comme nécessaire pour l'optimisation de l'utilisation du modèle. Les sections suivantes constituent un résumé succinct du résultat de ces différentes activités.

## 1. Introduction

Le module physique du modèle SIMNEIG1 est la version la plus récente du modèle HYDRO-17 (Anderson, 1973) traitant de l'accumulation et de l'ablation du couvert nival, soit SNOW-17. Il nécessite deux intrants principaux, soit la température de l'air et la précipitation, et permet d'utiliser ces intrants selon des intervalles de temps variés (horaire, aux 6 heures, journaliers). Lors de son évaluation par Roberge et al. (1988), ce modèle a pu simuler avec précision l'équivalent en eau de la neige, les écoulements cumulés, journaliers et horaires mesurés par un lysimètre localisé à un site représentatif de l'écosystème de la forêt boréale de l'est du Canada.

Comme ce module permet l'utilisation des intrants selon des intervalles de temps variés et en combinaisons différentes, l'utilisateur du modèle, lors de la préparation de son protocole expérimental, doit donc choisir l'intervalle de temps et la combinaison d'intrants qu'il utilisera.

Le premier objectif de cette étude consiste donc à quantifier l'effet du choix des combinaisons et intervalles de temps des intrants sur la précision obtenue afin de permettre à l'utilisateur du modèle de faire un choix plus éclairé de la combinaison et de l'intervalle de temps des intrants à utiliser en fonction de la précision désirée et des moyens disponibles.

Pour atteindre ce premier objectif, on examine l'effet de la fréquence de la prise d'intrants météorologiques sur la précision du modèle. Plusieurs alternatives sont examinées, comme par exemple, l'utilisation de la température de l'air minimale et maximale de la journée. Différents critères statistiques sont utilisés pour effectuer cette évaluation. Des données de 1981 à 1989 sont utilisées et les paramètres utilisés sont ceux déterminés dans l'étude de Roberge et al. (1988).

## 2. Revue de littérature

Le module physique du modèle SIMNEIG1 est la version la plus récente du modèle HYDRO-17 (Anderson, 1973) qui fait partie intégrante du "National Weather Service River Forecast System (NWSRFS)". SNOW-17 a été appliqué dans plusieurs régions des Etats-Unis (Peck et Anderson, 1977) par le "National Weather Service". Une étude de comparaison de modèles de fonte, appliquée à un bassin de l'Idaho, a conclu que HYDRO-17 était le meilleur modèle parmi ceux vérifiés (Huber, 1983). De plus, l'Organisation météorologique mondiale grâce à son projet de comparaison de modèle de fonte a appliqué le simulateur hydrologique NWSRFS sur certains bassins en France, Pologne et aux Etats-Unis (World Meteorological Organization, 1982). Dans cette étude le sous-programme SNOW-17 n'a pas été évalué hors du modèle NWSRFS, car des données de calibration et de validation n'étaient pas disponibles.

Jusqu'à maintenant, peu d'études ont été effectuées pour connaître la qualité des intrins de SNOW-17 nécessaires à l'obtention d'une précision donnée des extrins (Kitanidis et Bras, 1980). En effet, la plupart des études du modèle NWSRFS consistent à examiner la qualité des simulations des débits de rivières et non pas la qualité des simulations des débits de fonte à la base du couvert nival (Peck et Anderson, 1977; World Meteorological Organization, 1982; Huber 1983; Braun, 1985; Ca'zorzi et Fontana, 1986). Seuls Roberge et al., (1988), dans une évaluation de son application en forêt boréale, ont étudié SNOW-17 à l'extérieur du NWSRFS. Donc, les applications actuelles de SNOW-17 ont nécessité l'ajustement des paramètres pour différentes situations. La sensibilité du modèle aux paramètres principaux et secondaires a été effectuée par Anderson (1982) à l'intérieur du NWSRFS mais aucune étude de sensibilité aux intrins de ce modèle n'a été produite.

Les études de sensibilité de modèles hydrologiques aux imprécisions des intrins sont généralement peu nombreuses parce que les paramètres d'ajustement ont souvent plus d'impact sur la qualité de la simulation que les erreurs de mesure des données météorologiques. Dans le cas des modèles déterministes où les paramètres empiriques sont peu nombreux, la qualité des extrins est surtout dépendante de la qualité des intrins. Des études de sensibilité aux intrins ont été effectuées pour certains modèles d'évapotranspiration (McCuen, 1974; Saxton, 1975; Coleman et DeCoursey, 1976; Beven, 1979; Camillo et Gurney, 1984) de même que pour des modèles précipitation-ruissellement (Aitken, 1973; Troutman, 1982, 1985). Ces études ont permis de mesurer l'impact d'une erreur dans les intrins sur la variable prédite et ainsi évaluer les intrins les plus importants pour obtenir une simulation précise.

Il existe plusieurs techniques pour réaliser une étude de sensibilité de modèle aux paramètres telles que la fonction objective de minimisation et la probabilité maximale d'estimation, ou des techniques moins sophistiquées telles que des graphiques ou de simples estimateurs mathématiques [James et Burges, 1982]. Ces outils avec quelques variantes peuvent être utilisés dans une étude de sensibilité de modèles aux intrins. Dans le passé, la sensibilité de modèles a été étudiée seulement pour trouver les valeurs optimales des paramètres (McCuen, 1973). Pourtant, les techniques de dérivées partielles des équations des modèles par rapport aux intrins peuvent être utiles pour constater l'impact des erreurs aux intrins sur la qualité de la simulation.

### 3. Méthodologie

#### 3.1 Description sommaire du module physique

Le module physique du modèle comprend des fonctions de transfert de masse, d'énergie et d'acheminement de l'eau et tient compte de la fraction du sol recouverte par la neige. Les pertes et les retards induits par l'interception des précipitations sur le couvert forestier ne sont pas considérés. Le module physique suppose également que l'évaporation à la surface de la neige est négligeable.

Le module physique du modèle évalue les échanges d'énergie de l'interface air-neige selon trois approches distinctes.

Durant les périodes froides, le couvert de neige perd de l'énergie et accumule un déficit énergétique qui est évalué à l'aide du facteur de fonte négatif (NMF). Lors d'un réchauffement, le modèle doit d'abord annuler le déficit d'énergie avant de produire de la fonte.

Lorsque la pluie est négligeable (i.e. moins de 2,5 mm/6 heures), la fonte du couvert est calculée directement à l'aide d'une équation basée sur un facteur de fonte variant entre deux extrêmes correspondant aux solstices d'hiver et d'été.

En période avec précipitation significative, le modèle fait un bilan énergétique complet en supposant que le rayonnement solaire incident est négligeable, que le rayonnement de longue longueur d'onde émis est celui d'un corps noir à la température de l'air et que l'humidité relative est de 90%.

Le modèle contient une douzaine de paramètres physiques d'ajustement (Anderson, 1982). On distingue les paramètres principaux (MFMIN, MFMAX, UADJ, SCF, SI et la courbe de retrait du couvert nival) et les paramètres secondaires (NMF, TIPM, MBASE, PXTEMP, PLWHC et DAYGM). Les paramètres sont principalement reliés aux différents facteurs climatiques et physiographiques qui affectent l'accumulation et l'ablation de la neige. Il est donc important que l'utilisateur obtienne l'information sur les conditions météorologiques et hydrologiques ainsi que les caractéristiques physiographiques de l'aire étudiée. Les paramètres principaux et secondaires du site, tels que déterminés par ajustement (Roberge et al., 1988), sont utilisés.

#### 3.2 Description du site et instrumentation

Les intrans et les données de validation du modèle ont été recueillis depuis 1981 sur le versant nord du bassin du Lac Laflamme sur un site ayant une pente moyenne de 20% et une altitude de 780 m. Selon un inventaire de 1982 (Plamondon et al., 1984), le peuplement est composé à 80% de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) avec une densité de 4 000 à 5 000 tiges/ha et un niveau de défoliation de 50%. Cette densité a été réduite suite à un chablis important en décembre 1983 et causé par des vents violents et des pluies verglaçantes. Ce chablis a affecté 20% des arbres sur le site de prise de mesures .

Les températures de l'air ( $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ) en sous-bois ont été mesurées sous abri par thermistor YSI-401 ou YSI-405. Les données de température prises aux 30 minutes, (5 minutes en 1981) ont été enregistrées à l'aide d'un système d'acquisition automatique de données. Une série de thermistors ont été installée in situ dans le couvert nival. Des mesures de densité de la neige et d'équivalent en eau ont aussi été prises régulièrement à l'aide de carottiers "Mount Rose" et "WSC SNOW Sampler". Les données de précipitation proviennent de la station principale de la forêt Montmorency située à 1,5 km du site d'application du modèle. Ces données permettent de différencier l'état de la précipitation (neige ou pluie). Le taux de fonte en sous-bois a été mesuré grâce à un lysimètre de 20 m<sup>2</sup> équipé d'un débitmètre à augets basculants (à valves électroniques, depuis 1986) relié au système d'acquisition de données. L'étude est effectuée en utilisant des données de saisons de fonte de 1981 à 1989.

### 3.3 Description des types d'intrans

Il existe différentes façons d'obtenir les intrans de température et de précipitation sous une forme compatible avec le module physique de SIMNEIG1. C'eux-ci sont les intrans horaires, les intrans aux 6 heures, l'état de la précipitation non-défini, la précipitation calculée à partir de la précipitation journalière et la température simulée à partir de la valeur minimale et maximale journalière

Les intrans horaires utilisés par Roberge et al. (1988) comprennent, en plus de la précipitation et de la température de l'air, la fraction sous forme de neige de la précipitation totale horaire. La température horaire est la moyenne arithmétique des températures mesurées à toutes les 30 minutes.

Pour les intrans aux 6 heures, la température moyenne de l'air, la précipitation totale et la fraction de la précipitation sous forme de neige sont exprimées pour des périodes de 6 heures (0:00 à 6:00, 6:00 à 12:00, 12:00 à 18:00 et 18:00 à 0:00). La température moyenne aux 6 heures est la moyenne arithmétique des températures horaires utilisées dans les intrans horaires.

Lorsque l'on utilise l'état de la précipitation non-défini, on laisse le modèle définir l'état de la précipitation (neige ou pluie) au moyen de la température de l'air et d'un seuil de température pré-défini (PXTEMP). Si la température de l'air pour la période de temps choisi est supérieure à PXTEMP (1°C pour toutes nos simulations) le modèle simule la fonte en considérant la précipitation comme étant de la pluie.

En pratique, il est difficile ou trop coûteux de prédire ou de mesurer la précipitation par période de 6 heures. Les valeurs journalières de la précipitation étant plus courantes, la précipitation totale journalière divisée par quatre peut être utilisée comme valeurs de précipitations aux 6 heures. En fait, en cas de neige, il n'y a pas d'écoulement généré, donc pas d'erreurs engendrées par cette répartition arbitraire. En cas de pluie, l'erreur dépend de la durée et du volume de la précipitation.

Finalement, l'une des prévisions météorologiques des plus usuelles est la température minimale et maximale de la journée à venir. La température moyenne pour les quatre périodes de 6 heures de la journée peut être déterminée, à partir de ces valeurs minimales et maximales, au moyen d'une fonction harmonique asymétrique et donner une bonne simulation avec le modèle SNOW-17 (Ca'zorzi et Dalla Fontana, 1986). On a toutefois choisi d'utiliser les équations de la sous-routine MAT du modèle HYDRO-17 (Anderson, 1973) à cause de leur simplicité d'utilisation. Ces équations transforment les températures minimales et maximales en températures moyennes aux 6 heures. Les équations à la base de cette sous-routine ont été évaluées grâce à des données de température de saisons de fonte du "Central Sierra Snow Laboratory" (Californie) et du "NOAA-ARS Cooperative Snow Research Station" (Vermont) (Anderson, 1973).

#### 3.4 Description des combinaisons d'intrans

Pour l'étude de la sensibilité du module physique aux intrans, les écoulements journaliers observés sont comparés à ceux simulés en utilisant différentes combinaisons des types d'intrans décrits à la section 3.3. Sept combinaisons sont utilisées pour mesurer leur impact sur la qualité de la simulation de l'écoulement journalier soit :

1. Horaire.
2. Aux 6 heures.
3. Aux 6 heures avec état de la précipitation non-défini, i.e. % liquide et solide calculé par le modèle.
4. Aux 6 heures avec précipitation calculée à partir de la précipitation journalière et état de la précipitation non-défini.

5. Aux 6 heures avec température simulée à partir de la valeur minimale et maximale journalière.
6. Aux 6 heures avec température simulée et état de la précipitation non-défini.
7. Aux 6 heures avec température simulée, précipitation calculée à partir de la précipitation journalière et état de la précipitation non-défini.

### 3.5 Description de l'analyse de sensibilité

La sensibilité de modèle ayant un minimum d'équations peut être déterminée par dérivés partielles de chacune des variables indépendantes. Des études de modèles d'évapotranspiration ont utilisé cette technique (Coleman et De Cowrsey, 1976, Beven, 1979; Camillo et Gurney, 1984) avec succès. Lorsqu'un modèle comporte plusieurs sous-routines avant d'obtenir l'extran final, cette technique mathématique est difficilement applicable. D'autres outils mathématiques sont aussi utilisés pour ajuster les paramètres d'un modèle mais ne permet pas de mesurer l'impact d'un intran sur la qualité de la simulation.

Des critères simples d'évaluation de la qualité des simulations peuvent être utilisés pour mesurer l'impact des différentes combinaisons d'intrans sur l'écoulement journalier (totaux et cumulés).

Trois critères ont été utilisés afin d'éliminer certaines conclusions erronées pouvant résulter de l'utilisation d'un seul critère d'évaluation (James et Burges, 1982). Le premier critère est l'erreur absolue moyenne (Bates, 1976). Ce critère mesure l'efficacité de la simulation des écoulements mais montre peu la qualité de la simulation lors des faibles écoulements (James et Burges, 1982). Le second critère, le coefficient de corrélation "r", souvent utilisé pour vérifier l'accord entre des valeurs simulées et observées, est calculé pour les écoulements journaliers selon le type d'intrans. Le coefficient de corrélation est une mesure efficace de similarité de forme entre les graphiques des écoulements simulés et observés en fonction du temps (McCuen et Snyder, 1975). Comme troisième critère le coefficient de corrélation Pearson pondéré "Cr" selon le rapport des écarts-types (McCuen et Snyder, 1975) permet de mesurer la linéarité de la relation entre les écoulements simulés et observés. Contrairement à "r", il tient compte du biais pouvant exister entre ces deux valeurs d'écoulement.

Les coefficients de corrélation Pearson "r" et pondéré "Cr" ont tous deux une valeur unitaire lorsqu'il y a un parfait accord entre l'écoulement journalier observé et simulé.

L'impact de l'utilisation des différentes combinaisons d'intrans étudiées sur l'écoulement cumulé est évalué grâce à la différence entre l'écoulement cumulé simulé et observé selon les années. Cette différence est exprimée en pourcentage par rapport à

l'écoulement cumulé observé pour permettre de comparer les résultats selon les différentes années de simulation.

Les premières analyses de sensibilité ont portés sur les 7 premières années (1981-1987) et sur les quatre premières combinaisons d'intrans - intrans horaires, intrans aux 6 heures, intrans aux 6 heures avec l'état de la précipitation non-défini, et intrans aux 6 heures avec l'état de la précipitation non-défini et avec précipitation calculée à partir de la précipitation journalière.

## Références

- Aitken, A.P., 1973. Assessing systematic errors in rainfall-runoff models. J. Hydrol., 20, 121-136.
- Anderson, E.A., 1973. National Weather Service river forecast system, snow accumulation and ablation model. NOAA technical Memorandum NWS Hydro-17. U.S. Dept. of Commerce, NOAA, National Weather Service, Silver Spring, Md, 217 p.
- Anderson, E.A., 1982. Hydro-17 snow accumulation and ablation model. Documentation non publiée accompagnant SNOW-17, 89 p.
- Bates, C.L., 1976. Analysis of time series modelling errors with application to the Lake Sammamish hydrologic system. MSCE Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Washington, Seattle.
- Beven, K., 1979. A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates. J. Hydrol., 44: 169-190.
- Braun, L.N., 1985. Simulation of snowmelt runoff in lowland and lower alpine regions of Switzerland. Zircher Geographische Schriften 21, Geographisches Institut Eidgenössische Technische Hochschule Zurich, Zurich, Switzerland, 166 p.
- Camillo, P.J., et R.J. Gurney, 1984. A sensitivity analysis of a numerical model for estimating evapotranspiration. Wat. Resour. Res. 20(1): 105-112.
- Ca'zorzi, F., et G. Dalla Fontana, 1986. Improved utilization of maximum and minimum daily temperature in snowmelt modelling. Proc. of the Budapest Symposium. Modelling Snowmelt-Induced Processes, IAHS Publ. no 155, 141-150.
- Coleman, G., et D.G. DeCoursey, 1976. Sensitivity and model variance analysis applied to some evaporation and evapotranspiration models. Wat. Resour. Res., 12(5): 873-879.

- Huber, L.A., 1983. A comparison of several snow accumulation and ablation algorithms used in watershed modeling. Proceedings, 51st Annual Western Snow Conference, Vancouver, Washington, p. 76-88.
- James, L.D., et S.J. Burges, 1982. Selection calibration and testing of hydrologic models. Dans Hydrologic Modeling of Small Watersheds Monogr. 5, p. 437-472. Edited by C.T. Haan et al. American Society of Agricultural Engineers, St-Joseph, Michigan.
- Kitanidis P.K., et R.L. Bras, 1980. Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model  
2. Applications and results. Wat. Resour. Res., 16(6): 1034-1044.
- McCuen, R.H., 1973. The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. J. Hydrol., 18: 37-53.
- McCuen, R.H., 1974. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evaporation. Water Resour. Bull., 10(3): 486-498.
- McCuen, R.H., et W.M. Snyder, 1975. A proposed index for comparing hydrographs. Wat. Resour. Res. 11(6): 1021-1024.
- Peck, E.L., et E.A. Anderson, 1977. Operational use of snow accumulation and ablation model in the United States. Northern Research Basin Symposium Workshop. Snow Accumulation and Ablation Models Symposium, Fairbanks, 5 p.
- Plamondon A.P., M. Prévost et R.C. Naud, 1984. Interception de la pluie dans la sapinière à bouleau blanc, Forêt Montmorency. J Can. Res.For. 14:722-730.
- Roberge, J., J. Stein, et A.P. Plamondon, 1988. Evaluation d'un modèle de fonte nivale en forêt boréale. J. Hydrol. 97: 161-179.
- Saxton, K.E., 1975. Sensitivity analysis of the combination evapo-transpiration equation. Agric. Meteorol., 15: 343-353.
- Troutman, B.M., 1982. The effect of input errors in using precipitation- runoff models for runoff prediction, dans Statistical Analysis of Rainfall and Runoff, édité par V.P. Singh, p. 305-314, Water Resources Publishers, Littleton, Colo.

Troutman, B.M., 1985. Errors and parameter estimation in precipitation- runoff modeling 1. Theory, Wat. Resour. Res. 21(8): 1195-1213.

World Meteorological Organization, 1982. WMO project for the intercomparison of conceptual models of snowmelt runoff. Proc. of Exeter Symposium. Hydrological aspects of alpine and high mountain areas, IAHS Publ. no 138, p. 193-202.

**RAPPORT D'ÉTAPE 2**

**ÉVALUATION DE SOURCES DIFFUSES DE POLLUANTS  
PROVENANT DE LA FONTE DES NEIGES (SIMNEIG1)**

**PAR:**

**D. LEVESQUE**

**J. STEIN**

**H. G. JONES**

**S. PROULX**

**INRS-EAU**

**JUIN 1993**

## PLAN DE TRAVAIL

### I) MODULE QUANTITÉ

1. Effectuer une référence croisée des variables du programme FORTRAN pour connaître le type et la portée de chaque variable.
2. Dresser la liste des variables globales et des variables locales.
3. Identifier les variables statiques et les variables dynamiques.
4. Préparer un bloc de données de test.
5. Exécuter le programme FORTRAN et enregistrer les résultats.
6. Traduire le programme en langage C.
7. Compiler le programme et faire l'édition de liens avec les bibliothèques C.
8. Exécuter le programme en utilisant les données de test et vérifier que les résultats sont identiques à ceux du programme FORTRAN.
9. Étudier les normes de programmation en usage à l'INRS.
10. Appliquer les normes à chaque sous-routine et vérifier que les résultats restent les mêmes.
11. Convertir le programme C pour obtenir un ensemble de méthodes compatibles avec l'environnement C++. Prévoir une allocation dynamique de la mémoire afin de permettre une discrétisation spatiale de la fonte.
12. Fabriquer une coquille minimale pour effectuer les tests sur la version C++ du module physique.
13. Exécuter le programme C++ en utilisant les données de test et vérifier que les résultats sont identiques à ceux du programme FORTRAN original.
14. Étudier la sensibilité du modèle vis-à-vis la fréquence et la précision des intrants.
15. Définir des paramètres par défaut afin d'utiliser le minimum de données observées.
16. Introduire la méthode ANDERSON comme membre virtuel de la classe FONTENEIGE de HYDROTEL.
17. Simuler une fonte de neige et comparer les résultats avec la méthode disponible actuellement dans HYDROTEL.
18. Améliorer l'intelligence du programme pour profiter des données de densité de peuplement et d'orientation des pentes.

## II) MODULE QUALITÉ

1. Effectuer une référence croisée des variables du programme sur la plate-forme originale pour connaître le type et la portée de chaque variable.
2. Dresser la liste des variables communes et des variables locales.
3. Identifier les variables statiques et les variables dynamiques.
4. Préparer un bloc de données de test.
5. Exécuter le programme FORTRAN et enregistrer les résultats.
6. Traduire le programme en langage C.
7. Compiler le programme et faire l'édition de liens avec les bibliothèques C.
8. Exécuter le programme en utilisant les données de test et vérifier que les résultats sont identiques à ceux du programme FORTRAN.
9. Appliquer les normes de programmation de l'INRS à chaque sous-routine et vérifier que les résultats restent les mêmes.
10. Convertir le programme C pour obtenir un ensemble de méthodes compatibles avec l'environnement C++.
11. Fabriquer une coquille minimale pour effectuer les tests sur la version C++ du module chimique.
12. Exécuter le programme C++ en utilisant les données de test et vérifier que les résultats sont identiques à ceux du programme FORTRAN original.
13. Définir des paramètres par défaut afin d'utiliser le minimum de données observées.
14. Insérer des données de test de qualité des précipitations dans la base de données de HYDROTEL.
15. Introduire la méthode QUALFONT comme membre virtuel de la classe FONTENEIGE de HYDROTEL.

**PROPOSITION DE RECHERCHE**

**ÉVALUATION DE SOURCES DIFFUSES DE POLLUANTS  
PROVENANT DE LA FONTE DES NEIGES (SIMNEIG1)**

**PAR:**

**J. STEIN  
H.G. JONES**

**INRS-EAU**

**Janvier 1992**

## **1. PROBLÉMATIQUE:**

Dans la province de Québec, le "choc acide printanier" consécutif à la fonte des neiges représente un impact important sur l'environnement. Ce choc acide est dû au lessivage de la neige par les eaux de fonte et le relâchement consécutif de SO<sub>4</sub> et de NO<sub>3</sub> en particulier. En terme de bilan annuel, l'acidité relâchée au printemps et arrivant au cours d'eau équivaut à environ 85% de la charge annuelle d'acidité du cours d'eau. La période la plus intense de lessivage correspond aux premiers 30% de la fonte.

Le phénomène du "choc acide printanier" est étudié depuis 1983 par un groupe de chercheurs québécois dans le secteur du Lac Laflamme à la Forêt expérimentale de Montmorency de l'Université Laval. Le Lac Laflamme est situé dans la forêt boréale québécoise à 80 km au nord de la ville de Québec.

Les recherches ont permis d'élaborer et de calibrer un modèle prédictif reconnu maintenant par la communauté scientifique. A ce sujet, les publications de Roberge et al. 1985, ainsi que Stein et al. 1986 permettent de comprendre comment le modèle peut estimer quantitativement et qualitativement les rejets printaniers de SO<sub>4</sub> et de NO<sub>3</sub>.

Le modèle est applicable aux forêts boréales et est le résultat du couplage d'un modèle de fonte quantitatif appliqué à une forêt coniférienne, avec un modèle simple conceptuel de la qualité de la fonte de la neige.

Il a été calibré et vérifié à l'aide de données (1983-1985) prises au bassin expérimental du Lac Laflamme. Le sous-modèle qualité est déduit d'un modèle conceptuel du lessivage progressif du manteau nival par les eaux de fonte produites à l'interface air-neige.

Un nouveau modèle (SIMNEIG1) sera écrit en langage C pour évaluer les sources diffuses de polluants provenant de la fonte des neiges. Celui-ci sera basé sur les recherches fondamentales effectuées par les deux chercheurs.

## **2. DESCRIPTION DE SIMNEIG1:**

**Le modèle prédictif sera divisé en 2 modules soit le module physique (quantité) et le module chimique (qualité).**

### **2.1 MODULE PHYSIQUE:**

**Le module quantitatif permettra d'estimer adéquatement le comportement du manteau nival ainsi que la quantité d'eau de fonte pouvant s'infiltrer dans le sol. La température de l'air mesurée permettra de calculer les flux d'énergie à l'interface neige-air. Des algorithmes de calcul permettront de tenir compte des variabilités des précipitations (épisodes de fonte sans pluie, avec pluie, avec chute de neige).**

### **2.2 MODULE CHIMIQUE:**

**Le module qualitatif sera couplé au module quantitatif. Il utilisera trois paramètres pour prédire la qualité des eaux de fonte soit: la concentration des polluants issus de la pluie et de la neige, l'équivalent en eau, le coefficient de lessivage des polluants par l'écoulement de l'eau à travers le manteau nival.**

### **3. STATUT DE LA RECHERCHE:**

#### **3.1 RECHERCHE ORIENTÉE:**

Une analyse de sensibilité du modèle aux intrants ainsi que la possibilité d'ajouter des sous-routines décrivant avec plus de précision le lessivage chimique du couvert de neige seront effectuées.

#### **3.2 RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT:**

Ce volet regroupera les travaux suivants:

- a) Conversion du modèle (à partir du Fortran 77 sur Maxiframe) en version micro-informatique (OS-2/version 2.0);
- b) Conversion du FORTRAN 77 au langage C.
- c) Développement ergonomique du modèle, i.e. améliorer la convivialité et la simplicité d'utilisation du logiciel;
- d) Amélioration de la simulation de la fonte de la neige du modèle SIMHYD.

#### **4. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE:**

##### **4.1 RECHERCHE ORIENTÉE:**

###### **4.1.1 MODULE PHYSIQUE:**

Une analyse de sensibilité du module physique (quantitatif) menée à l'aide de trois critères d'évaluation permettra d'estimer la qualité des simulations réalisées à l'aide de sept combinaisons d'intrants temporels et de mesurer l'impact de ces combinaisons sur l'écoulement journalier observé à un lysimètre.

###### **4.1.2 MODULE CHIMIQUE:**

L'amélioration du module chimique (qualitatif) sera réalisée à partir de diverses calibrations du modèle de lessivage issues de données de fonte mesurées "in situ" et en laboratoire notamment.

##### **4.2 RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT:**

Les thèmes énumérés précédemment seront traités de manière à permettre aux utilisateurs de faire des simulations à partir des modules physique et chimique pris séparément et/ou conjointement.

## **5. PLAN DE RÉALISATION:**

### **5.1 ÉQUIPE ET BUDGET DU PROJET:**

Quatre personnes sont impliquées dans cette recherche pour un montant de 69 k\$ (où k = \$1000).

|                                                                                                         |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Jean Stein, professeur-chercheur, (JS);                                                                 | 6.7 k         |
| Gérald H. Jones, professeur-chercheur, (GHJ);                                                           | 5.6 k         |
| 1 professionnel en hydrologie forestière, (phf);<br>(salaire, avantages sociaux: \$24.06/hr * 2742 hrs) | 49.2 k        |
| Miroslav Chum, étudiant à la maîtrise, (MC);<br>(salaire, avantages sociaux: \$9.98/hr *(750 hrs)#      | 7.5 k         |
| <b>Total:</b>                                                                                           | <b>\$69 k</b> |

-----  
# 750 hrs :correspond au soutien financier autre.

## **5.2 RESPONSABILITÉS DES MEMBRES DE L'ÉQUIPE:**

### **JEAN STEIN:**

**Responsable de la coordination du travail de l'équipe;  
Responsable du module physique;  
Amélioration de la simulation de la fonte de la neige du modèle SIMHYD.**

### **GÉRALD JONES:**

**Responsable du module chimique.**

### **PROFESSIONNEL EN HYDROLOGIE FORESTIERE:**

**Étude de sensibilité du module physique;  
Conversion du modèle en version micro-informatique;  
Conversion du Fortran 77 en langage C;  
Développement ergonomique du modèle.**

### **MIROSLAV CHUM:**

**Aide technique au niveau de l'équipe. Il participe lorsque requis à différentes activités selon la demande.**

## **6 RÉSULTATS ESCOMPTÉS:**

**Le projet résultera en la mise en disponibilité d'un modèle prédictif de la quantité et de la qualité des polluants engendrés par la fonte des neiges. Le modèle alliera fiabilité, simplicité, performance, souplesse, convivialité (ergonomie).**



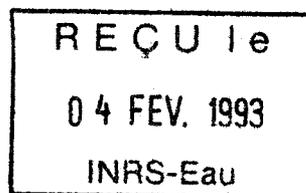
Université du Québec  
**Institut national de la recherche scientifique**

Complexe scientifique, 2700 rue Einstein  
Case postale 7500  
Sainte-Foy, Québec, Canada  
G1V 4C7  
Téléphone: (418) 654-2524  
Télécopieur: (418) 654-2562

**INRS-Eau**

Québec, le 3 février 1993

Monsieur Jean-Pierre Villeuneuve  
Directeur  
INRS-EAU



**Objet: Proposition de recherche dans le cadre d'HYDREAU 2 (Petites Rivières)**

Monsieur,

Nous vous envoyons une description finale de la proposition de recherche ainsi qu'une description du budget qui défraiera les coûts de ce projet.

Espérant le tout à votre satisfaction.

Sincèrement,

Jean Stein  
Professeur

H. Gérald Jones  
Professeur

p.j.