

Annexe VIII

**Modélisation numérique du rabattement de
la nappe à la mine St-Lawrence Columbiun**

**MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU
RABATTEMENT DE LA NAPPE À LA MINE
ST-LAWRENCE COLUMBIUM**

RAPPORT TECHNIQUE

OCTOBRE 2000

ROCHE

N/Réf. : 20611-000

3075, ch. des Quatre-Bourgeois
Sainte-Foy (Québec) G1W 4Y4
Téléphone :
(418) 654-9600
Télécopieur :
(418) 654-9699

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	1
2. Modèle conceptuel.....	3
2.1 Modèle conceptuel général.....	3
2.2 Approche méthodologique utilisée lors des simulations.....	5
2.3 Représentation conceptuelle du pompage à la mine SLC.....	6
2.4 Compilation des données existantes.....	7
2.5 Différences entre le modèle révisé et le modèle précédent.....	11
3. Définition du modèle.....	13
3.1 Choix du programme utilisé pour la modélisation.....	13
3.2 Discrétisation spatiale du domaine et limites.....	13
4. Calibration du modèle.....	15
4.1 Sélection finale des paramètres.....	15
5. Résultats.....	18
5.1 Résultats des simulations numériques en régime permanent sans l'effet du pompage.....	18
5.2 Résultats des simulations numériques en régime transitoire lors de l'opération de la mine SLC.....	18
6. CONCLUSIONS.....	21

1. INTRODUCTION

Une première version d'un modèle d'écoulement de l'eau souterraine a été présentée dans la version préliminaire de l'étude environnementale (décembre 1999). Le présent document consiste en une version révisée du modèle précédent. Tout comme le modèle précédent, ce nouveau modèle a comme objectif de prévoir le rabattement de la nappe d'eau souterraine dans le secteur du rang Sainte-Sophie à Oka, suite au pompage de l'eau souterraine pour le maintien à sec de la mine projetée de Niocan (le gisement S-60).

Nous disposons présentement d'information pertinente se rapportant à la réponse hydrogéologique du système d'écoulement lors d'une période de pompage à fort débit dans le domaine d'écoulement modélisé à environ un kilomètre de la mine projetée de Niocan, soit à la mine St-Lawrence Columbian (SLC). Donc, afin de mieux représenter l'écoulement dans le secteur de la mine projetée, un modèle révisé a été construit, lequel a été calibré avec les données de rabattement de la nappe occasionné par l'opération de la SLC. Cette mine est située dans l'unité de carbonatite à environ 900 mètres au sud-est dans un contexte hydrogéologique très similaire à celui de la mine Niocan. Il est supposé que la réponse hydrogéologique du système d'écoulement lors d'une période de pompage à fort débit dans le roc devrait être similaire.

L'information tirée du modèle devait permettre d'évaluer, à titre indicatif et sur la base des informations présentement disponibles, dans quelle mesure les utilisateurs de l'eau souterraine situés en périphérie de la mine pourraient être touchés par l'abaissement possible de l'eau dans leur puits d'alimentation et conséquemment, d'anticiper les correctifs à apporter.

En effet, la mine St-Lawrence Columbian a été en opération pendant 16 ans de 1961 à 1976. Pour cette période, il a été possible de retrouver des données concernant la profondeur de l'eau dans des puits situés en périphérie de la mine, de même qu'un débit moyen de pompage à la mine.

De manière plus générale, les travaux de modélisation comportent les éléments suivants :

- l'élaboration d'un modèle conceptuel où le périmètre du domaine à modéliser est établi, les unités hydrogéologiques sont sélectionnées et les données de terrain sont compilées (paramètres des aquifères et données hydrologiques);
- la justification du programme et du logiciel sélectionné pour la modélisation numérique;
- l'élaboration du modèle comme tel, incluant la discrétisation spatiale du domaine, la détermination des conditions initiales et des conditions limites, et la sélection préliminaire des paramètres des aquifères et des intrants hydrologiques;
- la calibration et la vérification du modèle dans le but de reproduire le plus fidèlement possible les conditions de terrain en ce qui concerne les charges hydrauliques et l'écoulement. Durant cette étape, des séries de valeurs de paramètres et d'intrants sont utilisées pour reproduire les conditions de terrain, par un processus d'essai et erreur;
- une évaluation de la capacité de prédiction du modèle calibré à simuler des événements dans le futur; et
- la présentation des résultats.

Ces éléments sont abordés brièvement dans les sections suivantes et les résultats sont commentés dans le texte et présentés sous forme de cartes et de tableaux.

2. MODÈLE CONCEPTUEL

2.1 MODÈLE CONCEPTUEL GÉNÉRAL

Le modèle conceptuel représente schématiquement et de façon simplifiée le système d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur à l'étude. Le domaine modélisé est montré à la carte 1. Il s'étend au nord-ouest jusqu'au chemin du Rang Sainte-Germaine, au nord-est jusqu'au chemin Principal et au sud jusqu'au lac des Deux Montagnes.

Il couvre une superficie d'environ 72 km² (8 km par 9 km) qui englobe la carbonatite et les collines qui la bordent au sud-ouest et au nord-est. De manière générale, il couvre le bassin versant du ruisseau Rousse, soit le cours d'eau principal en périphérie immédiate du projet minier. Dans la dimension verticale, il comprend une tranche d'aquifère représenté uniquement par la roche en place, allant de la surface (dont l'élévation varie d'environ 20 m à plus de 200 m par rapport au niveau de la mer) jusqu'à une profondeur de 1000 m (élévation allant de - 980 m à - 800 m). À titre indicatif, le puits de la SLC atteignait 750 m de profondeur en 1976 (élévation -640 m) alors que la profondeur prévue du puits de la mine Niocan dans sa phase finale est de 550 m (élévation - 465 m).

Le choix d'utiliser un nombre important de couches (10 couches au total) a été fait et résulte du besoin de représenter adéquatement la composante verticale de l'écoulement de l'eau souterraine suite au pompage. L'utilisation d'une couche en surface d'une épaisseur de 100 m (plutôt que 10 ou 20 mètres) résulte de la nécessité d'éviter des problèmes de non-convergence lors des simulations suite à l'assèchement possible d'une partie des cellules de cette couche.

La présence des dépôts meubles a été ignorée entièrement. Les raisons justifiant ce choix sont multiples. La couverture de dépôts meubles est, de manière générale, peu épaisse (typiquement de moins de 20 m) comparativement à l'épaisseur de roc

considérée (généralement plus de 900 m); L'influence des dépôts meubles sur l'écoulement profond dans le roc est probablement négligeable. Aussi, la nature et l'épaisseur des dépôts meubles varient beaucoup dans le secteur et il aurait été long et difficile de représenter adéquatement les propriétés hydrogéologiques de ces matériaux.

Enfin, la décision de ne pas considérer la présence des dépôts meubles est aussi reliée au fait que suite au rabattement de la nappe dans le roc, il est anticipé que le niveau de l'eau dans les dépôts meubles ne sera pas touché significativement compte tenu que la recharge totale par précipitation nette est supposée être très supérieure à la capacité d'infiltration de l'eau dans le roc et dans la partie inférieure des dépôts meubles. Cette supposition corrobore les observations faite lors de la période d'opération de la mine SLC. Ce scénario aurait été difficile à représenter dans le modèle avec le logiciel utilisé.

Le flux d'eau descendant à travers les dépôts meubles, que l'on suppose généralement peu perméables (principalement du till), est considéré comme étant peu important. L'inconvénient de ne pas considérer la présence des dépôts meubles est qu'aux endroits où les dépôts meubles sont plus perméables ou d'épaisseur importante, le flux descendant de l'eau à partir des dépôts meubles résultant de l'abaissement de la charge hydraulique dans le roc, suite au pompage, pourrait s'avérer non négligeable.

Le choix d'ignorer la présence des dépôts meubles a nécessité un ajustement de la recharge nette dans le roc (moins perméable) à une valeur réaliste qui est supposée être significativement inférieure à la recharge dans les dépôts meubles.

Même si la présence de dépôts meubles dans le secteur a été ignorée, l'effet des cours d'eau a été pris en compte dans le modèle par l'utilisation de drains de rivière pour forcer la convergence des lignes d'écoulement vers le ruisseau Rousse. Il est à noter qu'un épaissement de la couverture des dépôts meubles est généralement observé au droit de ce cours d'eau.

Les limites de domaine correspondent soit à des limites de bassins versants (flux nul ou charges imposées) ou à des lignes d'écoulement régional supposées (flux nul). Toute la partie sud du domaine coïncide avec la bordure du Lac des Deux Montagnes,

sur laquelle une limite à charge constante a été assignée. Il a donc été supposé que la nappe d'eau souterraine dans le roc et le fleuve sont connectés hydrauliquement. Le détail du choix des limites est présenté à la section 3.

2.2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE UTILISÉE LORS DES SIMULATIONS

L'approche méthodologique utilisée lors de la modélisation numérique dans cette étude a consisté en la réalisation de deux (2) séries de simulations distinctes. Tout d'abord, une première série de simulations en régime permanent a été effectuée afin de reproduire le plus fidèlement possible la piézométrie actuelle sans l'influence du pompage à la mine SLC ou à la mine Niocan, plus particulièrement en périphérie immédiate des mines SLC et Niocan. Les résultats de ces simulations en régime permanent ont servi à définir la piézométrie de référence pour ensuite évaluer l'impact du pompage de l'eau souterraine dans l'une ou l'autre des mines. La position de la nappe a été supposée à environ 5 mètres sous la surface du sol, ce qui correspond de façon générale à la position de la nappe dans le secteur selon les données de l'Annuaire des Puisatiers. Il est important de se rappeler qu'à ce stade-ci, l'objectif premier était de simuler une piézométrie et un champ d'écoulement réalistes à l'échelle du domaine modélisé pour servir de base de comparaison entre les charges hydrauliques obtenues lors des simulations en régime permanent et celles obtenues lors des simulations en régime transitoire. L'objectif n'était pas de générer un champ de perméabilités à l'intérieur d'une même unité hydrogéologique qui aurait permis de simuler parfaitement la piézométrie sans pompage. Plutôt, une seule série de paramètres d'écoulement a été assignée par type d'unité à l'intérieur d'une même couche. Dans ce contexte, il est évident qu'un écart de quelques mètres de la piézométrie simulée par rapport à la piézométrie observée n'a pas d'impact significatif sur le rabattement, soit la différence entre les charges en régime permanent et les charges en régime transitoire.

La seconde série de simulations est réalisée en régime transitoire pour modéliser la réponse du système d'écoulement au pompage à la mine SLC, en la comparant aux observations faites lors de l'opération de la mine. Il est suggéré ici de se référer à la section concernant les données antérieures à la mine SLC, dans le texte principal de

l'étude environnementale. Lors de cette étape, une meilleure calibration des paramètres d'écoulement dans l'ensemble du secteur des deux mines a pu être réalisée. Cette étape de calibration a permis ainsi de simuler, par alternance, le régime permanent sans pompage et le régime transitoire avec pompage à la mine SLC pour arriver à refléter le plus fidèlement possible la piézométrie sans ou avec pompage, en respectant le débit de pompage à la mine.

Ensuite, une troisième série de simulations était prévue pour modéliser le rabattement de la nappe à la mine projetée de Niocan suite au pompage de l'eau souterraine pour le maintien à sec de la mine. Compte tenu que les paramètres ajustés lors des deux séries de simulations précédentes n'ont pas permis d'obtenir une correspondance adéquate entre les rabattements observés et les rabattements simulés à la SLC, cette série de simulations a été abandonnée.

2.3 REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE DU POMPAGE À LA MINE SLC

Le pompage de l'eau souterraine à la mine SLC a été représenté, dans le présent modèle, par une série de drains (virtuels) au droit des puits d'exploitation et des chantiers. Ces drains sont des limites qui simulent l'enlèvement d'eau de l'aquifère à un rythme proportionnel à la différence de charge entre l'aquifère et une valeur de la charge correspondant à l'élévation fixée de l'eau dans le drain. Un paramètre de résistance à l'écoulement dans le drain, la conductance, doit être spécifié lors de l'utilisation de drains. Au même titre que lors de l'utilisation de limites à charges constantes pour simuler l'enlèvement d'eau dans une cellule, le débit obtenu dans une cellule représentée par un drain diminue dans le temps. Le drain n'a plus d'effet si la charge dans l'aquifère est inférieure à la charge fixée du drain.

L'ajustement de la conductance du drain a été effectué lors de la calibration pour obtenir des débits correspondant aux débits obtenus à la SLC lors de l'opération de la mine. Les détails concernant l'attribution spécifique des drains et des conductances sont présentés à la section 3.

L'utilisation de drains pour simuler le pompage pour le maintien à sec des infrastructures souterraines a comme avantage, par opposition à l'utilisation de puits

de pompage, de ne pas limiter le débit d'eau retiré d'une cellule. L'utilisation d'un débit de pompage fixe dans une cellule peut en effet provoquer l'assèchement de la cellule et la rendre inactive.

2.4 COMPILATION DES DONNÉES EXISTANTES

PIÉZOMÉTRIE DU SECTEUR DES COLLINES D'OKA ET DE LA CARBONATITE

À l'échelle régionale, des cartes piézométriques du secteur sont présentées dans deux documents différents, soit *Hydrogéologie de la région de Mirabel* (Simard, 1978) et *Atlas hydrogéologique des Basses-Terres du Saint-Laurent* (Agéos et INRS-Eau, 1998). Un document préparé par la Commission Géologique du Canada renfermant également une carte piézométrique sera disponible prochainement.

Dans le premier document, la carte hydrogéologique à l'échelle 1:100 000 montre une hausse générale de la piézométrie au droit des collines d'Oka. Compte tenu du manque de données ayant servi à construire la carte piézométrique spécifiquement dans le secteur modélisé, le niveau piézométrique tiré de cette carte est peu utile. Dans le second document, la piézométrie est une réplique remarquablement similaire de la topographie du secteur. Aucune indication sur le nombre de mesures ayant servi à fabriquer cette carte ne figure dans le rapport accompagnant la carte. Seule une référence à une base de données non disponible (Dogires) est fournie. En bref, les cartes piézométriques disponibles pour ce secteur, quoique peu utiles, démontrent une concordance entre la topographie et la piézométrie.

À l'échelle du domaine modélisé, aucune carte piézométrique n'est présentement disponible. La profondeur de la nappe, tirée de l'information provenant de l'Annuaire des Puisatiers, est en moyenne située à environ 5 m à partir de la surface du sol (il est suggéré ici de se référer à la section concernant les données sur la profondeur de l'eau souterraine dans le texte principal de l'étude environnementale). Localement, le niveau piézométrique indiqué par des puits dans le roc est situé au-dessus de la surface du sol, notamment dans le secteur du ruisseau Rousse près du site projeté de la mine Niocan et anciennement dans le secteur de la Trappe d'Oka. Cependant, il est raisonnable d'affirmer qu'en général, le profil de la nappe suit plus ou moins la

topographie du sol sus-jacent. Pour les besoins de la modélisation, il sera supposé que la nappe est située en moyenne à environ 5 mètres sous la surface du sol.

Comme mentionnée précédemment, puisque la partie sud du domaine coïncide avec la bordure du Lac des Deux Montagnes, le niveau piézométrique correspond au niveau moyen du lac à cet endroit. Il est supposé que la nappe d'eau souterraine dans le roc et le fleuve sont connectés hydrauliquement.

PARAMÈTRES HYDROGÉOLOGIQUES

Selon la carte géologique du secteur (Globensky, 1982), les unités rocheuses du domaine peuvent être subdivisées en trois unités hydrogéologiques distinctes, soit la carbonatite d'Oka (ou l'intrusion alcaline), le gneiss Précambrien qui entoure la carbonatite et le grès du Potsdam au sud.

Peu de valeurs de conductivité hydraulique de la carbonatite sont disponibles. Un essai de pompage a été réalisé par Roche Itée dans la carbonatite en août 1999. Les résultats de l'essai, lesquels sont inclus dans l'étude environnementale, ont donné une conductivité hydraulique d'environ 10^{-7} m/s à 10^{-5} m/s, selon la méthode d'interprétation et le puits utilisé, et un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 5×10^{-3} (ou moins). Cependant, il est considéré que ces valeurs correspondent surtout à la partie supérieure du roc, qui est généralement plus fracturée et altérée que le roc plus profond. De plus, il est évident à la lecture du rapport de forage du puits de pompage, datant d'octobre 1971, que l'emplacement du puits correspond à une zone altérée et lessivée de la carbonatite, recouverte d'une épaisse couche de dépôts meubles. Il est supposé que la valeur moyenne de la conductivité hydraulique de la carbonatite est plus faible.

La porosité secondaire de la carbonatite peut localement être très élevée. Compte tenu du pourcentage élevé de calcite dans l'unité de carbonatite qui atteint souvent 70%, cette roche est sujette à des phénomènes de dissolution le long des plans de fractures et à l'intérieur des zones de cisaillement. D'ailleurs, des cavités souterraines de plusieurs mètres de longueur dans la roche ont été rapportées lors de l'exploitation de la mine SLC. De même, la présence de zones de carbonatite lessivée a été reconnue par forage localement. Par exemple, une zone de carbonatite lessivée ou désagrégée

d'une profondeur atteignant plus de 260 m (comprenant une couverture de dépôts meubles de 75 m ou plus) a été localisée par forage dans les années 50, à environ 0,5 km au nord-est du gisement S-60 de Niocan. Cette porosité secondaire a donc pour effet d'augmenter localement de façon substantielle la conductivité hydraulique et l'emmagasinement (la porosité de drainage).

Les valeurs publiées de conductivité hydraulique de l'unité de grès de Potsdam varient sur trois à quatre ordres de grandeur. On retrouve dans le document de Simard (1978) plusieurs évaluations de ce paramètre par des essais hydrauliques, pour le secteur immédiatement au nord des collines d'Oka. La moyenne géométrique de la conductivité hydraulique est d'environ 2×10^{-5} m/s, si l'on exclut les valeurs possiblement biaisées à la hausse par la présence de gravier ou de sable adjacent lors des essais. Cette valeur est en accord avec la valeur présentée dans le document de Lepage (1996), soit 4×10^{-5} m/s, et celle utilisée par AGÉOS-INRS-Eau (1998), soit 10^{-5} m/s.

La conductivité hydraulique du gneiss est strictement liée à la présence de fractures. Les valeurs typiques de conductivité hydraulique citées dans la littérature sont égales ou inférieures à 10^{-10} m/s (Lepage, 1996) pour le gneiss peu fracturé. Cependant, elle peut être sensiblement supérieure tel qu'en témoignent les résultats des essais de pompage réalisés au début des années 1970 dans le puits de l'école Mont Saint-Pierre et dans le puits d'essai sur le lot 185 le long du chemin d'Oka, tous deux situés dans le gneiss fracturé en bordure de la carbonatite. Ces puits étaient réputés comme étant plus productifs que la moyenne des puits dans cette formation. La conductivité hydraulique du puits de l'école est de 5×10^{-7} m/s, alors que celle du puits d'essai est de 1×10^{-6} m/s à 4×10^{-7} m/s. Dans les deux cas, le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de 10^{-5} . De manière plus générale, les puits situés dans cette formation, selon l'Annuaire des Puitatiers, sont peu productifs et peuvent fournir quelques mètres cubes à l'heure, sauf exception.

RECHARGE

En ce qui concerne la recharge du secteur, la précipitation nette calculée du secteur serait d'environ 390 mm/an pour une surface végétée. L'infiltration réelle dans l'aquifère de roc est beaucoup moindre cependant. Un bilan hydrique sommaire présenté dans le rapport de Simard (1978) indique que la réalimentation moyenne des nappes aquifères dans la région des bassins versant des rivières Du Chêne, Saint-André et Mascouche serait de l'ordre de 45 mm/an. Dans le modèle régional utilisé par l'AGÉOS-INRS-Eau (1998), une recharge de 100 mm/an et de 400 mm/an a été assignée aux unités affleurantes de gneiss et de grès du Potsdam, respectivement. Ce taux de recharge semble très élevé.

Dans le présent modèle, la recharge assignée a été divisée en deux catégories, soit une recharge plus importante pour les zones affleurantes de gneiss et de carbonatite (ou simplement recouvertes de dépôts meubles perméables), et une recharge moindre pour les zones non-affleurantes recouvertes de till, indépendamment des unités rocheuses. Une exception à cette approche a été d'assigner à l'unité de grès de Potsdam une recharge importante aux endroits où l'unité est recouverte par l'aquifère de sable et gravier longeant le Lac des Deux Montagnes, même si l'aquifère n'a pas été représenté physiquement dans le modèle.

Compte tenu que l'intrusion de carbonatite occupe une dépression topographique où la couverture des dépôts meubles est généralement plus importante qu'à l'extérieur de la carbonatite, il est possible que la recharge réelle soit plus importante que la recharge assignée à cet endroit. Puisque les dépôts meubles n'ont pas été représentés dans le modèle et considérant qu'un effet de drainance à partir des dépôts meubles est possible en régime transitoire lors du pompage de l'eau souterraine dans la carbonatite, cette situation a été compensée indirectement par l'augmentation de l'emmagasinement de l'unité.

CONTRIBUTION DE L'EAU SOUTERRAINE AU DÉBIT DU RUISSEAU ROUSSE

Le débit d'étiage du ruisseau Rousse pour une période de récurrence de 50 ans a été évalué à environ 1000 m³/jour (voir l'étude environnementale). Nous supposons que dans ces conditions extrêmes, le débit du ruisseau Rousse indique l'ordre de grandeur de la contribution de l'eau souterraine au cours d'eau à l'intérieur du bassin versant.

Cependant, il est clair que cette contribution est généralement mineure par rapport au débit moyen du cours d'eau.

2.5 DIFFÉRENCES ENTRE LE MODÈLE RÉVISÉ ET LE MODÈLE PRÉCÉDENT

Les détails des paramètres se rattachant au modèle révisé sont présentés à la section 3. Certaines modifications plus générales se rapportant au modèle conceptuel ont déjà été abordées aux sections 2.1 à 2.3. En bref, les modifications apportées au modèle précédent sont les suivantes :

- Augmentation de l'épaisseur totale du domaine modélisé jusqu'à 1000 mètres pour tenir compte de l'eau située sous la partie la plus profonde de la mine;
- Division du modèle en 10 couches d'épaisseur fixe de 100 mètres;
- Diminution de la conductivité hydraulique avec l'augmentation de la profondeur, en divisant le domaine en deux (2) zones verticales distinctes;
- Faible ajustement à la hausse de la conductivité hydraulique de la carbonatite dans sa partie supérieure;
- Augmentation générale de la recharge du roc sur l'ensemble du domaine et attribution d'une recharge plus élevée sur les zones correspondant aux affleurements et aux secteurs ayant une couverture mince de dépôts meubles;
- Augmentation de l'emmagasinement (porosité de drainage) dans la carbonatite, pour refléter la présence locale de zones lessivées ou fracturées montrant une porosité élevée, et pour compenser l'absence de dépôts meubles généralement plus épais au droit de la carbonatite et pouvant fournir une certaine quantité d'eau;
- Utilisation de drains pour simuler le pompage de l'eau souterraine à la mine SLC, ce qui offre plus de souplesse pour l'ajustement des débits de pompage;
- Utilisation de drains de rivière pour simuler l'abaissement de la piézométrie et forcer la convergence des lignes d'écoulement vers le ruisseau Rouse;
- Modifications des limites nord-ouest et nord-est du domaine.

Ces modifications visent à rendre le modèle plus réaliste dans son ensemble. La modification de certaines limites a été rendue nécessaire pour permettre de modéliser adéquatement le pompage à la mine SLC, ce qui n'avait pas été prévu initialement. Certaines modifications résultent simplement de la calibration du modèle en fonction de l'analyse critique des données antérieures à la SLC, ou de nouvelles données qui étaient inconnues de l'auteur initialement.

3. DÉFINITION DU MODÈLE

3.1 CHOIX DU PROGRAMME UTILISÉ POUR LA MODÉLISATION

Le programme MODFLOW a été utilisé pour simuler l'écoulement dans un milieu poreux hétérogène et anisotrope à trois dimensions en régime permanent et en régime transitoire. Ce programme de modélisation numérique utilise une méthode de solution par différences finies qui est facile à manipuler et à comprendre. En plus d'être largement utilisé et reconnu dans le domaine de la recherche et de la consultation, il correspond relativement bien aux conditions présentes en simulant l'écoulement en trois dimensions de l'eau souterraine dans un aquifère confiné ou dans un aquifère à nappe libre et permet de considérer entre autres l'effet de puits de pompage ou d'injection, de drains, de rivières et de la recharge de l'aquifère. La version du pré et post processeur utilisé est le logiciel Visual MODFLOW de Waterloo Hydrogeologic inc. version 2.8.2.8 (1999).

À l'échelle du domaine modélisé, soit 8 km par 9 km, il a été considéré que malgré le fait que l'aquifère considéré soit situé dans le roc fracturé, le domaine modélisé peut être approximé par un milieu poreux équivalent. Cependant, il faut s'attendre à ce que localement, cette supposition ne soit pas respectée entièrement. En effet, la présence possible de fractures ouvertes et persistantes dans l'espace, quoique imprévisibles, peut modifier localement et de façon significative le patron d'écoulement de l'eau souterraine.

3.2 DISCRÉTISATION SPATIALE DU DOMAINE ET LIMITES

La carte 1 présente le maillage utilisé pour discrétiser le secteur modélisé. Les dimensions de la zone modélisée sont de 8850 m par 8150 m. En plan, les cellules près du site de la mine Niocan et de l'ancienne mine SLC ont des dimensions de 50 m par 50 m, alors que les cellules aux limites extérieures du domaine ont des dimensions atteignant 500 m par 500 m. Au total, 65 colonnes et 61 rangées ont été utilisées, ce qui a résulté en l'utilisation de 3965 cellules par couches pour un total de

39 650 cellules. Dans tous les cas, l'augmentation de la dimension des cellules dans les deux dimensions horizontales n'a pas dépassé un facteur de 1,5 (50%).

Dans la direction verticale, le domaine comprend une tranche d'aquifère représenté uniquement par la roche en place, divisée en dix (10) couches d'épaisseur constante allant de la surface (dont l'élévation varie d'environ 20 m à plus de 200 m par rapport au niveau de la mer) jusqu'à une profondeur de 1000 m (élévation allant de - 980 m à - 800 m). La figure 1 illustre la discrétisation verticale du domaine.

Les conditions limites utilisées sont les suivantes :

- Charge constante fixée à une élévation de 22 mètres en bordure du Lac des deux Montagnes; il s'agit du niveau moyen du lac à cet endroit;
- Charge constante fixée à 95 mètres sur toutes les couches, dans la partie nord-ouest du domaine, pour maintenir la piézométrie à son niveau moyen probable dans ce secteur; cette limite correspond au chemin du rang Sainte-Germaine et inclus l'extrémité nord-ouest de la carbonatite;
- Charge constante fixée à 165 mètres dans la partie nord-est du domaine modélisé, pour maintenir la piézométrie à une élévation réaliste au droit du sommet de la colline située entre la Trappe d'Oka et St-Joseph-du-Lac; Cette limite correspond à une limite de partage des eaux;
- Limite imperméable à l'ouest correspondant à une ligne d'écoulement probable vers le Lac des Deux Montagnes; cette limite superpose le tronçon sud du rang de l'Annonciation à proximité d'Oka;

La localisation des limites est illustrée à la carte 2.

4. CALIBRATION DU MODÈLE

4.1 SÉLECTION FINALE DES PARAMÈTRES

PARAMÈTRES HYDROGÉOLOGIQUES

La sélection finale des paramètres des unités hydrogéologiques est présentée au tableau 1. Ce tableau présente les différentes valeurs ajustées de la conductivité hydraulique et de l'emmagasinement (incluant la porosité de drainage) pour les différentes unités hydrogéologiques. On retrouve aussi les facteurs d'anisotropie appliqués lors des simulations. Donc, trois paramètres hydrogéologiques ont été ajustés lors de la calibration, soit la conductivité hydraulique, l'emmagasinement et l'anisotropie de la conductivité.

La distribution de la conductivité hydraulique et de l'emmagasinement correspond essentiellement à une attribution fixe de la propriété en fonction de la lithologie, et ce l'ensemble d'une même couche. La distribution des conductivités hydrauliques est présentée à la carte 3. À un seul endroit, il a été nécessaire d'attribuer une valeur de conductivité hydraulique différente pour une même lithologie, soit pour le gneiss dans la partie ouest du domaine. En effet, une valeur plus élevée de conductivité hydraulique a été nécessaire à cet endroit pour permettre d'abaisser les charges hydrauliques simulées et ainsi reproduire plus fidèlement la piézométrie de ce secteur.

La calibration en régime transitoire pour simuler le pompage à la mine SLC a montré qu'une anisotropie de 2 pour 1 des conductivités hydrauliques dans le sens de l'allongement de la carbonatite, à l'intérieur de l'unité de carbonatite seulement, était nécessaire pour reproduire plus fidèlement le rabattement observé dans le roc. Il est supposé que cette anisotropie prenne en compte l'effet des structures probables dans la carbonatite dont la composante principale serait plus importante dans cette direction (présence de l'anticlinal d'Oka-Beauharnois).

Tableau 1. Valeurs des paramètres calibrés des unités hydrogéologiques

Unité	Conductivité hydraulique K_x (m/s)			S_z (m^{-1}) / S_y			Anisotropie
	<100 m (1)	100 à 300 m	>300 m	<100 m	100 à 300 m	>300 m	
Carbonatite	4×10^{-7}	4×10^{-7}	4×10^{-8}	$1 \times 10^{-5} / 0.07$	$1 \times 10^{-5} / 0.07$	$1 \times 10^{-5} / 0.07$	$K_x = 2K_y = K_z$ $K_x = 2K_y = K_z$ $K_x = 2K_y = K_z$
Grès du Potsdam	2×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	$3 \times 10^{-5} / 0.06$	$3 \times 10^{-5} / 0.06$	$3 \times 10^{-5} / 0.06$	$K_x = K_y = 10K_z$ $K_x = K_y = K_z$ $K_x = K_y = K_z$
Gneiss Précambrien	4×10^{-8} (2)	2×10^{-8}	2×10^{-8}	$1 \times 10^{-5} / 0.03$	$1 \times 10^{-5} / 0.03$	$1 \times 10^{-5} / 0.03$	$K_x = K_y = K_z$ $K_x = K_y = K_z$ $K_x = K_y = K_z$

(1) Profondeur à partir de la surface

(2) Une valeur plus élevée a été utilisée localement pour permettre d'obtenir une élévation réaliste de la piézométrie

RECHARGE

Tel que mentionné à la section 2.4, trois taux de recharge ont été assignés, soit un taux de recharge de 70 mm/an sur les zones affleurantes de gneiss et de carbonatite (ou simplement recouvertes de dépôts meubles perméables), un taux de recharge de 40 mm/an sur les zones non-affleurantes recouvertes de till, indépendamment des unités rocheuses (gneiss, carbonatite et grès arkosique de Potsdam). Un taux de recharge de 200 mm/an a été assigné à l'unité de grès de Potsdam aux endroits où l'unité est recouverte par l'aquifère de sable et gravier longeant le Lac des Deux Montagnes, ce qui apparaît comme étant réaliste. La distribution de la recharge est présentée à la carte 4.

CELLULES SUPERPOSANT LE RUISSEAU ROUSSE

Une valeur de conductance d'environ $2,0 \text{ m}^2/\text{d}$ a été assignée à l'ensemble des cellules superposant le ruisseau Rousse. Cette valeur a permis d'obtenir un débit d'environ $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ d'eau souterraine vers les cellules du ruisseau lors des simulations en régime permanent.

DRAINS SIMULANT LE POMPAGE DE L'EAU SOUTERRAINE À LA MINE SLC

Des drains ont été assignés à la base de chacune des cellules situées au droit d'un chantier, d'un puits ou d'une galerie dans le modèle. À la mine SLC, compte tenu de l'importance des infrastructures souterraines, une conductance de $200 \text{ m}^2/\text{d}$ a été attribuée à chacun des drains. De plus, une conductivité hydraulique de $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ a été assignée à chacune des cellules des drains pour refléter l'absence de roche au droit de la cellule ou de l'augmentation de la perméabilité suite à la fracturation accrue de la roche.

Trois périodes ont été imposées lors de l'attribution des drains à la mine SLC, soit la première période s'échelonnant sur six (6) ans, alors que l'exploitation du gisement s'est faite à partir de deux fosses à ciel ouvert (profondeur de 90 m), la deuxième période s'échelonnant de l'année 7 à l'année 14, alors que l'exploitation du gisement a été réalisée jusqu'à une profondeur d'environ 300 mètres et d'un puits d'extraction atteignant 550 mètres de profondeur, et la troisième période correspond aux deux dernières années, alors que l'exploitation s'est poursuivie à partir de niveaux atteignant 550 mètres de profondeur et d'un puits atteignant 750 mètres de profondeur.

5. RÉSULTATS

5.1 RÉSULTATS DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES EN RÉGIME PERMANENT SANS L'EFFET DU POMPAGE

Les simulations réalisées en régime permanent avaient pour but de reproduire le plus fidèlement la position de la nappe, que l'on suppose à environ 5 mètres sous la surface du sol, sans l'influence du pompage à la mine SLC ou à la mine Niocan. De façon générale, les simulations numériques ont permis d'obtenir une piézométrie relativement fidèle sur l'ensemble du domaine modélisé.

Le champ d'écoulement obtenu lors de la modélisation numérique en régime permanent respecte de manière générale les directions supposées de l'écoulement de l'eau souterraine, à l'échelle locale et régionale, du secteur de la carbonatite et des collines adjacentes. La piézométrie résultant de la modélisation en régime permanent est présentée à la carte 5.

On note que la piézométrie suit de façon générale la topographie du secteur. Les directions d'écoulement de l'eau souterraine ont été ajoutées à la carte piézométrique. L'écoulement se fait surtout vers le lac des Deux Montagnes à partir des sommets, à l'exception du secteur de la Montagne du Radar où l'écoulement se fait plutôt vers le nord-ouest. À cet endroit, l'écoulement est influencé directement par le choix de la limite à charge imposée qui a été fixée à 95 m à cet endroit.

5.2 RÉSULTATS DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES EN RÉGIME TRANSITOIRE LORS DE L'OPÉRATION DE LA MINE SLC

Des simulations en régime transitoire ont été réalisées, en première étape, pour simuler le rabattement de la nappe lors de la période d'exploitation de la mine SLC. Cette période d'exploitation qui totalise 16 années (de 1961 à 1976) a été divisée en trois étapes. La première période s'est échelonnée sur six (6) ans, alors que l'exploitation du gisement s'est faite à partir de deux fosses à ciel ouvert. Le débit de pompage pour le maintien à sec des fosses, obtenu lors des simulations, est d'environ 1700 m³/d. La deuxième période s'est échelonnée de l'année 7 à l'année 14, alors que l'exploitation

du gisement a été réalisée à partir de deux niveaux souterrains jusqu'à une profondeur d'environ 300 mètres, et d'un puits d'extraction atteignant 550 mètres de profondeur. Le débit de pompage obtenu pour le maintien à sec des infrastructures souterraines a été d'environ 6000 m³/d. La troisième période correspond aux deux dernières années, alors que l'exploitation s'est poursuivie à partir de niveaux atteignant 550 mètres de profondeur et d'un puits atteignant 750 mètres de profondeur. Le débit de pompage obtenu lors des simulations était de l'ordre de 7000 m³/d.

Les rabattements obtenus lors des simulations numériques sont présentés aux cartes 6a à 6d. Ces cartes présentent les isocontours du rabattement de la nappe au terme des troisième, sixième, dixième et seizième année d'exploitation, respectivement. La dixième année correspond à la date à laquelle plusieurs données se rapportant au rabattement de la nappe sont disponibles et cette carte a été présentée dans l'étude environnementale. Compte tenu de l'incertitude de certains paramètres utilisés dans le modèle, il a été jugé inopportun de ~~ne présenter que~~ les isocontours du rabattement dans le roc inférieurs à 5 mètres. D'ailleurs, un rabattement simulé de cet ordre dans le roc, peut en réalité être aisément atténué par la présence de dépôts meubles plus perméables et plus poreux recouvrant le roc, ou se buter sur des zones de perméabilité élevée dans le roc, telles que celle observée à environ 0,5 km au nord-est du gisement de Niocan. De même, les faibles rabattements sont sujets à l'influence de la configuration des limites du domaine modélisé (charges constantes, limites imperméables) et il est donc considéré que leur répartition n'est pas fiable.

En guise de comparaison avec le rabattement historique observé lors de l'exploitation de la mine SLC, il est suggéré de se rapporter à la carte de l'étude environnementale illustrant les périmètres des zones correspondant à un rabattement observé supérieur à 40 mètres (en 1971 environ) et à la limite observée du rabattement significatif de la nappe en 1976.

Deux observations peuvent être faites sur la base des résultats des simulations, soit :

- Les rabattements simulés à plus grande distance de l'ancienne mine, près de la limite du cône de rabattement observé le long du chemin Sainte-Sophie, sont supérieurs à ce qui a été observé en réalité;
- Les rabattements simulés à proximité de la mine (secteurs de la Trappe et de la Montée Saint-Isidore) sont inférieurs à ceux observés.

Les données disponibles sur le niveau de l'eau souterraine ont démontré que le cône de rabattement de la nappe ne s'est pas étendu au-delà de la Montée du Village à une distance de 1,7 km de l'ancienne mine. Or, les résultats des simulations situent l'isocontour du rabattement de 5 mètres à une distance d'environ 2,0 km de la mine SLC après 10 ans d'opération de la mine, soit en 1971. Les paramètres d'écoulement (conductivité hydraulique, emmagasinement et recharge) calibrés pour tenter de simuler un rabattement de l'ordre de 45 mètres en 1970 au droit du #50 Sainte-Sophie à l'intérieur de la carbonatite ne permettent pas d'obtenir un tel redressement du niveau de la nappe plus au nord. En effet, au droit du #50 chemin Sainte-Sophie, soit à environ 0,9 km de la mine SLC, le rabattement simulé à la dixième année est d'environ 25 mètres alors que le rabattement observé est d'environ 45 mètres. Au terme de la seizième année (soit à la fin de l'opération de la mine), l'isocontour simulé du rabattement de 5 mètres est situé à 3,0 km de distance à partir de la mine SLC le long du rang Sainte-Sophie, ce qui dépasse largement la limite observée du rabattement significatif à 1,7 km. En résumé, l'étendue maximale du rabattement significatif est nettement surestimée par le modèle.

Il est supposé que ce redressement de la nappe puisse résulter d'une condition locale d'écoulement causée par des zones d'emmagasinement (et de perméabilité) élevé, ou d'une zone de forte recharge du roc. Tel que mentionné précédemment, une telle zone a été reconnue dans les années 1950 dans le secteur à proximité de l'intersection de la Montée du Village et du chemin Sainte-Sophie, à environ 0,5 km au nord-est du gisement de Niocan.

Les rabattements simulés dans le secteur de la Trappe d'Oka et de la Montée Saint-Isidore sont de l'ordre de 20 mètres à 60 mètres à la dixième année alors que les rabattements observés ont été de l'ordre de 45 mètres à plus de 100 mètres. Donc,

malgré la surestimation de l'étendue maximale du cône d'affectation de la nappe prévu par le modèle, les simulations sous-estiment, dans une moindre mesure, l'intensité du rabattement dans un rayon rapproché de la mine.

6. CONCLUSIONS

Dans l'objectif de prévoir le rabattement de la nappe d'eau souterraine dans le roc en périphérie de la mine projetée de Niocan (le gisement S-60 uniquement), une première version d'un modèle d'écoulement de l'eau souterraine en périphérie de la mine Niocan a été présentée dans la version préliminaire de l'étude environnementale (décembre 1999). Afin de mieux représenter l'écoulement dans le secteur de la mine projetée, un modèle révisé a été construit, lequel a été calibré avec les données de rabattement de la nappe occasionné par l'opération de l'ancienne mine St-Lawrence Columbian (SLC). Cette mine est située dans l'unité de carbonatite à environ 900 mètres au sud-est dans un contexte hydrogéologique très similaire à celui de la mine Niocan et il est supposé que la réponse hydrogéologique du système d'écoulement lors d'une période de pompage à fort débit dans le roc devrait être similaire.

Les résultats des simulations numériques montrent que les rabattements simulés à plus grande distance de l'ancienne mine SLC, près de la limite du cône de rabattement observé le long du chemin Sainte-Sophie, sont largement supérieurs à ceux observés en réalité. Selon le modèle, l'isocontour du rabattement simulé de 5 mètres est situé à une distance d'environ 2,0 km de la mine SLC après 10 ans d'opération de la mine (1971), et à une distance de 3,0 km après 16 ans d'opération de la mine (1976). La limite observée du rabattement significatif à la fin de la période d'opération de la mine était située à environ 1,7 km à partir de la mine, dans l'axe de la carbonatite. En bref, le présent modèle ne réussit pas à représenter adéquatement les rabattements observés dans le passé lors de l'opération de la mine SLC. Les données disponibles pour l'élaboration et la calibration du modèle d'écoulement (paramètres hydrogéologiques et hydrologiques) demeurent, pour l'instant, trop partielles.

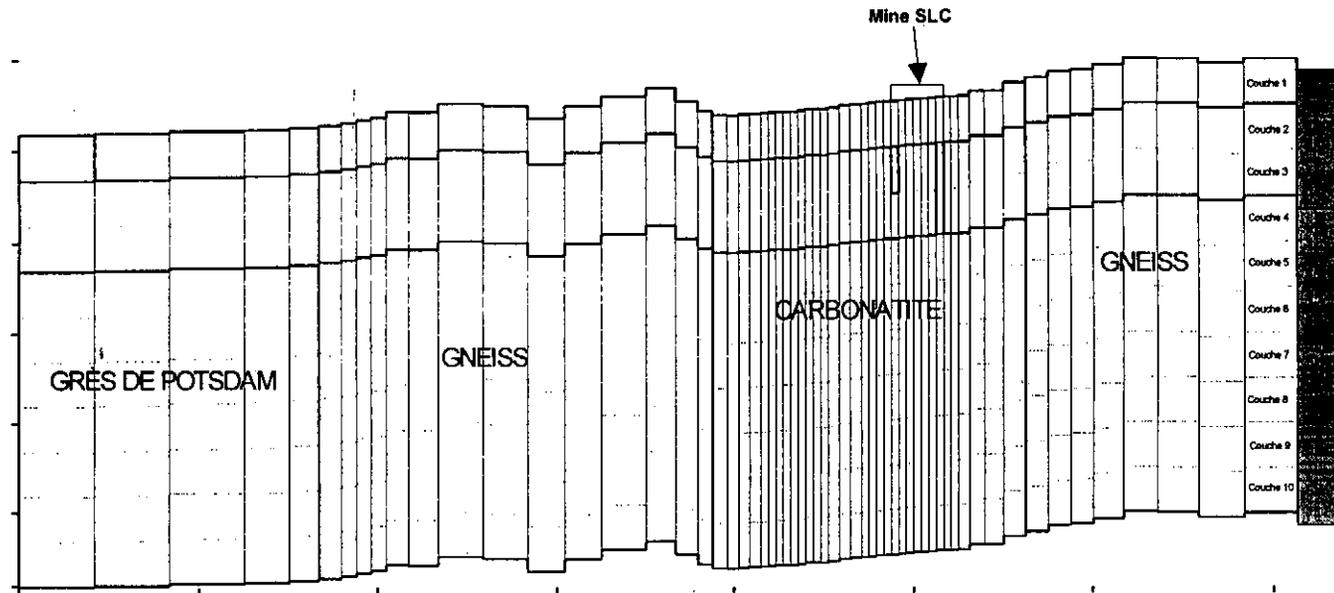
Compte tenu du manque de correspondance entre les résultats de la modélisation numérique et les observations quant au rayon d'influence du pompage sur l'eau

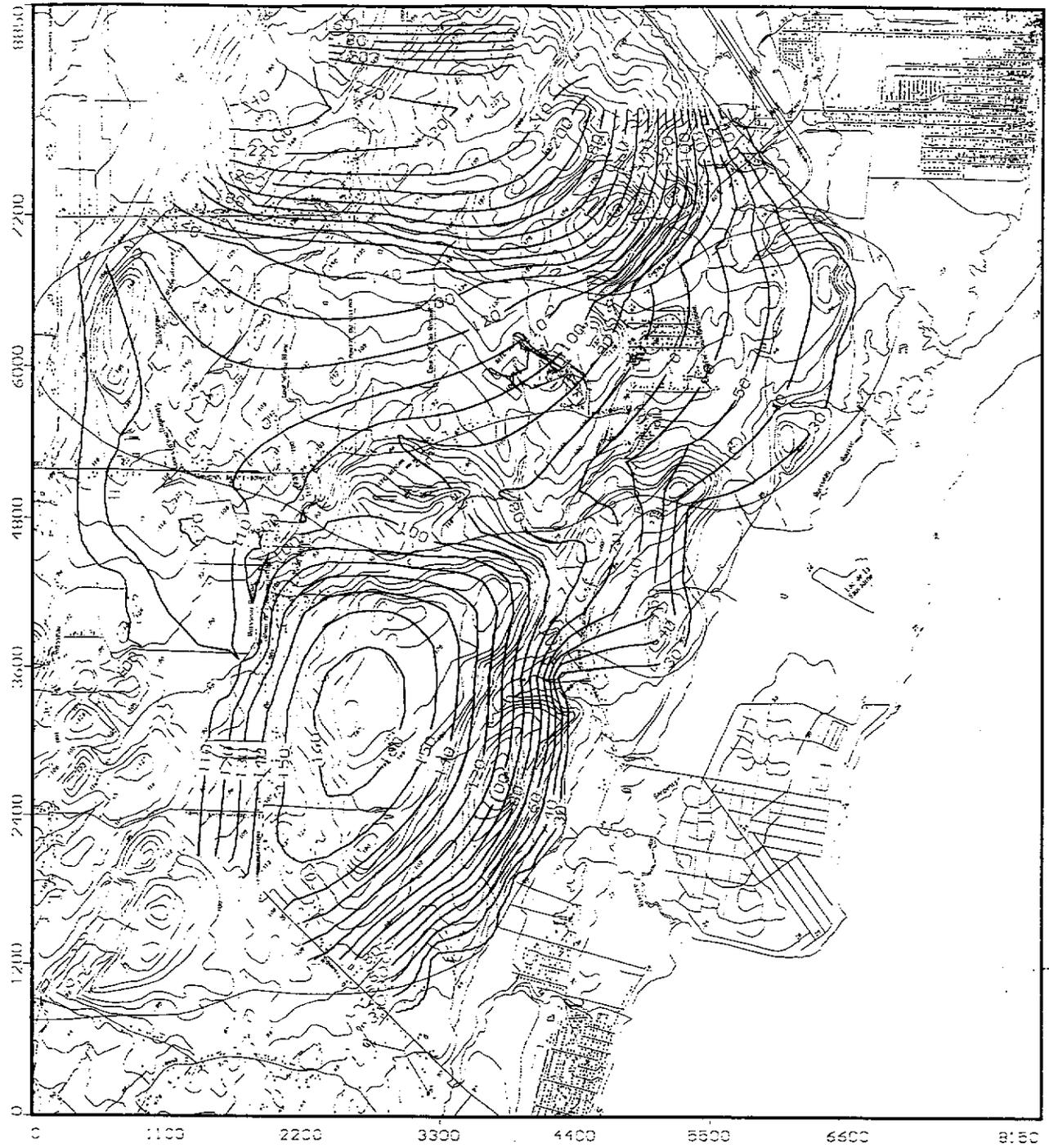
souterraine à la mine SLC, il n'est pas possible, à partir des résultats du modèle, de statuer sur l'ampleur et l'étendue réelle du rabattement à la mine projetée de Niocan.

Stefan Foy,

M.Sc., hydrogéologue

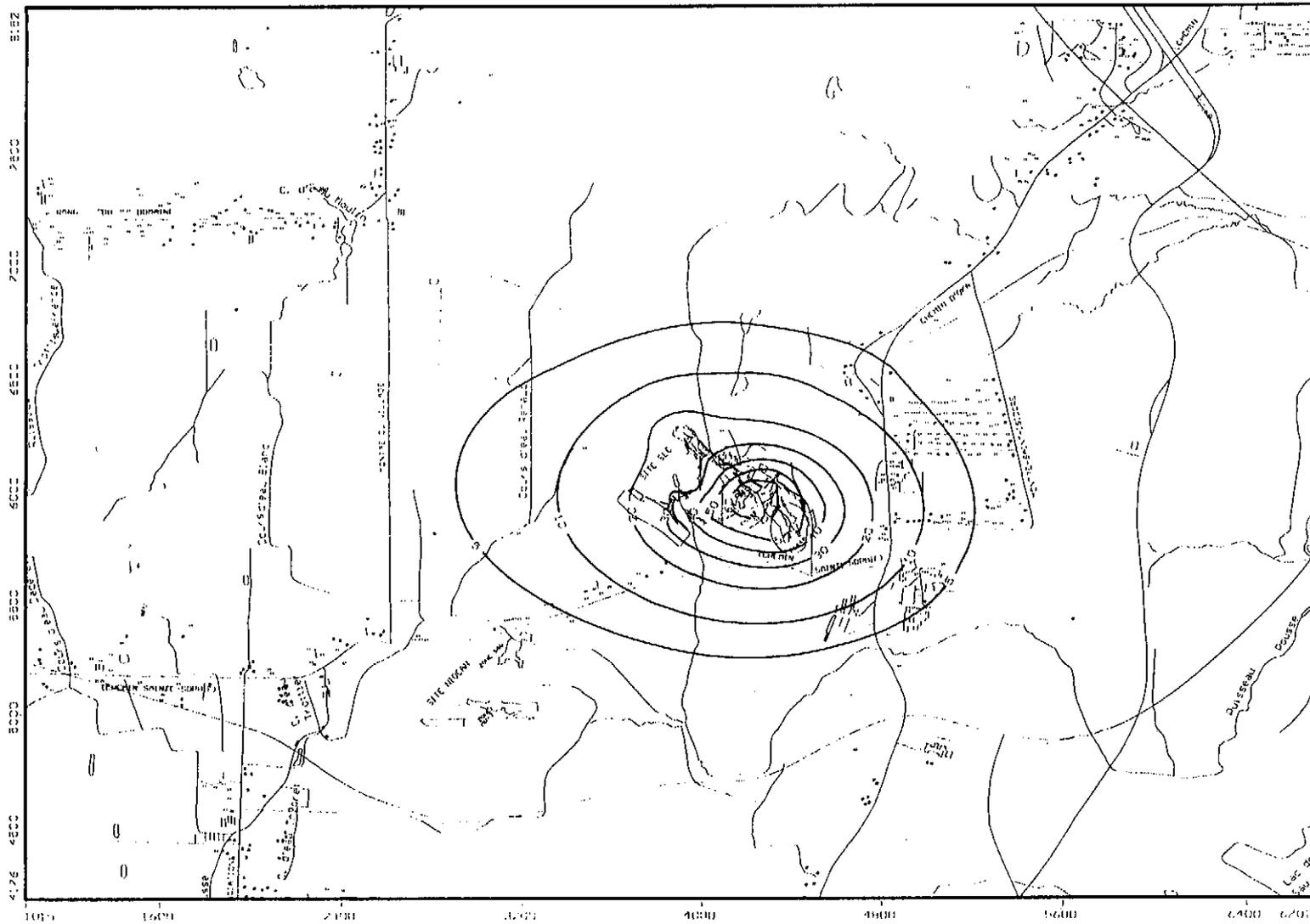
FIGURE 1
DISCRETISATION VERTICALE
DU DOMAINE





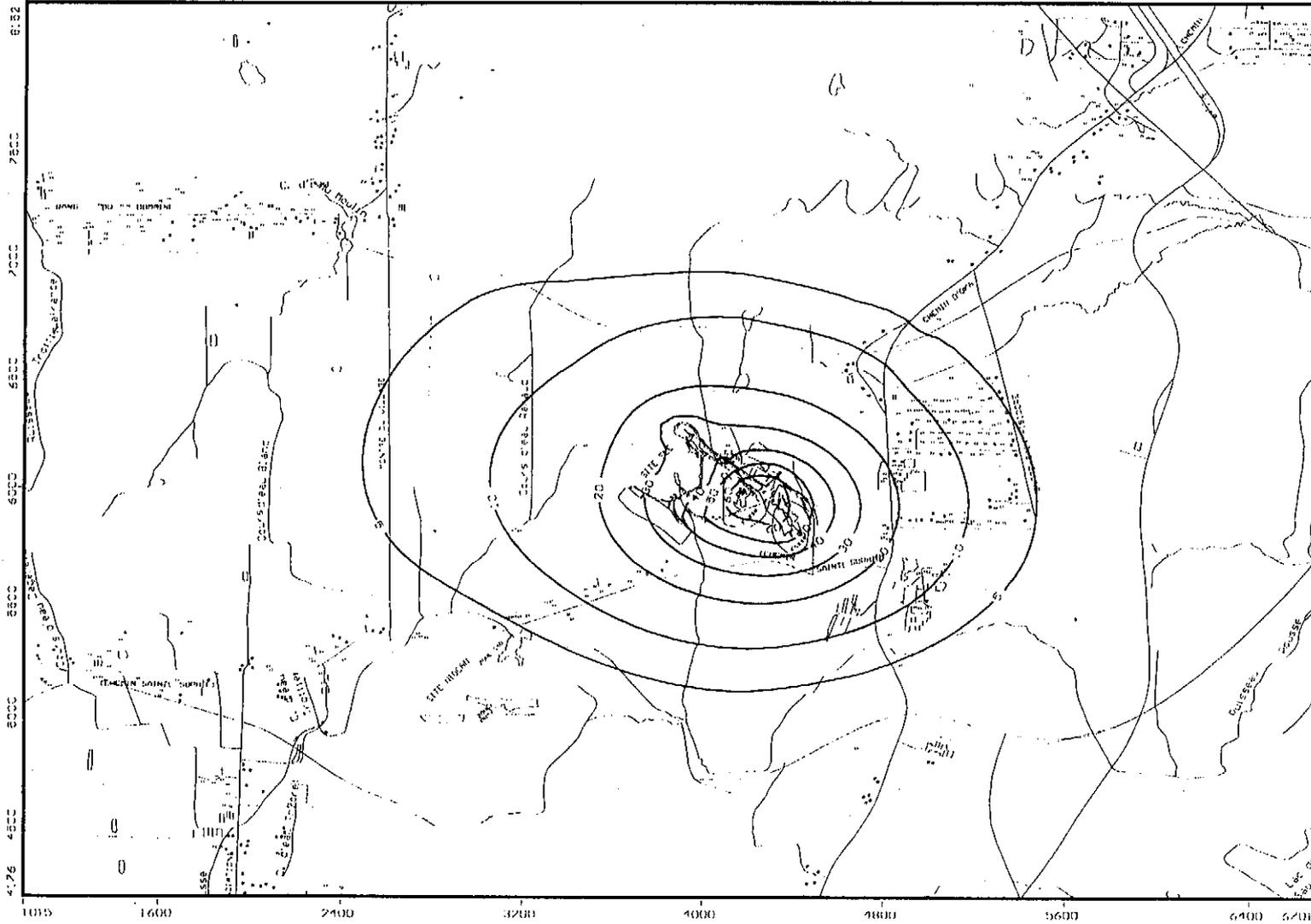
Roche
Project: CARTE 5
Description: PIEZOMETRIE - PERMANENT
2 Oct 00

Visual MODFLOW v.2.8.2, (C) 1995-1999
Waterloo Hydrogeologic, Inc.
NC: 65 NR: 61 NL: 10
Current Layer: 1



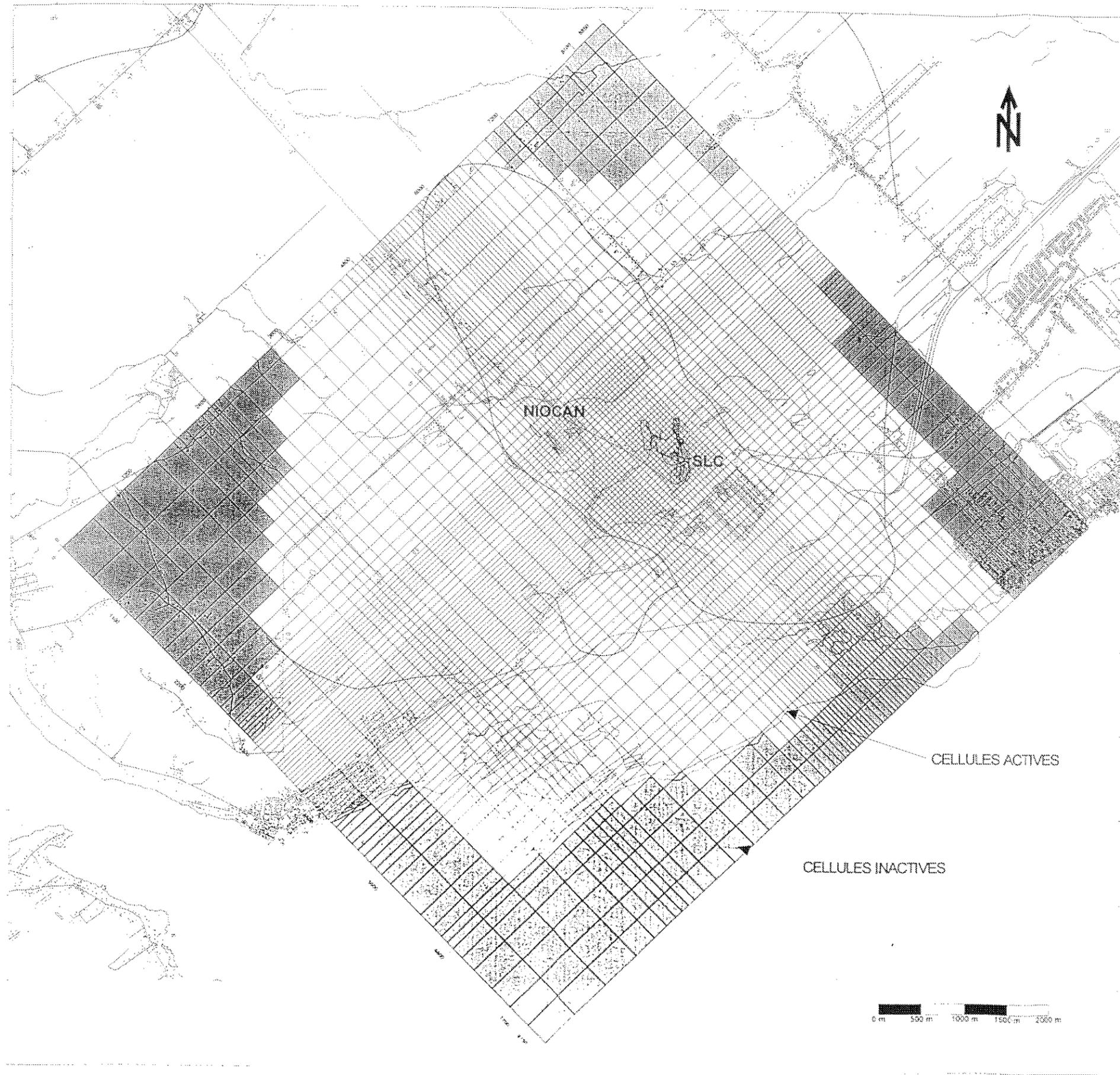
Roche
 Project: CARTE 6A
 Description: SLK - 3 ANS
 Modeller: S. Foy
 2 Oct. 00

Visual MODFLOW v.2.8.2, (C) 1995-1999
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 05 NR: 01 NL: 10
 Current Layer: 3



Roche
 Project: CARTE 03
 Description: SIC - 6 ANS
 Modeller: S. Foy
 2 Oct. 00

Visual MODFLOW v.2.8.2, (C) 1995-1999
 Waterloo Hydrogeologic, Inc.
 NC: 65 NR: 61 NL: 10
 Current Layer: 3

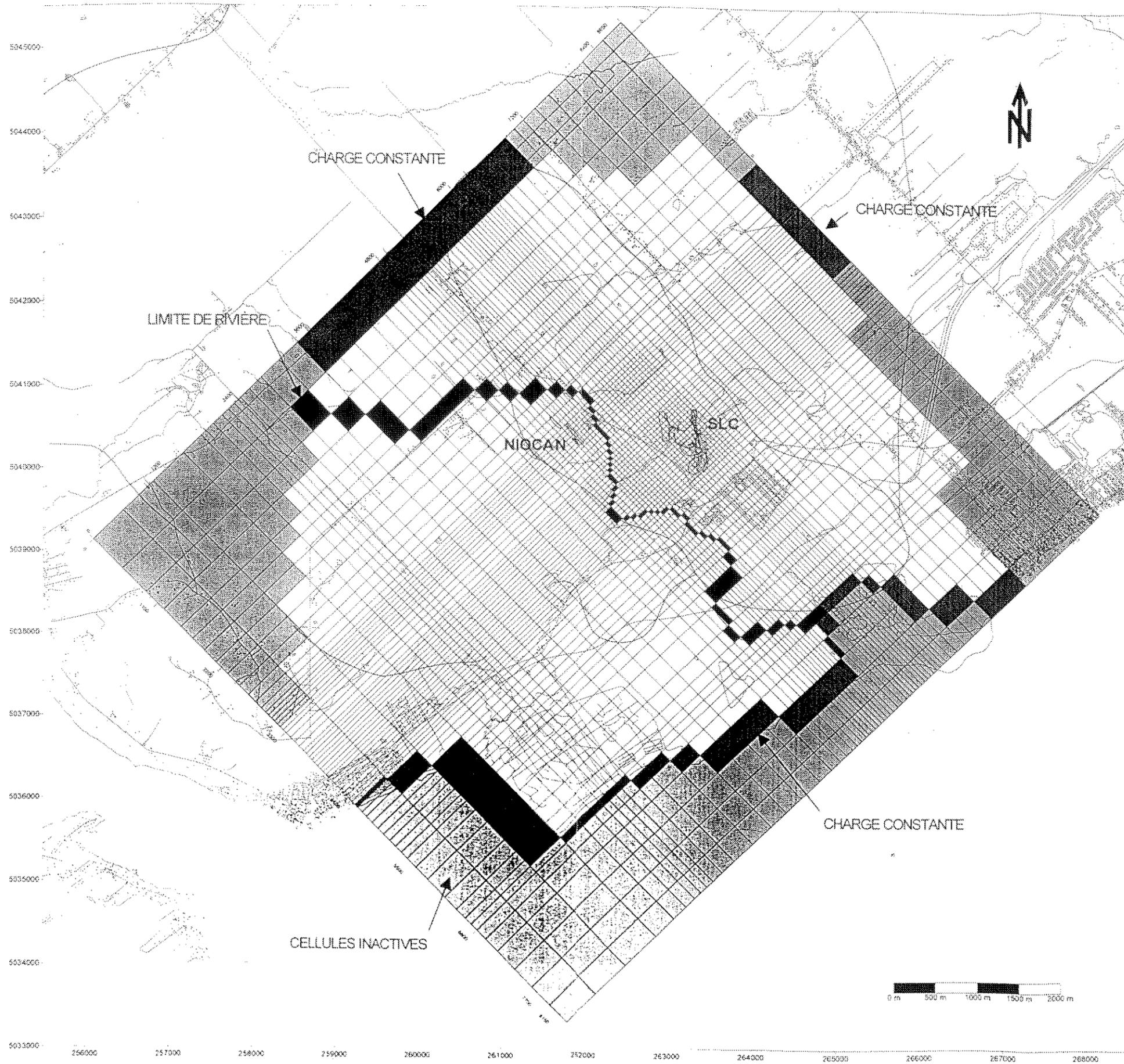


CARTE NO. 1
LIMITES DU DOMAINE
MODÉLISÉ

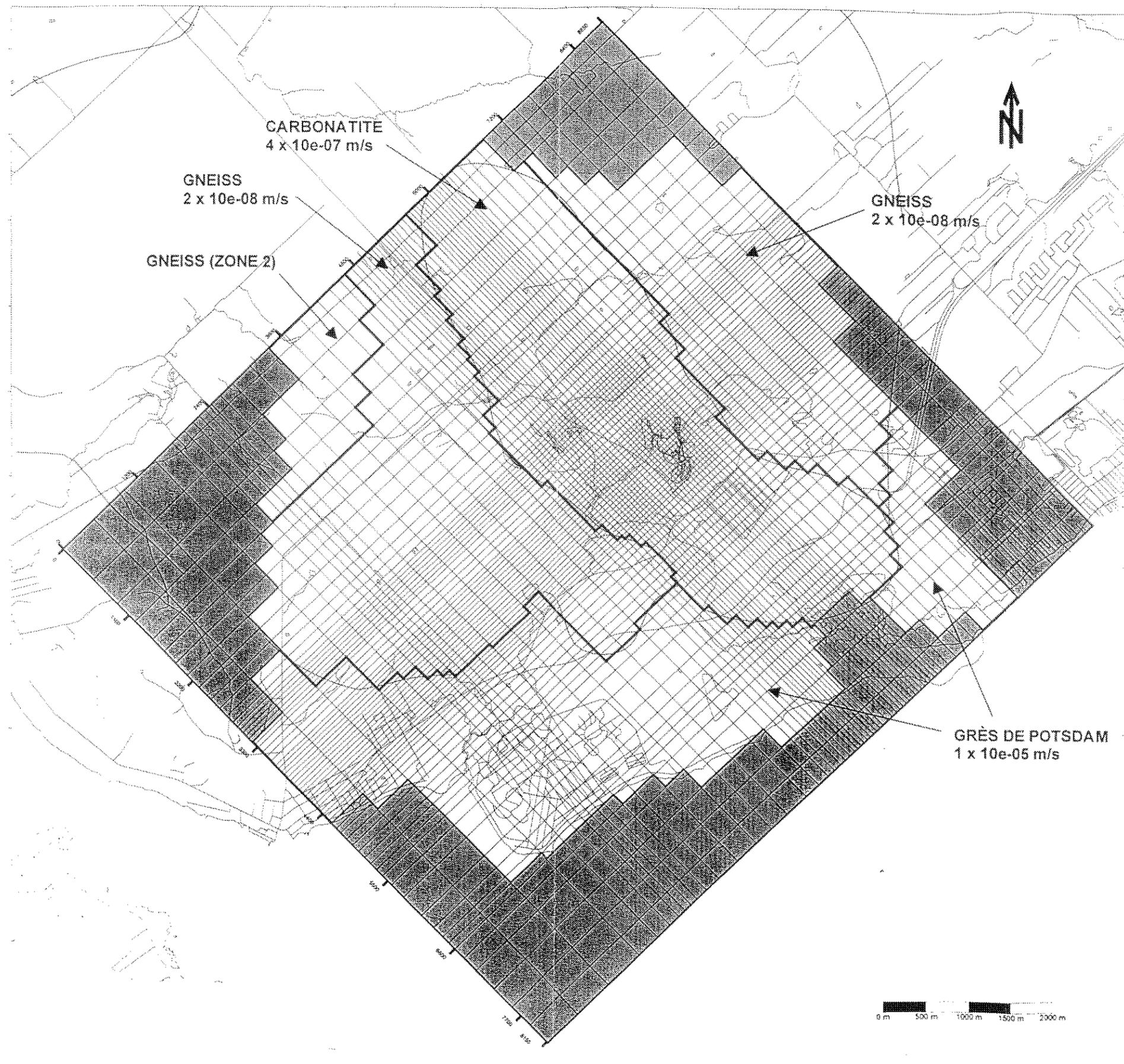
CELLULES ACTIVES

CELLULES INACTIVES

0 m 500 m 1000 m 1500 m 2000 m 2500 m



CARTE NO. 2
 LOCALISATION
 DES LIMITES



CARBONATITE
 4×10^{-07} m/s

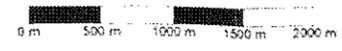
GNEISS
 2×10^{-08} m/s

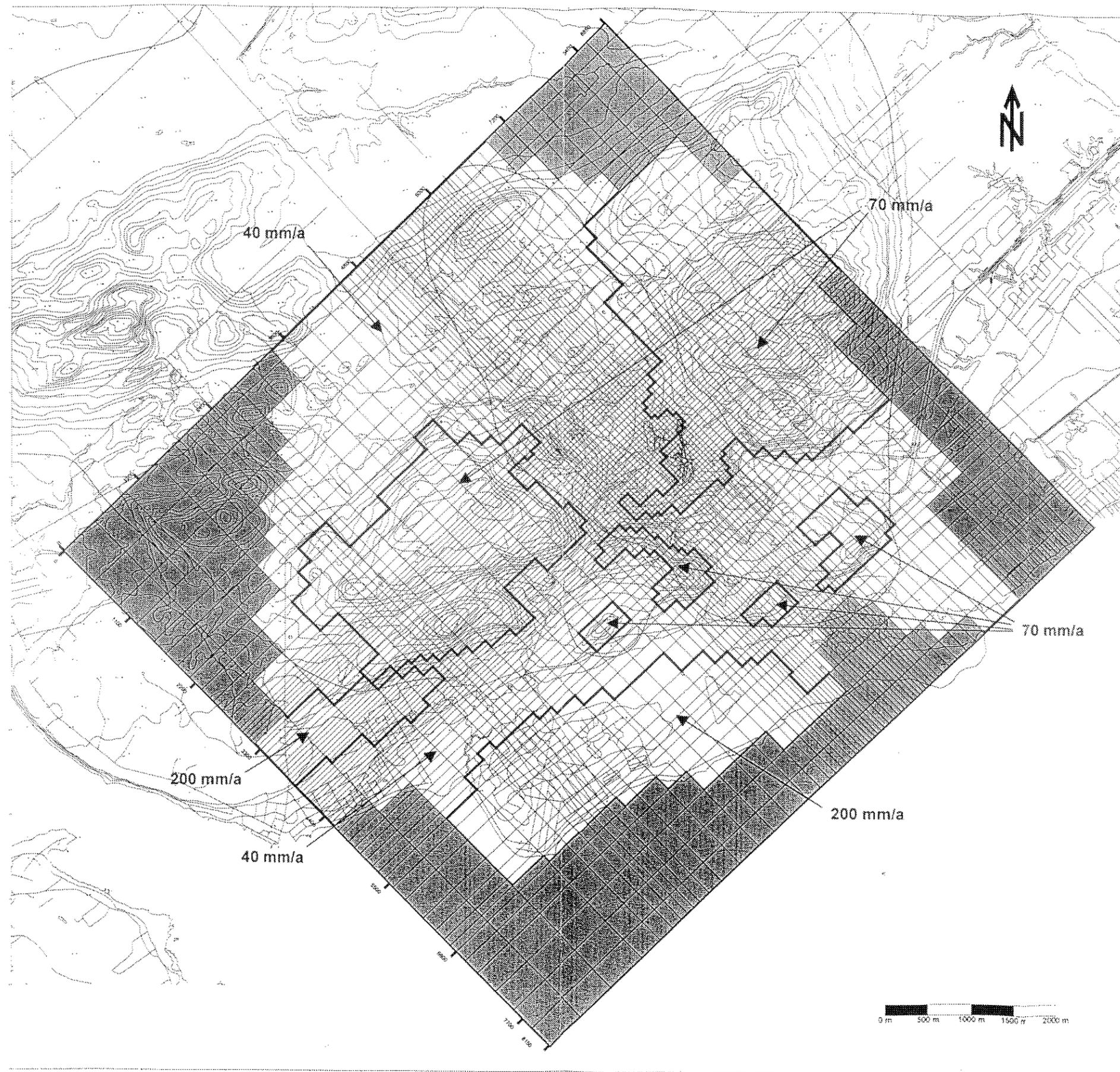
GNEISS (ZONE 2)

GNEISS
 2×10^{-08} m/s

GRÈS DE POTSDAM
 1×10^{-05} m/s

CARTE NO. 3
DISTRIBUTION DES
CONDUCTIVITÉS
HYDRAULIQUES
(COUCHE 2)





CARTE NO. 4
DISTRIBUTION DE
LA RECHARGE