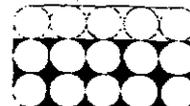


**208**

**DD1.27**

Les effets potentiels du projet d'exploitation  
d'une mine et d'une usine de niobium à Oka  
sur les eaux de surface et les eaux  
souterraines ainsi que sur leurs utilisations  
Oka

6211-08-003



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

**MUNICIPALITÉ D'OKA**

183, rue des Angés

Oka, Québec

J0N 1E0

**MUNICIPALITÉ D'OKA**  
**PROJET MINIER NIOCAN INC.**  
**ANALYSE DU VOLET HYDROGÉOLOGIE**  
**DE L'ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE**

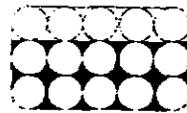
Février 2000

Donat Bilodeau, Experts-Conseils inc

1680, Croissant Rousseau

Brossard, Québec

J4X 1S7



**DONAT BILODEAU**  
Experts Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

**MUNICIPALITÉ D'OKA**

**183, rue des Angés**

**Oka, Québec**

**J0N 1E0**

**Remis à:**

**Mme Marie Daoust,  
Secrétaire-trésorière,  
Municipalité d'Oka**

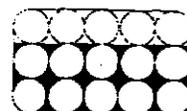
**Préparé par:**

**Donat Bilodeau, ing.  
Hydrogéologue**

**Yves Leblanc, M. Sc.  
Hydrogéologue**

**Date :**

**Février 2000**



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

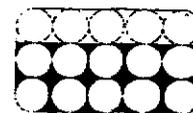
## **RÉSUMÉ**

Les objectifs de la présente étude sont de valider les conclusions de l'étude environnementale quant à l'impact du rabattement occasionné par le pompage dans la mine projetée *NIOCAN INC.* pour maintenir celle-ci à sec. Un examen de la documentation scientifique régionale et une visite ont été effectués pour définir le contexte hydrogéologique régional. Ensuite, les sections de l'étude traitant d'hydrogéologie ont été vérifiées, incluant l'évaluation hydrogéologique effectuée par modélisation numérique. Enfin, le modèle numérique a été reproduit afin d'être en mesure de recommander des mesures adéquates de protection des utilisateurs d'eau souterraine dans le secteur à l'étude.

La documentation géoscientifique consultée indique la nature des matériaux géologiques, leurs paramètres hydrogéologiques moyens, la vulnérabilité des aquifères, la qualité des eaux souterraines et la piézométrie régionale. Il aurait été souhaitable de retrouver une synthèse de ces informations dans l'étude environnementale présentée par *NIOCAN INC.*

Quatre sections de l'étude environnementale ont été vérifiées: la section 3.2.3.: *Eaux souterraines*; la section 10.2.2: *Analyse des impacts du projet en phase d'exploitation*; la section annexée intitulée: *Évaluation hydrogéologique par modélisation numérique de l'impact du maintien à sec de la mine NIOCAN sur le niveau de la nappe phréatique*; et enfin, la section 11.2.3 : *Suivi du niveau des eaux souterraines*.

La section *eaux souterraines* de l'étude est très générale et comporte très peu d'informations précises sur le site, de plus, elle n'est pas appuyée par des documents tels qu'une carte piézométrique régionale basée sur des mesures de



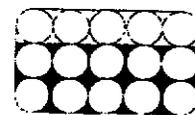
**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

niveaux d'eau, des coupes stratigraphiques de forages atteignant le plancher d'exploitation prévu, des données sur des essais de pompage ou des essais de perméabilité, ainsi qu'une carte de localisation et description des utilisateurs d'eau souterraine dans le secteur.

La section consacrée à l'évaluation hydrogéologique par modélisation numérique, située en annexe de l'étude est, selon nous, incomplète. En effet, les calculs sont basés sur des informations de terrain insuffisantes, le modèle conceptuel ne reflète pas entièrement les conditions décrites à la section eaux souterraines, la calibration ne semble pas s'être basée sur des niveaux d'eau réels ou sur l'expérience vécue par la mine SLC, l'évaluation ne comporte aucune analyse de sensibilité, et la présentation des résultats est très sommaire. Enfin, on peut s'interroger sur la pertinence de l'analyse numérique puisqu'il est mentionné que les rabattements peuvent être localement plus intenses en raison d'un réseau de fractures régional indéterminé.

L'auteur limite, dans cette section, la zone d'impact à la zone de rabattement supérieur à 50 mètres définie par modélisation numérique. Il sous-estime l'impact de rabattements moindres sur les utilisateurs d'eau souterraine de la région. Selon nous, la zone d'impact est beaucoup plus grande et les impacts ne sont pas limités au captage d'eau par puits, mais aussi sur l'utilisation des résurgences diffuses ou ponctuelles à des fins agricoles et pour l'alimentation humaine. Nous croyons cependant que l'exploitation de la mine ne créera pas d'interférence sur les puits alimentant la municipalité.

Afin d'évaluer le modèle numérique élaboré par l'équipe de *Roche*, celui-ci a été reproduit fidèlement. La discrétisation des cellules, les paramètres hydrauliques, la recharge, les frontières à flux nul et à charge constante et, enfin, le nombre de puits et leur débit respectif ont été reproduits à partir du rapport d'étude



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

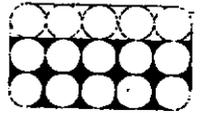
environnementale obtenu de la municipalité d'Oka. Le logiciel utilisé est la version 2.7.1. de *Visual Modflow* compilée par *Waterloo Hydrogeologic*.

À partir des simulations que nous avons effectuées, nous interprétons 1) que si l'auteur avait représenté la zone de rabattement 1 mètre, celle-ci atteindrait trois kilomètres dans la vallée du ruisseau Rousse, en amont de la mine; 2) que les puits simulés dans l'étude seraient insuffisants pour garder la mine à sec : comme le débit d'exhaure pourrait être plus élevé, la zone d'impact pourrait être plus grande; 3) les rabattements ne seraient pas stabilisés après une période de cinq ans. De plus, ils augmenteraient dans la phase d'exploitation de cinq à dix ans; 4) la sensibilité relative des paramètres d'emmagasinement et de la conductivité hydraulique indique que les débits et rabattements pourraient être plus grands et plus étendus que ceux déterminés dans l'étude *Roche*; 5) l'utilisation de drains ou de cellules à charge constante pour simuler l'assèchement de la mine, sans modifier les paramètres sensibles, indique que la zone de rabattement 1 mètre en amont de la mine pourrait atteindre quatre kilomètres.

En somme, les résultats obtenus à partir des simulations numériques effectuées par *Roche* nous semblent plausibles, toutefois, nous croyons que la zone d'impact à considérer ne doit pas être limitée à la zone de rabattement supérieur à 50 mètres.

Il est recommandé que la municipalité d'Oka exige, avant le commencement des travaux, un inventaire complet des utilisateurs d'eau souterraine dans un rayon de quatre kilomètres autour du site projeté de la mine.

Cet inventaire devrait comprendre, dans un rayon de deux kilomètres: 1) une fiche questionnaire à remplir avec l'utilisateur, comprenant des informations sur

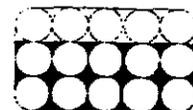


**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

la vocation de l'ouvrage de captage, la présence de résurgences sur la propriété, le débit de consommation estimé, une description de l'ouvrage de captage et la qualité de l'eau; 2) l'échantillonnage de l'eau brute provenant de l'ouvrage de captage; 3) un relevé de l'élévation du sommet du tubage protecteur du puits, du niveau statique et de la profondeur totale de l'ouvrage; 4) un bref essai de pompage (trois heures) visant à déterminer le débit de pointe et le débit moyen de l'ouvrage de captage; et, 5) une brève description du contexte hydrogéologique dans lequel est situé l'ouvrage de captage.

Dans un rayon de deux à quatre kilomètres de distance de la mine, l'inventaire devrait comprendre les items 1, 3 et 5 décrits au paragraphe précédent.

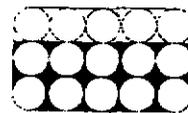
Il est, de plus, recommandé d'évaluer si l'actuelle prise d'eau de la municipalité peut supporter un agrandissement du réseau d'aqueduc, dans le pire des scénarios. Enfin, la municipalité d'Oka doit exiger de *NIOCAN INC* de définir un programme de suivi des niveaux d'eau dans certains puits ciblés.



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>I</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX :</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES FIGURES :</b> .....	<b>VI</b>
<b>ANNEXE : RÉSULTATS DES SIMULATIONS EFFECTUÉES</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 MANDAT</b> .....	<b>1</b>
<b>2 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL</b> .....	<b>2</b>
<b>3 VÉRIFICATION DU VOLET « EAUX SOUTERRAINES » DE L'ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE</b> .....	<b>4</b>
3.1 SECTION « EAUX SOUTERRAINES ».....	4
3.2 SECTION « ÉVALUATION HYDROGÉOLOGIQUE PAR MODÉLISATION NUMÉRIQUE ».....	6
3.2.1 Modèle conceptuel général .....	6
3.2.2 Représentation conceptuelle du pompage à la mine.....	7
3.2.3 Compilation des données de terrain.....	7
3.2.4 Définition du modèle.....	8
3.2.5 Calibration du modèle .....	8
3.2.6 Résultats en régime permanent.....	8
3.2.7 Résultats en régime transitoire.....	9
3.2.8 Analyse de sensibilité des paramètres.....	9
3.2.9 Conclusions .....	9
3.3 SECTION « ANALYSE DES IMPACTS DU PROJET EN PHASE D'EXPLOITATION ».....	10
<b>4 MODÉLISATIONS NUMÉRIQUES</b> .....	<b>12</b>
4.1 CONSTRUCTION DU MODÈLE .....	12
4.2 EXÉCUTION DE SIMULATIONS.....	12



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

4.2.1	Simulations Oka 1 et Oka 2 : reproduction fidèle des simulations de l'étude Roche .....	13
4.2.2	Résultats des simulations Oka 3, Oka 3.1 et Oka 4 : sensibilité de l'anisotropie .....	14
4.2.3	Résultats des simulations Oka 5 et Oka 6 : sensibilité des paramètres d'emmagasinement .....	15
4.2.4	Résultats des simulations Oka 7, Oka 7.1, Oka 7.2, Oka 7.3 et Oka 7.4 : simulation de la mine au moyen de drains .....	15
4.2.5	Résultats des simulations Oka 8, Oka 8.1, Oka 9 et Oka 10 : sensibilité de la conductivité hydraulique .....	17
4.2.6	Résultats de la simulation Oka 12: Puits en régime permanent .....	18
4.3	CONCLUSIONS .....	18
5	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	20

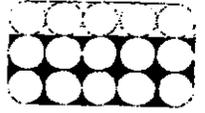
### **LISTE DES TABLEAUX :**

- Simulations effectuées

### **LISTE DES FIGURES :**

- Figure 2.1 : Carte géologique du comté de Vaudreuil (Globensky, 1981)
- Figure 2.2 : Carte hydrogéologique de la région d'Oka (Simard, 1978)

### **ANNEXE : RÉSULTATS DES SIMULATIONS EFFECTUÉES**



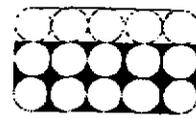
**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

## 1 MANDAT

Lors de son assemblée régulière du 10 janvier 2000, le conseil municipal de la municipalité d'Oka retenait les services de DONAT BILODEAU EXPERTS-CONSEILS INC. suite à sa proposition d'analyse du volet *eaux souterraines* de l'étude environnementale relative à l'implantation du projet minier NIOCAN préparée par la firme ROCHE de Sainte-Foy, Québec.

Le document analysé constitue une étude environnementale du projet d'exploitation d'un gisement de niobium localisé dans les limites de la municipalité de la paroisse d'Oka par la firme NIOCAN Inc. L'étude comprend, entre autres, un volet *eaux souterraines* qui décrit les conditions hydrogéologiques actuelles au droit du site, ainsi que les impacts qu'aura le projet sur ces conditions hydrogéologiques.

Les objectifs de la présente étude sont de valider les conclusions de l'étude environnementale quant à l'impact du rabattement occasionné par le pompage dans la mine pour maintenir celle-ci à sec. Un examen de la documentation scientifique régionale et une visite ont été effectués pour définir le contexte hydrogéologique régional. Ensuite, les sections de l'étude traitant d'hydrogéologie ont été vérifiées, incluant l'évaluation hydrogéologique effectuée par modélisation numérique. Enfin, le modèle numérique a été reproduit afin d'être en mesure de recommander des mesures adéquates de protection des utilisateurs d'eau souterraine dans le secteur du site projeté de la mine *NIOCAN*.



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Consultants Inc.  
(Hydrogéologues)

## 2 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Les documents consultés afin de définir le contexte hydrogéologique régional sont le rapport géologique de la région de Vaudreuil<sup>1</sup> et le rapport hydrogéologique de la région de Mirabel<sup>2</sup>.

Le rapport géologique consulté confirme la présence des trois unités hydrogéologiques décrites dans l'étude: les séries de Grenville et de Morin, d'âge Précambrien; la formation de Covey-Hill du groupe de Potsdam, d'âge Cambrien, constituée de grès arkosique rougeâtre; et l'intrusion alcaline d'âge Crétacé.

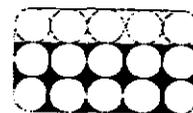
Le rapport hydrogéologique consulté fournit une carte hydrogéologique ainsi qu'une carte de vulnérabilité des nappes aquifères à la pollution. On trouve sur la carte hydrogéologique des courbes isopièzes, des courbes de puissance de la couverture quaternaire, la localisation de puits témoins et la nature du socle rocheux. La carte de vulnérabilité montre quatre types de terrain offrant une protection géologique variant de aucune à suffisante.

Sur la carte hydrogéologique, on observe que le secteur de la mine projetée est situé au centre d'un dôme piézométrique constitué par les collines d'Oka. L'élévation de la piézométrie est supérieure à 60 mètres. Le puits témoin situé le plus près du site de la mine posséderait une épaisseur de la couverture quaternaire de 76,3 mètres. Ces dépôts seraient constitués principalement de till, d'après le rapport Simard. Aucun débit ou niveau statique n'est mentionné pour ce puits ou pour les

---

<sup>1</sup> Globensky, Y., 1982, Rapport géologique 199 - Région de Vaudreuil, Ministère de l'Énergie et des Ressources, direction générale de l'exploration géologique et minérale, service des levés géologiques.

<sup>2</sup> Simard, G., 1978, Hydrogéologie de la région de Mirabel, Ministère des Richesses Naturelles, direction générale des eaux, service des eaux souterraines,



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

puits environnants. Sur la carte de vulnérabilité on note que le secteur de la mine chevauche une zone de protection suffisante et une zone de peu de protection.

Dans le même rapport, on peut y lire que les roches intrusives et métamorphiques du Précambrien et du Crétacé sont les moins perméables de la région. Dans ces unités, les débits exploitables n'excéderaient pas 2 m<sup>3</sup>/heure. Les autres formations seraient beaucoup plus productives. La transmissivité hydraulique des grès de Potsdam est typiquement, selon le rapport, de l'ordre de 10<sup>-2</sup> à 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s, avec une moyenne de 2,9 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s. La transmissivité des intrusifs Précambrien et Crétacé est typiquement de l'ordre de 10<sup>-7</sup> à 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s. Enfin, d'après l'auteur, la réalimentation unitaire annuelle atteindrait 42 mm.

Les figures 2.1 et 2.2 montrent un extrait des cartes géologique et hydrogéologique consultées.

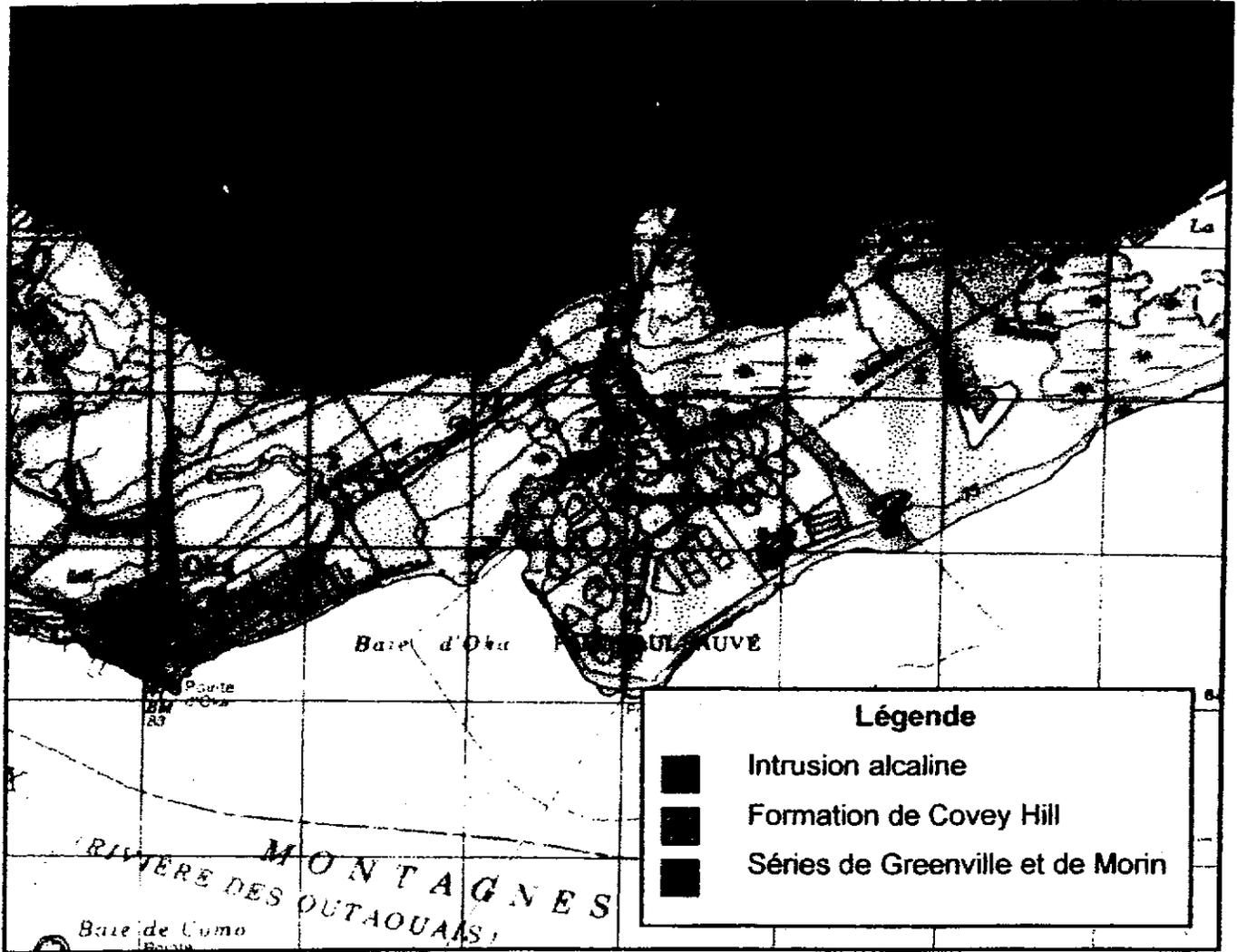


Figure 2.1 : Carte géologique du comté de Vaudreuil (Globensky, 1981)

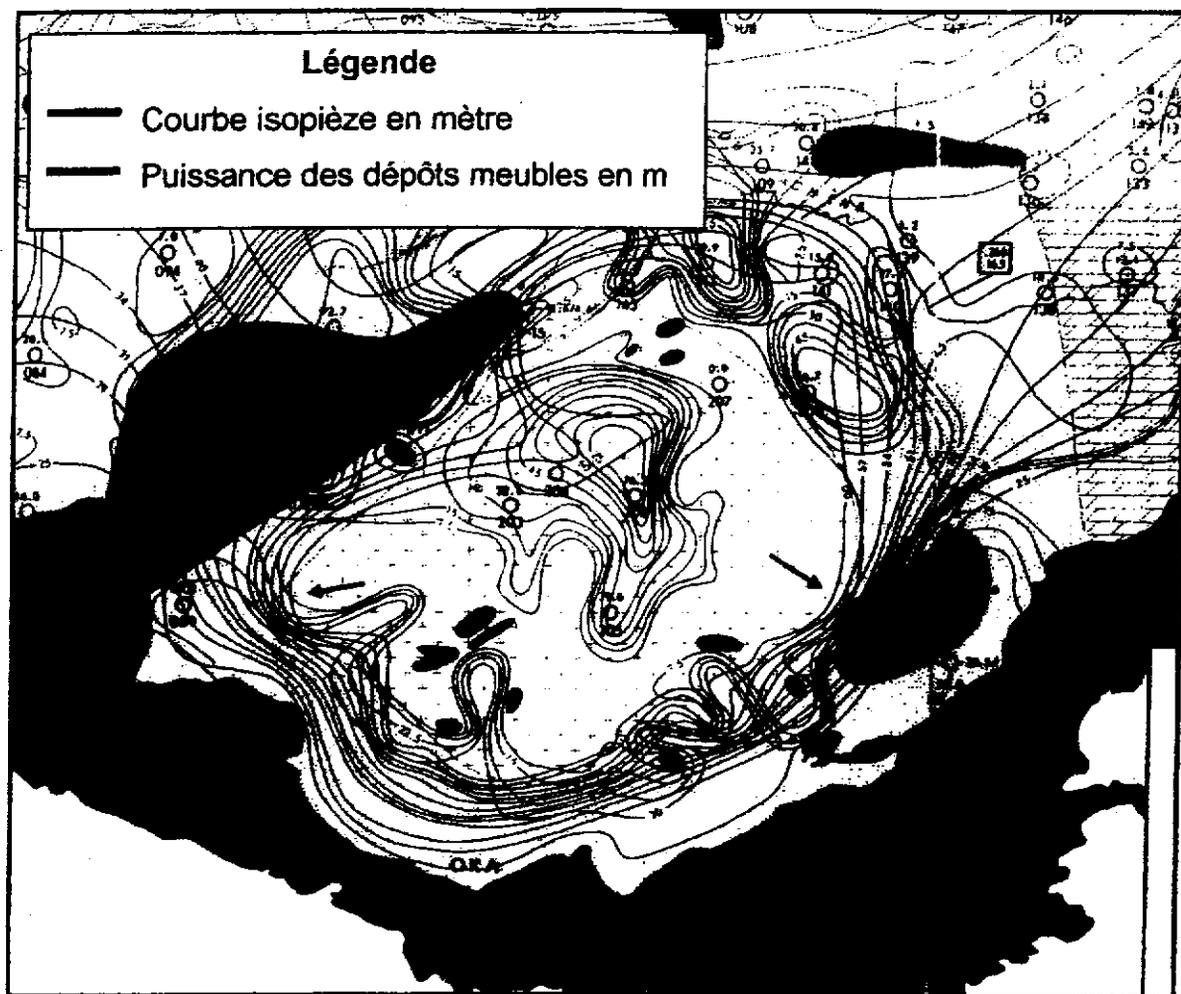
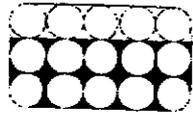


Figure 2.2 : Carte hydrogéologique de la région d'Oka (Simard, 1978)



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils inc.  
(Hydrogéologues)

### **3 VÉRIFICATION DU VOLET « EAUX SOUTERRAINES » DE L'ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE**

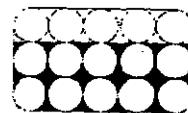
Quatre sections de l'étude environnementale ont été vérifiées: la section 3.2.3.: *Eaux souterraines*; la section 10.2.2: *Analyse des impacts du projet en phase d'exploitation*; la section annexée intitulée: *Évaluation hydrogéologique par modélisation numérique de l'impact du maintien à sec de la mine NIOCAN sur le niveau de la nappe phréatique*; et enfin, la section 11.2.3 : *Suivi du niveau des eaux souterraines*. Nos commentaires sur ces sections de l'étude sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

#### **3.1 Section « eaux souterraines »**

La section *eaux souterraines* de l'étude est très générale et comporte très peu d'informations précises sur le site, de plus, elle n'est pas appuyée par des documents tels qu'une carte piézométrique régionale basée sur des mesures de niveaux d'eau, des coupes stratigraphiques de forages atteignant le plancher d'exploitation prévu, des données sur des essais de pompage ou des essais de perméabilité, ainsi qu'une carte de localisation et description des utilisateurs d'eau dans le secteur.

Dans la sous-section *piézométrie locale*, les deux premiers paragraphes reflètent les connaissances théoriques de l'auteur, bien que son étude par modélisation numérique ne montre pas les conditions qu'il décrit.

Les efforts déployés pour déterminer la piézométrie locale sont faibles. En effet, il est incapable d'utiliser les puits forés pour le projet puisqu'ils sont en condition artésienne et il ne semble pas avoir relevé le niveau d'eau statique des puits.



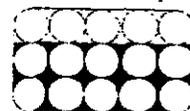
**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

résidentiels du secteur. Il aurait cependant pu mesurer la charge des puits en condition artésienne à l'aide d'une sonde à pression en obturant la tête du puits pour empêcher l'écoulement d'eau.

Les coupes, présentées en annexe, des forages 1, 2 et 3 réalisées en 1999 par la firme Monterval, montrent des profondeurs relativement faibles par rapport au plancher prévu pour la mine. Il ne peut donc prétendre avoir une bonne connaissance de la piézométrie et des paramètres hydrauliques du socle rocheux en profondeur.

La sous-section *caractéristiques physico-chimiques* décrit le programme d'échantillonnage des puits résidentiels dans un rayon d'un kilomètre autour de la mine. Ce programme d'échantillonnage aurait dû être d'au moins quatre kilomètres et aurait dû être complété par un court essai de pompage, ainsi qu'un relevé de l'élévation du niveau statique du puits. Ce genre de procédure est courant pour des projets de moindre envergure comme la construction d'un gazoduc ou l'établissement d'une prise commerciale d'eau souterraine.

La sous-section *essai de pompage* est incomplète puisque aucune donnée sur l'essai de pompage effectué n'est disponible. On devrait, au minimum, retrouver le débit de pompage, les rabattements obtenus, la profondeur du puits pompé et les conditions de pompage (régime permanent obtenu ou régime transitoire jusqu'à la fin). L'auteur mentionne des « contraintes rencontrées lors de l'essai de pompage » sans donner de détails. Il semble cependant que le degré de précision de ses calculs est faible puisque ses résultats varient d'un ordre de grandeur. Enfin, l'auteur s'attend à une transmissivité plus faible d'un ou deux ordres de grandeur pour le roc plus en profondeur. Il n'appuie pas cette interprétation avec des données factuelles.



**DONAT BILODEAU**  
Experts- Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

Enfin, dans la sous-section *utilisation dans le secteur*, l'auteur semble avoir négligé la présence probable de résurgences dans la vallée puisque la nappe est en condition artésienne. Il est fréquent que des résurgences soient utilisées directement ou indirectement à des fins agricoles et pour l'alimentation humaine.

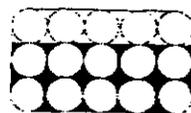
### **3.2 Section « évaluation hydrogéologique par modélisation numérique »**

La section consacrée à l'évaluation hydrogéologique par modélisation numérique, située en annexe de l'étude est, selon nous, incomplète. En effet, les calculs sont basés sur des informations de terrain insuffisantes, le modèle conceptuel ne reflète pas entièrement les conditions décrites à la section eaux souterraines, la calibration ne semble pas s'être basée sur des niveaux d'eau réels ou sur l'expérience vécue par la mine SLC, l'évaluation ne comporte aucune analyse de sensibilité, et la présentation des résultats est très sommaire. Enfin, on peut s'interroger sur la pertinence de l'analyse numérique puisqu'il est mentionné que les rabattements peuvent être localement plus intenses en raison d'un réseau de fractures régional indéterminé.

#### **3.2.1 Modèle conceptuel général**

Les dimensions et le maillage utilisés pour le modèle sont correctement choisis. Le choix d'ignorer la couverture de dépôts meubles est également correct, puisque l'historique d'exploitation de la mine SLC démontre qu'il n'y avait pas d'interférence sur les dépôts meubles. De plus, l'auteur dit ne pas ignorer l'aquifère de sable qui alimente la municipalité. Pourtant aucun paramètre hydraulique n'est attribué à cet aquifère qui se situe à l'intérieur des limites du modèle.

La recharge initiale de 40 mm semble réaliste, puisqu'elle concorde avec la valeur de recharge déterminée par Simard, dans une étude antérieure. Le choix d'ignorer



**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

l'effet des cours d'eau, en particulier le ruisseau Rousse peut fausser, selon nous, l'interprétation de l'écoulement vertical. Il semble, en effet, clair que ce ruisseau et sa vallée constitue une zone de décharge de l'eau souterraine.

Enfin, l'auteur affirme à quelques reprises dans l'étude que le socle rocheux est probablement plus perméable en surface qu'en profondeur. Il n'en tient pas compte dans son modèle conceptuel.

### *3.2.2 Représentation conceptuelle du pompage à la mine*

Le choix de représenter la mine par des puits est correct, bien qu'il soit rare que les débits soient constants. Une mine agit plutôt comme un drain: le niveau de pompage est constant et le débit varie jusqu'à ce qu'un régime permanent soit établi. Alors seulement, les débits sont constants.

La pratique d'effectuer des simulations en régime permanent d'abord, puis en régime transitoire est logique.

Nous ignorons pourquoi on limite la durée des simulations à cinq ans, alors que la durée d'exploitation prévue est de quinze ans et à plus grande profondeur.

### *3.2.3 Compilation des données de terrain*

Il est correct de croire que la piézométrie correspond assez bien à la topographie. Cependant, l'étude ne présente pas de données de terrain, notamment de l'essai de pompage effectué. De plus, l'auteur discrédite son essai puisqu'il utilise dans le modèle une conductivité hydraulique de un à deux ordres de grandeur plus faible que la valeur mesurée par l'essai. D'autre part, les valeurs initiales de conductivité

hydraulique du gneiss et du grès définies au tableau 1 sont un ordre de grandeur inférieures aux valeurs définies dans la section 2.3 comme valeurs initiales.

#### *3.2.4 Définition du modèle*

Le choix du modèle est adéquat, ainsi que le choix du maillage et des limites.

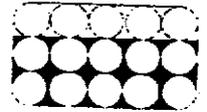
#### *3.2.5 Calibration du modèle*

Le rapport comporte une lacune importante puisqu'il n'inclut aucun tableau présentant les charges calculées versus les charges mesurées. Le lecteur ne peut valider la calibration du modèle. Aucune vérification du bilan de masse n'a été effectuée afin de vérifier la validité de la convergence du moteur de calcul. Enfin, le modèle aurait pu être calibré en utilisant les données d'exploitation de la mine SLC. Les rabattements causés par cette mine semblent bien documentés.

#### *3.2.6 Résultats en régime permanent*

L'auteur ne présente pas de résultats en coupe semblables à la coupe présentée à la figure 3.3 de la partie principale de l'étude. Il ne présente pas de carte piézométrique mesurée pour fins de comparaison avec la piézométrie calculée.

La validation des résultats n'est pas faite; elle est uniquement supposée. Cependant, dans le texte de la section 3.2.3., on cite un auteur qui interprète la piézométrie à l'élévation 85 m au droit de la mine. En se référant à la carte no. 4, la piézométrie se situera à l'élévation 115 m au droit de la mine. Il s'agit d'une différence de 30 mètres entre un niveau calculé et un niveau mesuré.



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

### *3.2.7 Résultats en régime transitoire*

Les résultats des simulations sont très peu documentés. On devrait retrouver, par exemple une vue en coupe X et en coupe Y des charges hydrauliques et du rabattement, à différents temps, ainsi qu'un tableau des rabattements versus temps dans quelques puits d'observation. On devrait retrouver en plan la représentation de plusieurs courbes de rabattement et non uniquement la courbe de rabattement 50 mètres, et ce, à différents temps.

L'étude devait également montrer une simulation de pompage pendant toute la durée de l'exploitation (15 ans) et ensuite montrer la durée de temps pour que l'ensemble retrouve le régime permanent initial.

Les résultats eux-mêmes semblent concorder avec les paramètres utilisés. Cependant, l'auteur n'a pas réalisé d'analyse de sensibilité des paramètres afin de fournir des fourchettes de probabilité de rabattement versus temps.

### *3.2.8 Analyse de sensibilité des paramètres*

Cette partie de l'étude est absente. Toute étude par modélisation numérique devrait comprendre une analyse de sensibilité des paramètres afin de déterminer le degré d'exactitude des résultats. On aurait ainsi pu obtenir une fourchette de résultats plutôt qu'un seul.

### *3.2.9 Conclusions*

Il y a très peu de conclusions. Le lecteur aurait souhaité obtenir des conclusions sur:

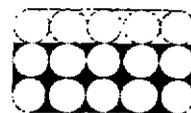
- le rabattement obtenu dans les puits simulant la mine;
- le rayon d'influence du pompage de la mine (jusqu'à un mètre de rabattement);

- le nombre de puits situés dans la zone d'influence;
- l'aire dont la condition de la nappe ne serait plus artésienne pendant le pompage de la mine;
- l'aire d'alimentation de la mine (d'où vient l'eau captée par la mine: des précipitations, de l'emmagasinement ou de la frontière à charge constante?);
- le régime de pompage (est-ce qu'un régime permanent a été atteint à la fin de la simulation?);
- l'intervalle de confiance des résultats (discussion sur la valeur des résultats);
- advenant une simulation sur 15 ans, les résultats seraient-ils différents?
- dans quelle mesure les zones les plus fracturées et les plus poreuses pourraient être sollicitées plus rapidement et plus fortement?

### **3.3 Section « analyse des impacts du projet en phase d'exploitation »**

L'auteur limite, dans cette section, la zone d'impact à la zone de rabattement supérieur à 50 mètres définie par modélisation numérique. Il sous-estime l'impact de rabattements moindres sur les utilisateurs d'eau souterraine de la région. Selon nous, la zone d'impact est beaucoup plus grande et les impacts ne sont pas limités au captage d'eau par puits, mais aussi sur l'utilisation des résurgences diffuses ou ponctuelles à des fins agricoles et pour l'alimentation humaine.

Dans la sous-section *rabattement de la nappe souterraine*, la zone d'impact est limitée à la zone où le rabattement de la nappe est supérieur à 50 mètres. Par expérience, il est fréquent de constater qu'un rabattement aussi faible que trois mètres puisse causer des impacts négatifs. Nous croyons cependant que



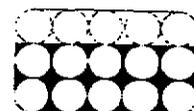
**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

l'exploitation de la mine ne créera pas d'interférence sur les puits alimentant la municipalité.

Dans la sous-section *importance du rabattement suite au pompage*, nous sommes d'accord avec l'auteur pour qualifier de forte, l'intensité du rabattement sur la nappe. Par contre, l'étendue de l'impact sera beaucoup plus grande que celle prévue par l'auteur, parce qu'il calcule le rayon d'interférence sur un rabattement de 50 mètres. Enfin, tous les calculs sont basés sur une simulation d'une durée de cinq ans. L'auteur n'a donc pas déterminé si l'intensité et l'étendue des impacts augmenteraient pendant la période d'exploitation de cinq à quinze ans.

La sous-section *impact résiduel suite à la mise en place du réseau d'aqueduc* définit les impacts comme minimes, voire bénéfiques après l'agrandissement du réseau d'aqueduc. Cependant, la zone qui sera desservie par aqueduc semble trop restreinte. En effet, un puits affecté d'un rabattement de vingt mètres situé hors du secteur desservi par le réseau d'aqueduc subira un impact de forte intensité. Le rabattement aura aussi pour effet d'annuler la condition artésienne de la nappe, tarissant les résurgences naturelles qui seront difficiles à remplacer. L'extension de l'aqueduc est une mesure de mitigation locale, toutefois la zone à impact sera régionale.

La section *suivi du niveau des eaux souterraines* est vague et aucun inventaire des puits n'a été complété. Cette information est nécessaire à la définition d'un programme de suivi.



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

## **4 MODÉLISATIONS NUMÉRIQUES**

Dans le cadre du présent mandat, le modèle numérique utilisé par *Roche* a été reproduit afin d'obtenir les résultats qui ne sont pas fournis dans l'étude (rabattement versus temps, rayon d'influence de la mine, bilan hydrique, régime de pompage, etc.). Ensuite, certains paramètres ont été modifiés afin de simuler différents scénarios possibles.

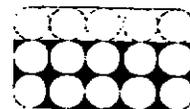
### **4.1 Construction du modèle**

Afin d'évaluer le modèle numérique élaboré par l'équipe de *Roche*, celui-ci a été reproduit fidèlement. La discrétisation des cellules, les paramètres hydrauliques, la recharge, les frontières à flux nul et à charge constante et, enfin, le nombre de puits et leur débit respectif ont été reproduits à partir du rapport obtenu de la municipalité d'Oka. Le logiciel utilisé est la version 2.7.1. de *Visual Modflow* compilée par *Waterloo Hydrogeologic*.

### **4.2 Exécution de simulations**

Des simulations en régime permanent et transitoire ont été effectuées. Le tableau suivant décrit les simulations effectuées :

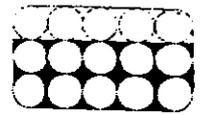
<b>Simulation</b>	<b>Régime</b>	<b>Description/modifications par rapport à l'étude Roche</b>
Oka 1	Permanent	Reproduction fidèle de l'étude <i>Roche</i>
Oka 2	Transitoire	Reproduction fidèle de l'étude <i>Roche</i>
Oka 3	Permanent	Inversion des anisotropies horizontales
Oka 3.1.	Permanent	Oka 3 : Conductivité hydraulique multipliée par deux pour toutes les unités sauf les grès de Potsdam
Oka 4	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 3.1.
Oka 5	Permanent	Oka 1 en modifiant les paramètres d'emmagasinement $S_y = n_e = n = 0,01$



Oka 6	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 5
Oka 7	Transitoire	Oka 2 en utilisant un drain situé à l'élévation -155 m, plutôt que 13 puits. Conductance du drain : 500 m <sup>2</sup> /d
Oka 7.1.	Transitoire	Même que Oka 7, mais avec un drain de conductance = 1000 m <sup>2</sup> /d
Oka 7.2.	Permanent	Simulation effectuée avec une seule couche
Oka 7.3.	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 7.2., simulation de drains aux élévations -155 et -380
Oka 7.4.	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 7.2., simulation de charges constantes aux élévations -155 et -380
Oka 8	Permanent	Oka 1 en modifiant la conductivité hydraulique de la carbonatite. Celle-ci a été ajustée en fonction du résultat de l'essai de pompage effectué par Roche : $K_x = K_z = 2K_y = 1 \times 10^{-6}$ m/s du terrain jusqu'à l'élévation -100 m
Oka 8.1.	Permanent	Oka 8 en modifiant la conductivité hydraulique du gneiss : $K_x = K_z = 2K_y = 1,5 \times 10^{-9}$ m/s et, localement, $2,0 \times 10^{-7}$ m/s
Oka 9	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 8.1., simulation de puits comme dans Oka 2
Oka 10	Transitoire	Simulation effectuée avec les paramètres et charges initiales obtenus de Oka 8.1., simulation de drains aux élévations -155 et -380
Oka 12	Permanent	Régime permanent avec puits en fonction

#### 4.2.1 Simulations Oka 1 et Oka 2 : reproduction fidèle des simulations de l'étude Roche

En régime permanent, la piézométrie obtenue est similaire à celle obtenue dans l'étude Roche, mais non identique. Pour les besoins de l'évaluation, nous considérons le résultat obtenu comme valide. En régime transitoire, la piézométrie et la zone de rabattement supérieur à 50 mètres sont également similaires aux résultats de l'étude Roche (voir figures 1 à 2).



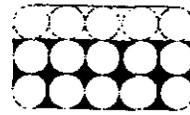
**DONAT BILODEAU**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

Les figures 3 à 12 montrent les résultats en régime transitoire non présentés par Roche. La figure 3 montre la zone qui comprend des rabattements de 1 à 10 mètres. Il est possible d'observer que cette zone s'étend jusqu'à trois kilomètres de la mine. Les figures 4, 5 et 6 montrent la piézométrie et les rabattements obtenus après dix ans de pompage dans les mêmes conditions. Il est possible d'observer que la zone d'influence due au pompage d'eau à la mine s'est élargie. Les figures 7 et 8 montrent des courbes de niveau d'eau et de rabattement en fonction du temps. Il est possible d'observer qu'à la mine, le rabattement obtenu après 5 ans atteint 70 mètres. À un kilomètre de la mine, le rabattement atteint environ 15 mètres. Les figures 9 et 10 montrent les résultats du bilan hydrique effectué par le module *Zone Budget* du logiciel. Les apports proviennent de la recharge et de l'emmagasinement. Les sorties s'effectuent par les puits et par les limites à charge constante. Enfin, les figures 11 et 12 montrent une vue en coupe des résultats. La surface piézométrique est représentée par un trait plein.

D'après les résultats obtenus, il est conclu que les puits simulés dans l'étude *Roche* ne reflètent pas les conditions d'assèchement de la mine jusqu'au niveau -155 pour les cinq premières années d'opération. De plus, la zone d'interférence devrait sans cesse augmenter puisque aucun nouveau régime permanent n'est atteint.

#### 4.2.2 Résultats des simulations Oka 3, Oka 3.1 et Oka 4 : sensibilité de l'anisotropie

Afin de vérifier la sensibilité de l'anisotropie dans le modèle utilisé, celle-ci a été inversée. On a dû, en Oka 3.1, multiplier par deux la conductivité hydraulique de toutes les unités sauf les grès de Potsdam, afin d'obtenir une piézométrie similaire à celle obtenue dans l'étude *Roche* en régime permanent.



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

Les résultats obtenus en régime transitoire montrent une piézométrie et des rabattements similaires aux résultats de l'étude *Roche*. La sensibilité de l'anisotropie est donc relativement élevée.

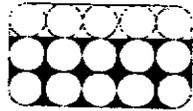
#### **4.2.3 Résultats des simulations Oka 5 et Oka 6 : sensibilité des paramètres d'emmagasinement**

En régime permanent, les paramètres d'emmagasinement ne sont pas considérés; ils ne sont donc pas sensibles. En régime transitoire, ces paramètres sont sensibles puisqu'une grande partie de l'eau drainée par la mine provient de l'emmagasinement. Avec les paramètres utilisés ( $S_y = n_e = n = 0,01$ ), le rayon de la zone de rabattement 50 mètres est environ 1,5 fois plus grand que celui obtenu lors de l'étude *Roche*.

#### **4.2.4 Résultats des simulations Oka 7, Oka 7.1, Oka 7.2, Oka 7.3 et Oka 7.4 : simulation de la mine au moyen de drains**

Ces simulations avaient pour objectif de simuler, avec les paramètres utilisés dans l'étude *Roche*, l'assèchement de la mine jusqu'aux élévations -155 et -380, comme prévu dans la section *Calcul du volume des eaux d'exhaure* de l'étude. L'utilisation de drains implique un niveau d'eau constant à la mine et une diminution graduelle du débit de pompage accompagnée d'une augmentation du rayon d'interférence de la mine.

Au cours de la simulation Oka 7, le débit initial est de l'ordre de 2600 m<sup>3</sup>/d, puis il s'abaisse. Après cinq ans d'opération, le débit de pompage des drains est près de 2050 m<sup>3</sup>/d. Les figures 13, 14 et 15 montrent la piézométrie et la zone de rabattement autour de la mine après cinq ans de pompage. Il est possible de constater que la zone de rabattement est beaucoup plus étendue qu'en simulation



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

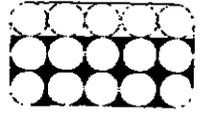
Oka 2. Les figures 16, 17 et 18 montrent la piézométrie et les rabattements obtenus après dix ans de pompage. La zone de rabattement supérieur à 1 m atteint 4 km de la mine et la zone de rabattement supérieur à 50 mètres atteint à 1,2 km. Les figures 19, 20 et 21 montrent des courbes de niveau d'eau et de rabattement en fonction du temps. Les figures 22 à 25 montrent les résultats du bilan hydrique effectué par le module *Zone Budget* du logiciel, après cinq et dix ans. Les apports proviennent de l'emmagasinement et de la recharge.

Afin de vérifier la sensibilité du paramètre de conductance associée au drain, la simulation Oka 7 a été exécutée en doublant la conductance. La simulation Oka 7.1 montre des résultats identiques.

Au cours de la simulation 7.2, les neuf couches du modèle ont été fondues en une seule couche. La simulation a été effectuée en régime permanent. La carte piézométrique générée (figure 26) est semblable aux résultats de Oka 1.

La simulation Oka 7.3 a été effectuée en utilisant les conditions initiales générées par la simulation Oka 7.2. On a simulé un drain à l'élévation -155 en régime transitoire. Les figures 27, 28 et 29 montrent la piézométrie et la zone de rabattement autour de la mine après cinq ans de pompage. Il est possible de constater que la zone de rabattement est semblable à celle obtenue dans le modèle à neuf couches. La figure 30 montre des courbes de niveau d'eau en fonction du temps. Les débits obtenus varient de 8600 m<sup>3</sup>/d à 3100 m<sup>3</sup>/d en fonction du temps.

La simulation Oka 7.4, effectuée à l'aide d'une cellule à charge constante à la place d'un drain montre des résultats identiques.

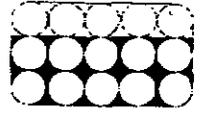


#### 4.2.5 Résultats des simulations Oka 8, Oka 8.1, Oka 9 et Oka 10 : sensibilité de la conductivité hydraulique

La simulation Oka 8, effectuée en régime permanent vise à reproduire une piézométrie vraisemblable, en utilisant une conductivité hydraulique obtenue par essai de pompage dans la carbonatite, soit,  $1 \times 10^{-6}$  m/s, de la surface à l'élévation – 100 m. Les résultats obtenus montrent une piézométrie plus basse en général que celle présentée dans l'étude *Roche*. Cependant, l'élévation piézométrique Oka 8 au droit de la mine (95 m) est plus près de la valeur estimée dans un rapport cité par l'étude (85 m) que l'élévation obtenue par la simulation effectuée par *Roche* (115 m). La simulation Oka 8.1, effectuée également en régime permanent réajuste à la baisse la conductivité hydraulique du gneiss afin de rehausser la piézométrie régionale. Les résultats montrent une piézométrie semblable à celle présentée dans l'étude *Roche*, bien que plus basse (figure 31).

La simulation Oka 9 est effectuée en régime transitoire avec des puits et avec les paramètres initiaux provenant de la simulation Oka 8.1. Les résultats montrent que le rabattement à la mine est à peine de 50 mètres après cinq ans. En général, l'étendue de la zone d'interférence est similaire aux résultats de l'étude *Roche*, cependant, mais les rabattements sont moindres dans le secteur immédiat de la mine (figures 32,33,34 et 35). La simulation Oka 9 montre que la conductivité hydraulique est un paramètre sensible pour les rabattements dans le secteur immédiat de la mine. Le rayon d'interférence = 1 m semble peu sensible à la conductivité hydraulique.

La simulation Oka 10, effectuée avec les paramètres initiaux provenant de la simulation Oka 8.1, utilise un drain, plutôt que des puits afin de déterminer le débit d'assèchement de la mine. Au cours de la simulation, le débit initial est de l'ordre de 2800 m<sup>3</sup>/d, puis il s'abaisse rapidement. Après cinq ans d'opération, le débit de



pompage des drains est près de 2300 m<sup>3</sup>/d. L'aire d'interférence obtenue est semblable à celle obtenue au cours de la simulation Oka 7. La conductivité hydraulique semble peu sensible, mais il faut noter que les drains sont situés dans une couche où la conductivité hydraulique n'a pas été modifiée (-155 m).

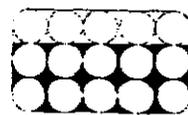
#### **4.2.6 Résultats de la simulation Oka 12: Puits en régime permanent**

En régime permanent, les treize puits créent une piézométrie dont l'élévation est de -20 m à -40 m au droit de la mine. Cependant, le dimensionnement du modèle ne se prête pas à cette simulation puisque le module *Zone Budget* indique qu'une part des apports provient des limites à charge constante.

### **4.3 Conclusions**

D'après les simulations effectuées à partir du modèle élaboré par *Roche*, il est possible de formuler les conclusions suivantes :

- Si l'auteur avait représenté la zone de rabattement 1 mètre, celle-ci atteindrait trois kilomètres dans la vallée du ruisseau Rousse, en amont de la mine;
- Les puits simulés dans l'étude seraient insuffisants pour garder la mine à sec : comme le débit d'exhaure pourrait être plus élevé, la zone d'impact pourrait être plus grande;
- Les rabattements ne seraient pas stabilisés après une période de cinq ans. De plus, ils augmenteraient dans la phase d'exploitation de cinq à dix ans;
- La sensibilité relative des paramètres d'emmagasinement et de la conductivité hydraulique indique que les débits et rabattements pourraient être plus grands et plus étendus que ceux déterminés dans l'étude *Roche*;



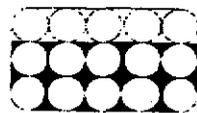
**DONAT BILODEA**  
Experts Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

- L'utilisation de drains ou de cellules à charge constante pour simuler l'assèchement de la mine, sans modifier les paramètres sensibles, indique que le rayon d'interférence autour de la mine pourrait atteindre quatre kilomètres.

## **5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

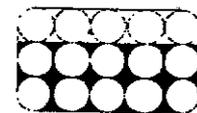
L'analyse de la documentation publiée, l'analyse des sections « eaux souterraines » de l'étude *Roche* et la réalisation de simulations à partir du modèle numérique présenté dans l'étude *Roche* nous permettent de formuler les conclusions suivantes :

- La documentation géoscientifique consultée indique la nature des matériaux géologiques, leurs paramètres hydrogéologiques moyens, la vulnérabilité des aquifères, la qualité des eaux souterraines et la piézométrie régionale. Il aurait été souhaitable de retrouver ces informations dans l'étude environnementale présentée par *NIOCAN INC*;
- La section "eaux souterraines" de l'étude présente de l'information incomplète, notamment sur les points suivants:
  - les données piézométriques sont insuffisantes, sinon inexistantes;
  - les coupes de forage présentées n'atteignent pas le plancher prévu pour la mine;
  - les relevés effectués sur les utilisateurs d'eau du secteur sont insuffisants et seulement dans un rayon d'un kilomètre du site projeté pour la mine. De plus, aucune carte de localisation des utilisateurs n'est fournie;
  - enfin, les données sur l'essai de pompage réalisé à proximité du futur site de la mine ne sont pas incluses;



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

- La section " évaluation hydrogéologique par modélisation numérique " de l'étude est incomplète et fondée sur des données de base insuffisantes:
    - les perméabilités utilisées sont plus faibles que celles décrites dans la littérature et également plus faibles que celle obtenue lors de l'essai de pompage décrit dans la section "eaux souterraines";
    - la calibration du modèle n'est pas basée sur des données de terrain;
    - aucune analyse de sensibilité des paramètres n'a été effectuée;
    - les simulations ne sont pas effectuées au-delà d'une durée de cinq ans;
    - on ne présente pas de résultats quant au rabattement causé au droit de la mine, quant au rayon d'interférence, quant au régime de pompage, quant au nombre d'utilisateurs d'eau souterraine à l'intérieur du rayon d'interférence, et, quant à l'ampleur des rabattements à l'intérieur des zones de fractures probables;
  
  - Dans la section " analyse des impacts du projet en phase d'exploitation ", les impacts sont minimisés et sous-évalués:
    - les impacts liés au pompage de la nappe sont limités à la zone dans laquelle les rabattements sont supérieurs à 50 mètres, tel que déterminé par modélisation;
    - les impacts reliés à la disparition de la condition artésienne de la nappe ne sont pas considérés;
    - la prolongation de l'aqueduc nous apparaît insuffisante, compte tenu de l'étendue probable de la zone d'impact;
    - enfin, le programme de suivi n'est pas assez explicite;
-



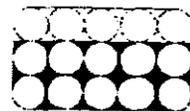
**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils Inc.  
(Hydrogéologues)

- Les simulations effectuées lors de la présente analyse, basées sur le modèle numérique décrit dans l'étude, démontrent les lacunes suivantes:
  - si l'auteur avait représenté la zone de rabattement 1 mètre, celle-ci atteindrait trois kilomètres dans la vallée du ruisseau Rousse, en amont de la mine;
  - les puits simulés dans l'étude seraient insuffisants pour garder la mine à sec : comme le débit d'exhaure pourrait être plus élevé, la zone d'impact pourrait être plus grande;
  - les rabattements ne seraient pas stabilisés après une période de cinq ans. De plus, ils augmenteraient dans la phase d'exploitation de cinq à dix ans;
  - la sensibilité relative des paramètres d'emmagasinement et de la conductivité hydraulique indique que les débits et rabattements pourraient être plus grands et plus étendus que ceux déterminés dans l'étude *Roche*;
  - l'utilisation de drains ou de cellules à charge constante pour simuler l'assèchement de la mine, sans modifier les paramètres sensibles, indique que le rayon d'interférence autour de la mine pourrait atteindre quatre kilomètres.

En somme, les résultats obtenus à partir des simulations numériques effectuées par *Roche* nous semblent plausibles, toutefois, nous croyons que la zone d'impact à considérer ne doit pas être limitée à la zone de rabattement supérieur à 50 mètres.

Les conclusions tirées de la présente analyse permettent de formuler les recommandations suivantes:

- La municipalité d'Oka doit exiger, avant le début des travaux, un inventaire des utilisateurs d'eau souterraine dans un rayon de quatre kilomètres autour du site projeté de la mine. Dans les deux premiers kilomètres, cet inventaire devrait comprendre:
-



**DONAT BILODEA**  
Experts-Conseils inc.  
(Hydrogéologues)

1. Une fiche questionnaire à remplir avec l'utilisateur, comprenant des informations sur la vocation de l'ouvrage de captage, la présence de résurgences sur la propriété, le débit de consommation estimé, une description de l'ouvrage de captage et la qualité de l'eau;
2. L'échantillonnage de l'eau brute provenant de l'ouvrage de captage;
3. Un relevé de l'élévation du sommet du tubage protecteur du puits, du niveau statique et de la profondeur totale de l'ouvrage;
4. Un bref essai de pompage (trois heures) visant à déterminer le débit de pointe et le débit moyen de l'ouvrage de captage;
5. Une brève description du contexte hydrogéologique dans lequel est situé l'ouvrage de captage;

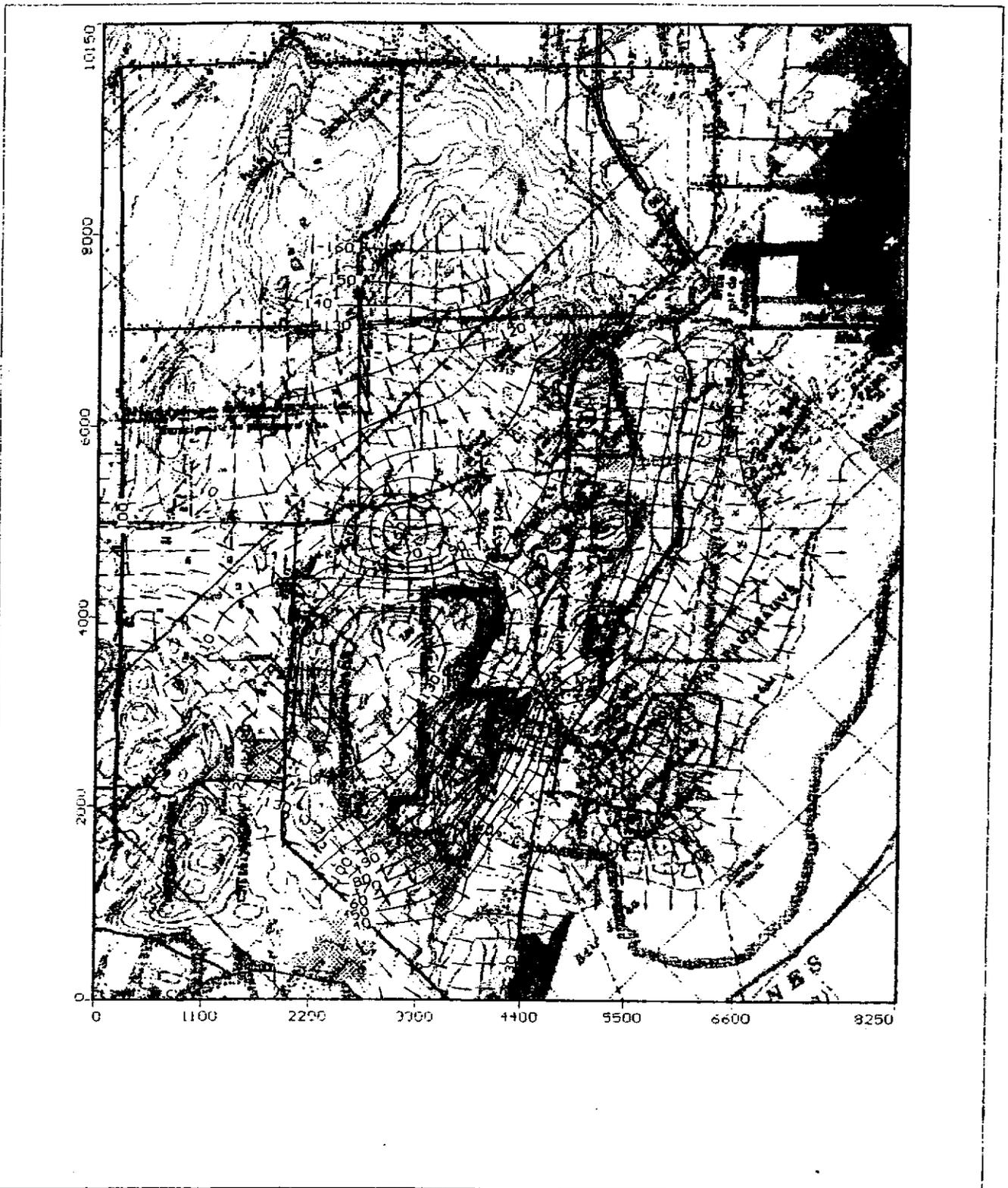
De deux à quatre kilomètres de la mine, l'inventaire devrait comprendre les points 1, 3 et 5 de l'énumération précédente.

Ce type d'inventaire est courant, notamment lors des projets d'aménagement de prise d'eau souterraine à des fins commerciales ou des travaux de construction de gazoduc, entre autres. Il permet l'identification préalable des puits problématiques et fournit une preuve des conditions initiales dans le cas de plaintes;

- Il est recommandé d'évaluer si l'actuelle prise d'eau de la municipalité peut supporter un agrandissement du réseau d'aqueduc, dans le pire des scénarios de rabattement;
- La municipalité d'Oka doit exiger de la part de *NIOCAN INC* de définir un programme de suivi des niveaux d'eau dans certains puits ciblés.

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 1

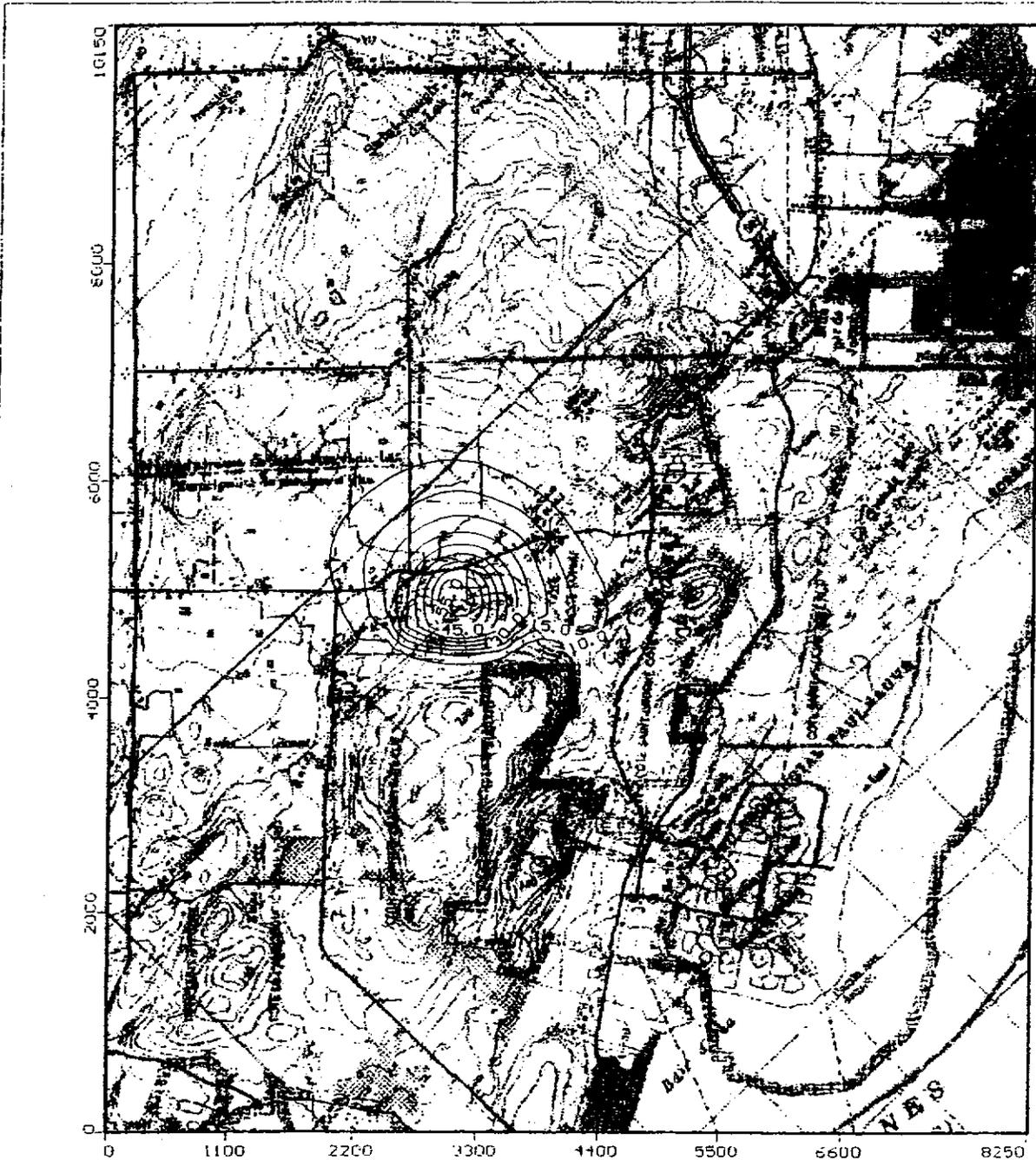


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire 5 ans  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 2

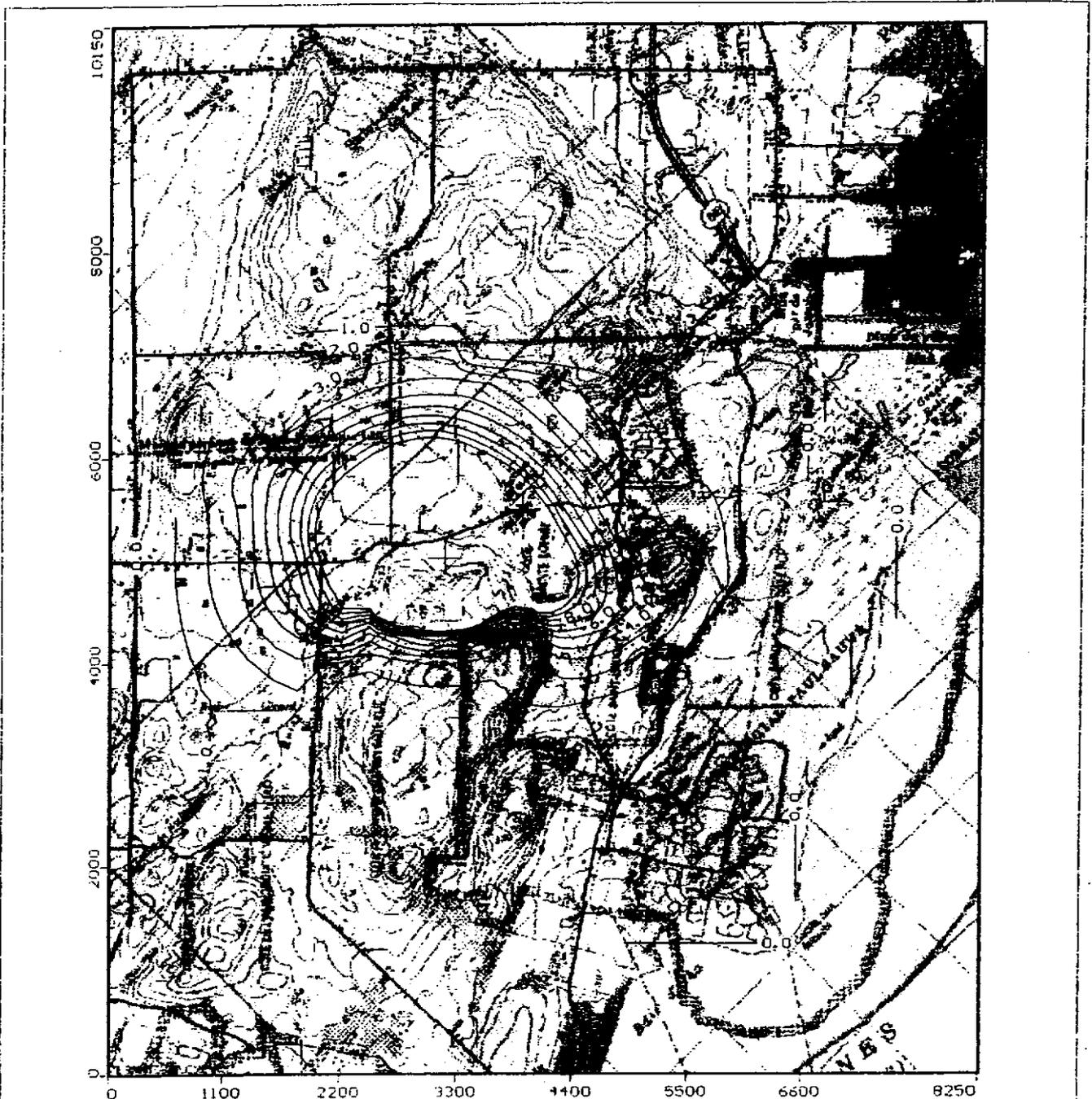


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire  $S_{max}$   
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 48 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 3

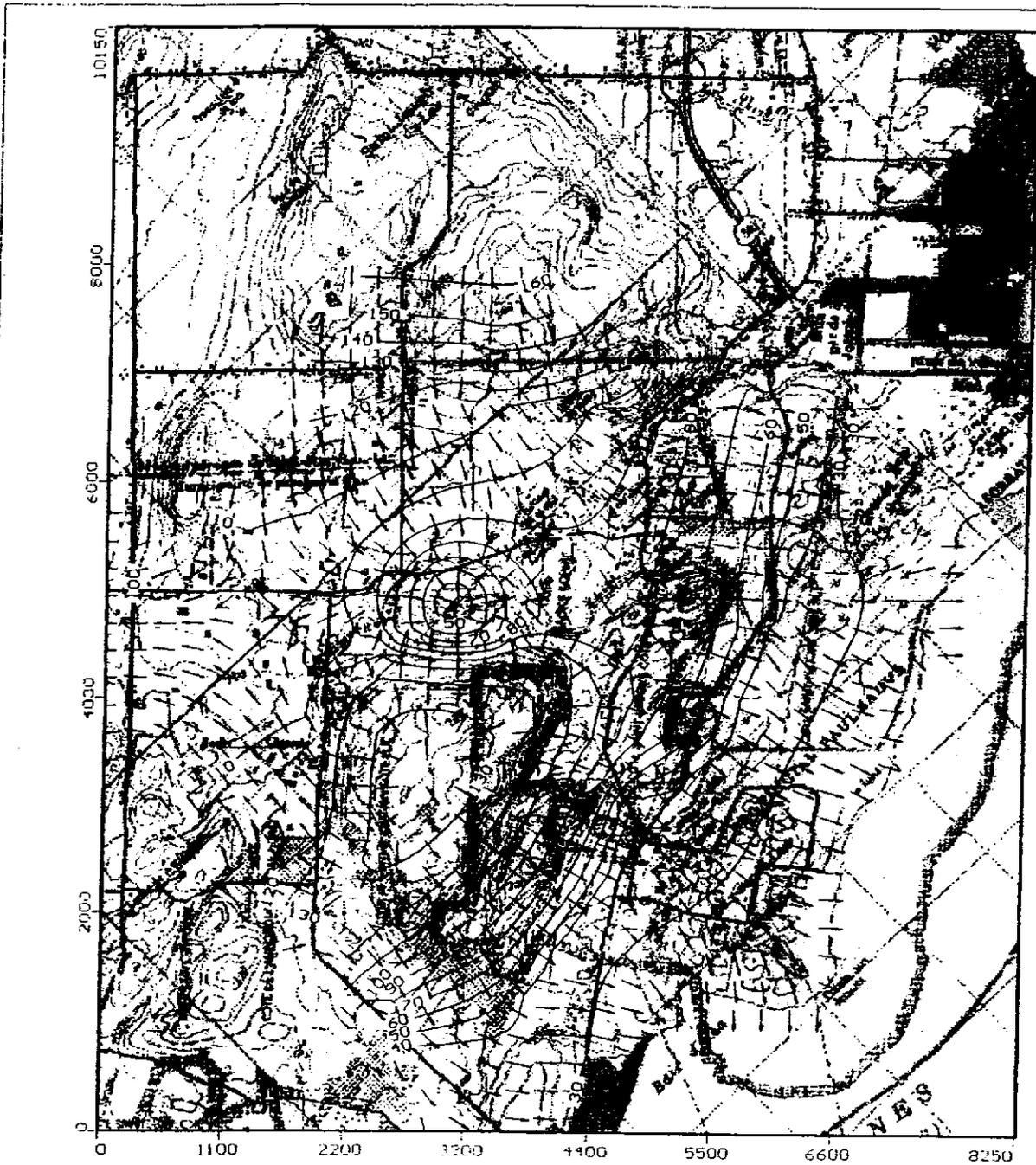


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire 5 à 15  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 4

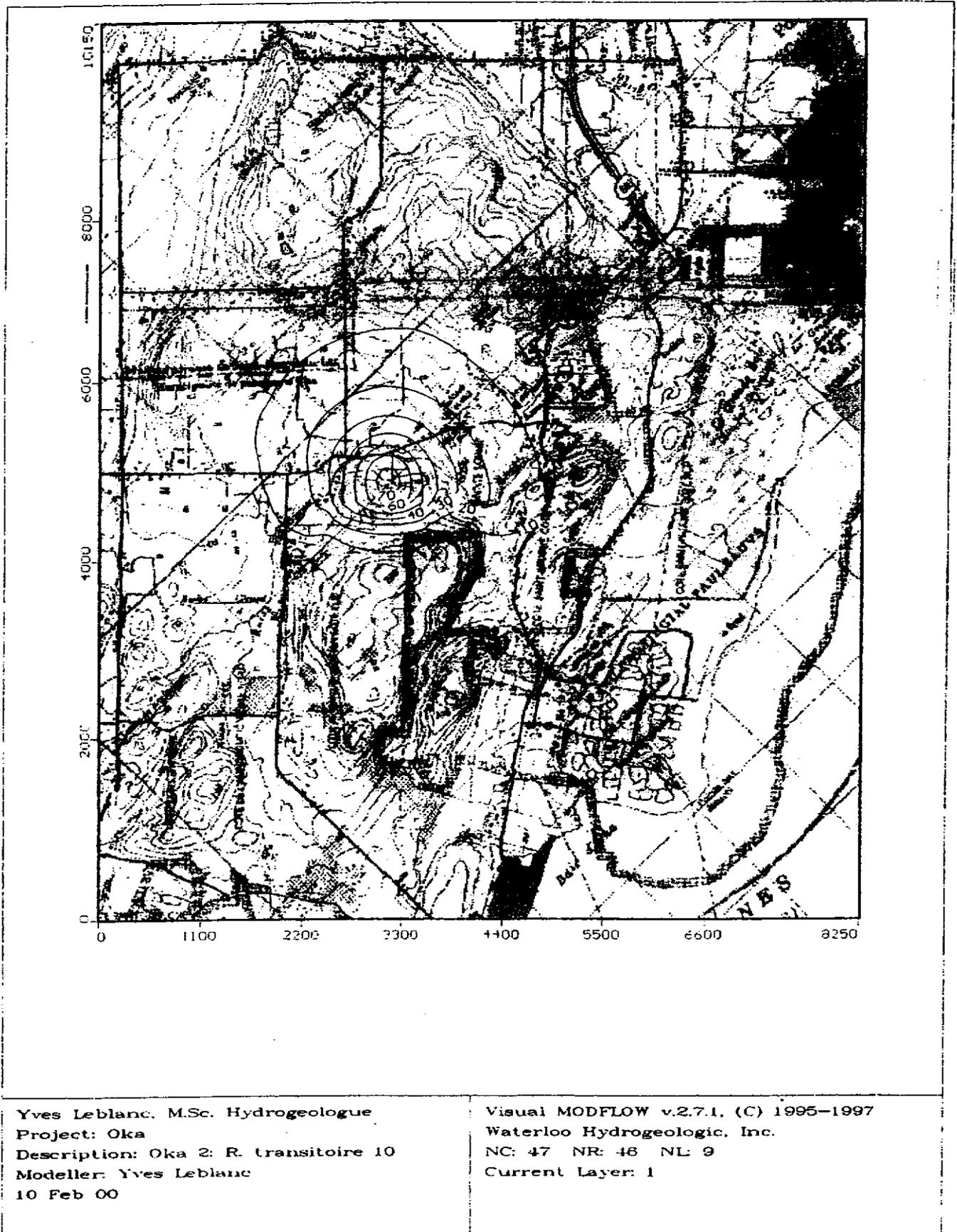


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire B 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 48 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 5



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

Annexe 1 : Résultats des simulations  
Figure 6

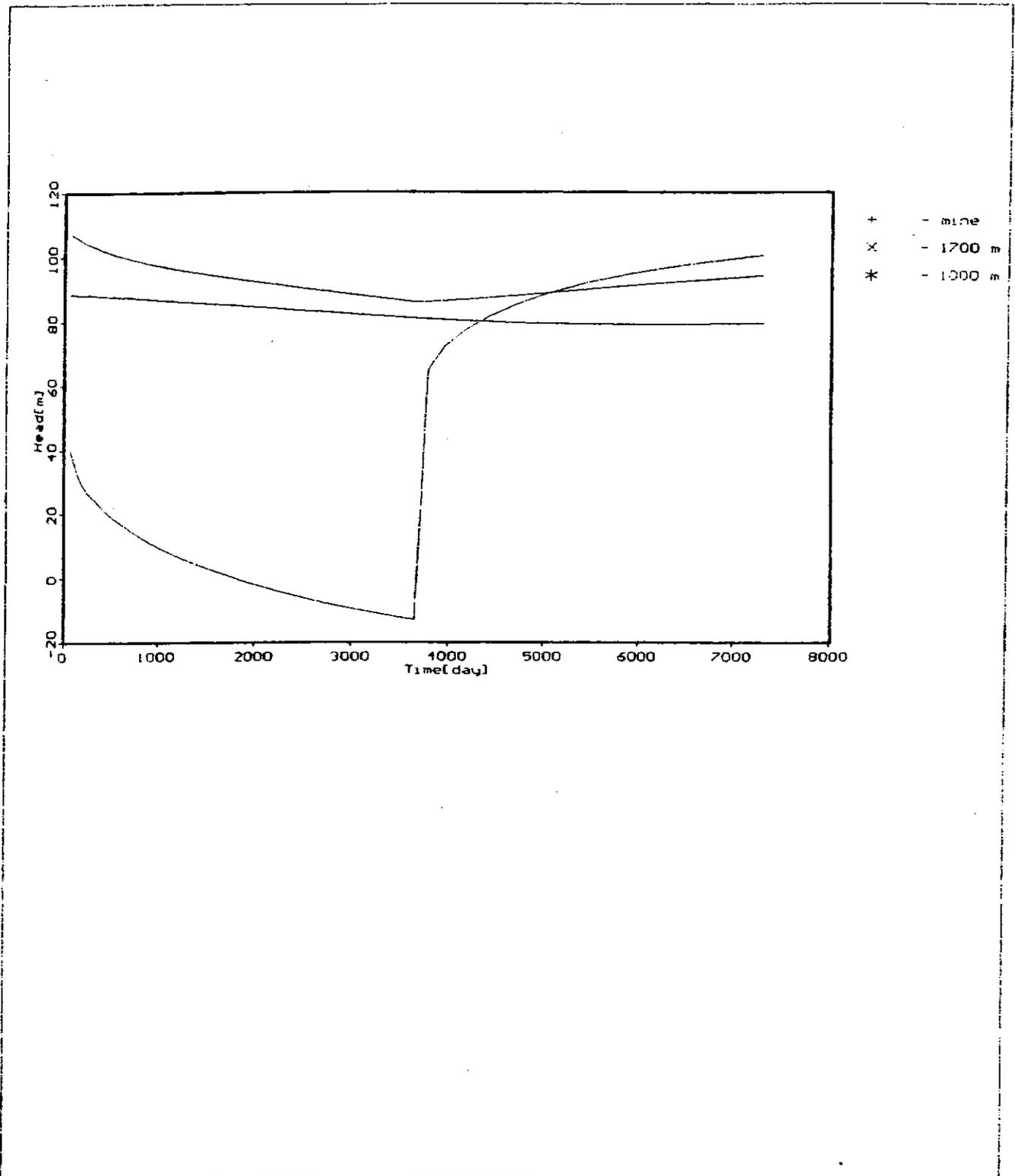


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 7

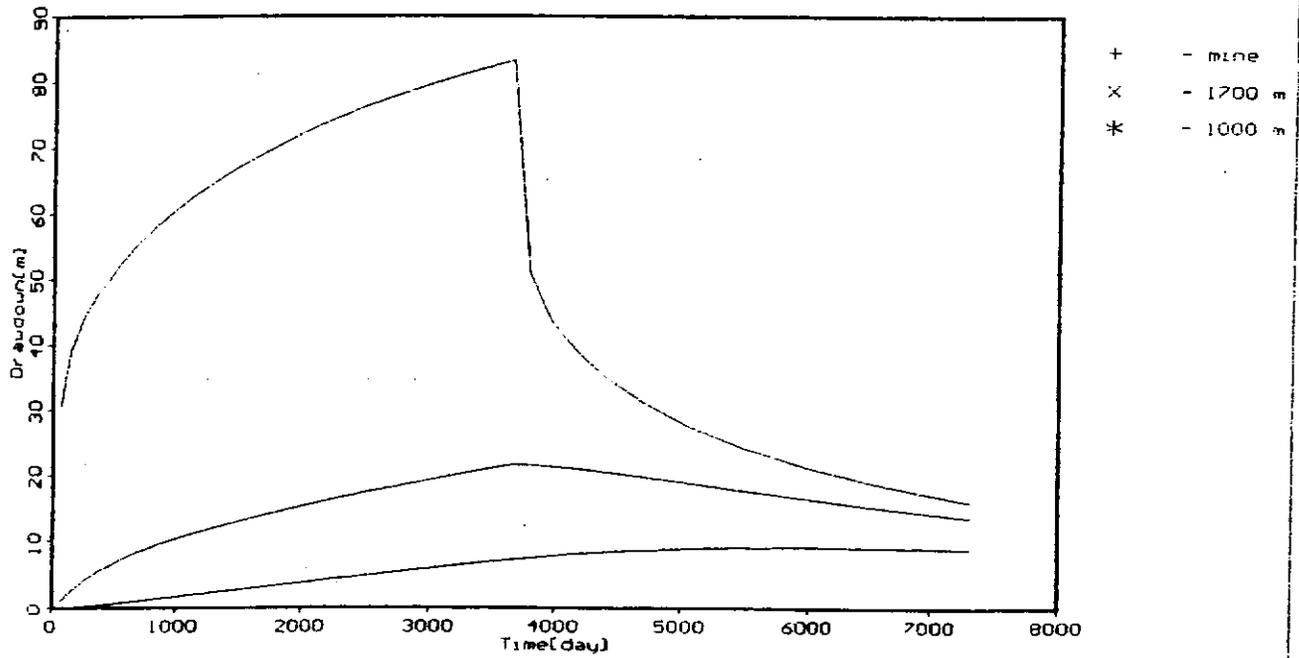


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 48 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 8

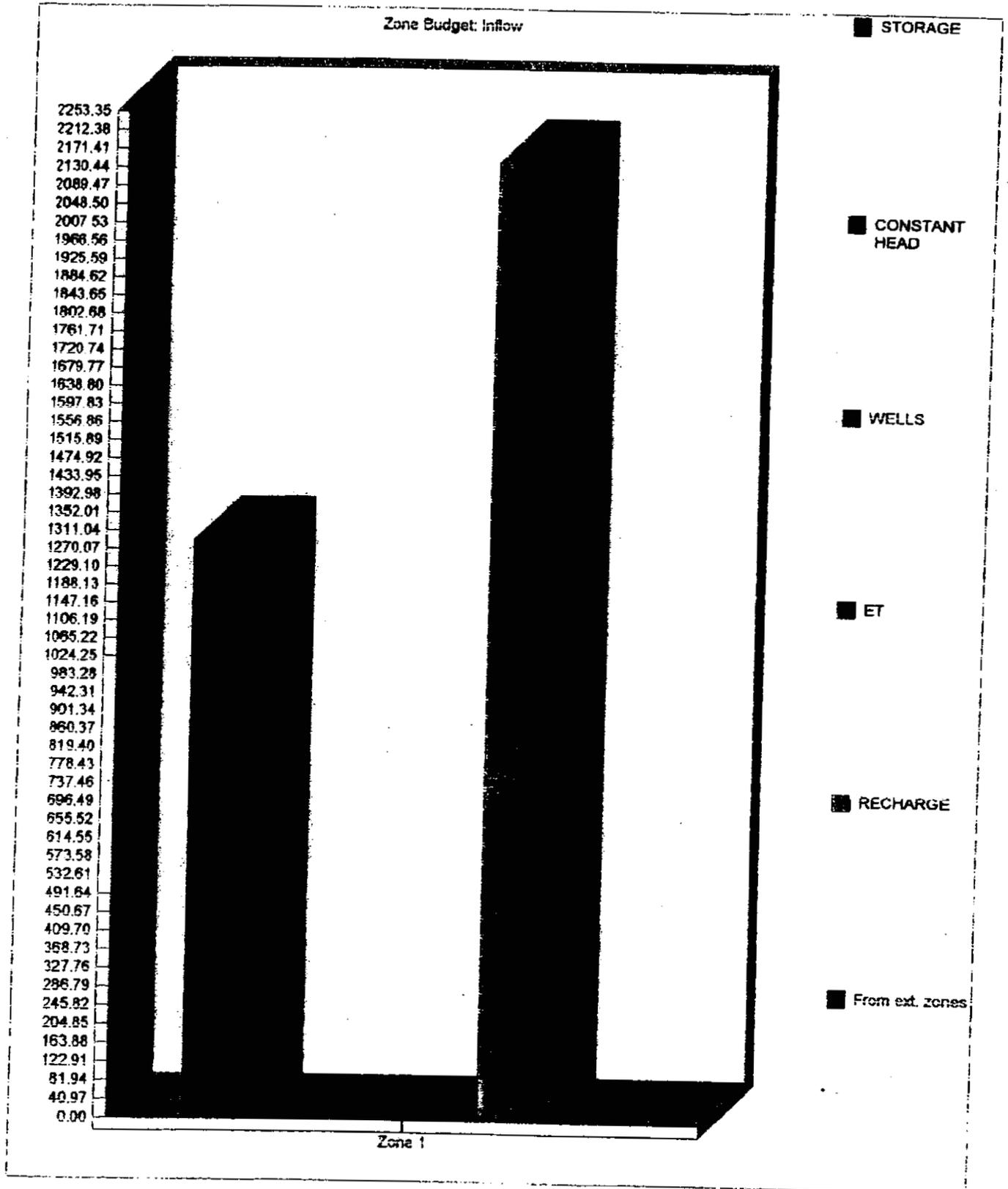


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Mod. 2: R. transitoire  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

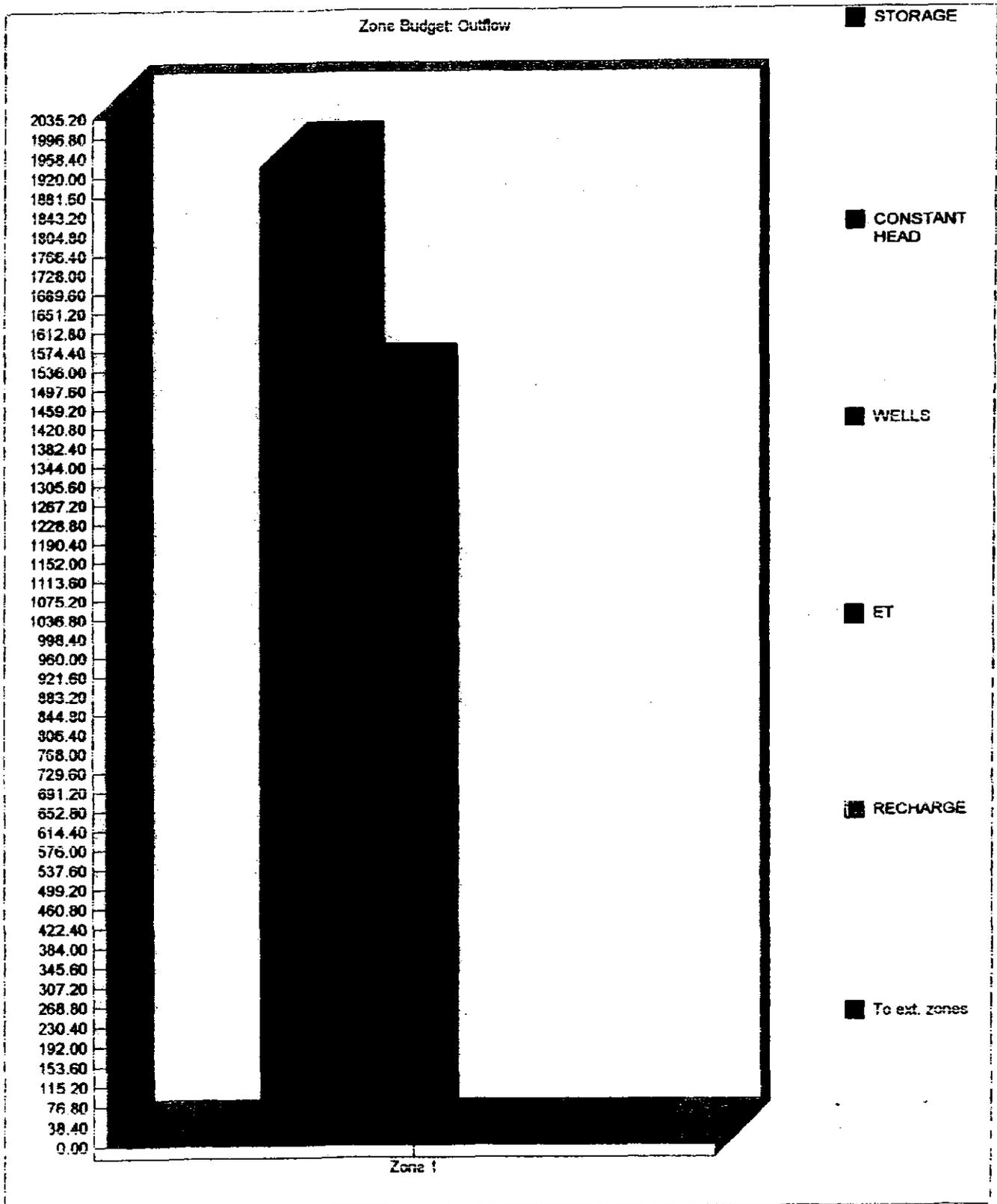
# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 9



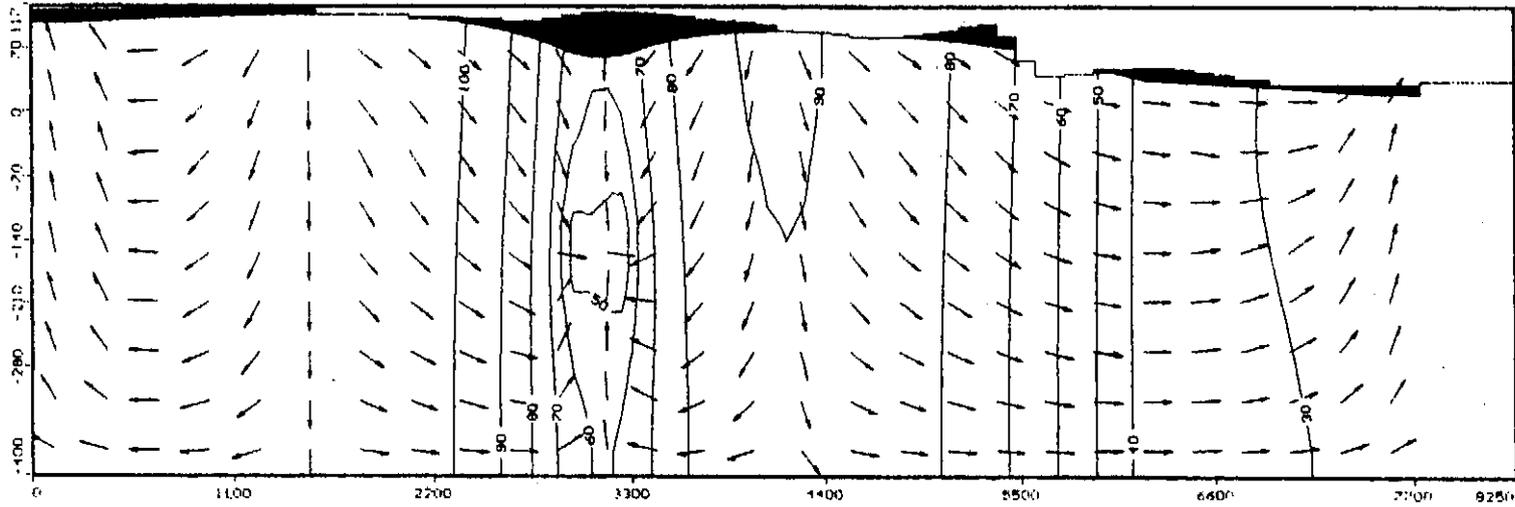
# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 10



# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 11

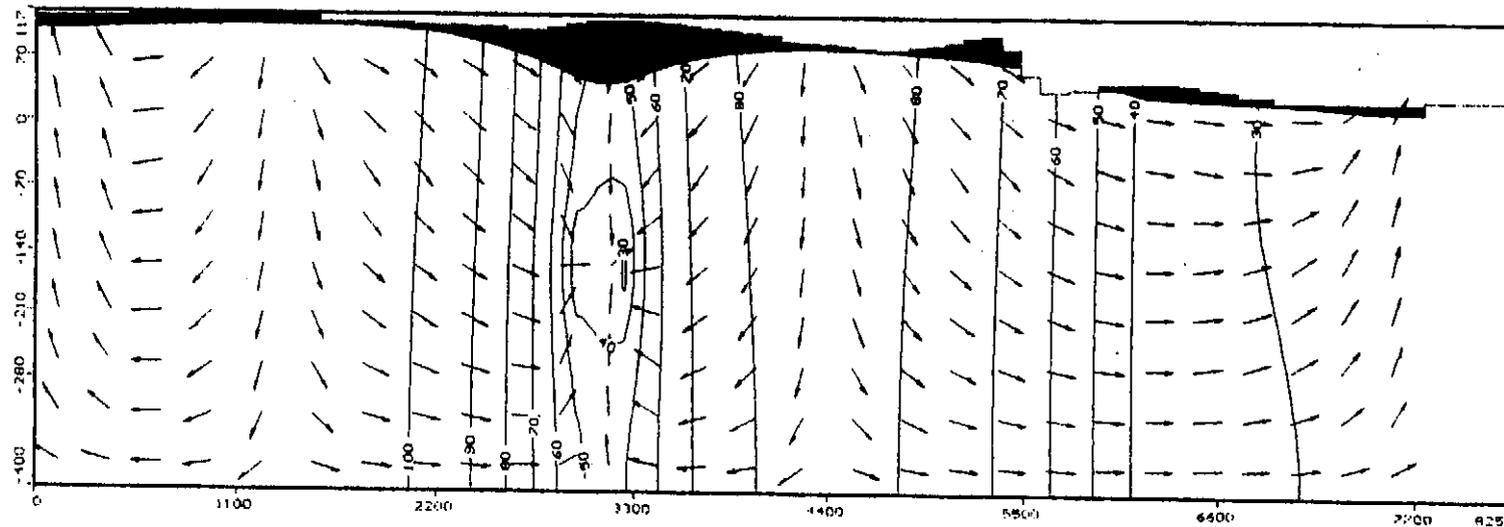


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
11 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Row: 25

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 12

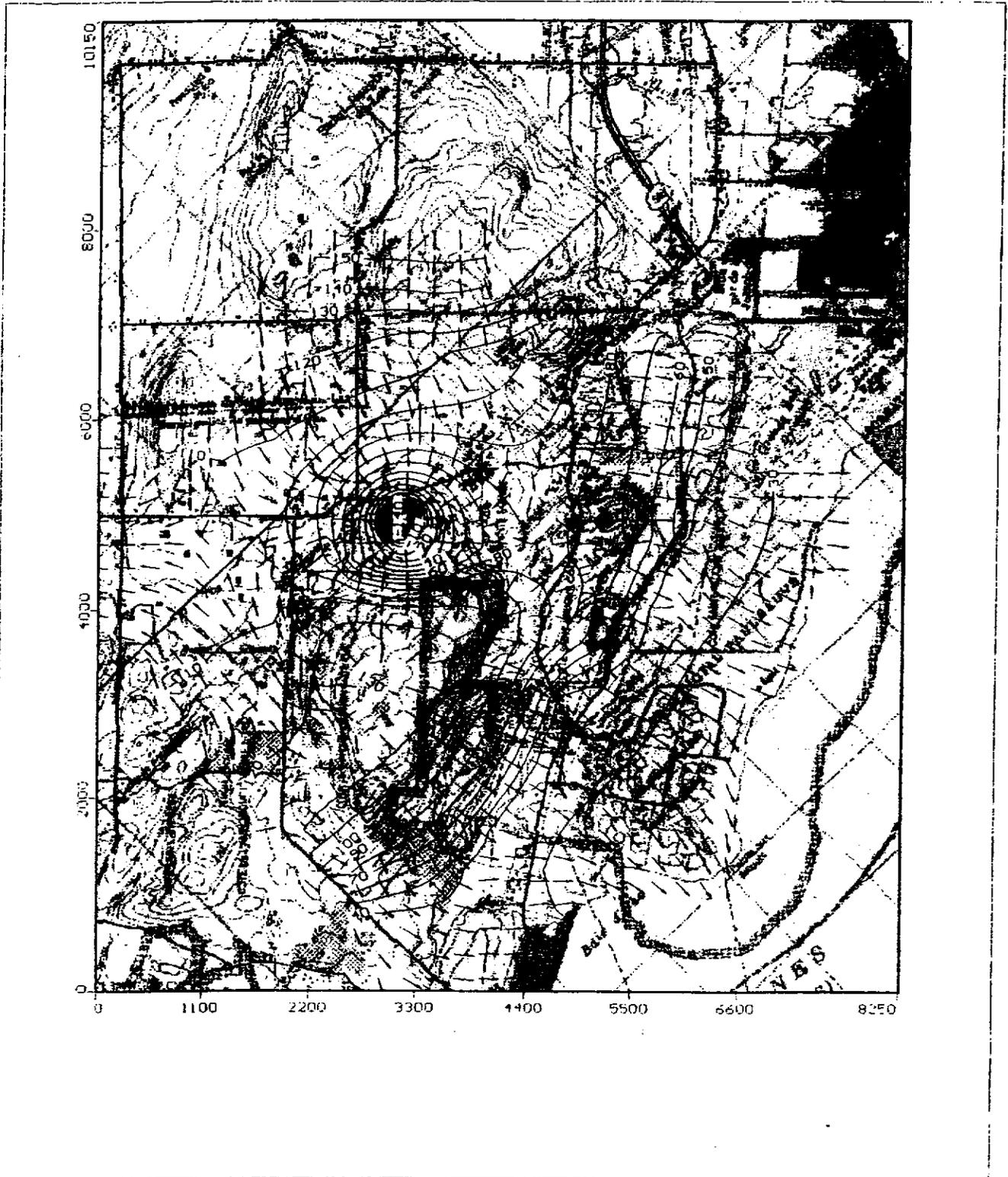


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 2: R transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
11 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Row: 25

Annexe 1 : Résultats des simulations

Figure 13

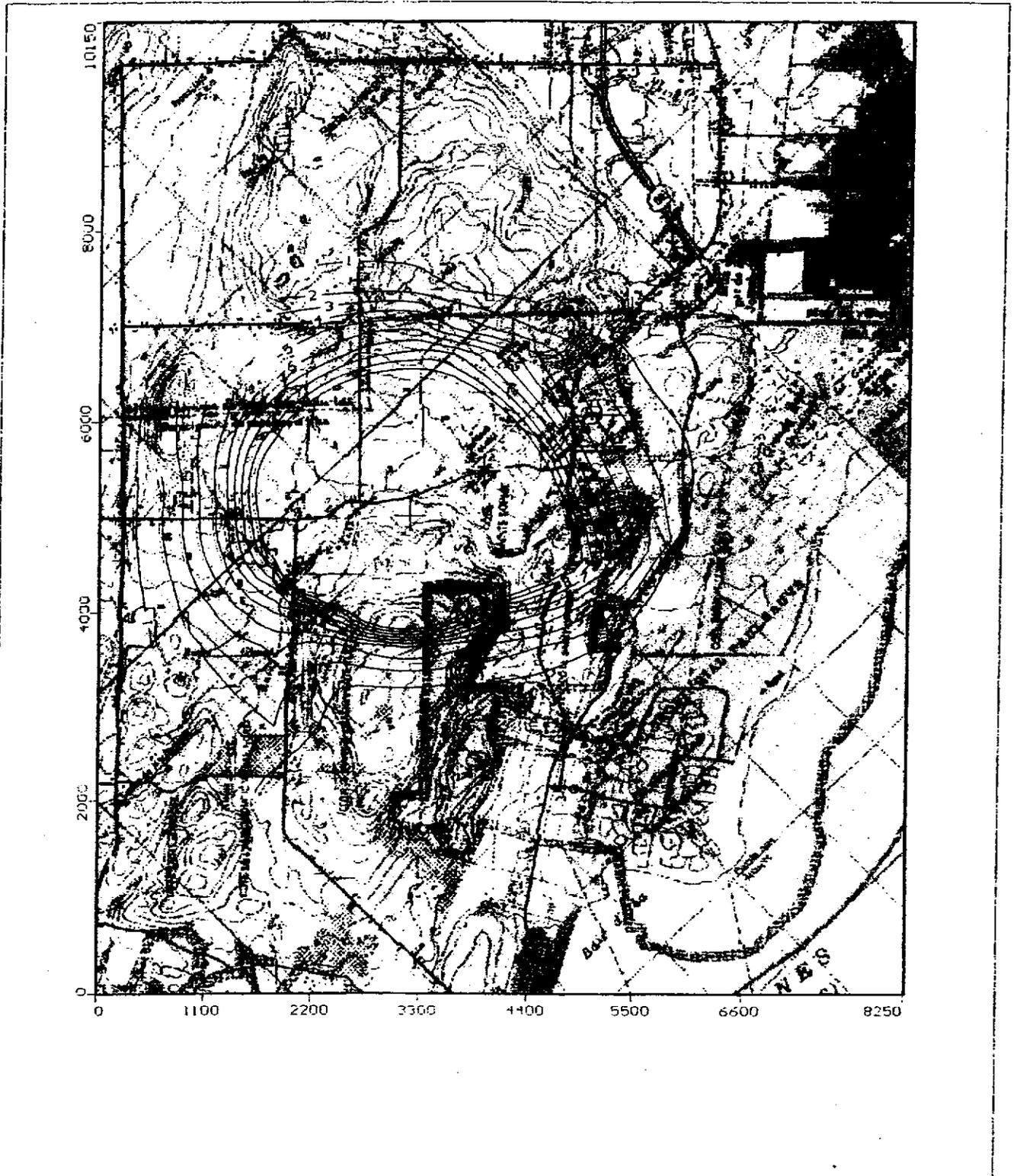


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 5 ans  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

# Annexe 1 : Résultats des simulations

## Figure 14

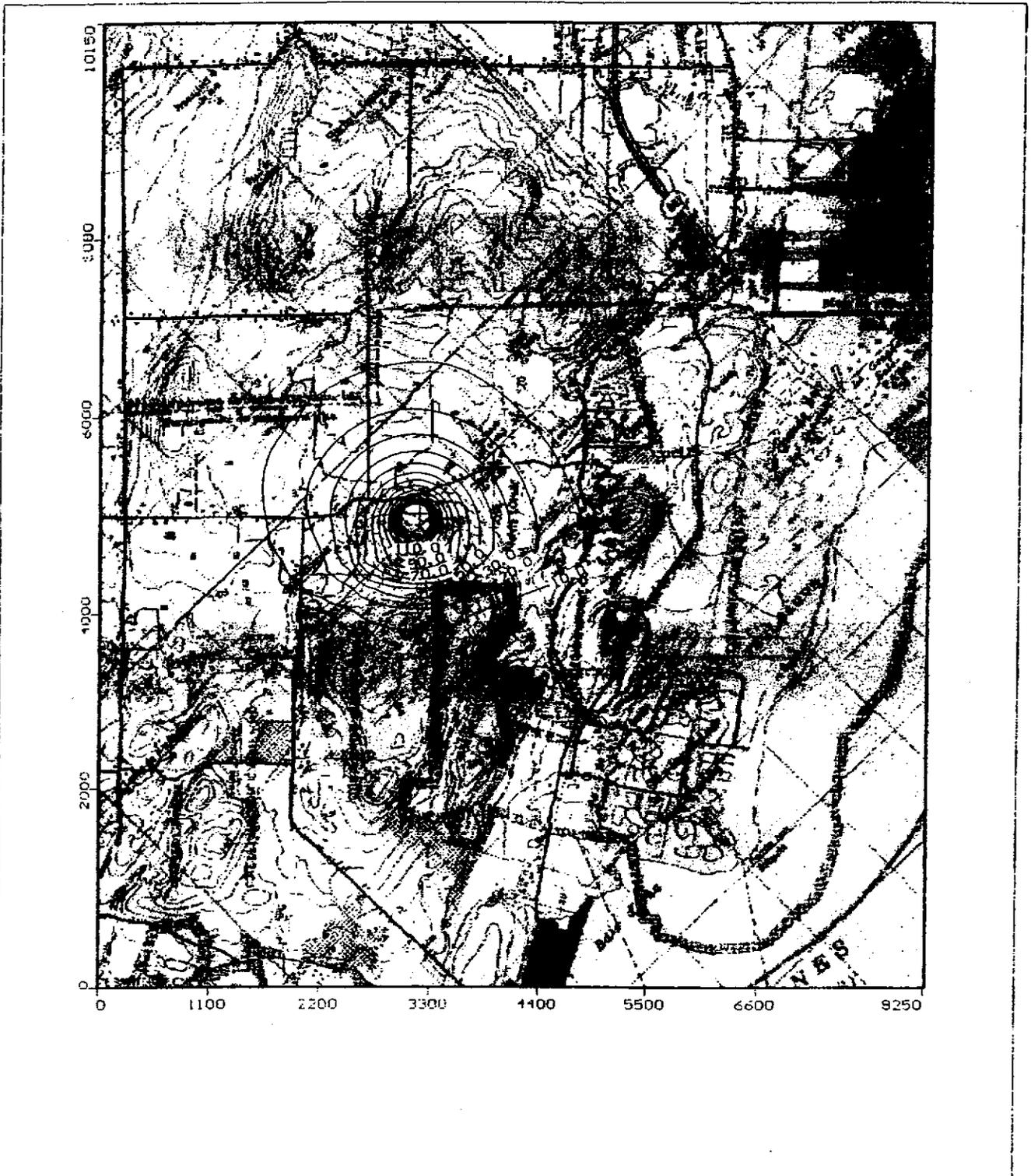


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

Annexe 1 : Résultats des simulations

Figure 15



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 48 NL: 9  
Current Layer: 5

Annexe 1 : Résultats des simulations

Figure 16

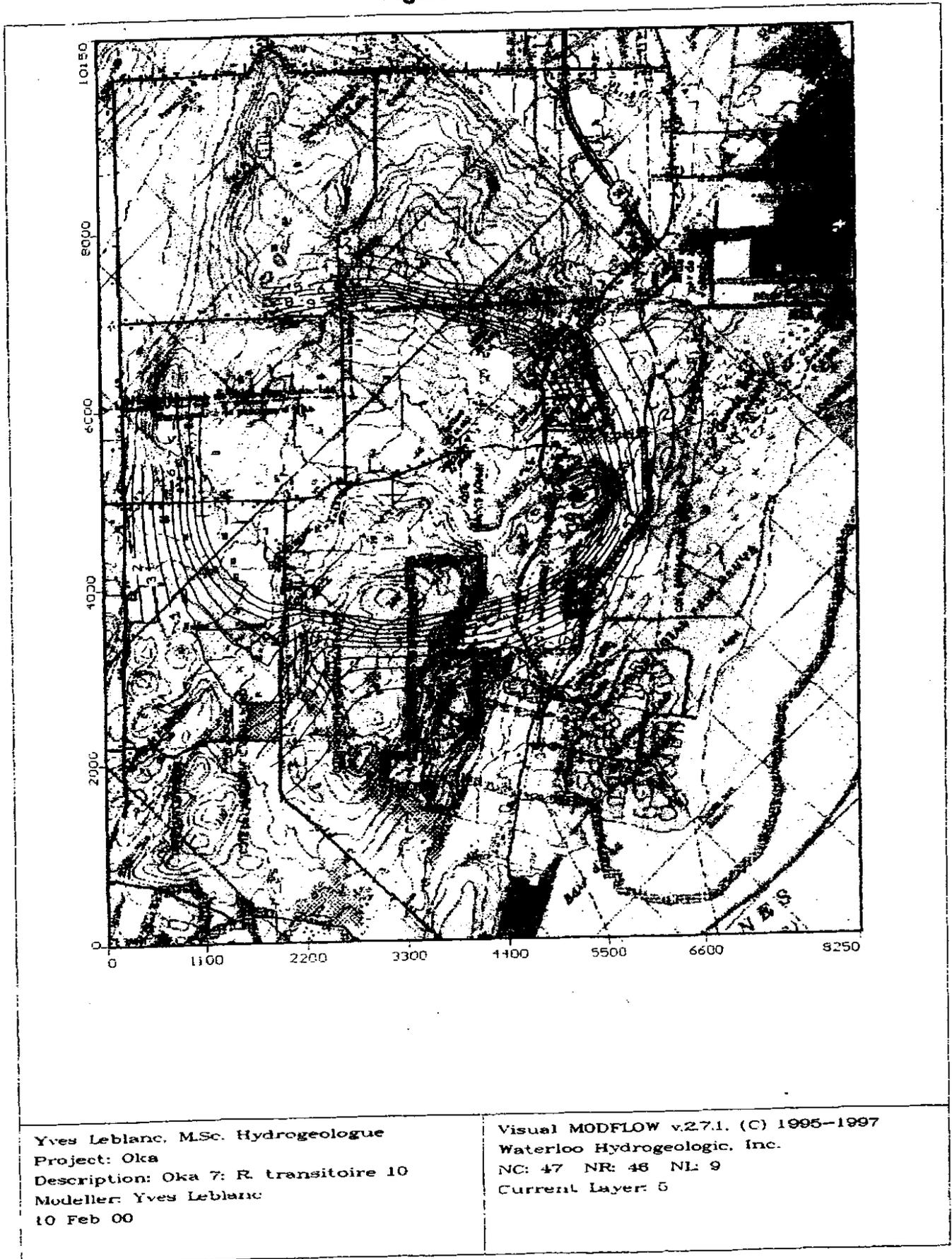


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

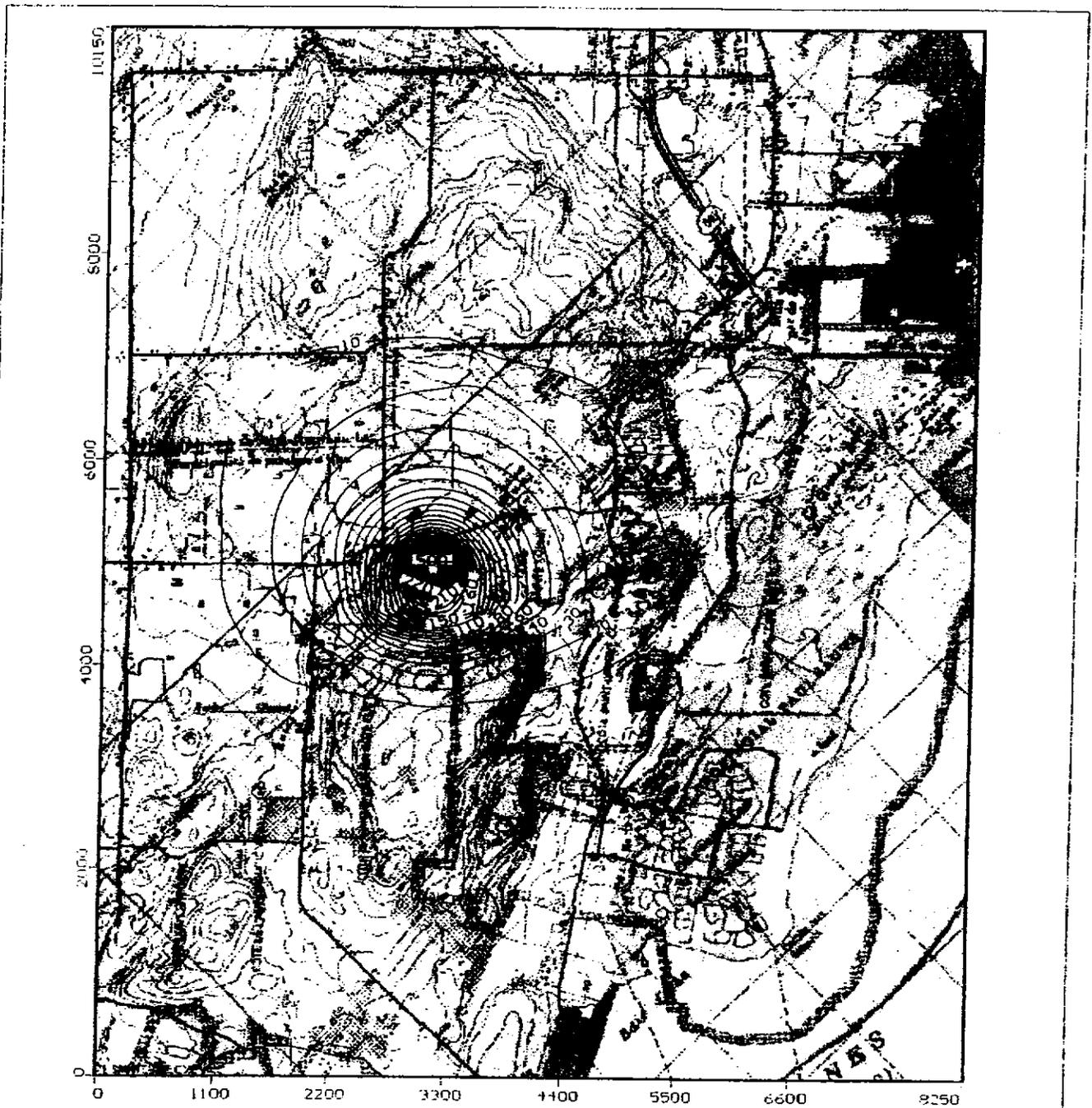
# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 17



Annexe 1 : Résultats des modélisations

Figure 18

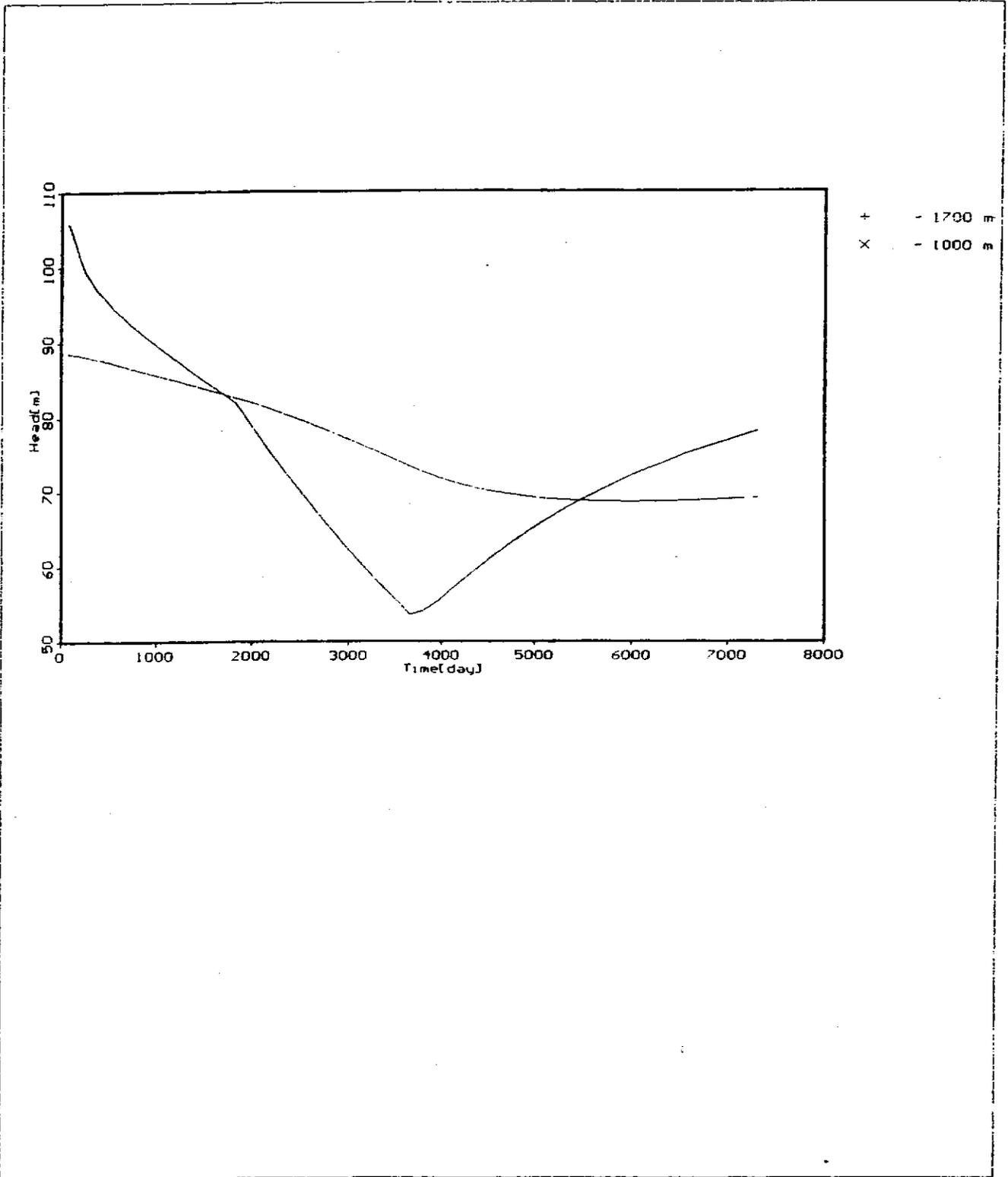


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 19

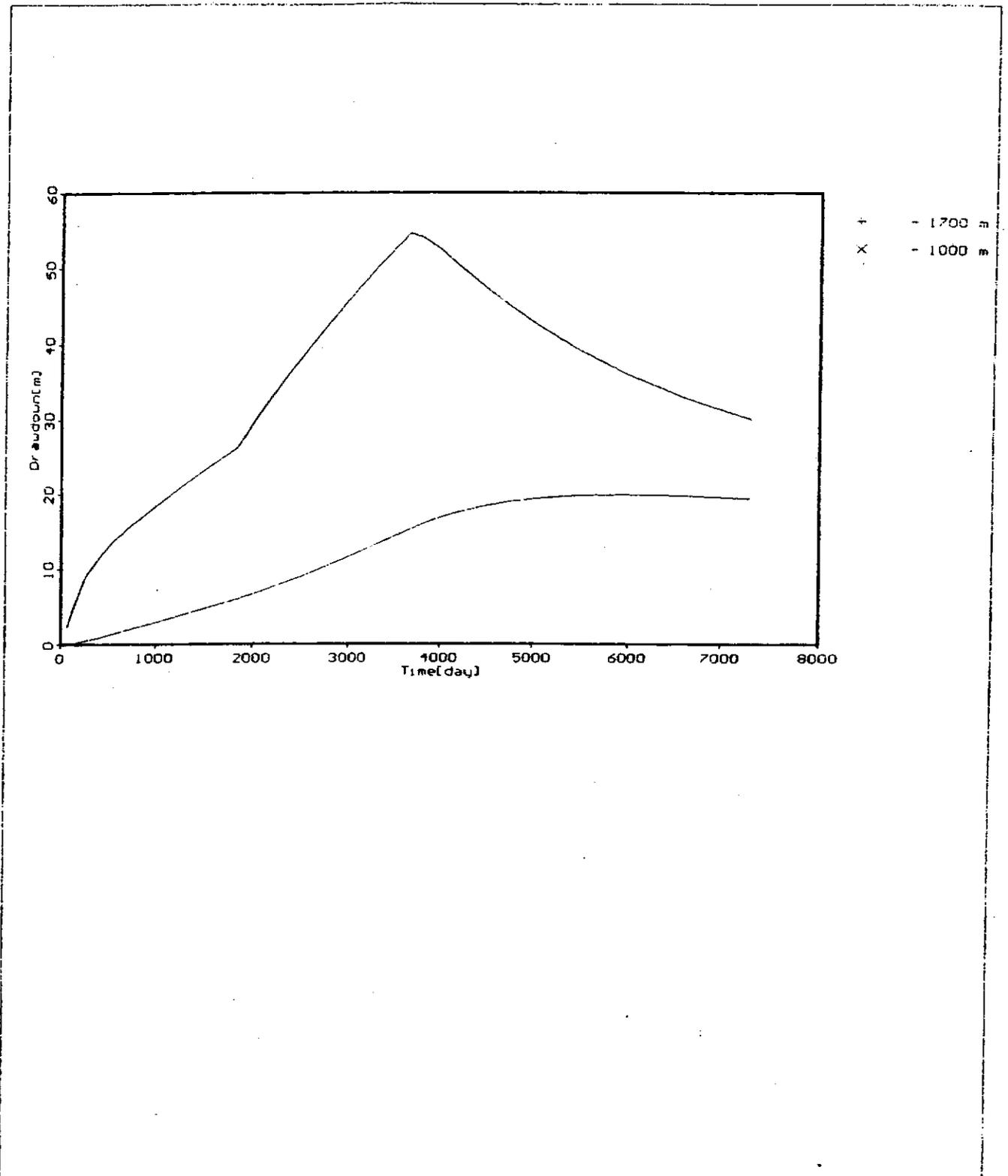


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7; R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 20

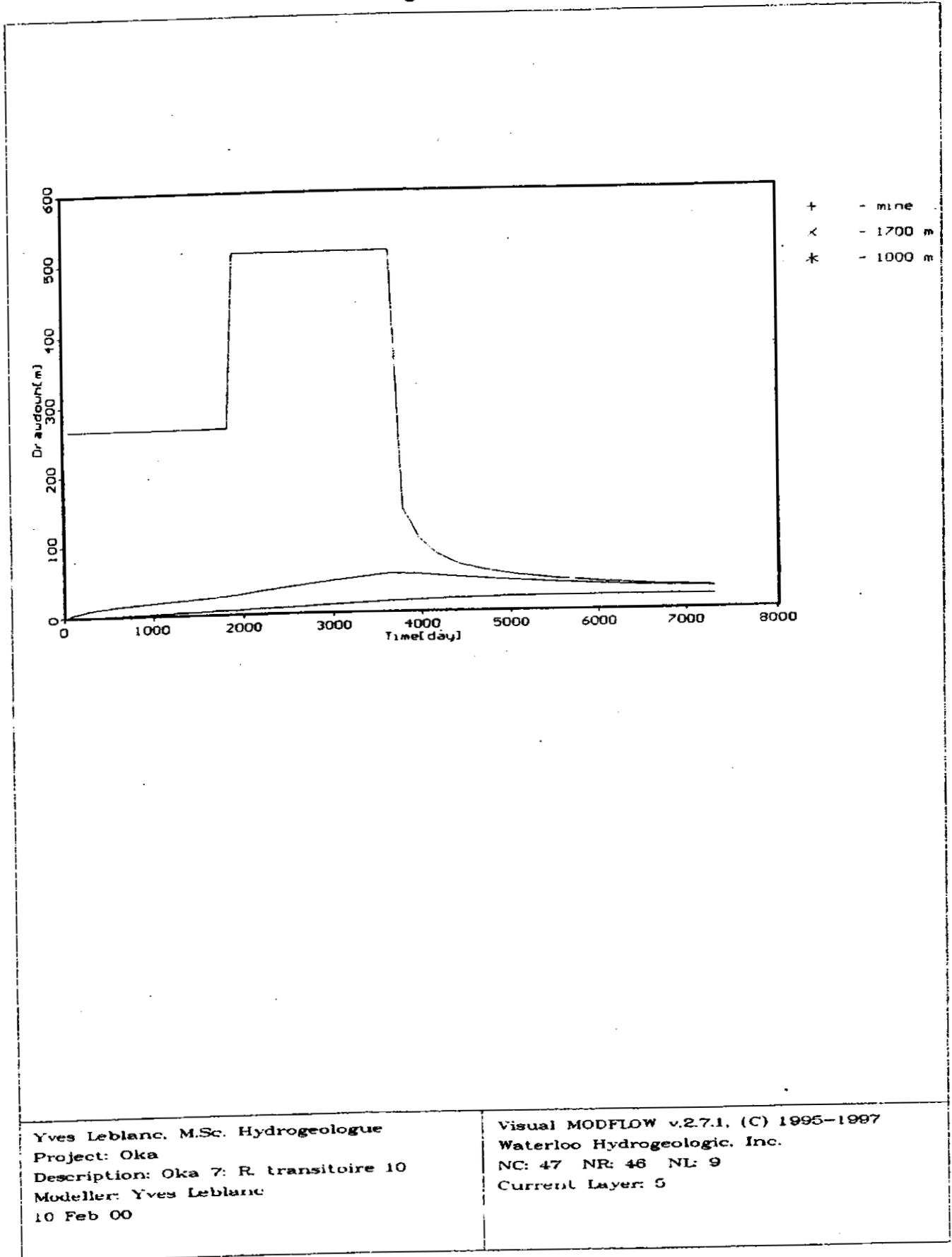


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7: R. transitoire 10  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

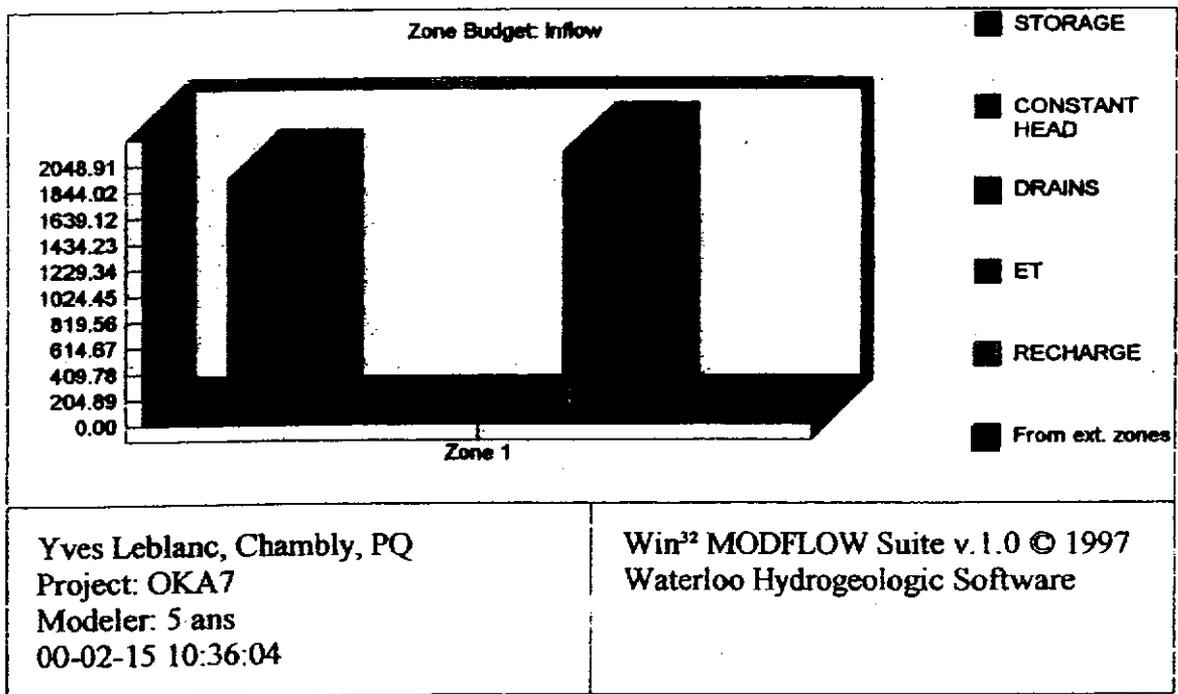
Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 5

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

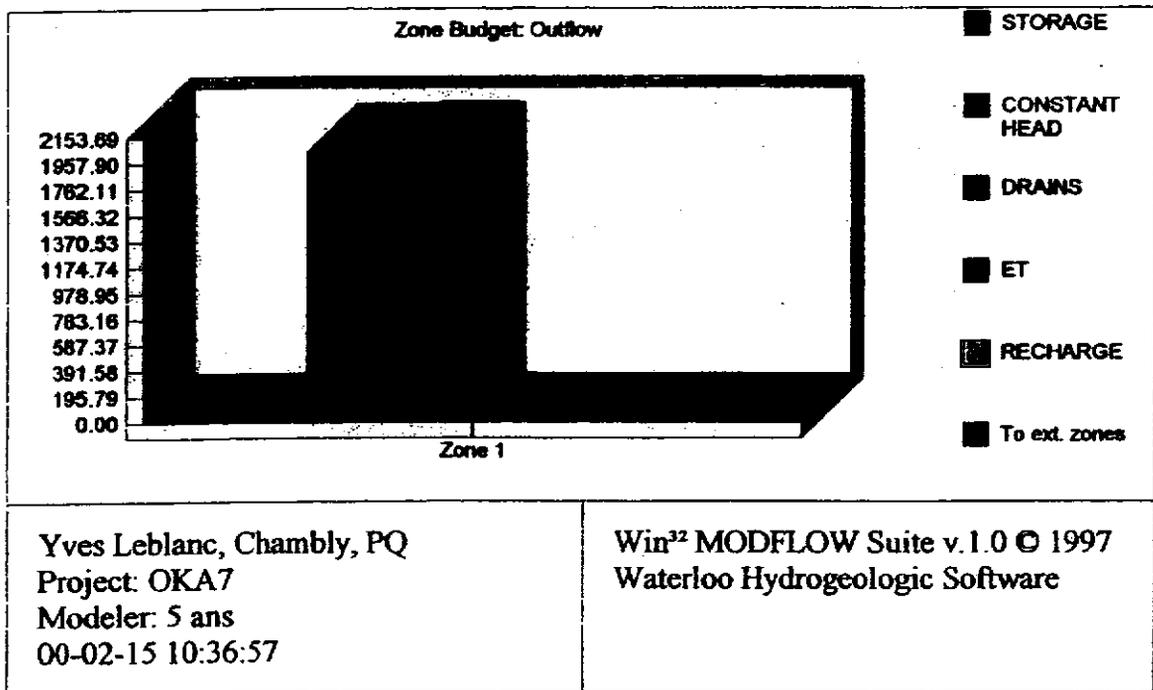
## Figure 21



Annexe 1 : Résultats des modélisations  
Figure 22

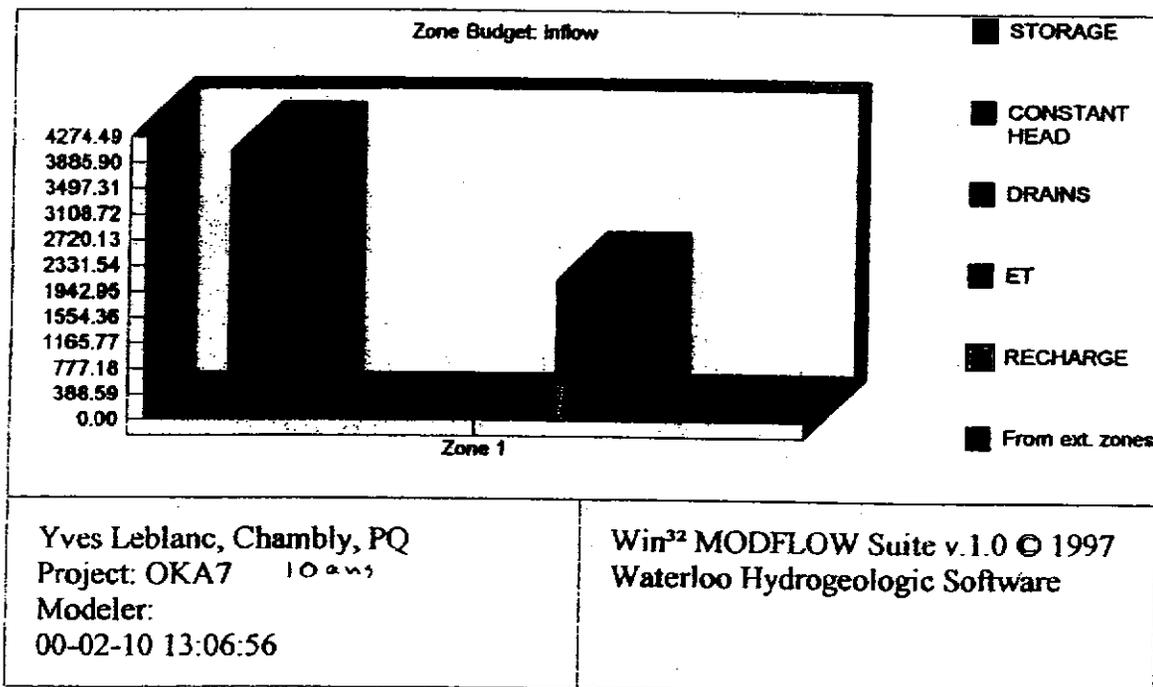


Annexe 1 : Résultats des modélisations  
Figure 23



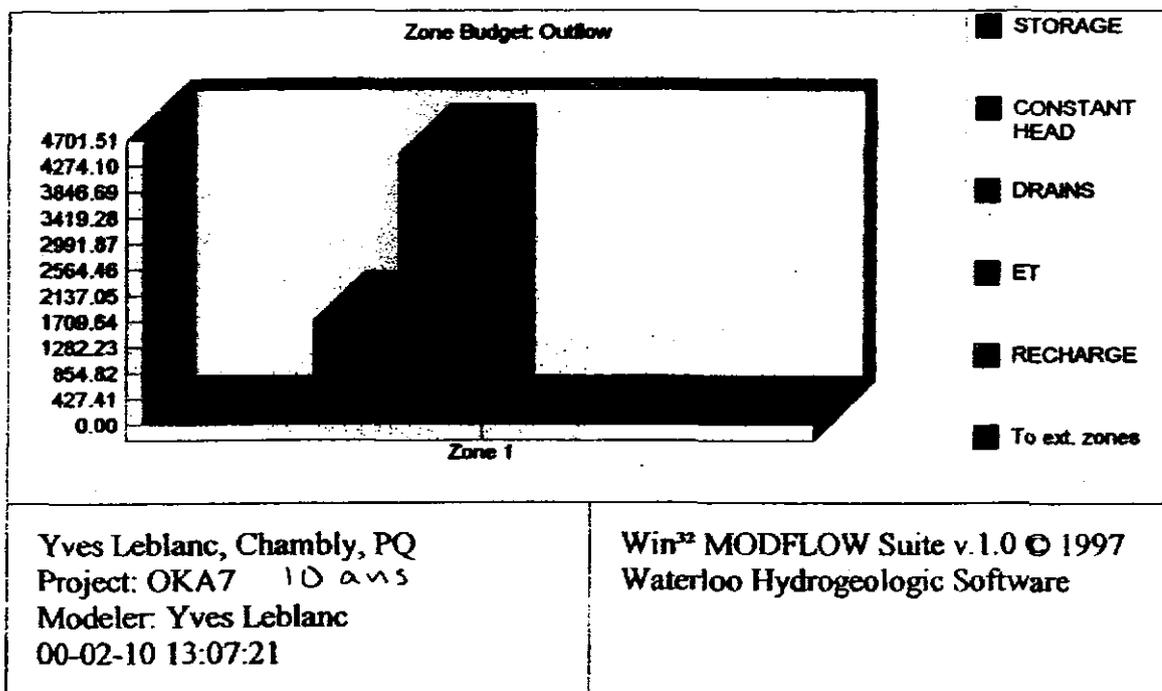
Annexe 1 : Résultats des modélisations

Figure 24



# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 25



Annexe 1 : Résultats des modélisations

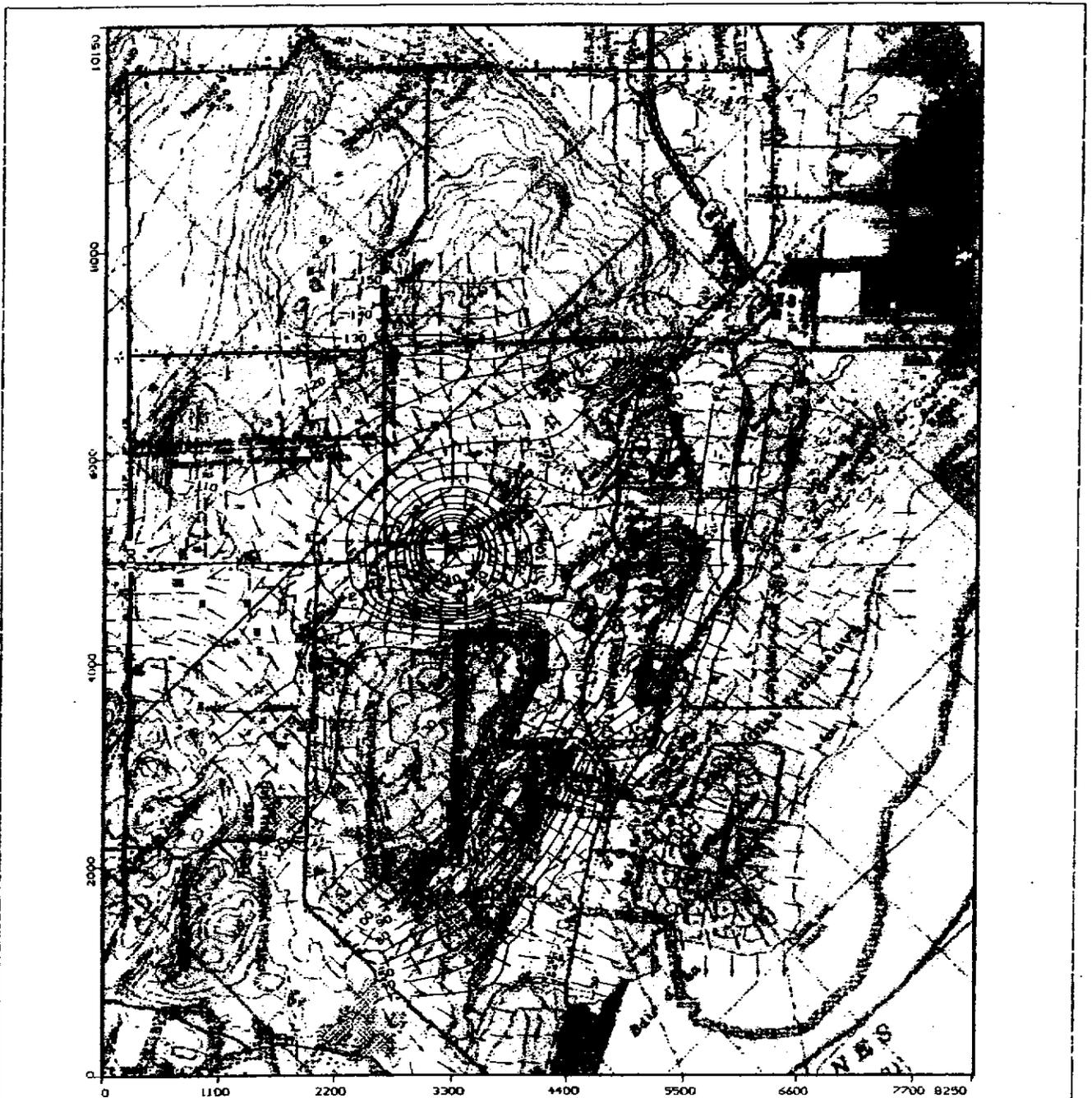
Figure 26



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7.2: R. permanent  
Modeller: Yves Leblanc  
11 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 1  
Current Layer: 1

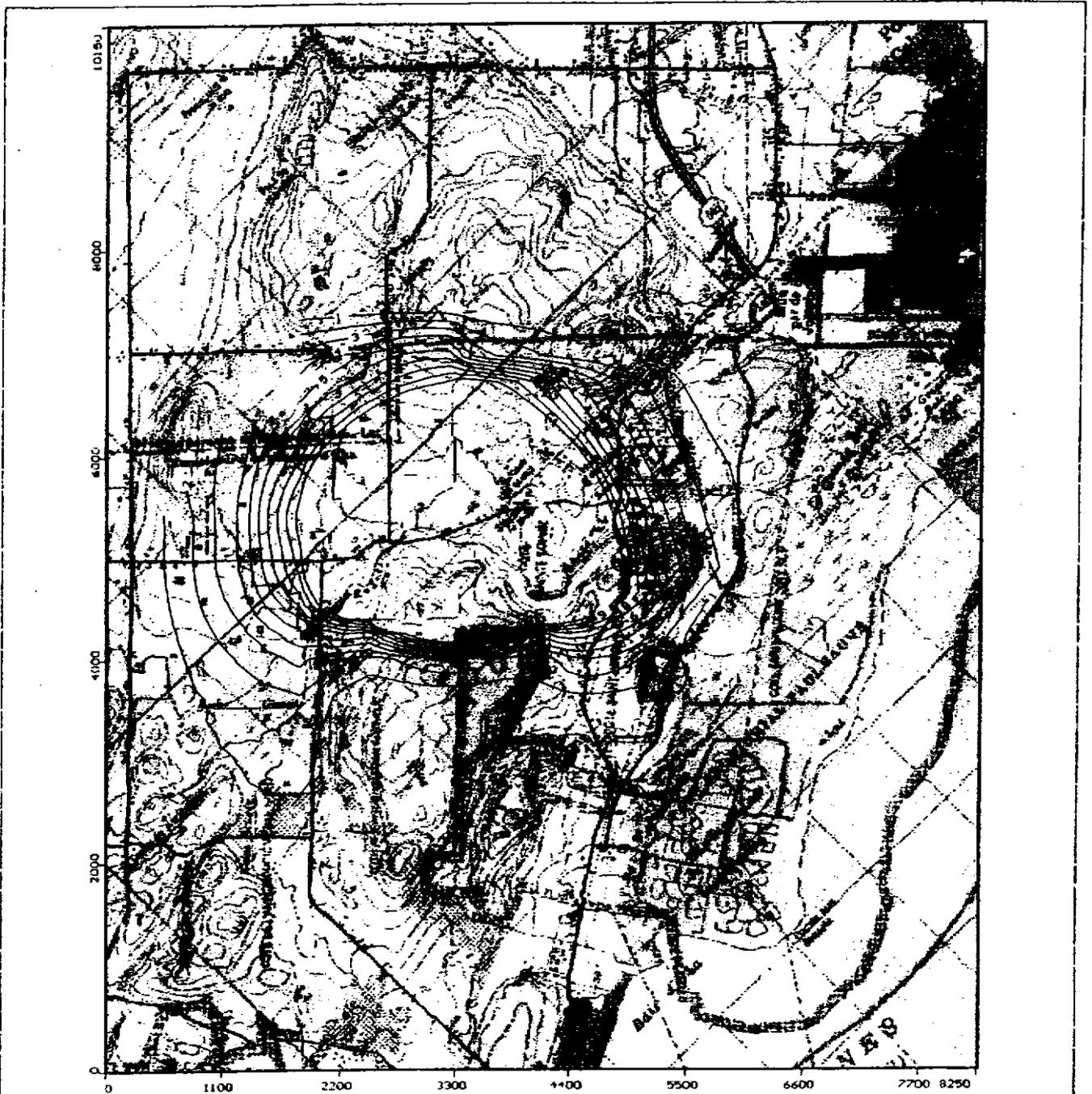
Annexe 1 : Résultats des modélisations  
Figure 27



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogeologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7.3: R transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
15 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 1  
Current Layer: 1

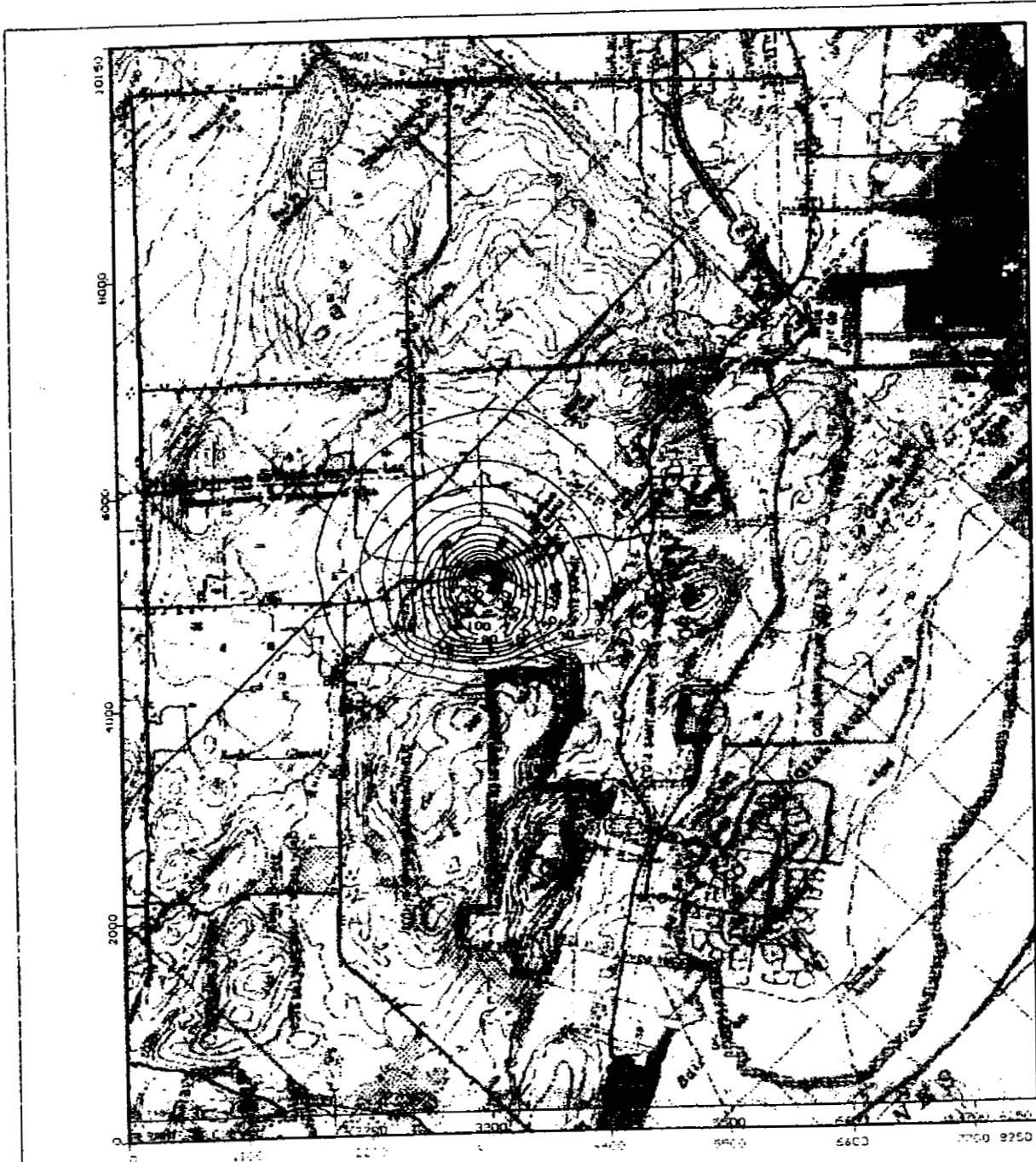
Annexe 1 : Résultats des modélisations  
Figure 28



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7.3: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
15 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 1  
Current Layer: 1

Annexe 1 : Résultats des modélisations  
Figure 29

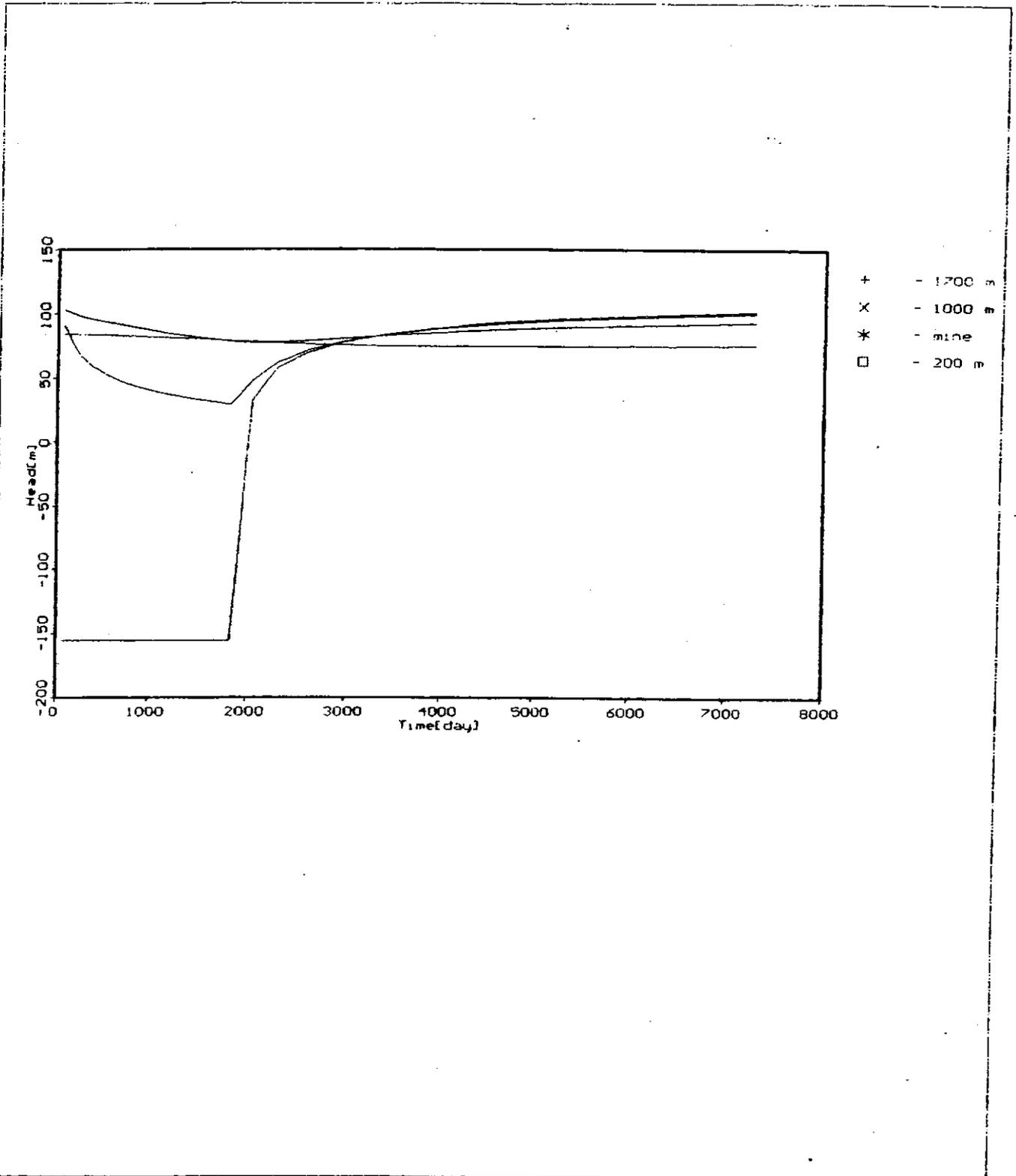


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7.3: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
15 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 1  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 30

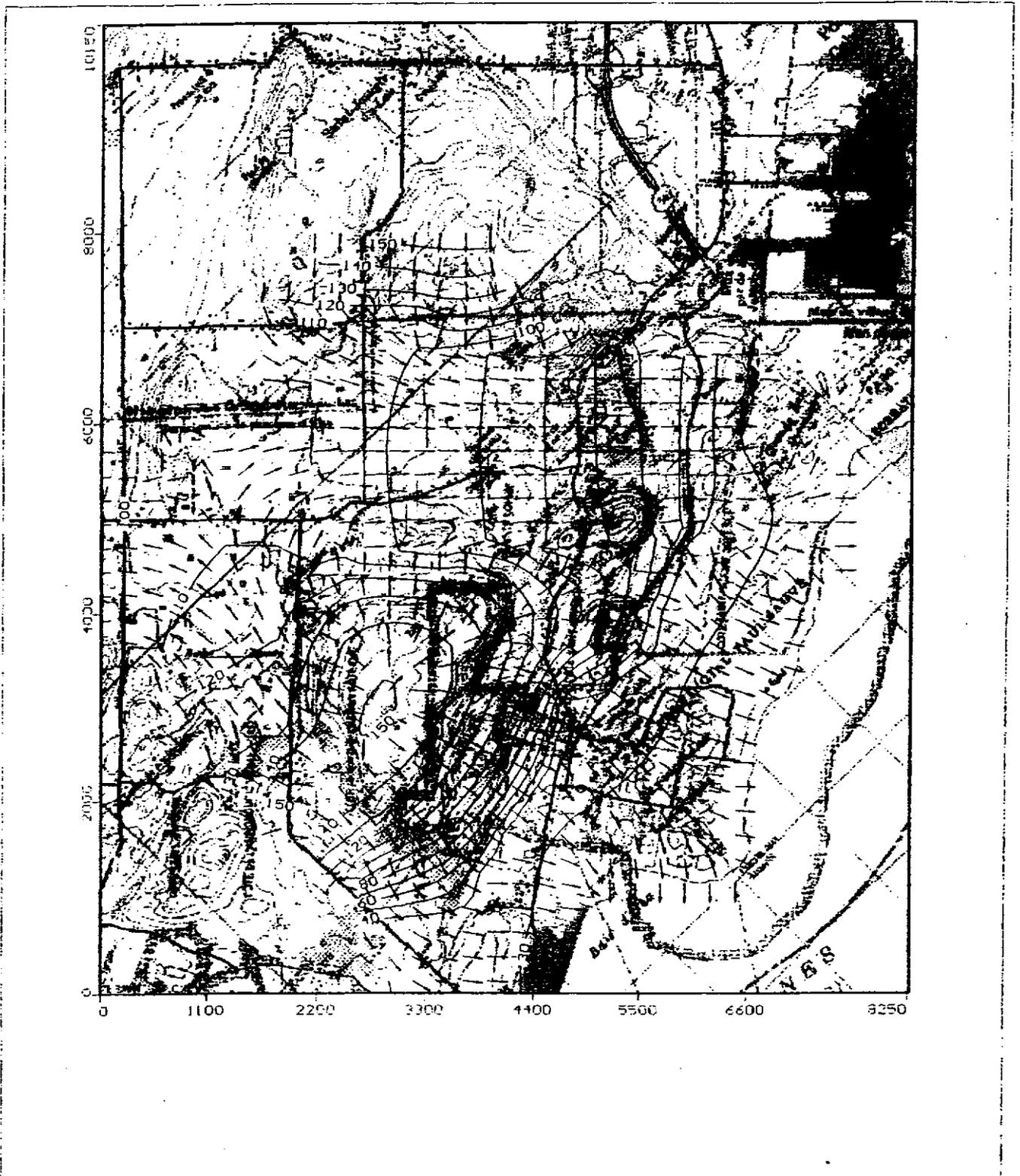


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 7.3: R. transitoire 5  
Modeller: Yves Leblanc  
11 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 1  
Current Layer: 1

**Annexe 1 : Résultats des modélisations**

**Figure 31**

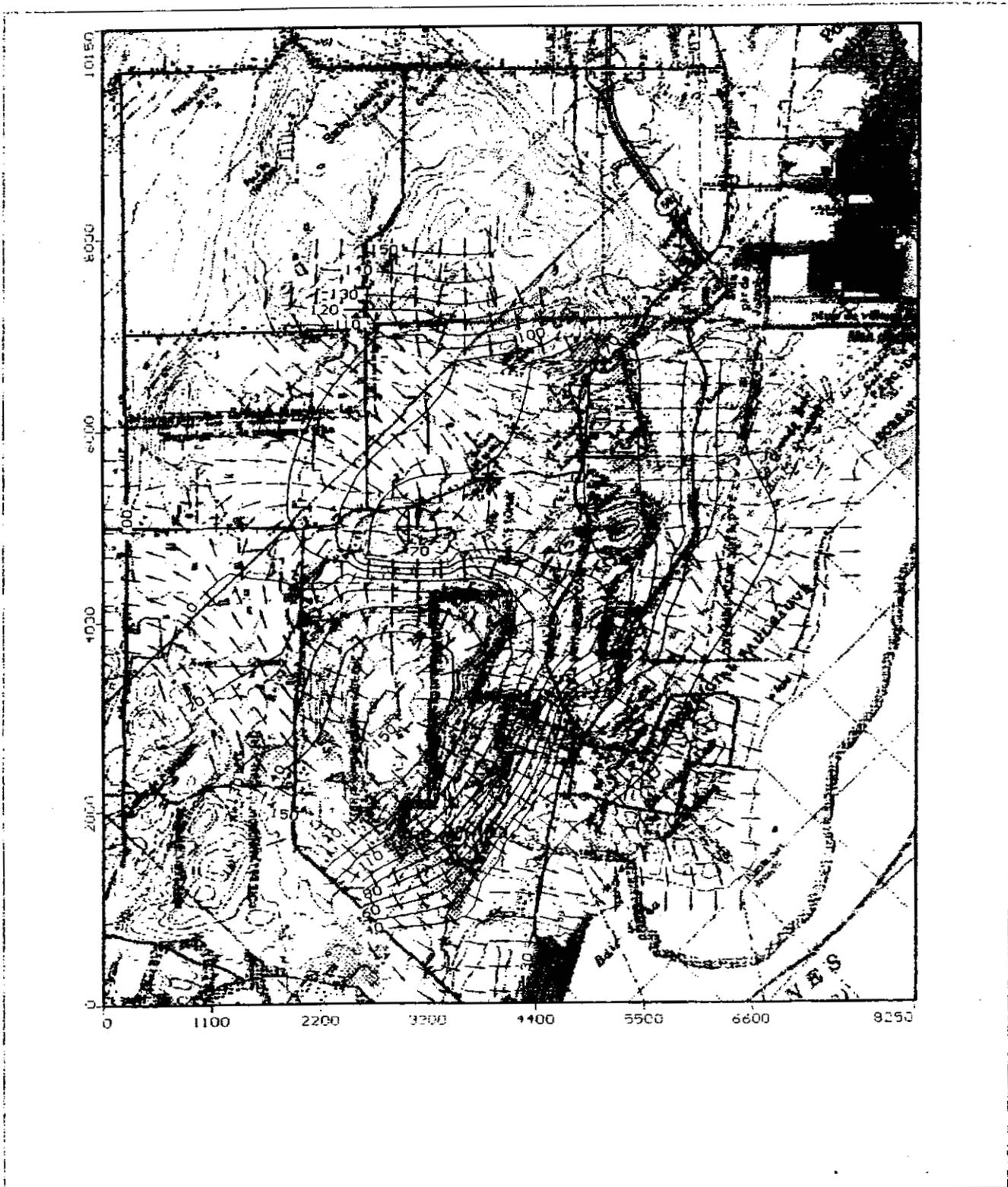


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka & R. Permanent  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 32

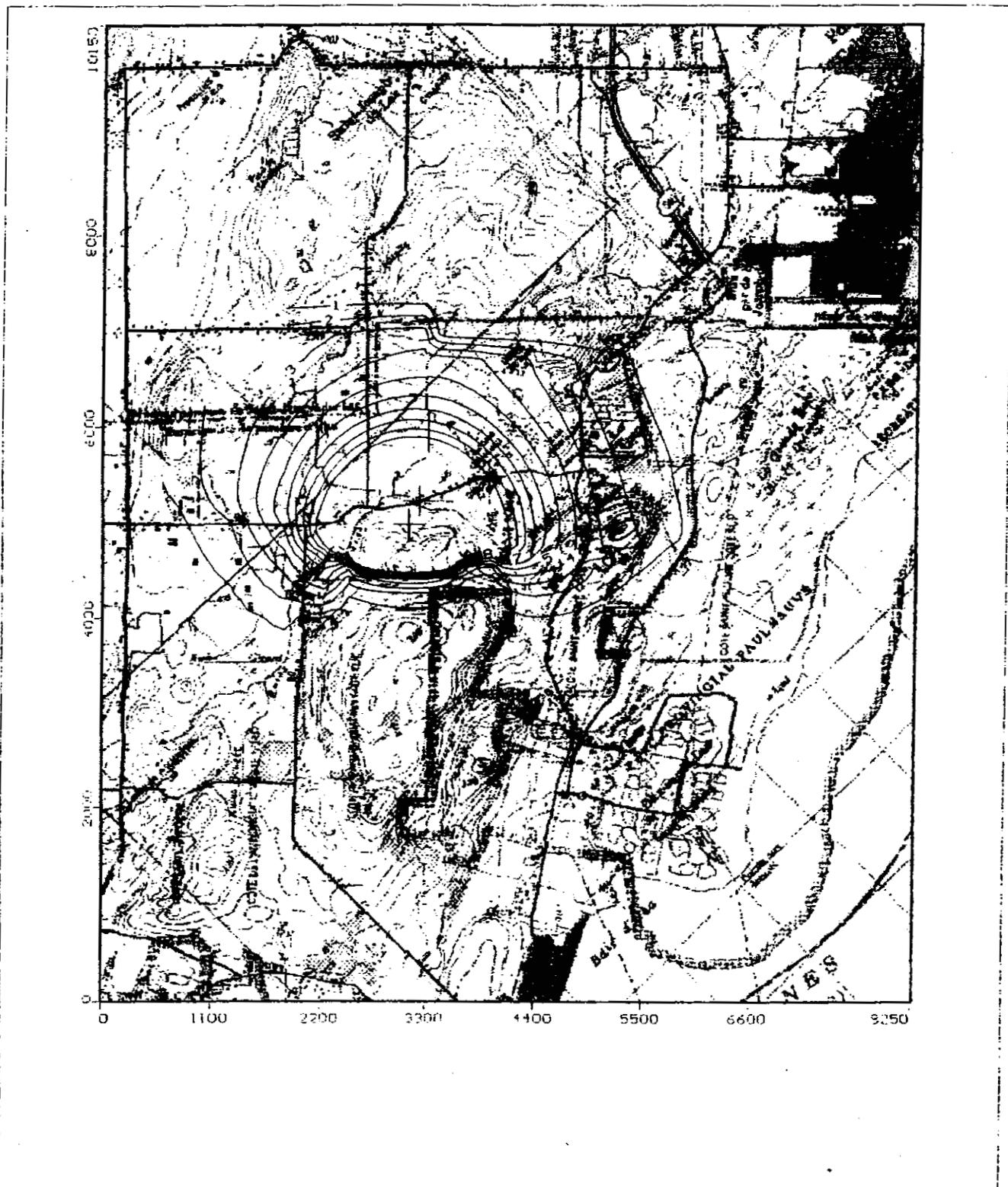


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 9: R. Transitoire 5'a  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 33

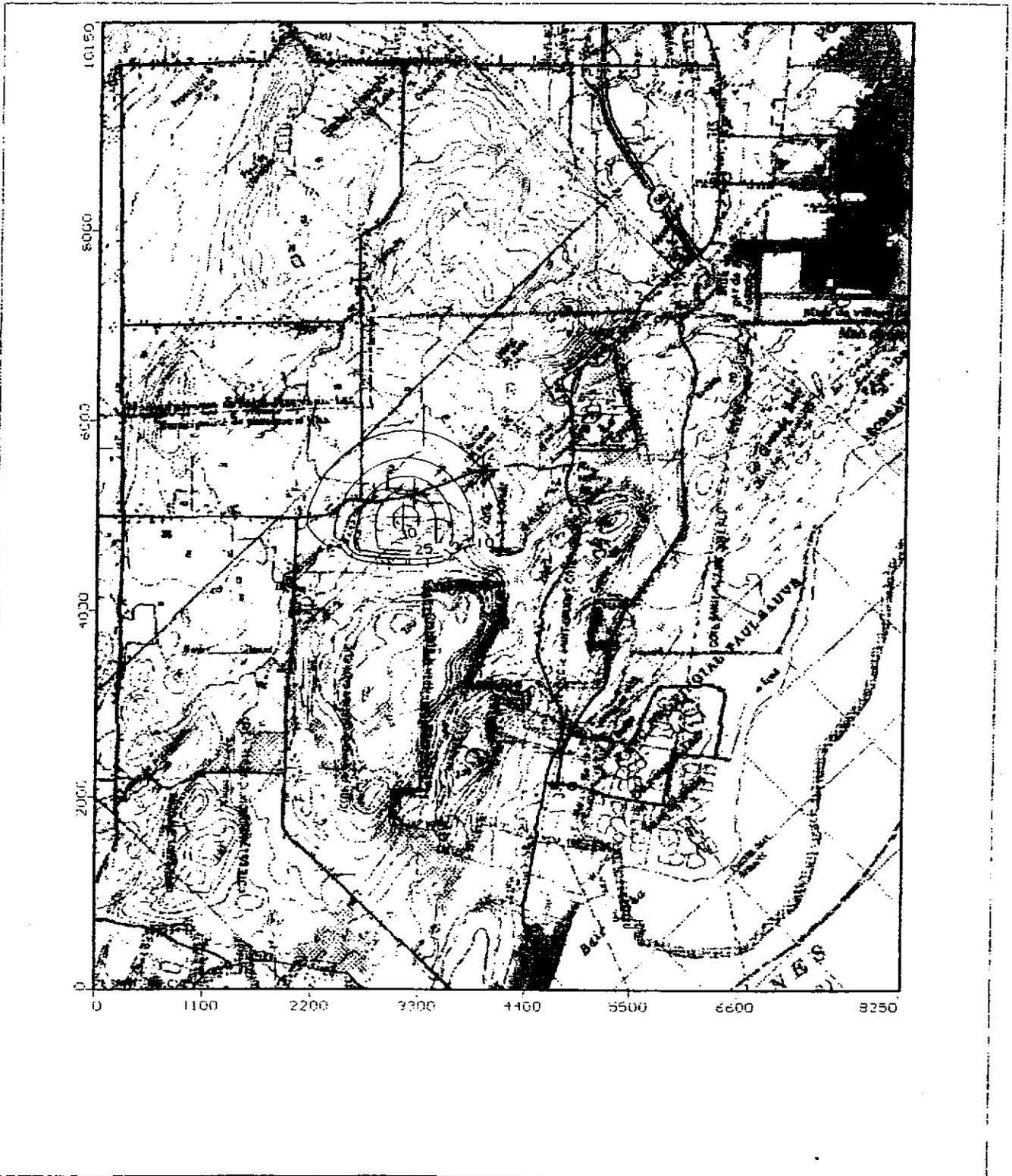


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 9: R. Transitoire 5 a  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 34

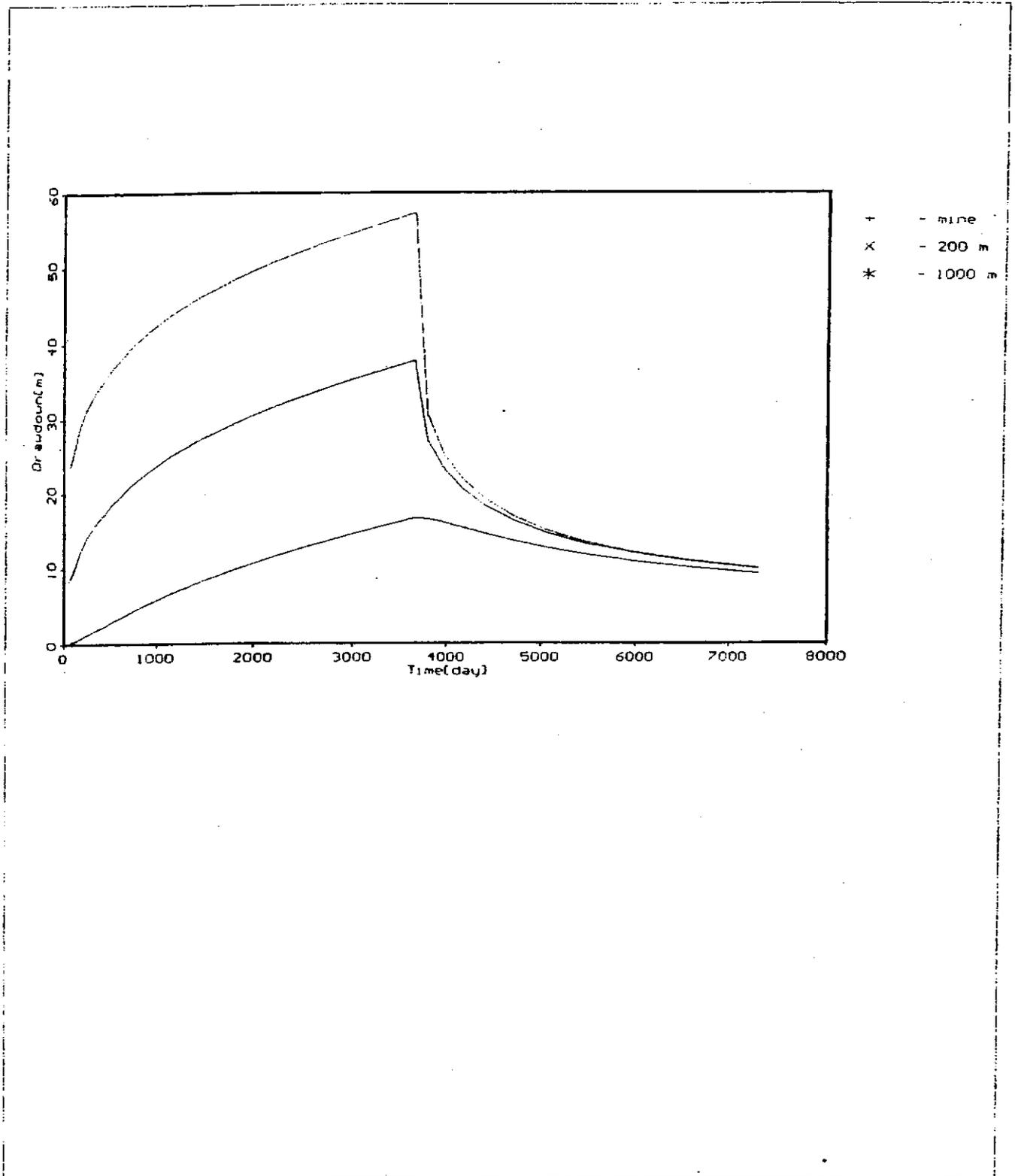


Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka 9: R. Transitoire 5 a  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1, (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 46 NL: 9  
Current Layer: 1

# Annexe 1 : Résultats des modélisations

## Figure 35



Yves Leblanc, M.Sc. Hydrogéologue  
Project: Oka  
Description: Oka @ R. Transitoire  
Modeller: Yves Leblanc  
10 Feb 00

Visual MODFLOW v.2.7.1. (C) 1995-1997  
Waterloo Hydrogeologic, Inc.  
NC: 47 NR: 48 NL: 9  
Current Layer: 1