

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

DONALD TREMBLAY

B.ING.

CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DU MASSIF ROCHEUX

A LA MINE NIOBEC, ST-HONORE, QUEBEC.

MAI 1993

En analysant les résultats présentés au tableau 12, il ressort que plus le secteur étudié est de grande superficie, plus la différence est grande entre les débits mesurés dans les caniveaux et à la sortie de forages. Par exemple, au niveau 600 les mesures obtenues à la sortie de forages correspondent à un débit moyen de 202 l/min comparativement à 852 l/min obtenu dans les caniveaux. Il est normal que le débit provenant de quelques forages soit inférieur au débit total s'écoulant dans une galerie, car des fractures fournissent aussi de l'eau et plusieurs forages ont un débit trop faible pour être mesuré. Toutefois, les mesures de débits obtenues dans le secteur nord du niveau 1000 indiquent le contraire. Dans ce secteur, il existe seulement 4 à 5 forages par où l'eau s'écoule dans les galeries. Il a été facile de cerner ces venues d'eau et de les mesurer directement à la sortie des forages. Donc, la valeur de 125,5 l/min mesurée dans ce secteur me semble plus réaliste que celle obtenue dans le caniveau (70 l/min). Deux hypothèses peuvent être retenues afin d'expliquer cette différence. Soit qu'il y a perte d'une certaine quantité d'eau s'écoulant dans le caniveau entre le forage F-2 et le point de mesure numéro 6, ou que la mesure de débit effectuée dans le caniveau (mesure numéro 6) est erronée.

De plus, au tableau 12, sont consignées les valeurs de débits en litre par minute par mètre linéaire de galerie (l/min/m). Selon ces estimations, le secteur central du niveau 1000 (soit près du forage F-1) est beaucoup plus perméable que les secteurs ouest (près du forage F-3) et nord (près du forage F-2) du même niveau. Aussi, le niveau 1000 est beaucoup plus perméable que le niveau 600 qui lui est plus perméable que le niveau 700.

5.3.2 Débit de pompage et d'exhaure

De façon générale, le personnel technique de la mine Niobec effectue hebdomadairement un relevé du nombre d'heures de fonctionnement des pompes aux niveaux 850 et 1250. De plus, à ces deux niveaux, le débit moyen des pompes est évalué à quelques reprises par année ce qui

permet de déterminer annuellement le volume d'eau extrait de la mine. Le tableau 13 indique le débit moyen des pompes, le nombre d'heures de fonctionnement des pompes et le débit soutiré annuellement de la mine, à partir du niveau 850 pour la période de 1976 à 1991. Le produit du débit moyen des pompes et du nombre d'heures de fonctionnement des pompes permet de déterminer le débit soutiré de la mine.

Environ 10% du débit soutiré de la mine est dû à la quantité d'eau ajoutée dans le circuit de la mine Niobec provenant de l'aqueduc municipal. Les débits soutirés de la mine en 1978, 1983 et 1991 ont été estimés à partir de résultats fragmentaires s'étalant sur une période d'enregistrement annuelle de 4 à 6 mois. La figure 16 présente un graphique du débit soutiré de la mine ainsi que le débit moyen des pompes en fonction du temps. La durée de fonctionnement des pompes n'étant pas connue pour les années 1976, 1977, 1984, 1985 et 1986, la courbe a été extrapolée pour ces périodes.

Du début du pompage de l'eau de la mine (1976) jusqu'en 1980, le débit soutiré de la mine par année augmente. En 1980, le second bloc exploitable est ouvert et permet le début de la mise en chantier des niveaux inférieurs de la mine, soit les niveaux 700, 850 et 1000. L'exploitation de ces niveaux signifie un plus grand volume de roche extrait et de vide créé. Par conséquent, un plus grand nombre de fractures perméables sont intersectées par les excavations faisant ainsi augmenter la quantité d'eau dans la mine au cours de l'année 1980. Par la suite, de 1980 à 1987 on remarque une diminution graduelle du débit soutiré annuellement de la mine. Cette diminution semble être reliée à un assèchement graduel des niveaux supérieurs, soit les niveaux 300 et 450. Finalement, de 1988 à 1991, il y a une augmentation du débit soutiré. Deux facteurs peuvent expliquer cette dernière augmentation. Tout d'abord, le tremblement de terre de novembre 1988 semble avoir réactivé certaines fractures et fait augmenter la quantité d'eau s'infiltrant dans la mine. Aussi, l'extension des infrastructures à des niveaux plus profonds (niveau 1150), ainsi que

l'avancement de certaines galeries et du puits, peuvent contribuer à l'augmentation de l'infiltration d'eau dans la mine.

Tableau 13: Débit d'exhaure à la mine Niobec mesuré à partir du niveau 850.

Année	Débit moyen des pompes (l/min)	Durée de fonctionnement des pompes (hres)	Débit soutiré de la mine (l/min)
1976	2343,6	-	-
1977	2079	-	-
1978	2305,8	5124*	1349
1979	2494,8	5334	1519
1980	2797,2	6309	2015
1981	2457	5718	1604
1982	2268	4690	1214
1983	2135,7	4742**	1156
1984	2135,7	-	-
1985	2135,7	-	-
1986	2097,9	-	-
1987	1738,8	3593	713
1988	1776,6	3660	742
1989	2343,6	5338	1428
1990	2079	4215	1000
1991	2079	4425***	1050
Moyenne	2204	4832	1216

* 1978: 2135 heures de fonctionnement en 5 mois

** 1983: 2371 heures de fonctionnement en 6 mois

*** 1991: 1475 heures de fonctionnement en 4 mois

Depuis le début de l'exploitation de la mine, le débit moyen annuel des pompes est de 2 204 l/min alors que le nombre d'heure moyen annuel de fonctionnement des pompes est de 4 832

heures ceci pour un débit moyen soutiré de la mine de 1216 l/min ou 638 983 m³/an.

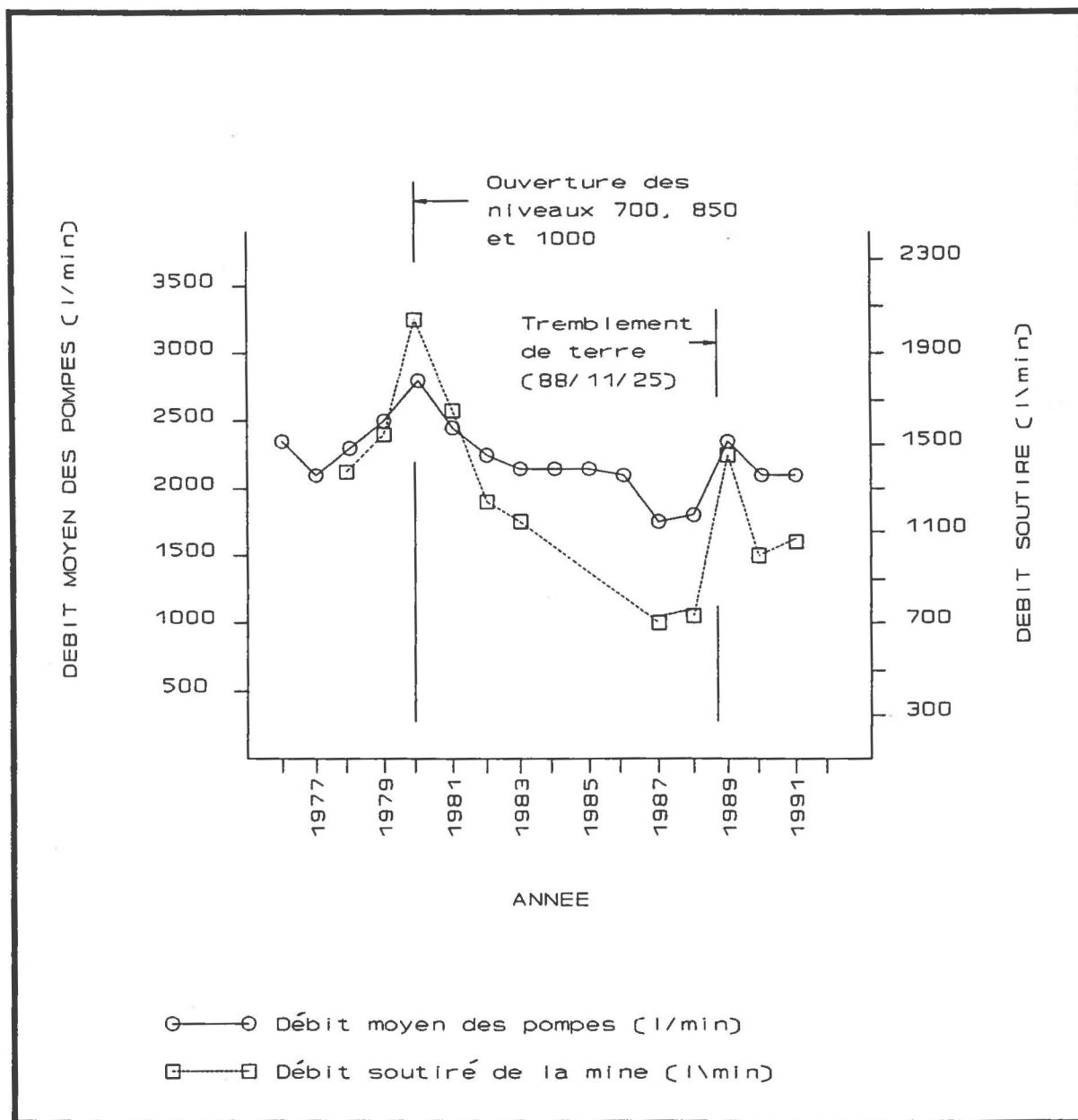


Figure 16: Graphique du débit moyen des pompes et du débit soutiré de la mine en fonction du temps.

5.4 Mesures physico-chimiques

Une caractérisation préliminaire de l'hydrogéochimie de l'eau souterraine a été réalisée en effectuant un certain nombre de mesures de paramètres physico-chimiques de l'eau à la sortie de forages. Les paramètres mesurés sur le terrain, du 4 au 14 mars 1991, ont été la température, le pH, la conductivité électrique et la teneur en oxygène dissout (tableau 14). Les différents points de mesures sont présentés aux figures A-1 à A-6 de l'annexe A.

La température de l'eau souterraine varie en moyenne de 8,1°C au niveau 600 à 11,7°C au niveau 1000. Cette augmentation de 3,6°C sur une profondeur de 120 mètres correspond à une augmentation de la température de l'eau souterraine de 1°C à tous les 33,3 m de profondeur.

Le pH de l'eau souterraine varie très peu en fonction du site de mesure. Pour les niveaux 600 à 1000, les valeurs moyennes mesurées varient de 6,73 (niveau 1000) à 7,21 (niveau 600), soit des valeurs se rapprochant de la neutralité. Par contre, le pH de l'eau mesuré au niveau 300 à partir d'un forage débutant à la surface du terrain et traversant le calcaire de Trenton indique une valeur de pH de 7,91, soit la valeur la plus basique mesurée lors de cette étude. Une mesure de pH a été effectuée à la station de pompage du niveau 850, là où toute l'eau de la mine est canalisée. Une valeur légèrement acide de 6,89 a été obtenue, ce qui reflète le pH moyen de l'eau de la mine.

Les mesures de la conductivité électrique de l'eau indiquent une valeur moyenne variant de 8 830 à 15 840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre les niveaux 600 et 1000. Par contre, l'eau traversant le calcaire de Trenton présente une conductivité de 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la station de pompage du niveau 850, une valeur de 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a été obtenue, cette valeur devrait normalement se rapprocher de la conductivité moyenne de l'eau de la mine. Une relation établie par Richards (1954) et Logan (1961) stipule que l'eau ayant une conductivité de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contient 0,64 mg/l de solide dissout et ce, pour des valeurs comprises entre 100 et 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En appliquant tout de même cette relation à la valeur moyenne obtenue à la station de pompage du niveau 850 (10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), on

Tableau 14: Paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine.

Ech.	Niv.	Temp. (°C)	pH	Conduct (μmhos/cm)	OD (%)	Ech.	Niv.	Temp. (°C)	pH	Conduct (μmhos/cm)	OD (%)
1	1000	13,2	7,34	8000	2.9	17	300	8,3	7,91	410	61.2
2	1000	11,7	6,68	8500	2.7	18	600	7,2	7,58	2100	49.1
3	1000	11,6	6,52	14000	2.9	19	600	8,8	6,94	15000	20.0
4	1000	12,7	6,50	16000	4.3	20	1250	10,6	6,78	17500	100.0
5	1000	11,8	6,61	13500	2.7	21	850	9,5	6,89	10000	-
6	1000	11,3	6,65	11500	10.3	22	850	9,6	7,61	2700	48.4
7	1000	12,8	6,18	31000	3.6	23	700	9,3	7,52	3300	34.4
8	1000	11,8	6,74	12000	2.1	24	700	10,0	7,14	9000	35.2
9	1000	11,6	6,40	27500	2.6	25	700	9,4	6,85	14500	37.2
10	1000	10,7	6,81	11000	10.2	26	700	9,2	6,94	14000	34.6
11	1000	11,1	6,96	9000	3.4	27	700	9,0	6,98	9800	32.1
12	1000	12,3	6,72	17000	3.1	28	600	8,1	7,55	2200	46.7
13	1000	12,5	6,16	40000	5.0	29	600	8,2	7,55	2700	-
14	1000	11,3	6,49	28500	51.4	30	600	8,4	6,77	17000	41.6
15	1000	10,4	7,47	3100	28.4	31	600	7,7	6,84	14000	64.2
16	1000	10,0	7,46	2850	23.1	32	Surf	6,6	6,70	13500	64.1

Note: 1 μmhos/cm est égal à 1 μS/cm

obtient une valeur de 6,4 g/l de solide dissout dans l'eau de la mine. Avec cette concentration de solide dissout dans l'eau de la mine (6,4 g/l), cette dernière peut être classifiée comme étant de l'eau saumâtre (tableau 15).

Tableau 15: Classification de l'eau souterraine basée sur la teneur en solides dissous (tiré de Freeze et Cherry, 1979).

Catégorie	Solide dissout (g/l)
Eau douce	0 à 1
Eau saumâtre	1 à 10
Eau salée	10 à 100
saumure	plus de 100

Finalement, l'oxygène dissouts dans l'eau a également été mesuré. Les valeurs obtenues varient entre 0,44 et 13,48%. Ces valeurs d'oxygène dissout, principalement les plus élevées, sont relativement peu fiables car dans certains cas, il y a eu un brassage de l'eau servant d'échantillon de mesure. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées au niveau 1000 alors que les valeurs les plus élevées ont été mesurées généralement aux niveaux 600 et 700.

5.5 Discussion sur les données hydrologiques

En résumé, dans les dépôts meubles l'écoulement de l'eau souterraine se fait presque verticalement vers le calcaire de Trenton, mais une composante horizontale du gradient hydraulique indique également un écoulement vers le sud. Dans la partie superficielle du calcaire de Trenton pour le secteur situé à l'est de la mine, l'écoulement de l'eau souterraine se fait du nord vers le

sud. Finalement, dans la partie profonde du calcaire de Trenton pour le même secteur de la mine, l'écoulement se fait de l'est vers l'ouest, soit en direction de la mine. Cette différence entre l'écoulement de l'eau souterraine dans les dépôts meubles et dans les parties superficielle et profonde du calcaire de Trenton peut s'expliquer, par exemple de la façon suivante. Une certaine quantité d'eau de surface s'infiltré dans les dépôts meubles. L'eau passe dans ces dépôts jusqu'à la partie superficielle du calcaire de Trenton par les fenêtres existants dans les niveaux semi-imperméables de surface. Dans cette partie du calcaire, l'eau s'écoule du nord vers le sud. Finalement, dans la partie profonde du calcaire de Trenton, l'eau souterraine s'écoule de l'est vers l'ouest pour le secteur situé à l'est de la mine. L'absence de piézomètres à niveaux multiples dans le calcaire de Trenton ne permet pas d'évaluer l'importance de la composante verticale du gradient hydraulique.

Avec le pompage des eaux de la mine Niobec, l'écoulement de l'eau souterraine dans la partie superficielle du calcaire de Trenton devrait se faire normalement de l'est vers l'ouest, soit en direction de la mine, comme dans la partie profonde du calcaire de Trenton. A ce stade, il n'existe aucune donnée sur la composante verticale du gradient hydraulique dans le calcaire de Trenton. Il est probable que cette composante soit considérablement plus élevée que la composante horizontale: alors les variations de la composante horizontale seraient relativement sans conséquence et la direction d'écoulement de l'eau souterraine pourrait très bien se faire en direction de la mine. Toutefois, si l'intensité de la composante verticale de gradient hydraulique se rapprocherait de l'intensité de la composante horizontale alors, présentement, le pompage de l'eau de la mine n'affecterait pas ce secteur. Soit parce que le cône de rabattement n'a pas encore atteint cet endroit (ce qui est très peu probable) ou bien parce qu'il existe une barrière naturelle localisée dans le calcaire de Trenton. Si cette dernière hypothèse est valable, il pourrait exister, dans le secteur de la mine Niobec, un aquifère à nappe libre dans les dépôts meubles et dans la partie

superficielle du calcaire de Trenton ainsi qu'un aquifère à nappe captive dans la partie profonde du calcaire de Trenton pouvant atteindre la carbonatite. Cette dernière hypothèse est plutôt improbable étant donné que plusieurs niveaux de la mine sont dénoyés (principalement les niveaux 300 et 450). Toutefois elle n'est pas impossible étant donné la venue d'eau survenue après le tremblement de terre de novembre 1988 au niveau 450 de la mine et dont la source se trouve vraisemblablement dans une zone de la mine qui est dénoyée. La figure 17 illustre la problématique des variations hypothétiques de la nappe phréatique et du cône de rabattement dans le secteur de la mine Niobec.

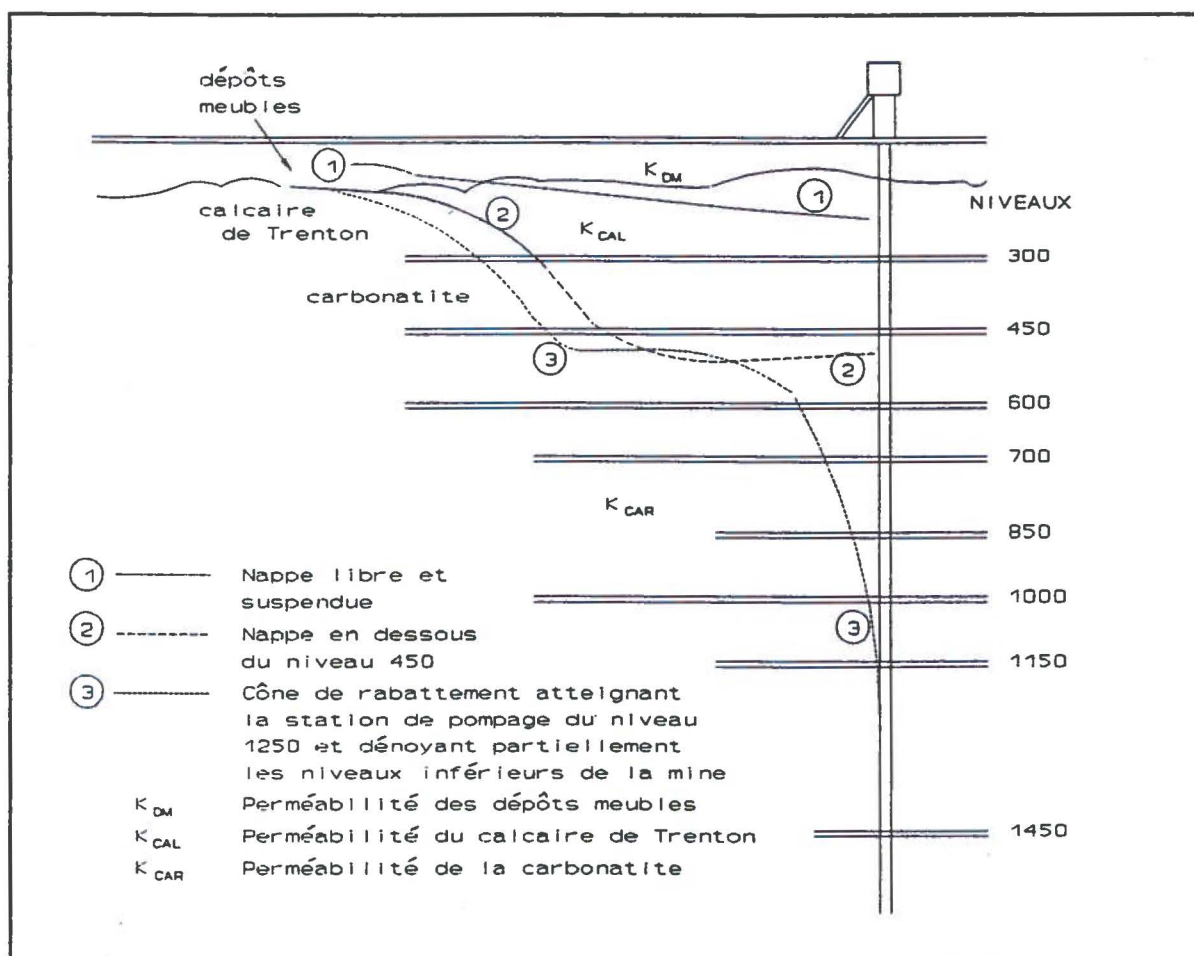


Figure 17: Variations hypothétiques du cône de rabattement créé par le pompage des eaux de la mine Niobec.

L'écoulement de l'eau souterraine dans les excavations de la mine montre que les niveaux 300 et 450 sont presque entièrement dénoyés. Au niveau 450, on observe toutefois des fractures dans lesquelles l'eau circule.

Le niveau 850 n'est plus exploité à ce jour et son extension depuis le puits est plutôt faible. Peu d'excavations existent à ce niveau comparativement aux autres niveaux de la mine. Le peu d'eau s'écoulant dans les caniveaux est un indice de la faible quantité d'eau s'infiltrant dans la mine à partir de ce niveau.

Les mesures de débit dans les caniveaux des niveaux 600, 700 et 1000 montrent que la plus grande partie de l'eau s'infiltrant dans la mine le fait à partir des niveaux 600 et 1000. Le débit d'eau par mètre linéaire de galerie au niveau 600 se rapproche le plus de la moyenne des niveaux 600, 700 et 1000. Au niveau 1000, le secteur centre montre les plus importantes venues d'eau par mètre linéaire de galerie pour l'ensemble de la mine.

La mesure du débit moyen soutiré de la mine est de 1 216 l/min pour l'ensemble de la mine (tableau 13) comparativement à 1 718 l/min obtenus à partir de mesures effectuées dans les caniveaux des niveaux 600, 700 et 1000 (tableau 12). Cette différence d'environ 500 l/min est due à l'omission de mesures à certains endroits de la mine où il y a des infiltration d'eau comme par exemple le puits et le niveau 1150. Il y a également un certain pourcentage d'erreur pour les mesures à la sortie des pompes et dans les caniveaux qui fait varier les résultats avec les deux méthodes de mesures.

Aussi, la valeur de 1 216 l/min est une moyenne sur 15 ans alors que la valeur de 1 718 l/min est la somme de mesures ponctuelles faites en 1991. En résumé, on peut estimer que le débit d'exhaure de la mine se situe dans l'intervalle de $1\,216 \pm 200$ l/min.

L'eau souterraine s'infiltrant dans les infrastructures actuelles de la mine Niobec le fait probablement par le réseau de fractures étant donné l'absence de structures majeures recoupant le

gisement. Si les observations de Raven (1977) faites sur différentes mines d'Abitibi sont applicables à la mine Niobec, alors le développement prévu aux niveaux 1150 et 1450 devrait engendrer une quantité minimale d'eau souterraine, sauf si une structure majeure se trouve à proximité des zones exploitées.