

297

DB27

Les effets liés à l'exploration et l'exploitation des ressources naturelles sur les nappes phréatiques aux Îles-de-la-Madeleine, notamment ceux liés à l'exploration et l'exploitation gazière

6210-10-001

Annexe 13

Hydrogéologie

Résumé de la revue de littérature

Table des matières

1	ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONALES.....	1
1.1	DESSUREAULT ET SIMARD (1970) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE.....	1
1.1.1	Île de Havre-Aubert – Puits de Havre-Aubert no 2.....	1
1.1.2	Île de Havre-Aubert – Puits Vigneau no 8.....	2
1.1.3	Île du Cap-aux-Meules – Puits de l'étang-du-Nord no 20.....	2
1.1.4	Île du Cap-aux-Meules – Puits Boisville no 25.....	3
1.1.5	Île de Grande-Entrée - Puits no 1.....	3
1.1.6	Île d'Entrée.....	3
1.1.7	Île du Havre-aux-Maisons – Association coopérative des pêcheurs.....	3
1.1.8	Île du Havre-aux-Maisons – Puits « A » près de l'école centrale.....	3
1.1.9	Île du Havre-aux-Maisons – Puits « B ».....	4
1.2	GÉOTERREX (1971) - LEVÉS GÉOPHYSIQUES.....	6
1.3	MRN (1972 ET 1974).....	6
1.4	CIDEQ (1974) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES.....	7
1.5	CIDEQ (1975) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES.....	9
1.6	GEOTERREX (1976) - LEVÉS GÉOPHYSIQUES.....	10
1.7	POULIN (1977) - ÎLES DE GROSSE-ÎLE ET DE GRANDE-ENTRÉE.....	11
1.7.1	Île de Grosse-Île.....	12
1.7.2	Île de Grande-Entrée.....	13
1.8	SYLVESTRE (1979) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE.....	15
1.8.1	Paramètres hydrogéologiques des formations géologiques.....	15
1.8.2	Renouvellement des ressources en eaux souterraines.....	16
1.9	LEQ (1993) – ÎLE DU HAVRE-AUX-MAISONS.....	17
1.10	BILODEAU (1993) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES.....	18
1.11	BILODEAU (1995) – SECTEUR DE HAVRE-AUBERT.....	20
1.12	BILODEAU (1998) – SECTEUR DE HAVRE-AUBERT.....	21
2	ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES AUTOUR DES CENTRALES THERMIQUES.....	22
2.1	ÎLE DU CAP-AUX-MEULES - RECUEILS D'ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES.....	22
2.2	ÎLE DE GRANDE-ENTRÉE - RECUEILS D'ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES.....	22
3	ANALYSES HYDROGÉOLOGIQUES CONTEXTUELLES.....	22
3.1	SYLVESTRE (1974) – THÈSE SUR L'ÎLE DU CAP-AUX-MEULES.....	22
3.2	SYLVESTRE (1979) – ÎLES DE GROSSE-ÎLE ET DE GRANDE-ENTRÉE.....	23
3.2.1	Grosse-Île.....	24
3.2.2	Grande-Entrée.....	24
3.3	SYLVESTRE ET BOUCHER (1985) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE.....	24
3.3.1	Constats hydrogéologiques.....	25
3.3.2	Recommandations avancées en 1985.....	25
3.3.3	Interventions du gouvernement jusqu'en 1985.....	25
3.3.4	État de la situation en 1985.....	25
3.3.5	Hypothèses de solutions.....	27
3.3.6	Conclusions et recommandations.....	27
3.4	LEBLANC (1994) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES.....	28

Liste des figures

Erreur ! Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Dessureault (1965) - Informations disponibles sur les puits de l'île de Havre-Aubert	1
Tableau 2 : Dessureault (1965) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	2
Tableau 3 : Dessureault et Simard (1970) - Compilation des paramètres hydrogéologiques interprétés par les auteurs	5
Tableau 4 : CIDEQ (1974) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules	7
Tableau 5 : CIDEQ (1974) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	8
Tableau 6 : CIDEQ (1975) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules	9
Tableau 7 : CIDEQ (1975) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	10
Tableau 8 : Geoterrex (1971 et 1976) – Répartition comparée des sondages électriques par profil	11
Tableau 9 : Poulin (1977) - Informations disponibles sur les puits de l'île de Grosse-Île	12
Tableau 10 : Poulin (1977) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	12
Tableau 11 : Poulin (1977) - Informations disponibles sur l'île de Grande-Entrée	14
Tableau 12 : Poulin (1977) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	14
Tableau 13 : Sylvestre (1979) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	15
Tableau 14 : Sylvestre (1979) - Ventilation par île du taux de renouvellement de la ressources en eau souterraine	17
Tableau 15 : LEQ (1993) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Havre-aux-Maisons	17
Tableau 16 : LEQ (1993) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur	18
Tableau 17 : Bilodeau (1993) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules	19
Tableau 18 : Bilodeau (1993) – Paramètres hydrologiques interprétés par l'auteur	19
Tableau 19 : Bilodeau (1993) – Aires d'alimentation aux puits de l'île du Cap-aux-Meules	20
Tableau 20 : Bilodeau (1998) - Information disponible sur les puits P-3 et P-4	21
Tableau 21 : Bilodeau (1998) - Paramètres hydrologiques interprétés par l'auteur	21
Tableau 22 : Leblanc (1994) - Île du Cap-aux-Meules - Paramètres hydrogéologiques	29
Tableau 23 : Leblanc (1994) – île du Cap-aux Meules - Comparaison des débits recommandés par méthode de calcul	30

1 ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES RÉGIONALES

1.1 DESSUREAULT ET SIMARD (1970) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Cette étude a duré 6 mois de travail sur le terrain. Outre les forages réalisés à l'été 1966 (phase 1 de reconnaissance) et la réalisation d'un levé sismique dans la municipalité de Havre-Aubert, les travaux de la phase 2, réalisés à l'été 1967, ont consisté à réaliser 7 puits de pompage en 8 pouces de diamètre et 21 piézomètres en 4 pouces de diamètre. Le métrage linéaire cumulé de ces deux phases cumulaient 1846 mètres (6058 pieds). Dans chacun des puits d'essais, des pompages variant de 60 à 105 heures ont été réalisés.

Les résultats (sections ci-après) ont permis :

- ❑ de déterminer l'épaisseur des meilleurs horizons aquifères à Havre-Aubert,
- ❑ de préciser la lithostratigraphie des réservoirs aquifères étudiés,
- ❑ d'en préciser les paramètres hydrogéologiques,
- ❑ de déterminer la qualité chimique des nappes d'eau captées et
- ❑ d'initier, pour la première fois, une réflexion sur la reconnaissance de l'invasion de l'eau de mer.

1.1.1 Île de Havre-Aubert – Puits de Havre-Aubert no 2

Dessureault (1965) hydrogéologue du Ministère des ressources naturelles du Québec a procédé à un examen hydrogéologique préliminaire dans les environs de l'usine frigorifique du Ministère de l'Industrie et du Commerce, située à Havre-Aubert en vue de ravitailler l'usine du ministère et l'industrie adjacente, Gorton Pew, à des débits respectifs de 27,24 m³ (6000 gpd) et d 1362 m³ (300 000 gpd). Lors de sa visite des lieux, cinq (5) forages, réalisés par Douglas and Jones, foreur de Charletown, ont été retracés sur le terrain. De ces anciens puits inventoriés, seul le puits no 3 desservait l'usine et l'industrie avec un débit de 0,37 L/s (5 gpm).

Ces forages sont implantés sur la Formation du Havre-aux-Maisons constituée par une brèche d'effondrement, des mudstones, des grès, des siltstones, du calcaire, de la dolomie, du gypse et de l'anhydrite ainsi que de basalte et des roches volcanoclastiques. À l'exception des puits no 3 et 4 ayant capté un grès, les puits 1, 2, et 5 ont intercepté du gypse que les madelinôts appellent de « l'argile blanche ». Au moment de leur construction les puits no 3 et 4 (grès) se caractérisaient par des débits importants respectivement de 2,6 L/s (35 gpm) et de 10,2 L/s (135 gpm), cependant, quelques mois plus tard, ces même puits voyaient leurs débits réduits à moins de 0,37 L/s (5 gpm). Les autres puits (no 1, 2 et 5) étaient, en termes hydrauliques, non productifs. Par ailleurs, les eaux prélevées de ces forages étaient salées.

Dessureault (1966) précise qu'en octobre 1965, un puits no 6 et deux puits d'observation distants de 22,8 m (75 pieds) du puits no 6 ont été forés pour palier à la pénurie d'eau potable. Le puits no 6 dont la profondeur du roc est de 7,6 m (25 pieds), a intercepté 6,09 m (20 pieds) de sable rouge sus-jacent à 1,52 m (5 pieds) d'argile. Ce forage a été soumis à un pompage de 105 heures à un débit de 1,7 L/s (32 400 gpj). Les courbes rabattement temps et de remontée-temps sont dans le rapport Dessureault et Simard, (1970), cependant, les mesures de terrain n'ont pas été retrouvées. Le tableau 1 regroupe les informations disponibles sur ces forages.

Tableau 1 : Dessureault (1965) - Informations disponibles sur les puits de l'île de Havre-Aubert

Secteur	Nom	Année construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
Havre-Aubert	Puits no 1	1959 ou 1960	Non	Non	121,92	Salée	Formation de Havre-aux-Maisons
Havre-Aubert	Puits no 2	1959 ou 1960	Non	Non	60,96	Salée	Formation de Havre-aux-Maisons
Havre-Aubert	Puits no 3	1962	Non	Non	15,24	?	Formation de Havre-aux-Maisons
Havre-Aubert	Puits no 4	1965	Non	Non	23,47	?	Formation de Havre-aux-Maisons
Havre-Aubert	Puits no 5	1965	Non	Non	45,72	?	Formation de Havre-aux-Maisons
Havre-Aubert	(no 2) ou (A) ou Puits no 6	1966-1967	Oui	Graphiques seulement	28,96	Oui	Formation de Havre-aux-Maisons

Le tableau 2 regroupe les valeurs interprétées par l'auteur de ce rapport.

Tableau 2 : Dessureault (1965) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Secteur	Nom	Élévation m	Débit L/s	Qualité Eau	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire gipm
Havre-Aubert	Puits no 1	Indéterminée	Indéterminé	Salée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
Havre-Aubert	Puits no 2	Indéterminée	Indéterminé	Salée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
Havre-Aubert	Puits no 3	Indéterminée	2,65	?	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
Havre-Aubert	Puits no 4	Indéterminée	10,22	?	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
Havre-Aubert	Puits no 5	Indéterminée	Indéterminé	?	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
Havre-Aubert	(no 2) ou (A) ou Puits no 6	Indéterminée	1,7	Oui	Indéterminée	Voir tableau synthèse Dessureault et Simard, 1970			

Ce secteur (voir figure 1) qui renferme une nappe captive, présente une anisotropie (Dessureault, Simard (1970), p. 36). Ce réservoir aquifère, de faible épaisseur 27,43 m (90 pieds), est aussi affecté par des frontières imperméables (négatives).

Ce forage a été exploité à partir de juin 1966 sur une base continue (24h/jour). Un suivi piézométrique de ce forage est disponible à partir du 15 avril 1968 (voir fig.....). Exploité à plein régime de 1966 à 1969, la piézométrie au puits variait de 5,5 mètres et plus. Par la suite, le débit de ce puits semble avoir été réduit ou encore le puits abandonné. Selon Monsieur Raymond Perron, MENV/Qc, ce puits aurait servi par la suite comme piézomètre témoin hors zone d'influence par rapport à d'autre pompage (communication personnelle).

1.1.2 Île de Havre-Aubert – Puits Vigneau no 8

Le puits Vigneau (voir Atlas hydrogéologique, carte 2) recoupe du grès rouge interstratifié de silstone et d'argilite de la surface à la base. Ce puits de 8 pouces de diamètre qui atteint une profondeur de 73,15 m (240 pieds), a été soumis à un essai de pompage à 20,43 L/s (270 imp.g/min) sur 72 heures avec observation piézométrique à partir de trois (3) ouvrages adjacents. Les courbes rabattement temps et de remontée-temps sont dans le rapport Dessureault et Simard, (1970), cependant, les mesures de terrain n'ont pas été retrouvées. Les caractéristiques du dispositif de pompage et les paramètres hydrogéologiques interprétés de cet essai sont au tableau 3. Au moment de ce pompage (date indéterminée), le niveau statique était de 5,18 m/sol (17 pieds) et s'est stabilisé sous les conditions du pompage à une profondeur de 13,4 m/sol (44 pieds), soit une capacité spécifique de 2,5 L/s/m.

Par la suite, les ingénieurs-conseils Villeneuve et Gauvin ont préparé un plan préliminaire d'un réseau de distribution alimenté par des puits à être creusés à côté du puits Vigneau.

1.1.3 Île du Cap-aux-Meules – Puits de l'étang-du-Nord no 20

À l'époque (1967), la municipalité de l'Étang-du-Nord comptait une population de 2 000 personnes et le ravitaillement en eau potable était de 908 m³/jour (200 000 gallons par jour). Ce forage (voir Atlas hydrogéologique, carte 2) a atteint une profondeur de 73,15 m (240 pieds) et a été soumis à un pompage de 18,92 L/s (250 imp. G./min.). Les caractéristiques du dispositif de pompage et les paramètres hydrogéologiques interprétés de cet essai sont au tableau 3. Au moment de ce pompage (du 8 au 11 septembre 1967), le rabattement au puits était de 6,7 m (22 pieds) représentant une capacité spécifique de 2,8 L/s/m.

1.1.4 Île du Cap-aux-Meules – Puits Boisville no 25

Le puits de Boisville est un forage stratigraphique pour lequel Dessureault et Simard (1970) n'ont pas réalisé de pompage d'essai (voir Atlas hydrogéologique, carte 2). La profondeur de ce forage est de 77,72 m (255 pieds). Selon l'appréciation des auteurs, ce forage devrait fournir un minimum de 681 m³/jour (150 000 imp. g./jour). Cependant, les mêmes auteurs recommandaient de privilégier les environs du puits Étang-du-Nord car à cet endroit le niveau piézométrique était plus élevé par rapport à la mer et son éloignement du rivage, plus grand.

1.1.5 Île de Grande-Entrée - Puits no 1

Dessureault (1966) hydrogéologue du Ministère des ressources naturelles du Québec, témoigne de travaux hydrogéologiques (date indéterminée) entrepris autour de l'entrepôt frigorifique du ministère de l'Industrie et du Commerce. Les besoins en eau potable de cette usine étaient de 90,8 m³/jour (20 000 imp.g./jour). Quant aux besoins de la municipalité (1967), leur besoin estimé était de 227 m³/jour (50 000 imp.g./jour). Suite à la localisation d'une formation aquifère à proximité de l'usine, un puits d'essai (voir figure 5) et deux puits d'observation ont été soumis à un pompage de 72 heures à un débit de 2,27 L/s (43,200 gpj). La conductivité hydraulique interprétée était de 326,2 m/sec (4000 gpj/pi²), soit une valeur élevée dans un milieu testé ne présentant pas aux abords du puits de frontières imperméables. Les courbes rabattement-temps et de remontée-temps sont dans le rapport Dessureault et Simard, (1970), cependant, les mesures de terrain n'ont pas été retrouvées. Les caractéristiques du dispositif de pompage et les paramètres hydrogéologiques interprétés de cet essai sont à la section 3.7 du rapport.

1.1.6 Île d'Entrée

Les besoins en eau de la municipalité (52 familles en 1967) étaient de 140 m³/jour (31 000 imp.g./jour). Dans un cadre interprétatif car aucun forage n'a été réalisé dans le cadre de l'étude de Dessureault et Simard, (1970), ceux-ci proposait de faire un seul forage ayant une profondeur de 60,96 m (200 pieds) et un diamètre minimum de 6 pouces.

1.1.7 Île du Havre-aux-Maisons – Association coopérative des pêcheurs

Dessureault et Simard (1970) ont supervisé à l'été 1967 la construction d'un puits, de profondeur inconnue, en vue d'alimenter en eau potable l'Association coopérative des pêcheurs (voir Atlas hydrogéologique, carte 2). Auparavant, cette Association était alimentée par un puits de surface qui s'est effondré suite à des tarissements cycliques. Ce puits a été testé durant 4 heures à un débit de 0,98 L/s (18,700 gpj) sans autres précisions. Ni les coupes de forages, ni les données de pompages n'ont été retrouvées.

1.1.8 Île du Havre-aux-Maisons – Puits « A » près de l'école centrale

Avant 1967, les résidents de Havre-aux-Maisons étaient alimentés en eau potable à partir de puits citernes ou tubulaires. À cette époque, la municipalité recherchait un réservoir aquifère permettant de prélever 908 m³/jour (200 000 gallons par jour). Un des secteurs prioritaire était le secteur de la future école centrale. Le puits de Havre-aux-Maisons « A » (voir Atlas hydrogéologique, carte 2) avait pour but de déterminer les caractéristiques aquifères du grès rouge le long du contact entre cette formation et les

roches volcaniques. À proximité du contact géologique, les grès deviennent plus silteux. Les courbes rabattement temps et de remontée-temps sont dans le rapport Dessureault et Simard, (1970), cependant, les mesures de terrain n'ont pas été retrouvées. Les caractéristiques du dispositif de pompage et les paramètres hydrogéologiques interprétés de cet essai sont au tableau 3. Ce puits se caractérisait par un faible coefficient d'emmagasinement et une faible capacité spécifique 0,03 L/s/m (1,4 imp.g./min./pied). Ce puits a cependant été jugé apte à desservir l'école dont le besoin était de 1,5 L/s (20 imp.g./min.).

1.1.9 Île du Havre-aux-Maisons – Puits « B »

Dessureault et Simard (1970) ont supervisé à l'été 1967 la construction du puits « B » (voir Atlas hydrogéologique, carte 2). Ce second puits, localisé à un endroit où le grès est moins silteux et les roches volcaniques plus éloignées, a montré des caractéristiques hydrogéologiques supérieures à celles du puits « A ». Les courbes rabattement temps et de remontée-temps sont dans le rapport Dessureault et Simard, (1970), cependant, les mesures de terrain n'ont pas été retrouvées. Les caractéristiques du dispositif de pompage et les paramètres hydrogéologiques interprétés de cet essai sont au tableau 3. Ce puits se caractérisait par un faible coefficient d'emmagasinement et une faible capacité spécifique 0,34 L/s/m (15 imp.g./min./pied). Ce puits a été jugé apte à ravitailler les besoins en eau (1967) de Havre-aux-Maisons.

Tableau 3 : Dessureault et Simard (1970) - Compilation des paramètres hydrogéologiques interprétés par les auteurs

Fichier Excel : [521_Compilation hydrogéologique/Compilation T et S](#)

1.2 GÉOTERREX (1971) - LEVÉS GÉOPHYSIQUES

Le 31 mai 1971, le Ministère des Richesses naturelles du Québec a confié à Géoterrex, compagnie géophysique basée à Ottawa, l'exécution d'une étude géophysique aux Îles-de-la-Madeleine. Les objectifs de cette prospection géophysique étaient de :

- ❑ Localiser l'interface eau douce/eau salée en bordure de mer,
- ❑ Déterminer la position du plancher de la nappe d'eau douce ou celle du contact eau douce/eau salée à grande profondeur aux environs des puits de pompage et au centre des îles.

Les levés ont eu lieu du 24 juin au 20 juillet 1971 permettant de réaliser 125 sondages électriques. Les sondages électriques (125 S.E.) sont répartis sur 27 profils désignés par les lettres A à Z et ZZ Tel que montré au tableau 11. Les planches localisant ces travaux n'ont pu être retrouvées. Toutefois, la localisation des sondages électriques couvrant les îles du Havre-Aubert, Cap-aux-Meules et Havre-aux-Maisons ont été retracé dans le rapport Géoterrex (1976) (voir section suivante). La carte 13 de l'Atlas hydrogéologique localise l'ensemble de ces levés.

Cette campagne de prospection géophysique par sondages électriques a permis de déterminer la position du contact eau douce/eau salée sur un certain nombre de profils. Le plancher de la nappe d'eau douce a également été mis en évidence, notamment à proximité des puits de pompage existant en 1971. Par ailleurs, il a été admis que le plancher de la nappe d'eau douce soit constitué par les roches du groupe de Windsor, notamment les horizons argileux superficiels.

L'étude a montré que :

- ❑ le contact eau douce/eau salée s'enfonce rapidement avec l'éloignement du rivage jusqu'au point où celui recoupe le toit du Windsor. Cette intersection représente le point le plus bas de la nappe d'eau douce. ,
- ❑ le front salé s'était déplacé vers l'intérieur des terres entre la localité de Cap-aux-Meules et le lieu-dit « La Vernière »,
- ❑ là où les roches du groupe Windsor sont à trop grande profondeur pour jouer le rôle de plancher imperméable, l'eau douce repose partout sur l'eau salée comme c'est le cas à l'Île de Pointe-aux-Loups et à l'Île de Grande-Entrée (Coffin).

L'étude recommandait de :

- ❑ Fixer les débits d'exploitation (sans préciser les modalités du pompage prévalant à cette époque) en vue de contrôler le mouvement du front salin,
- ❑ D'installer deux puits équipés d'une sonde donnant les concentrations à différentes profondeurs.

1.3 MRN (1972 ET 1974)

L'existence de ces travaux est dévoilée par les travaux réalisés par CIDEQ (1974) (voir section 1.3). Aucun rapport ou document n'a pu être retrouvé pour témoigner de ces travaux du MRN. Cependant, l'exploitation des enregistrements (puisatier = MENV ou projet = code 200) dans la base de données SIH permet de retracer les ouvrages appartenant à cette étude (M. Raymond Perron, communication personnelle). La carte 2 de l'Atlas hydrogéologique localise ces ouvrages et leur description stratigraphique permet d'en reconstituer les coupes géologiques. Les forages concernés dans le SIH sont identifiés 30006 à 30032.

Selon Sylvestre (13 septembre 1973), l'objectif de l'étude du MRN était de suivre l'évolution de l'interface eau douce /eau salée dans les centres de pompage en opération depuis quelques années. Dans ce rapport, Sylvestre constate que :

À l'île du Cap-aux-Meules :

- ❑ l'altitude moyenne de l'interface eau douce/eau salée est à -182,8 m m/nmm (moins 600 pieds sous le niveau de la mer),
- ❑ Sous le centre des puits de pompage de Cap-aux-Meules, cette altitude est à - 122 m/nmm (moins 400 pieds sous le niveau de la mer) illustrant ainsi la remontée du cône d'eau salée sous l'influence des pompages.

À l'île de Grande-Entrée :

- ❑ l'altitude moyenne de l'interface eau douce/eau salée est à -61 m m/nmm (moins 200 pieds sous le niveau de la mer),
- ❑ le puits foré en 1966 (ARDA 765), utilisé en 1973 par l'entrepôt frigorifique du MIC fournissait en 1966 une eau avec une teneur en chlorures de 38,8 mg/l passant à 550 mg/l en 1973.

Sylvestre (1973) recommandait que l'alimentation en eau potable des réseaux futurs se fasse à partir de quelques centres de pompage localisés le plus loin possible du littoral à l'aide de puits ne dépassant pas 61 m (200 pieds), distants d'une valeur égale au rayon d'influence du puits et fournissant des débits jugés « maximum acceptable » de 11,35 L/s (150 gipm).

L'étude du MRN recommandait une investigation des bassins de :

- ❑ Lavernière,
- ❑ l'Étang-du-Nord et
- ❑ Fatima.

1.4 CIDEQ (1974) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES

CIDEQ (1974) entrepris donc de mettre en œuvre les recommandations de l'étude du MRN (1972 – 1974) en réalisant un programme de forages exploratoires couvrant les bassins de Lavernière, de l'Étang-du-Nord et de Fatima. Les travaux de forages (à percussion) ont permis de mettre en place 8 piézomètres (8 pouces) distants de 122 m (400 pieds) l'un de l'autre et 3 puits de pompage (12 pouces). La carte de localisation de ces forages et piézomètres n'a pas été retrouvée. De plus, il y a confusion dans la désignation des piézomètres spécifiés au rapport qui ne correspondent pas à la nomenclature du tableau 4 de leur rapport. Pour CIDEQ (1974), l'aquifère principale est la partie saturée de la formation de Cap-aux-Meules dont l'épaisseur est d'au moins de 250 pieds aux puits municipaux de Cap-aux-Meules. Le tableau 4 ci-bas regroupe les informations disponibles sur ces puits exploratoires.

Tableau 4 : CIDEQ (1974) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules

Bassins	Nom	Année construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
Étang-du-Nord	P4	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Étang-du-Nord	P5	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Étang-du-Nord	Testé	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	58,8	Non	Indéterminée
Fatima	P6	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Fatima	P7	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Fatima	P8	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Fatima	Testé	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	61,0	Non	Indéterminée
Lavernière	P1	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Lavernière	P2	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Lavernière	P3	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	Non précisée	Non	Indéterminée
Lavernière	Testé	Automne 1973	Non	Graphiques sans mesures de terrain	68,6	Non	Indéterminée

Chaque puits grand diamètre (voir tableau 4) a été testé par des pompages de longue durée (72 heures) avec suivi des rabattements et des remontées dans les puits soumis à un pompage mais aussi dans piézomètres adjacents. Les graphiques sans les mesures de terrains sont dans le rapport CIDEQ (1974). La ré-interprétation de ces pompages n'est donc pas possible. Le tableau 5 regroupe les valeurs interprétées par l'auteur de ce rapport.

Tableau 5 : CIDEQ (1974) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Bassins	Nom	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire gipm
Étang-du-Nord	P4	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Étang-du-Nord	P5	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Étang-du-Nord	Testé	Indéterminée	3,4E-03	1,00E-04	38,6	70
Fatima	P6	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Fatima	P7	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Fatima	P8	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Fatima	Testé	Indéterminée	6,6E-03	Indéterminé	165,2	120
Lavernière	P1	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Lavernière	P2	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Lavernière	P3	Indéterminée	?	?	n.a.	n.a.
Lavernière	Testé	Indéterminée	2,8E-03	2,96E-03	130,0	80

Dans son rapport, CIDEQ (1974) mentionne que :

- ❑ les deux puits de Cap-aux-Meules, construits en 1963, produisaient de l'eau douce en 1974. Ces puits étaient exploités à des débits moyens journaliers combinés excédant 15,76 L/s (300 000 gimp/jour) à certains moments de la journée. Ces puits équipés de pompes pouvant produire individuellement 19,3 L/s (255 gipm) produisent ensemble 30,3 L/s (400 gipm) et plus,
- ❑ selon l'étude du MRN (1972 – 1973), l'interface eau douce/eau salée est à 121,9 m/nmm (400 pieds sous le niveau de la mer),
- ❑ en 1974, trois (3) des sept (7) points d'observation retenus parmi les forages réalisés par le MRN (1972 – 1973) ont été équipés d'enregistreurs automatiques (forages de Fatima no 15 ; de Boisville no 25 et le forage de Cap-aux-Meules localisé au sud des puits municipaux),
- ❑ l'écoulement des eaux souterraines est radial de la crête vers la côte,
- ❑ le gradient hydraulique horizontal diminue à mesure que l'épaisseur de l'aquifère augmente, soit 0,02 près de la crête et 0,007 ailleurs pouvant diminuer jusqu'à 0,002,
- ❑ L'âge de la recharge (Dessureault et Simard (1970)) est de l'ordre de 5 à 10 ans,

- ❑ L'estimé de la recharge annuelle serait de l'ordre de 13% de la précipitation annuelle (909,3 mm ou 35,8 pouces), considérant une fluctuation saisonnière moyenne mesurée avant la mise en place des captages municipaux de 1,21 m et une porosité efficace de 10% correspondant à un débit de renouvellement de la ressource de 3,8 L/s/km² (130 gimp/min/mi²)
- ❑ La position de l'interface eau douce/eau salée suggérée par Sylvestre avant pompage, soit - 121,9 m/nmm (-400 pieds) est incertaine dans la mesure où la géométrie du système aquifère n'est pas connue.

CIDEQ (1974) conclut que :

- ❑ Les sites d'implantation des puits de captage doivent se localiser :
 - ✓ là où la piézométrie statique de la nappe est au moins égale à 3 m (10 pieds) ou plus,
 - ✓ le plus loin possible du noyau de roches volcaniques peu perméables car ce milieu aquifère induit des frontières négatives,
- ❑ le prélèvement sur la ressource eau souterraine doit être inférieur à :
 - ✓ 44 L/s (840 000 gimp/jour) dans la partie sud de l'île du Cap-aux-Meules,
 - ✓ 22 L/s (420 000 gimp/jour) dans la partie nord de l'île,
- ❑ les débits disponibles par bassin sont comme suit :
 - ✓ Lavernière = 12,1 L/s (160 gimp)
 - ✓ Étang-du-Nord = 7,6 L/s (100 gimp),
 - ✓ Fatima = 9,08 L/s (120 gimp),
- ❑ Pour ces bassins, le nombre total de puits devrait être de 9 dont 6 puits d'exploitation et de puits auxiliaires (?),
- ❑ Le suivi de l'évolution du front salée est primordial notamment par les méthodes classiques notamment celles qui sont décrites à l'article de David K. Todd, American Water Work Journal, mars 1974.

1.5 CIDEQ (1975) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES

CIDEQ (1975) a réalisé cinq (5) forages additionnels de 10 pouces de diamètre pour les municipalités de l'Étang-du-Nord et de Fatima. Ces travaux ont eu lieu de la mi-août à la mi-novembre 1975.

Le tableau 6 regroupe les informations disponibles sur ces puits exploratoires.

Tableau 6 : CIDEQ (1975) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules

Bassins	Nom	Année construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
Étang-du-Nord	PU7 (5/75)	Automne 1975	Oui	Graphiques seulement	76,2	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	PU8 (6/75)	Automne 1975	Oui	Graphiques seulement	71,63	Oui	Indéterminée
Fatima	PU1 (9/75)	Automne 1975	Oui	Graphiques seulement	64,01	Oui	Indéterminée
Fatima	PU2 (7/75)	Automne 1975	Oui	Graphiques seulement	71,63	Oui	Indéterminée
Fatima	PU3 (8/75)	Automne 1975	Oui	Graphiques seulement	68,58	Oui	Indéterminée

Chaque puits grand diamètre (voir tableau 6) a été testé par des pompages de 24 heures à un débit de 3,78 L/s (50 gimp). Il ne semble pas y avoir eu de suivi des rabattements et des remontées dans des piézomètres adjacents. Les graphiques sans les mesures de terrains sont dans le rapport CIDEQ (1975). La ré-interprétation de ces pompages n'est donc pas possible. Le tableau 7 regroupe les valeurs interprétées par l'auteur de ce rapport. Quelques résultats d'analyses chimiques sont disponibles notamment pour les paramètres tels les chlorures, la dureté totale, le fer et le pH. Des analyses plus complètes sont disponibles dans une note de CIDEQ (14 janvier 1976).

Tableau 7 : CIDEQ (1975) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Bassins	Nom	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire qipm
Étang-du-Nord	PU7 (5/75)	Indéterminée	9,11E-03	n.a.	152,3	160
Étang-du-Nord	PU8 (6/75)	Indéterminée	4,56E-03	n.a.	203,8	115
Fatima	PU1 (9/75)	Indéterminée	2,59E-03	n.a.	401,1	200
Fatima	PU2 (7/75)	Indéterminée	1,04E-03	n.a.	60,1	46
Fatima	PU3 (8/75)	Indéterminée	3,28E-03	n.a.	85,8	95

CIDEQ (1975) conclut que :

- ❑ Les pompages ont été interprétés individuellement sans tenir compte de l'interférence d'un puits à l'autre,
- ❑ Malgré tout, les interférences d'un puits sur l'autre auraient été négligeables
- ❑ Le débit disponible ou sécuritaire du forage 7/75 est de 3,5 L/s (46 qipm).

1.6 GEOTERREX (1976) - LEVÉS GÉOPHYSIQUES

Les levés ont eu lieu du 1 au 26 septembre 1976 permettant de réaliser 76 sondages électriques en longueur de ligne AB = 400 à 1500 m répartis entre 14 profils. La répartition comparée de ces sondages à ceux réalisés en 1971 et ce par profil est au tableau 11.

Cette étude visait à :

- ❑ mesurer l'influence des pompages sur la nappe d'eau douce en répétant des sondages électriques (S.E.) effectués en 1971 et
- ❑ obtenir quelques coupes électriques supplémentaires en levant quelques nouveaux profils de sondages électriques.

Pour chaque station de 1976 coïncidant avec une station de 1971, la courbe obtenue en 1971 a été reportée sur la même grille bi-logarithmique. Dans la majorité des cas, la reproductibilité des mesures a été jugée très bonne.

Cette étude a conclu à une avancée des eaux salées dans les zones suivantes :

- ❑ Zone de Cap-aux-Meules sud, sur les profils DD' et FF',
- ❑ Zone de Cap-aux-Meules nord, profil MM'
- ❑ Île du Havre-aux-Maisons, extrémité orientale de SS'.

Tableau 8 : Geoterrex (1971 et 1976) – Répartition comparée des sondages électriques par profil

Région	Profil	Stations de S.E. (1971)	Stations de S.E. (1976)
Havre-Aubert	A	124, 125, 51, 52, 53, 54, 55, 64	35, 38, 76, 33
	B	61, 62, 63, 64	31, 32, 34, 35
	2 mesures isolées	65, 126	36, 37
Cap-aux-Meules	C	113, 114, 118	Pas de recouvrement en 1976
	D	1, 2, 3, 107, 7, 5, 6	1, 2, 3, 4
	E	99, 107, 98, 97, 96, 95, 44, 93, 92	17, 15, 14, 13, 12, 19
	F	100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 96	6, 7, 8, 9, 10, 11
	FG	Pas d'équivalent en 1971	15, 25, 26, 27, 72
	G	56, 57, 58, 59, 60, 91	12, 16, 18, 29, 30
	H	13, 14, 15, 16, 18, 73, 19, 72	Pas de recouvrement en 1976
	I	17, 19	Pas de recouvrement en 1976
	IJ	Pas d'équivalent en 1971	23, 21, 24, 25
	J	9, 8, 10, 77	Pas de recouvrement en 1976
	K	29, 75, 30, 31, 87	Pas de recouvrement en 1976
	KL	Pas d'équivalent en 1971	51, 52, 54, 55
	L	25, 26, 27, 28, 88, 89	39, 40, 41, 49, 48, 73
M	20, 21, 22, 23, 90, 24, 89	47, 46, 45, 44, 43, 42, 53	
Havre-aux-Maison	N	108, 109	Pas de recouvrement en 1976
	O	46, 44	57
	P	42, 43, 122	58
	Q	39, 40	69, 68, 60
	R	32, 33, 34, 35, 36, 37	65
	QR	Pas d'équivalent en 1971	67, 66, 75
	S	45, 44, 50, 41, 48, 47, 37, 123	56, 57, 58, 74, 61, 64, 65, 62
	T	111, 112, 110	Pas de recouvrement en 1976
	1 mesure isolée	49	n.a.
Dune du Sud	U	120, 118, 121	Non couvert en 1976
Îles-aux-Loups	V	85, 86	Non couvert en 1976
Grosse-Île	W	117, 83	Non couvert en 1976
	X	84, 81, 80, 79	Non couvert en 1976
	Y	115, 116, 80	Non couvert en 1976
Grande-Entrée	Z	66, 67, 70, 71, 76, 77, 78	Non couvert en 1976
(Coffin)	ZZ	69, 68, 67	Non couvert en 1976

1.7 POULIN (1977) - ÎLES DE GROSSE-ÎLE ET DE GRANDE-ENTRÉE

Du 6 septembre au 5 novembre 1977, la compagnie Services techniques en eau souterraine inc. a réalisé trente (30) puits dont seize (16) sur Grosse-Île et quatorze (14) sur Grande-Entrée totalisant 534,1 mètres (1752,5 pieds) à Grosse-Île et 345,6 mètres (1134 pieds) à Grande Entrée. Au total sur les deux îles, le programme a cumulé 879,7 mètres (2886 pieds). De ce total, 202,5 mètres (664,5 pieds) furent forés en 8 pouces et le reste en 6 pouces. De façon générale, les puits étaient équipés d'un tubage de 6 ou 8 pouces à des profondeurs atteignant 10 à 75 pieds de la surface pour être complétés dans le roc en trou ouvert. Quatre puits creusés dans le sable à Grande-Entrée ont fait exception à la règle. Les puits 3-E et 4-E ont été équipés d'une crépine télescopique ayant une ouverture de 10 millièmes de pouce afin d'y effectuer des pompages de courte durée.

Treize (13) pompages de courte durée furent effectués dont huit (8) sur Grosse-Île et cinq (5) sur Grande-Entrée. Ces pompages ont été faits sans observation d'un piézomètre adjacent.

Les pompages de longue durée eurent lieu aux puits 14-I et 16-I sur Grosse-Île et au puits 11-E sur Grande-Entrée. Ces pompages ont été faits avec observation d'un piézomètre adjacent.

1.7.1 Île de Grosse-Île

Le tableau 8 regroupe les informations disponibles sur les puits exploratoires de Grosse-Île.

Poulin (1977) observe que le secteur est de Grosse-Île est le lieu où la nappe aquifère des grès rouges est la plus perméable avec des transmissivité atteignant localement des valeurs de $1,1 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Par ailleurs, le secteur nord-ouest de Grosse-Île est le moins perméable avec une transmissivité moyenne de $8,6 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Le même auteur attribue des transmissivités variant de 8,6 à $17 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pour les secteurs compris entre la dune du Nord et la Dune de l'Est. L'épaisseur des sables dunaires est d'au moins 15,24 m (50 pieds).

Tableau 9 : Poulin (1977) - Informations disponibles sur les puits de l'île de Grosse-Île

Nom du puits	Année de construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
1-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	12,19	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
2-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	21,34	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
3-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	16,46	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
4-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	22,86	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
5-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	33,83	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
6-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	51,97	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
7-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	55,78	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
8-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	37,80	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
9-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	61,57	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
10-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	15,54	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
11-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	15,54	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
12-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	30,48	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
13-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	33,83	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
14-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (longue durée) et Mesures de terrain	31,09	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
15-I	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	55,78	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
16-I	Automne 1977	Oui	Graphiques (longue durée) et Mesures de terrain	38,10	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)

Le tableau 9 regroupe les valeurs interprétées par l'auteur de ce rapport.

Tableau 10 : Poulin (1977) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Nom du puits	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire qipm
1-I	Indéterminée	1,43E-04	Indéterminée	23,2	Indéterminée
2-I	Indéterminée	3,28E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
3-I	Indéterminée	5,18E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
4-I	Indéterminée	1,90E-03	Indéterminée	129,8	Indéterminée
5-I	Indéterminée	1,10E-02	Indéterminée	368,9	Indéterminée
6-I	Indéterminée	3,45E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
7-I	Indéterminée	2,93E-05	Indéterminée	9,0	Indéterminée
8-I	Indéterminée	3,90E-04	Indéterminée	21,0	Indéterminée
9-I	Indéterminée	2,93E-04	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
10-I	Indéterminée	8,63E-06	Indéterminée	3,1	Indéterminée
11-I	Indéterminée	9,32E-06	Indéterminée	1,4	Indéterminée
12-I	Indéterminée	8,63E-06	Indéterminée	4,6	Indéterminée
13-I	Indéterminée	4,18E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
14-I	Indéterminée	1,24E-03	Indéterminée	214,5	Indéterminée
15-I	Indéterminée	3,75E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
16-I	Indéterminée	1,12E-02	Indéterminée	420,4	Indéterminée

Selon Poulin (1977), l'interprétation des pompages de longue durée (72 heures) montre :

- ❑ au puits testé 14-I avec observation en 4-I que la nappe est libre sans présence de frontières ni négatives ni positives avec un coefficient d'emmagasinement de $3,65 * 10^{-3}$ (rabattement) et de $1,8 * 10^{-3}$ (remontée),
- ❑ au puits testé 16-I avec observation en 5-I que la nappe est confinée avec présences de frontières négatives avec un coefficient d'emmagasinement similaire à celui obtenu en 4-I, soit $1,2 * 10^{-3}$.

Selon Poulin (1977), la différence de comportement s'expliquerait par la présence de lits de silstones intercalés entre les lits de grès rouges agissant comme aquiclude.

Deux dômes piézométriques ont été reconnus en 1977, soit ceux de :

- ❑ Grosse-Île Nord avec une piézométrie maximale de 15 m/nmm (50 pieds/nmm)
- ❑ Grosse-Île Sud avec une piézométrie maximale de 36 m/nmm (120 pieds/nmm).

Les gradients hydrauliques horizontaux sont de :

- ❑ 0,05 à 0,1 dans les secteurs les moins perméables
- ❑ 0,005 à 0,01 dans les secteurs les plus perméables.

En terme hydrogéochemique, Poulin (1977) mentionne que :

- ❑ Le faciès anioniques bicarbonaté-chloruré-sulfaté prédomine pour les eaux souterraines provenant des zones les plus perméables,
- ❑ Le faciès chloruré-sulfaté-bicarbonaté se rencontre dans les puits captant les réservoirs aquifères peu perméables.

Les zones délimitées comme étant les moins perméables ($T < 1500$ gimp/jour/pi), les concentrations en fer et manganèse sont toutes élevées et surpassent les normes recommandées.

Poulin (1977) considère que la recharge de l'île est uniquement liée à l'infiltration moyenne estimée à 300 mm/an à corrélée à une pluviométrie moyenne annuelle (période de 30 ans) de 909,3 mm/an. Considérant une superficie de l'île de 2,7 km², le volume d'eau infiltré est de 92 m³/h. À partir de la formule de Darcy, il évalue le débit souterrain s'écoulant de cette même île à 89 m³/h.

Poulin (1977) constate que le captage traditionnel des eaux souterraines à l'aide de puits domestiques dispersés sur l'île est la meilleure façon de répondre aux besoins de la collectivité. Cependant, pour des besoins supérieurs, un secteur localisé à l'est de Grosse-Île pourrait supporter la demande à partir de deux puits distants de 152 m (500 pieds) l'un de l'autre, pour une profondeur maximale de 36,5 m (20 pieds) dont le débit appliqué à chacun des puits serait de 3,8 l/s (50 gipm).

1.7.2 Île de Grande-Entrée

Le tableau 10 regroupe les informations disponibles sur les puits de Grande-Entrée.

Tableau 11 : Poulin (1977) - Informations disponibles sur l'île de Grande-Entrée

Nom du puits	Année de construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
1-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	21,34	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
2-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	9,45	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
3-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	42,06	Oui	Dunes
4-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	27,43	Oui	Dunes
5-E	Automne 1977	Oui	Non	36,58	Oui	Dunes
6-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	26,21	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
7-E	Automne 1977	Oui	Non	9,14	Oui	Dunes
8-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	24,99	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
9-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	14,02	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
10-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	22,25	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
11-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (longue durée) et Mesures de terrain	36,58	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
12-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	30,48	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
13-E	Automne 1977	Oui	Slug Test réalisé par Sylvestre	23,16	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)
14-E	Automne 1977	Oui	Graphiques (courte durée) et Mesures de terrain	21,95	Oui	Formation du Cap-aux-Meules (Membres ?)

Le tableau 11 regroupe les valeurs interprétées par l'auteur.

Tableau 12 : Poulin (1977) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Nom du puits	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire gipm
1-E	Indéterminée	4,76E-05	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
2-E	Indéterminée	9,10E-04	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
3-E	Indéterminée	1,73E-06	Indéterminée	1,7	Indéterminée
4-E	Indéterminée	6,56E-06	Indéterminée	1,7	Indéterminée
5-E	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
6-E	Indéterminée	2,43E-03	Indéterminée	182,3	Indéterminée
7-E	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
8-E	Indéterminée	4,61E-04	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
9-E	Indéterminée	2,43E-03	Indéterminée	182,3	Indéterminée
10-E	Indéterminée	1,73E-03	Indéterminée	111,5	Indéterminée
11-E	Indéterminée	2,23E-03	Indéterminée	34,3	Indéterminée
12-E	Indéterminée	2,13E-03	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
13-E	Indéterminée	5,54E-04	Indéterminée	Indéterminée	Indéterminée
14-E	Indéterminée	3,02E-03	Indéterminée	409,7	Indéterminée

Poulin (1977) subdivise l'île en deux secteurs :

- la vallée de sable qui couvre le centre de l'île d'ouest en est,
- Le grès rouge distribué de part et d'autre de la vallée de sable

La vallée de sable se caractérise de très faibles transmissivité ($< 8,6 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ou $< 50 \text{ glpj/pi}$) alors que la transmissivité moyenne est de l'ordre de ($< 1,7 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ou $< 10000 \text{ glpj/pi}$). Cependant, pour les grès rouges, on observe une grande variabilité des transmissivités.

Selon Poulin (1977), l'interprétation du pompage de longue durée (72 heures) réalisé au puits testé 10-E avec observation en 10-E montre que la nappe est libre sans mention de présence de frontières avec un coefficient d'emmagasinement de $0,5 * 10^{-3}$ (rabattement) et de $6,3 * 10^{-3}$ (remontée).

Un dôme piézométrique au centre de l'île atteint des élévations maximales de 3 m/nmm (10 pieds/nmm) alors que les gradients horizontaux d'écoulement des eaux souterraines varient de 0,001 à 0,009. À partir de la relation de Gyben-Herzberg, la position de l'interface eau douce-Eau salée est estimée à -350 m/nmm au centre de l'île de Grande-Entrée. Malgré ces profondeurs, le puits de l'entrepôt a été contaminé par une invasion verticale des eaux salées.

En terme hydrogéologique, Poulin (1977) mentionne que les faciès anioniques sont aussi bicarbonaté-chloruré-sulfaté ou chloruré-sulfaté-bicarbonaté sans toutefois subdiviser l'île en sous-secteur comme c'est le cas pour Grosse-Île.

Poulin (1977) considère que la recharge de l'île est uniquement liée à l'infiltration moyenne estimée à 300 mm/an à carrelé à une pluviométrie moyenne annuelle (période de 30 ans) de 909,3 mm/an. Considérant une superficie de l'île de 7,32 km², le volume d'eau infiltré est de 251 m³/h. À partir de la formule de Darcy, il évalue le débit souterrain s'écoulant de cette même île à 193 m³/h, valeur estimée à une section périphérique à l'île passant par l'équipotentielle (1,2 m/nmm (4 pieds/nmm)).

Poulin (1977) constate que le captage traditionnel des eaux souterraines à l'aide de puits domestiques dispersés sur l'île est la meilleure façon de répondre aux besoins de la collectivité. Cependant, pour des besoins supérieurs, l'auteur délimite trois secteurs désignés Zones A, B et C qui pourraient supporter une batterie de puits distant chacun de 152 m (500 pieds) dont le débit maximum par puits serait limité à un plafond de 1,1 L/s (15 glpm).

1.8 SYLVESTRE (1979) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

1.8.1 Paramètres hydrogéologiques des formations géologiques

Sylvestre (1979) a pu déterminer les caractéristiques hydrogéologiques apparaissant au tableau 12 suite à la réalisation de 4587,9 mètres de forages, 12 pompages dont la durée a varié entre 60 et 105 heures, 56 essais de perméabilité à différentes profondeurs dans 8 forages. La carte géologique actuellement en usage a été éditée par Brisebois (1981) alors que la carte de Sylvestre l'a été en 1979. Au moment des travaux de Sylvestre, la subdivision de la Formation du Cap-aux-Meules en Membres de l'Étang-du-Nord et de l'Étang-des-Caps n'était pas encore proposée par Brisebois. Sylvestre évoque une puissance des deux membres juxtaposés mais propose des transmissivités spécifiques.

Selon Sylvestre, le membre de l'Étang-des-Caps est l'unité géologique la plus perméable, donc, le meilleur aquifère. Quoique très vulnérable à la contamination par les eaux salées à cause de sa proximité de la mer, ces grès à lamination oblique géante demeurent à toutes fins pratiques la seule formation capable de fournir de forts débits. L'eau de cette formation est d'excellente qualité. Cependant, elle peut être légèrement dure près des contacts avec la formation de Havre-aux-Maisons et légèrement ferrugineuse au voisinage des vallées enfouies.

Tableau 13 : Sylvestre (1979) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Selon Brisebois, 1981		Selon Sylvestre, 1979			
Assemblage	Description lithostratigraphique	Puissance	Transmissivité moyenne	Débit moyen	Risque de contamination (intrusion d'eau salée ou pollution de surface)
		mètres	m ² /s * 10 ⁻⁴	L/s	
Dépôts meubles	Sable de plage (dune)	0 - 15 +	8,63 - 17,26	15,15	Très élevé
	Argile, sable, gravier	1 - 60 +	0,863	0,076	Élevé
Membre de l'Étang-des-Caps :	Grès (quartzitiques) et silstones à laminations obliques géantes	600 +	17,26 - 34,52	30,31	Très élevé
Membre de l'Étang-du-Nord :	Grès, silstones, mudstones, conglomérats et calcaires		0,863	0,076	Élevé ou modéré
Formation du Cap-au-Diable :	Basaltes, roches pyroclastiques, calcaire cristallin	15 - 60	1,5	0,4	Faible
Formation du Havre-aux-Maisons :	Brèches d'effondrement, mudstones, silstones, grès, calcaires, dolomies, gypse, anhydrite, basaltes, roches volcanoclastiques	150 +	0,01 - 0,1 (si absence de mudstone)	0,01 - 0,05	Faible
			0,01 - 0,9 (si présence de mudstone)	0,01 - 0,05	Faible

Le membre de l'Étang-des-Caps constitué de grès rouge et gris-vert à lamination oblique géante est le réservoir aquifère capté par les captages municipaux sur les îles-de-Havre-Aubert, de Cap-aux-Meules et de Havre-aux-Maisons. Sylvestre (1979) précise que le tiers de la surface totale des îles est recouvert par le membre de l'Étang-des-Caps, un réservoir aquifère de très bonne perméabilité, constituant la seule formation aquifère exploitable.

1.8.2 Renouvellement des ressources en eaux souterraines

Sylvestre (1979) propose un taux moyen d'infiltration de 30 % eu égard à la précipitation moyenne annuelle de 903,7 mm. Compte tenu de la superficie des îles-de-la-Madeleine, le volume correspondant à ce taux moyen de renouvellement est 26,18 milliards de litres ou 830 L/s.

Le tableau 4 montre proportionnellement à la superficie totale de l'île concernée, l'importance du membre de l'Étang-des-Caps, réservoir aquifère principal des Îles-de-la-Madeleine ainsi que la transmissivité et la puissance de cette même formation la superficie. Pour certaines îles, Sylvestre (1979) ne propose pas de valeurs car leurs travaux ne couvraient pas ces territoires. Ce tableau caractérise le territoire habité à l'exception des dunes au nord de L'Île-aux-Loups où SOQUEM a réalisé en 1976 certains travaux hydrogéologiques en vue d'alimenter en eau la mine Séleine.

Tableau 14 : Sylvestre (1979) - Ventilation par île du taux de renouvellement de la ressources en eau souterraine

Extrait de la carte hydrogéologique de Sylvestre (1979)

Îles	Membre de l'Étang-des-Caps				Réalimentation Nappe L/s
	Superficie		Puissance m	Transmissivité m ² /s * 10 ⁻³	
	%	km ²			
Havre-Aubert (1)	27%	12,7	60	3,45	265
Cap-aux-Meules (2)	60%	29,7	n.p.	n.a.	356
* Cap-aux-Meules	n.a.	n.a.	n.p.	3,5	n.a.
* Étang-du-Nord (4)	n.a.	n.a.	n.p.	2,6	n.a.
* Fatima (4)	n.a.	n.a.	n.p.	1,7	n.a.
Havre-aux-Maisons	43%	8,1	n.p.	20,4	131
Grosse Île	n.p.	n.p.	n.p.	1,9	24,6
Grande Entrée	n.p.	n.p.	n.p.	2,16 - 7,14	53,6
Île-au-Loup	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
Île D'Entrée	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.	n.p.
Total (les Îles)					830,2
Les dunes (Tombolos)	0%	0	30	n.p.	n.p.

1.9 LEQ (1993) – ÎLE DU HAVRE-AUX-MAISONS

LEQ (1993) a été mandaté par les consultants Lapel inc. pour interpréter les résultats de deux essais de pompage effectués sur deux puits d'alimentation en eau potable à Havre-aux-Maisons. Ces travaux faisaient suite à une étude hydrogéologique préliminaire réalisée à l'automne 1992 (document non retrouvé) par monsieur Denis Isabel, ing. hydrogéologue. Les deux puits existants à cette époque fournissaient un débit total de 900 L/min (15 L/s) alors qu'une directive du MENV limitait le débit d'exploitation d'un puits à 228 L/min (2,8 L/s).

Deux puits (P-1 et P-2) de 254 mm de diamètre (10 pouces) associés à deux piézomètres (PZ-1 et PZ-2) de 152,4 mm de diamètre (6 pouces) et distant de 30 mètres, ont été forés du 19 avril au 8 mai 1993 par Les forages Julien Bérubé ltée, de Matane. Tous ces puits ont une profondeur de 35 m à l'exception du puits P-2 qui a atteint 36,30 m. Le tableau 6 regroupe les informations disponibles sur ces puits exploratoires.

Tableau 15 : LEQ (1993) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Havre-aux-Maisons

Bassins	Nom	Année construction	Coupe géologique disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
Havre-aux-Maisons	PU4 (P-2)	Printemps 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	35,0	Oui	Indéterminée
Havre-aux-Maisons	PU3 (P-1)	Printemps 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	35,0	Oui	Indéterminée

Les deux puits (voir tableau 11) ont été testés par des pompages de 72 heures à un débit de 4,17 /s avec suivi des rabattements et des remontées dans le puits testé et son piézomètre adjacent. Les graphiques et les mesures de terrains sont dans le rapport LEQ (1993). Le tableau 11 regroupe les valeurs

interprétées par l'auteur de ce rapport. Des résultats d'analyses chimiques sont disponibles dans ce même rapport. Un rayon d'influence de 216 pieds a été calculé pour le puits P-1.

Tableau 16 : LEQ (1993) - Paramètres hydrogéologiques interprétés par l'auteur

Bassins	Nom	Élévation m	Débit L/s	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire qipm
Havre-aux-Maisons	PU4 (P-2)	18,8	4,17	Indéterminée	5,75E-03	1,60E-04	Indéterminée	55
Havre-aux-Maisons	PU3 (P-1)	19,1	4,17	Indéterminée	4,40E-03	3,60E-02	Indéterminée	55

LEQ (1993) conclut que :

- ❑ Les deux puits peuvent être exploités à un débit de 4,16 L/s (250 l/min) mais que ces débits devraient être limités à 228 l/min comme le prescrivait la directive gouvernementale,
- ❑ Le rayon de protection « supplémentaire » autour de puits P-1 devrait être de 225 m alors que ce même rayon n'est pas précisé pour le puits P-2.

Dans le rapport LEQ (1993), le débit d'exploitation proposé est différent du débit sécuritaire proposé par les auteurs antérieurs. En effet, les élévations des niveaux d'eau n'étant pas connues, l'application de la formule de Ghyben-Herzberg n'a pu être appliquée. Donc, les débits ici proposés ne sont liés qu'à la productivité des puits.

Monsieur Michel Ouellet, MENV (note de service du 5 octobre 1993) apporte des commentaires critiques sur les méthodes d'interprétation de ces pompages et discute de la nécessité de statuer sur le débit sécuritaire en appliquant la formule de Ghyben-Herzberg. En réponse à cette note du MENV, LEQ (16 novembre 1993) apporte les précisions requises et confirme que les débits proposés au tableau 15 sont plus que sécuritaire en considérant que la distance entre la base du puits et l'interface eau douce/eau salée était estimée à 150 mètres au minimum.

1.10 BILODEAU (1993) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES

Au printemps 1993, Bilodeau (1993) a supervisé la construction de 8 puits de production (P-1 à P-8) répartis sur les territoires de :

- ❑ Fatima (P-7 et P-8),
- ❑ l'Étang-du-Nord, au sud du lieu dit Vernière (P-1 à P-6).

Les objectifs de ces travaux ne sont pas clairement définis au rapport de l'auteur. Cependant, il est entendu qu'ils étaient orientés vers un prélèvement accru des ressources en eau souterraine en vue de ravitailler les réseaux.

Ces deux puits, construits en diamètre de 10 pouces, étaient chacun juxtaposés à deux piézomètres de 6 pouces. La profondeur de ces puits ainsi que l'élévation de tubage sont au tableau 16 alors que ces mêmes valeurs pour les piézomètres ne sont pas citées dans le rapport. La distance des piézomètres aux puits de production est généralement inférieure à 50 mètres.

Le tableau 16 regroupe les informations disponibles sur ces puits.

Tableau 17 : Bilodeau (1993) - Informations disponibles sur les puits de l'île du Cap-aux-Meules

Municipalités	Nom du puits	Année construction	Lithostratigraphie disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
Étang-du-Nord	P5	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	57	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	P4	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	45,7	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	P6	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	92,7	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	P3	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	39,6	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	P1	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	63,7	Oui	Indéterminée
Étang-du-Nord	P2	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	61	Oui	Indéterminée
Fatima	P7	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	62,2	Oui	Indéterminée
Fatima	P8	Été 1993	Non	Graphiques et Mesures de terrain	48,8	Oui	Indéterminée

Chaque puits a été soumis à un essai de pompage par palier et un essai de pompage de 72 heures avec suivi des rabattements et de la remontée dans le puits testé et aussi les deux piézomètres adjacents. Ces mesures de terrain et les graphiques associés sont regroupées dans le rapport de Bilodeau (1993). Le tableau 17 regroupent les valeurs interprétées de l'auteur.

Tableau 18 : Bilodeau (1993) – Paramètres hydrologiques interprétés par l'auteur

Municipalités	Nom du puits	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire gipm
Étang-du-Nord	P5	Indéterminée	1,44E-03	3,90E-04	72	65,3
Étang-du-Nord	P4	Indéterminée	1,69E-03	3,20E-04	92,3	67,5
Étang-du-Nord	P6	Indéterminée	2,43E-04	4,00E-03	18	36,3
Étang-du-Nord	P3	Indéterminée	1,20E-02	6,20E-05	307	112,2
Étang-du-Nord	P1	Indéterminée	3,24E-03	8,00E-03	153	52,8
Étang-du-Nord	P2	Indéterminée	1,53E-02	2,00E-04	435	115,0
Fatima	P7	Indéterminée	1,62E-04	3,00E-04	11,5	61,6
Fatima	P8	Indéterminée	3,47E-04	7,00E-04	24,8	58,3

La notion de débit sécuritaire est basée sur des conditions imposées par le MENV/Qc telles :

- ❑ Les puits doivent être pompés à un débit moyen combiné d'au plus 0,27 m³/min (388,8 m³/jour ou 60 gipm),
- ❑ La position de l'interface eau douce/eau salée calculée à l'aide de la relation Ghyben-Herzberg ($h_s = 40 h_f$) doit être à un minimum de 30 mètres sous l'extrémité inférieure du puits.

Le débit sécuritaire est ensuite obtenu en multipliant le rabattement disponible par la capacité du puits.

À l'aide du modèle décrit par Todd (1980), Bilodeau (1993) calcule à partir du débit sécuritaire (voir tableau 17) les paramètres :

- ❑ A = distance à la limite aval de la zone d'appel au puits de pompage,
- ❑ L = largeur maximum de la zone de captage amont par rapport à la direction d'écoulement des eaux,
- ❑ B = largeur de la zone de captage au niveau du puits.

Les directions d'écoulement par puits ne sont pas spécifiées. Bilodeau (1993) propose les paramètres apparaissant au tableau 18.

Tableau 19 : Bilodeau (1993) – Aires d'alimentation aux puits de l'île du Cap-aux-Meules

Puits	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8
A (m)	93	33,5	42,5	116	136	434	186	141
L (m)	584	211	267	727	857	2757	1170	888
B (m)	292	105	134	364	428	1364	585	444

$i = 0,004$ au droit des puits P-4, P-5 et P-6

$i = 0,016$ au droit du puits P-7

$i = 0,0086$ au droit du puits P-8

Bilodeau (1993) estime que la recharge moyenne annuelle est de 228,1 mm alors que la précipitation moyenne annuelle (de 1982 à 1990) est de 1067,9 mm, l'évapotranspiration moyenne annuelle est de 412,6 mm et l'infiltration moyenne est de 640,8 mm. Compte tenu de la superficie de l'île du Cap-aux-Meules (49 km²) le volume de recharge annuelle est de 11,17 milliards de litres (354 l/s) comparable à celui proposé par Sylvestre (1979) : 11,22 milliards de litres.

La vulnérabilité (selon DRASTIC) des ressources en eau souterraine captées aux puits P-1 à P-8 varie de 121 à 153 témoignant d'une vulnérabilité moyenne aux activités à risque.

1.11 BILODEAU (1995) – SECTEUR DE HAVRE-AUBERT

Cette étude qui se limitait aux environs immédiats du puits Vigneau (Havre-Aubert), devait :

- ❑ Établir les conditions hydrogéologiques actuelles au droit des puits P-1 et P-2 (déjà existant),
- ❑ Formuler des recommandations sur le débit sécuritaire, le débit recommandé et sur le niveau dynamique maximum des puits
- ❑ Statuer sur le potentiel aquifère du secteur.

Les coupes géologiques et techniques de ces forages (P-1 et P-2) n'ont pas été retrouvées et le puits Vigneau (voir Dessureault et Simard, 1970), piézomètre suivi par le MENV sur plusieurs décennies, sert de référence stratigraphique. MB Géoservices a réalisé un levé géophysique en vue de déterminer la profondeur de l'interface eau douce/eau salée et Bilodeau (1995) a réalisé un essai de pompage par palier en P-2 à un débit de 655 m³/jour (100 gipm) pendant 20 minutes et à un débit de 1310 m³/jour pendant 12 minutes suivi d'une remontée de 80 minutes jusqu'à stabilisation des niveaux d'eau. Ce pompage par palier a été réalisé alors que le puits P-1 était exploité à un débit constant de 980 m³/jour. Les données de ce pompage sont disponibles.

Bilodeau (1995) conclut que :

- ❑ La profondeur estimée de l'interface eau douce/eau salée est supérieure à 260 m sous le niveau de la mer,
- ❑ Les niveaux d'eau en P-1 et P-2, captages municipaux exploités depuis 1970, se situent en moyenne à 2 m/nmm avec des valeurs minimales atteignant – 2m/nmm en P-2 en 1993 et 1994. Les modalités de pompage à ces puits (P-1 et P-2) ne sont pas précisées,
- ❑ Les niveaux d'eau montraient un abaissement de la nappe de 3,25 m depuis 1970 au droit des puits P-1 et P-2,
- ❑ La capacité spécifique des puits est de 215 m³/jour tendant à confirmer la valeur proposée par Dessureault et Simard en 1970,
- ❑ La remontée de l'interface eau douce/eau salée aurait été de 130 mètres depuis 1970,
- ❑ Le débit sécuritaire des puits P-1 et P-2 est de 270 m³/jour (110 gipm),

- ❑ Le débit journalier moyen de la principale formation aquifère de l'île du Havre-Aubert est d'environ 4400 m³/jour (670 gipm),
- ❑ Huit (8) puits d'un débit unitaire de 550 m³/jour (84 gipm), espacés de 550 mètres seraient requis afin de capter le débit moyen de la formation aquifère.

Bilodeau (1995) recommandait d'ajouter à court terme deux puits de 720 m³/jour (110 gipm).

1.12 BILODEAU (1998) – SECTEUR DE HAVRE-AUBERT

Ces travaux et études devaient augmenter le débit d'eau potable disponible à partir de nouveaux puits ajoutés à proximité des captages municipaux existants de Havre-Aubert (P-1 et P-2) et avoisinant le puits d'observation Vigneau.

Cette étude s'est appuyée sur la réalisation de 5 piézomètres en 152 mm de diamètre (Pz-1 à Pz-4 et Pz-6) ainsi que deux puits de production en 350 mm de diamètre (P-3 et P-4). Le tableau 19 regroupe les informations disponibles sur ces deux puits alors que le tableau 20 regroupe les paramètres interprétés par l'auteur.

Tableau 20 : Bilodeau (1998) - Information disponible sur les puits P-3 et P-4

Nom du puits	Année construction	Lithostratigraphie disponible	Données de pompage	Profondeur m	Qualité Eau	Lithostratigraphie
PU3 (P-3)	Été 1998	Non	Graphiques et Mesures de terrain	77,3	Oui	Indéterminée
PU4 (P-4)	Été 1998	Non	Graphiques et Mesures de terrain	67,7	Oui	Indéterminée

Malgré que la lithostratigraphie de ces puits ne soit pas clairement décrite par Bilodeau (1998), ceux-ci captent les grès rouges de la Formation de Cap-aux-Meules. Ces puits ont été soumis à un pompage :

- ❑ À débit constant (Q = 412 m³/jour) durant 12 heures en P-3,
- ❑ Par palier en P-4 aux débits de 216, 262, 406, 497, 655, 772, 910 et 982 m³/jour, pour une durée totale de 8,6 heures,
- ❑ Un pompage simultané en P-3 et P-4 durant 72 heures
- ❑ Un suivi de la qualité des eaux aux puits P-3 et P-4.

Tableau 21 : Bilodeau (1998) - Paramètres hydrologiques interprétés par l'auteur

Municipalités	Nom du puits	K m/sec	T m ² /sec	S s.u.	Q/s m ³ /jour/m	Q sécuritaire qipm
Havre-Aubert	PU3 (P-3)	2,30E-01	1,25E-03	2,00E-04	51,7	57,3
Havre-Aubert	PU4 (P-4)	Indéterminée	1,19E-03	2,50E-04	80,0	91,7

Bilodeau (1998) conclut que :

- ❑ L'eau souterraine s'écoule en direction 313° sous un gradient hydraulique moyen de 0,01 dans un environnement influencé par les puits de production P-1 et P-2 situés à quelque 600 mètres à l'ouest de P-3,
- ❑ La nappe se situe à une élévation 11 m/nmm, soit une profondeur de 22 mètres/sol,
- ❑ La profondeur de l'interface eau douce/eau salée se situerait à moins 400 m/nmm,

- ❑ La formation de Cap-aux-Meules se caractérise dans le secteur des puits par une transmissivité de 100 m²/jour ce qui correspond à une conductivité hydraulique de $2,3 * 10^{-3}$ cm/sec,
- ❑ L'épaisseur de la formation aquifère au droit des puits est de l'ordre de 50 mètres,
- ❑ Le niveau d'eau dynamique sécuritaire à long terme de chacun des puits est de 1,8 m en P-3 et de 1,7 m en P-4,
- ❑ L'indice DRASTIC dans le secteur est de 125, soit un indice de vulnérabilité moyenne à une contamination de surface,
- ❑ Le périmètre de protection immédiate est de 30 autour de chacun des puits,
- ❑ Le périmètre de protection rapprochée est de 100 mètres à chacun des puits,
- ❑ Le front d'appel est de 975 mètres avec une distance du point de stagnation pour chacun des puits égale à 155 mètres.

Bilodeau (1998) recommande de :

- ❑ D'exploiter le puits P-3 à un débit de 375 m³/jour (57,3 gimp)
- ❑ D'exploiter le puits P-4 à un débit de 600 m³/jour (91,7 gimp),
- ❑ D'identifier les sources de nitrates potentielles autour des nouveaux puits de production
- ❑ De réduire après une période d'observation d'une année les débits d'exploitation des puits P-1 et P-2 durant les périodes de basse consommation, de façon à ralentir la progression du front salin au droit de ces deux puits.

2 ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES AUTOUR DES CENTRALES THERMIQUES

2.1 ÎLE DU CAP-AUX-MEULES - RECUEILS D'ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES

2.2 ÎLE DE GRANDE-ENTRÉE - RECUEILS D'ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES

3 ANALYSES HYDROGÉOLOGIQUES CONTEXTUELLES

3.1 SYLVESTRE (1974) – THÈSE SUR L'ÎLE DU CAP-AUX-MEULES

Marcel Sylvestre a fait une thèse de maîtrise en vue d'étudier la remontée de l'interface eau douce/eau salée sous des contraintes de pompage, notamment dans les environs des deux puits municipaux de Cap-aux-Meules, île de Cap-aux-Meules. Ces puits, distant de 182,9 m (600 pieds) et opérationnels depuis 1966, auraient été exploités à un débit de 18,9 L/s (250 gimp) jusqu'en 1974.

À l'automne 1973, deux puits localisés à l'île de Grande-Entrée ont démontré la fragilité du milieu aquifère en regard de l'invasion du front salin, donc, une contamination par les eaux salées.

Les travaux de Sylvestre (1974) s'appuyaient sur :

- ❑ les données météorologiques enregistrées aux îles depuis 1901 lesquelles ont été colligées et publiées par G. O. Villeneuve (1967),
- ❑ les travaux hydrogéologiques entrepris par Dessureault (1966) sous la tutelle du gouvernement du Québec dont les résultats ont été publiés par Dessureault et Simard (1970),

- ❑ les levés géophysiques réalisés par Geoterrex (1971) (voir section ...),
- ❑ la réalisation de 3 forages exploratoires autour des puits de la municipalité de Cap-aux-Meules (72-1 = 152 m (500 pieds) ; 72-2 = 60,9 m (200 pieds) ; 72-3 = 91,4 m (300 pieds) et 73-1 = 172,2 (565 pieds)),
- ❑ la détection des chlorures en fonction de la profondeur dans quelques-uns des forages mentionnés ci-dessus.

À l'époque, la carte géologique de Brisebois (1981) (voir section 3.6) n'était pas encore disponible. La cartographie hydrogéologique était en cours et Sylvestre (1974) a exploité les documents géologiques établis par Sanchagrin (1964) et Brisebois (1972). Pour palier à l'absence du cadre géologique aujourd'hui reconnu (Brisebois (1981)), Sylvestre a subdivisé les roches des îles en unités A, B, C et D dont les descriptions sont comme suit :

- ❑ **Unité A** : grès rouges, intercalés avec des lentilles de grès gris-vert, des conglomérats et des lentilles d'argilites dont l'occurrence augmentent avec la profondeur. Ces roches appartiennent toutes à la formation de Cap-aux-Meules sans distinction entre les Membres de l'Étang-des-Caps et de l'Étang-du-Nord. La fracturation est dense (distance moyenne de séparation = 15 cm) et la largeur des fractures varie de 0,1 à 1 cm. Une porosité de 12 % +/- 1% a été déterminée à partir de six (6) échantillons de roche de cette unité. Sylvestre a adopté la transmissivité moyenne (proposée par Dessureault, 1970) pour cette unité de $3,5 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ ou $2,0 +/- 0,5 * 10^{+4} \text{ igpd/ft}$ avec un coefficient d'emmagasinement de 10^{-3} .
- ❑ **Unité B** : un mélange de roches volcaniques effusives, de grès durs avec de faibles quantité de calcaires, de silstones. Ces roches appartiennent à la Formation du Havre-aux-Maisons. Selon Sylvestre, les roches volcaniques constituent une matrice fracturée. Aucun levé de terrain n'ayant eu lieu à cette époque dans cette unité, les paramètres hydrogéologiques étaient inconnus. Cependant, leur conductivité hydraulique variait de $5,7 * 10^{-7} \text{ m/sec}$ à $1,1 * 10^{-5} \text{ m/sec}$ (1 à 20 igpd/pieds carrés (Walton (1970))).
- ❑ **Unité C** : toutes les roches imperméables dont les claystones, les mudstones, les évaporites (gypse, anhydrite et halite). Ces roches sont un sous-ensemble de la Formation de Havre-aux-Maisons. Cette unité C est considérée par Sylvestre comme étant un aquiclude.
- ❑ **Unité D** : les sables bruns fins constitués essentiellement de quartz et tirant son origine des grès rouges. Ces sables relient les îles entre elles et forment des dunes de faible altitude. Malgré leurs bonnes caractéristiques aquifères, ces sables ne constituent pas un réservoir aquifère exploitable.

Les élévations de la nappe phréatique atteindraient 60 m/nmm (200 pieds) à l'île du Cap-aux-Meules et n'excèderaient pas 4,5 m/nmm (15 pieds) dans les îles de Grosse-Île et de Grande-Entrée. Sur l'île du Cap-aux-Meules, des sources de faibles débits émergent de la roche volcanique au contact de l'argilite (Sylvestre (1973)). Les roches volcaniques étant l'assise des hauts sommets de l'île (altitude maximale de m/nmm) sont donc aquifères. Une valeur théorique proposée est à la description de l'unité B.

A Cap-aux-Meules, la profondeur de l'interface eau douce/eau salée mesurée dans les forages réalisés par Sylvestre étaient de 137 mètres (450 pieds).

3.2 SYLVESTRE (1979) – ÎLES DE GROSSE-ÎLE ET DE GRANDE-ENTRÉE

Suite aux travaux réalisés par Poulin (1977) (voir section 1.7), le service des eaux souterraines du Ministère des Richesses Naturelles a modélisé les écoulements d'eaux souterraines (éléments finis) sur les îles de Grosse-Île et de Grande-Entrée en vue de :

- ❑ Déterminer les disponibilités en eau souterraine,
- ❑ Définir les meilleurs programmes de mise en valeur de cette ressource.

Pour les fins de la modélisation, Sylvestre (1979) a considéré que la précipitation moyenne annuelle atteignait 904 mm/an dont le quart provient des chutes de neige. L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (méthode de Thornthwaite) est de 508 mm (Dessureault (1970) laissant 381 mm/an disponibles pour le ruissellement et l'infiltration.

La profondeur de l'interface eau douce/eau déduite de l'interprétation des sondages électriques réalisés par Geotrex (1971) est :

- ❑ Indéterminée sur l'île de Grosse-Île bien que la présence de l'interface soit reconnue autour de la baie de la Grosse-Île ainsi que l'extrémité est de l'île au voisinage de la dune de l'Est,
- ❑ À une profondeur moyenne de 61 m sous le niveau de la mer(200 pieds).

Les conclusions et recommandations de Sylvestre (1979) portent sur les îles de :

- ❑ Grosse-Île
- ❑ Grande-Entrée.

3.2.1 Grosse-Île

Sylvestre (1979) conclut que le débit d'alimentation de la nappe par infiltration est de 89 m³/h (325 gipm). Cependant, ce débit est contraint par l'interface eau salée/eau douce dont la présence n'est pas démontrée avec certitude. À Grosse-Île, seul le secteur à l'extrémité est de l'île peut supporter un prélèvement à un débit supérieur à celui requis pour des fins domestiques.

Sylvestre (1979) recommande un programme optimal de captage basé sur une batterie de 4 puits distants de 305 m (1000 pieds) dont le débit cumulé serait de 22 m³/h (80 gpm).

3.2.2 Grande-Entrée

Sylvestre (1979) conclut que :

- ❑ le débit d'alimentation de la nappe par infiltration est de 191 m³/h (700 gipm),
- ❑ la pointe de Grande-Entrée est pourvue d'une eau de qualité médiocre,
- ❑ la partie centrale de l'Île qui repose sur des sédiments récents est, en termes hydrauliques, peu productive.

Sylvestre (1979) recommande un programme optimal de captage basé sur une batterie de 14 puits distants de 274 m (900 pieds) dont le débit cumulé serait de 54,5 m³/h (200 gpm). Ces puits seraient alignés de part et d'autre de l'île entre la berge et le centre de l'île.

3.3 SYLVESTRE ET BOUCHER (1985) – L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

Dans ce document, Sylvestre et Boucher (1985) dressent la problématique, établissent la situation et font des propositions en regard de l'eau potable aux Îles-de-la-Madeleine.

3.3.1 Constats hydrogéologiques

Ce document mentionne que :

- ❑ 30 % de la précipitation annuelle, soit 26,18 milliards de litres s'infiltrent dans la nappe,
- ❑ Le tiers de la surface totale des Îles comprend des grès rouges de très bonne perméabilité, seule formation aquifère exploitable,
- ❑ Les ressources disponibles sont idéalement exploitées à partir de puits individuels à des débits inférieurs à 0,076 L/s,
- ❑ Le débit optimal exploitable aux Îles-de-la-Madeleine est de 233 L/s à partir de 58 puits opérant à des débits variant de 1,14 L/s à 19 L/s.

3.3.2 Recommandations avancées en 1985

Sylvestre (1979) recommande des programmes optimaux de mise en valeur de l'eau souterraine pour chacune des îles de l'archipel axés sur :

- ❑ La rationalisation des usages de l'eau,
- ❑ La protection des aquifères contre des usages impropres de sols,
- ❑ Le maintien des équilibres eau douce / eau salée à la périphérie des îles.

Pour y parvenir, les recommandations avancées portent sur :

- ❑ Le maintien des alimentations individuelles,
- ❑ La tarification de l'usage de l'eau souterraine en vue de décourager les abus et le gaspillage,
- ❑ La prise en considération des distances minimales entre les puits et les fosses septiques,
- ❑ L'encouragement de l'utilisation de l'eau salée dans les procédés industriels,
- ❑ La mise en place de système d'égouts dans les zones à forte densité de population.

Par ailleurs, Sylvestre (1979) a mesuré, entre 1974 et 1984 et, ce, à un puits d'observation distant de 15 mètres du captage municipaux no 1 à Cap-aux-Meules, une remontée de 8 mètres de l'interface eau douce /eau salée. En 1984, la profondeur de cette interface était à 131 mètres/sol alors que l'épaisseur de la zone de transition était de 41 mètres.

3.3.3 Interventions du gouvernement jusqu'en 1985

Selon Sylvestre et Boucher (1985), le gouvernement est intervenu à plusieurs reprises. Les principales réalisations liées à ces interventions ont été :

- ❑ En 1974, la municipalité de Grande-Entrée a abandonné son projet de construire un réseau d'aqueduc,
- ❑ En 1975, les municipalités de Fatima et de l'Étang-du-Nord ont réduit les débits des puits exploités à 3,8 L/s alors qu'elles planifiaient de les exploiter à des débits de 9,5 L/s chacun,
- ❑ En 1975, le gouvernement a approuvé un décret interdisant de faire ou entreprendre un forage sans en avoir obtenu, au préalable, l'autorisation du Ministre,
- ❑ En juin 1984, la M.R.C. des Îles présentait un rapport sur la gestion de la ressource /eau potable.

3.3.4 État de la situation en 1985

Sylvestre et Boucher (1985) qualifie la protection et l'exploitation de la ressource « eau douce » comme problématique, symptomatique et alarmante. À titre d'illustration, les auteurs mentionnent que :

- ❑ Pour l'ensemble des puits artésiens en 1985 (10 captages municipaux et 1 puits industriel), il n'y a ni périmètres de protection ni connaissance suffisante des aires de recharge (ex. : captage de Cap-aux-Meules est à 5 mètres du parc de stationnement du centre d'achat),
- ❑ Pour les réseaux d'aqueduc exploités par Cap-aux-Meules, Havre-Aubert, Fatima, Étang-du-Nord et Havre-aux-Maisons, le suivi quantitatif et qualitatif n'est pas réalisé de façon réglementaire alors que les instruments de mesures piézométriques, compteurs, conductivimètres, manomètres, sont soit inexistantes, mal entretenus, défectueux, désajustés et les lectures sont parfois non enregistrées dans un rapport,
- ❑ Pour une exploitation excessive des eaux souterraines, le risque de contamination par les eaux salées est réel ainsi, à titre d'exemple,
 - Sur l'île du Cap-aux-Meules :
 - ✓ Les puits de Cap-aux-Meules, distant de 300 mètres, pompent à des débits de 18,9 L/s à 26,8 L/s à chacun des puits alors que les débits optimaux varient de 3,8 L/s à 9 L/s,
 - ✓ Les puits de Fatima et Étang-du-Nord exploités en sus des puits de Cap-aux-Meules atteignent les limites permises que la nappe de l'île du Cap-aux-Meules peut supporter, soit 94,75 L/s,
 - Sur l'île du Havre-aux-Maisons :
 - ✓ Les deux puits exploités à 9 L/s chacun, sont sécuritaires dans la situation prévalant en 1985. Cependant, l'ajout de puits supplémentaire devra respecter les limites permises fixées à 34,11 L/s,
 - Sur l'île du Havre-Aubert :
 - ✓ Les deux puits exploités en 1985 à un débit de 19 L/s chacun alors que les débits d'exploitation recommandés ne doivent pas excéder 4,5 l/s.
- ❑ Le Règlement sur le traitement des eaux usées des résidences isolées est difficile d'application alors que seule la municipalité de Cap-aux-Meules est dotée (1985) d'un réseau de collecte et de traitement des eaux usées sanitaires. Cette situation est alarmante en regard de la contamination des ressources en eau souterraine vis-à-vis des contaminants organiques, bactériologiques provenant des fosses septiques considérant que les sols des îles ne conviennent pas au taux de percolation prévu à la réglementation, les matériaux ne sont pas disponibles sur place pour la réalisation des infrastructures de traitements des eaux usées, l'absence de cours d'eau récepteur dans le cas de lit filtrant hors-sol, la distribution non-linéaire des résidences sur le territoire,
- ❑ Les anciens sites de dépotoirs fermés et condamnés par le MENV seraient toujours en 1985 comme lieu de disposition des boues de fosses septiques et/ou de carcasses automobiles,
- ❑ La prolifération en 1985 des carrières et sablières, lieux de possible contamination de la nappe souterraine par des contaminants tels les hydrocarbures ou des déchets sauvages. L'inventaire de ces excavations regroupait un total de 310 carrières et sablières inventoriées dont :
 - ✓ 5 seulement étaient autorisées
 - ✓ 3 sites bénéficiaient de droits acquis,
 - ✓ 41 sites avaient été régularisés,
 - ✓ 104 sites étaient à l'étude pour des droits acquis
 - ✓ 88 sites étaient clandestins.
- ❑ L'utilisation de l'eau potable n'est pas régie malgré les contraintes de disponibilité connues (en 1985). Plusieurs industries aux îles sont desservies par les réseaux d'aqueduc municipaux tels :
 - ✓ Madelipêche,
 - ✓ Parc de pêche (Cap-aux-Meules)
 - ✓ J.W. Delaney
 - ✓ Abattoir régional des îles (Havre-aux-Maisons_
 - ✓ Pêcherie Norpro (Étang-du-Nord),
 - ✓ Canapro (Étang-du-Nord)

- ❑ Le portrait détaillé de la consommation d'eau douce par les industries aux îles est inconnu (1985).

3.3.5 Hypothèses de solutions

Sylvestre et Boucher (1985) propose deux solutions dont ;

- ❑ le statu quo soit le maintien ou la continuité des actions ponctuelles faites dans le passé par le gouvernement,
- ❑ la définition et l'application d'une politique visant à préserver la ressource « eau souterraine ».

La réflexion des auteurs sur le statu quo concluait à une probable contamination des eaux souterraines, à une sur-exploitation des réserves disponible (pour certains secteurs) ainsi qu'à une dégradation des captages municipaux existant (en 1985) suite à la remontée de l'interface eau douce/eau salée. Les solutions alternatives pour palier à cet état catastrophique s'appuyaient sur des avenues techniques coûteuses tels :

- ❑ L'utilisation de puits doublets pompant simultanément les eaux douces et les eaux salées tout en évacuant ces dernières à la mer,
- ❑ Le dessalement de l'eau de mer,
- ❑ L'osmose inverse (estimé en 1984 à 2\$/1000 gallons impériaux aux îles),
- ❑ Le transport d'eau douce par bateau (estimé en 1984 à 50\$/1000 gallons impériaux livrée au quai).

Au-delà du principe, la politique de l'eau était inexistante. Selon les auteurs, cette politique devrait comprendre des actions pour :

- ❑ Freiner l'augmentation de la consommation d'eau douce (en particulier au Cap-aux-Meules) et
- ❑ Résoudre le problème des eaux usées.

3.3.6 Conclusions et recommandations

Sylvestre et Boucher (1985) conclut à :

- ❑ Une prise de conscience insuffisante de la population liée à l'approvisionnement et à la protection des eaux souterraines,
- ❑ Une planification et rationalisation quasi absente de la gestion des ressources en eau souterraine,
- ❑ Une mauvaise protection des aires d'alimentation autour des puits existants (1985),
- ❑ Une surveillance et un contrôle inadéquat de la qualité et de la quantité d'eau douce consommée au puits,
- ❑ Une consommation abusive en eau potable pour certains secteurs d'activités.

Les auteurs recommandent donc de prendre des mesures de protection et de restauration notamment au chapitre :

- ❑ Des infrastructures de collecte et de traitement des eaux usées,
- ❑ Des infrastructures d'approvisionnement et de distribution de l'eau potable,
- ❑ Du traitement des déchets solides domestiques et industriels,

- ❑ De l'exploitation des carrières et sablières,
- ❑ D'une délimitation d'une protection accrue des zones de recharge de la nappe phréatique.

3.4 LEBLANC (1994) – ÎLE DU CAP-AUX-MEULES

Leblanc a déposé en 1994 un essai de maîtrise à l'université Laval portant sur l'analyse et modélisation numérique de huit puits de production sur l'Île du Cap-aux-Meules, Îles-de-la-Madeleine. Cet essai a été basé sur l'exploitation des résultats provenant des huit puits de production mis en place par Bilodeau (1993) (voir section 1.8.).

L'objectif principal de cet essai était de déterminer les débits sécuritaires à long terme par méthode analytique. Pour ce faire, Leblanc (1994) a :

- ❑ ré-analysé les essais de pompage réalisés par Bilodeau (1993),
- ❑ étudié les fluctuations piézométriques de l'Île du Cap-aux-Meules,
- ❑ étudié le bilan hydrique de l'Île,
- ❑ modélisé l'écoulement de l'eau souterraine.

Les courbes rabattement-temps reflètent une nappe libre à débit retardé. Les valeurs de transmissivité sont obtenues à l'aide de la méthode de Cooper-Jacob alors que les valeurs de porosité efficace ont été déduites de la méthode de Nwankwor (1983). Le calcul du débit sécuritaire a été effectué à l'aide d'une équation analytique dérivée des hypothèses de Dupuits et de la relation de Ghyben-Herzberg laquelle se retrouve dans plusieurs ouvrages de références tels que Todd (1962), Dagan et Bear (1968), Walton (?), Bear (1988) et Domenico et Schwartz (1990).

Le tableau 21 regroupe les caractéristiques des aquifères captés par les forages Bilodeau (1993) ainsi que les débits sécuritaires calculés à partir d'une équation analytique dérivée des hypothèses de Dupuits et de la relation de Ghyben-Herzberg. Les paramètres de ces calculs sont précisés au bas de ce tableau.

Leblanc (1994) précise que l'amplitude annuelle des variations de niveau d'eau est de l'ordre de 2 mètres lorsque observée sur un cycle annuel complet. Ces observations piézométriques portent sur les stations :

- ❑ Boisville (station no 13007021) non influencée par les pompes adjacents
- ❑ Cap-aux-Meules (station no 13007084) influencée par des pompes adjacents,
- ❑ Fatima (station no 13007031) influencée par des pompes adjacents.

Du profil de la station Boisville, on observe deux périodes de crues ((février et mai) et deux périodes d'étiage (mars et novembre).

Pour l'étude du bilan hydrique, Leblanc (1994) a utilisé le modèle de bilan hydrique mis au point et programmé par monsieur Robert Lagacé, du département de Génie Rural, à l'Université Laval, à Québec. Ce modèle tient compte de l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle, l'infiltration, le ruissellement ainsi que des paramètres tels le drainage, l'irrigation, les sols nus et la remontée capillaire. La calibration de ce modèle s'appuie sur le profil piézométrique de la station de Boisville en particulier celui de l'année 1980, année où les données météorologiques quotidiennes étaient complètes. L'application de ce modèle montre que la percolation profonde à la station Boisville est effective aux mois de :

- ❑ Mars, avril et mai (70 jours) avec un taux de recharge de $2,07 * 10^{-8}$ m/s
- ❑ Novembre et décembre (50 jours) avec un taux de recharge de $2,43 * 10^{-8}$ m/s.

Tableau 22 : Leblanc (1994) - Île du Cap-aux-Meules - Paramètres hydrogéologiques

Puits	Secteur	Caractéristiques de l'aquifère					Q sécuritaires à long terme	
		Q/s m ³ /jour/m	T m ² /jour	b m	K m/s	S _y %	d m	Q sécuritaire (1) m ³ /jour
P1	Étang-du-Nord	153	370	150	2,85E-05	13,6	121,21	539
P2	Étang-du-Nord	435	950	135	8,14E-05	10,2	9,24	1032
P3	Étang-du-Nord	307	1040	155	7,77E-05	13,7	126,23	1592
P4	Étang-du-Nord	92,3	140	250	6,48E-06	8,1	221,63	410
P5	Étang-du-Nord	72	120	295	4,71E-06	8,6	259,44	408
P6	Étang-du-Nord	18	40	630	7,35E-07	15	558,97	296
P7	Fatima	11,5	10	1495	7,74E-08	2,08E-04	436,42	206
P8	Fatima	24,8	20	680	3,40E-07	8,01E-05	645,36	182

Q/s = Capacité spécifique après trois jours de pompage

T = Coefficient de transmissivité moyen

b = Épaisseur de la nappe, de la surface jusqu'à l'interface eau douce/eau salée

K = Conductivité hydraulique

S_y = Porosité de drainage

$$Q \text{ sécuritaire} = 2 * \pi * \text{Thêta} * d^2 * (K_{\text{hor}} * K_{\text{vert}})^{1/2} * (\Delta p / p_i)$$

où :

Thêta = la fraction de la distance initiale entre l'interface et la base du puits qui sera occupée par le cône d'eau salée lors du pompage du puits. Lorsque la remontée de l'interface dépasse une valeur critique de Thêta, l'interface remonte brusquement

* Pour Bear (1979), Thêta critique = 0,25

* Pour Todd (1962), Thêta critique = 0,5

* Pour Dagan et Bear (1968), Thêta critique = 0,3

* Pour Walton (?), Thêta critique = porosité de drainage

(1) = Le calcul a été fait pour une conductivité vertical = 0,1 de la conductivité horizontale et une remontée critique de 0,3

La recharge annuelle calculée avec le modèle pour l'année 1980 est d'environ 230 mm, valeur à comparer avec celles de Sylvestre (1979), soit 234 mm et celle de Bilodeau (1993), soit 228,1 mm.

Leblanc (1994) a modélisé l'écoulement de l'eau souterraine à l'aide du modèle SHARP à différences finies, quasi tridimensionnel, permettant de simuler les frontières à flux constant, les frontières à charge constante (eau douce /eau salée) et les frontières fuyantes en fonction de la charge hydraulique. L'île du Cap-aux-Meules a été subdivisée selon un maillage carré (arrête de 200 mètres) comprenant 45 colonnes et 40 rangées et une seule couche car le grès qui constitue l'aquifère principal possède une épaisseur d'environ 800 m (?). Le domaine modélisé regroupe 1194 cellules actives et couvrent 47,76 km². À chaque nœud (centre de la maille) sont associés une valeur de conductivité hydraulique horizontale et verticale, une valeur de porosité, un coefficient d'emménagement spécifique, une épaisseur, l'élévation de la base de l'aquifère, la charge hydraulique initiale de l'eau douce, la conductance vertical de l'aquitard du dessus (s'il y a lieu), l'élévation du fond de l'océan ainsi que le type d'aquifère (libre ou confiné).

Considérant que l'aquifère est à nappe libre avec absence de charge constante à l'intérieure de l'île, seule le littoral de l'île a été affecté d'une charge constante, soit 0 m/nmm. Le domaine de l'eau salée a aussi été fixé à une charge constante (sans plus de précisions dans le rapport). Toutes les cellules actives ont été considérées à nappe libre et la base de l'aquifère a été considéré comme imperméable. Par conséquent, il n'y a aucune réalimentation provenant d'un aquitard sous-jacent ou sus-jacent à l'aquifère. L'unique réalimentation du système provient des précipitations.

La calibration du modèle a été effectuée, d'abord, en régime d'écoulement permanent, afin de déterminer les caractéristiques de l'aquifère (recharge et conductivité hydraulique) permettant de retrouver les charges mesurées sur le terrain et, ensuite, en régime d'écoulement transitoire sans pompage, afin de déterminer la distribution temporelle de la recharge, la porosité et l'emmagasinement spécifique. Le modèle a été calibré sur le profil piézométrique de la station Boisville.

Par la suite, divers scénarios de pompage ont été simulés après avoir saisi dans le modèle la base et le sommet de l'intervalle crépiné du puits, le débit prescrit, ainsi que la durée du pompage. Les simulations ont été effectuées selon un double cas de figure :

- ❑ L'aquifère de l'île du Cap-aux-Meules est un milieu isotrope (conductivité hydraulique horizontale = conductivité hydraulique verticale)
- ❑ L'aquifère de l'île du Cap-aux-Meules est un milieu anisotrope (conductivité hydraulique horizontale = 1 et conductivité hydraulique verticale = 0,75)

Les simulations sur une période de vingt ans ont été effectuées pour :

- ❑ Dans un premier temps :
 - ✓ Des débits constants correspondant aux débits sécuritaires recommandés par Bilodeau (1993)
 - ✓ Des débits optima basés sur une remontée de l'interface eau douce eau salée égale à 30% de sa position initiale dans le secteur immédiat du puits
 - ✓ Des débits excessifs qui provoqueraient une intrusion d'eau salée dans les puits de pompage
- ❑ Dans un second temps :
 - ✓ Des débits constants correspondant aux débits sécuritaires recommandés par Bilodeau (1993) tout en considérant des variations saisonnières de recharge,
 - ✓ Des débits constants correspondant aux débits sécuritaires recommandés par Bilodeau (1993) majoré par un facteur de 2 durant la période estivale (période d'étéage).

Le tableau 22 compare les valeurs de débits recommandés selon l'approche de calcul retenue. À l'exception du puits P7, Leblanc (1994) recommande d'appliquer les débits obtenus par modélisation numérique pour une gestion efficace et à long terme de l'aquifère. Pour le puits P7, l'auteur évoque une distorsion entre les paramètres hydrogéologiques réels et conceptualisés dans le modèle pour expliquer la valeur du débit numérique tel que présenté au tableau 20.

Tableau 23 : Leblanc (1994) – île du Cap-aux Meules - Comparaison des débits recommandés par méthode de calcul

Puits	Secteur	Débits recommandés selon l'approche retenue		
		Bilodeau (1993) Q sécuritaire m ³ /jour	Leblanc (1994) Q analytique m ³ /jour	Leblanc (1994) Q numérique m ³ /jour
P1	Étang-du-Nord	327	539	477
P2	Étang-du-Nord	556	1032	599
P3	Étang-du-Nord	556	1592	697
P4	Étang-du-Nord	425	410	264
P5	Étang-du-Nord	425	408	479
P6	Étang-du-Nord	229	296	477
P7	Fatima	262	206	98
P8	Fatima	229	182	197
Totaux		3009	4665	3288

Q sécuritaire = Voir section 3.9.8 de ce rapport

Q analytique = Voir tableau 19 de ce rapport (Hypothèse Dupuits et relation Ghyben-Herzberg)

Q numérique = Débits optimaux obtenus par simulation en milieu isotrope

À l'exception du puits P7, Leblanc (1994) recommande d'appliquer les débits obtenus par modélisation numérique pour une gestion efficace et à long terme de l'aquifère. Pour le puits P7, l'auteur évoque une distorsion entre les paramètres hydrogéologiques réels et conceptualisés dans le modèle pour expliquer la valeur du débit numérique tel que présenté au tableau 20.