

PARTIE B

Île du Havre-aux-Maisons

7 DESCRIPTION DU MILIEU HYDROGEOLOGIQUE

L'île du Havre-aux-Maisons est ravitaillée en eau potable à partir de quatre captages municipaux : P-1 à P-4. Le tableau 8 donne les coordonnées MTM NAD83 des ouvrages ainsi que leurs distances de séparation. La figure 17 localise les captages municipaux de l'île sur un orthophotoplan sur lequel ont été ajoutés les contacts géologiques.

Tous les captages municipaux du Havre-aux-Maisons sont situés sur le flanc nord de l'île.

	X	Y	Distances de séparation entre les divers ouvrages									
Havre-aux-Maisons	RESERVOIR	P1	P1 Pz-1	Autre (près du P1)	P2	P2 Pz-1	P3	P3 Pz-1	P4	P4 Pz-1		
RESERVOIR	282905	5251978	-									
P1	283760	5252687	1111	-								
P1 Pz-1	283747	5252687	1101	13	-							
Pz 13007042	283656	5252694	1038	104	91	-						
P2	284287	5252853	1636	553	565	651						
P2 Pz-1	284296	5252863	1649	564	577	662	13	-				
P3	284575	5252978	1947	865	878	962	314	302	-			
P3 Pz-1	284599	5252995	1976	894	906	990	343	331	29	-		
P4	283287	5252811	916	489	476	387	1001	1010	1299	1325		
P4 Pz-1	283264	5252787	885	506	493	403	1025	1035	1325	1351		

Tableau 8 : Localisation des ouvrages de l'île du Havre-aux-Maisons

7.1 CAPTAGES MUNICIPAUX P-1 ET P-4 – RUISSEAU DU PETIT-BARACHOIS

En termes géographique et hydrographique, les captages municipaux P-1 (construit vers 1970) et P-4 (construit en 1993) se distribuent de part et d'autre d'une branche du ruisseau du Petit-Barachois s'écoulant vers le nord-ouest en direction de la lagune du Havre-aux-Maisons. Ces captages sont distants de 600 m (P-4) et de 800 m (P-1) du littoral de la lagune. Le bassin versant renfermant ces deux captages s'étend vers la Butte à Cajetan qui culmine à une altitude de 98 m/nmm, le ruisseau y trouvant son origine à l'élévation 80 m/nmm.

Le secteur aval des forages P-4 et P-1 est libre de contraintes environnementales immédiates car la zone est boisée et peu habitée. Toutefois, le secteur amont est urbanisé et traversé par la route provinciale 199, le principal axe routier des îles lequel est aussi desservi par le réseau d'aqueduc. En termes géologiques, le socle rocheux constituant la Butte à Cajetan est formé des roches de la Formation de Cap-au-Diable (basaltes, roches pyroclastiques et calcaires cristallins). Là où se trouvent les forages, le socle rocheux est constitué de grès et siltstones à laminations obliques géantes du Membre de L'Étang-des-Caps. Entre les deux formations précitées, se trouve une mince bande de roches appartenant au Membre de L'Étang-du-Nord (grès, mudstones, conglomérats et calcaires). Ces deux Membres constituent la Formation de Cap-aux-Meules. À l'extrémité sud-ouest (figure 17), on retrouve la Formation de Havre-aux-Maisons constituée de brèches d'effondrement composées de mudstones, siltstones, grès, calcaires, gypse et roches volcano-clastiques,

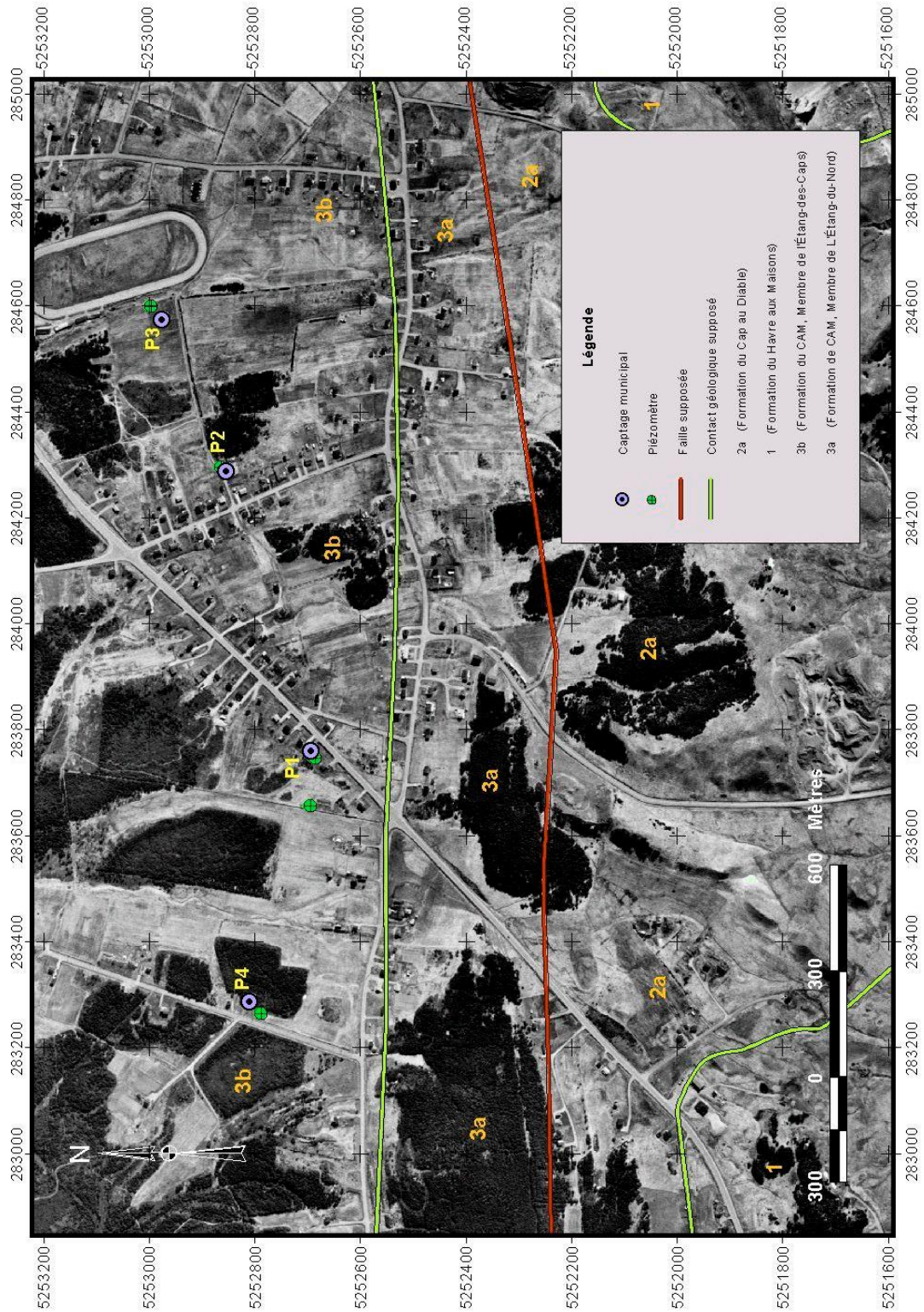


Figure 17 : Ouvrages municipaux et géologie de l'Île du Havre-aux-Maisons

La lithostratigraphie spécifique au forage P-1 est totalement inconnue alors que celle rattachée à P-4 est fournie dans le rapport Laboratoires d'Expertises de Québec Ltée (LEQ, sept. 1993). Même si la stratigraphie n'est pas connue avec précision, elle laisse tout de même voir une épaisseur de 7,9 m de sable et argile surmontant la formation de grès rouge présente jusqu'à une profondeur d'au moins 36,3 m. Ce puits présente trois sections crépinées de 3,13 m de longueur dont les ouvertures sont de 1,524 mm de largeur (0,060 pouce) (rapport LEQ p. 4) séparées par deux sections de tubage en acier inoxydable de 2 m de longueur et positionnées dans la partie inférieure du captage.

Les deux piézomètres 13007041 et 13007042 réalisés en 1966 par le Ministère des Richesses naturelles (Dessureault et Simard, 1970) fournissent des descriptions stratigraphiques précises du secteur. Ces piézomètres correspondent respectivement aux stations G et H apparaissant sur la carte de Sylvestre (1985). Le tableau 9 présente ces descriptions stratigraphiques.

La station 13007042 serait la station Chevarie ou HAM « B » selon le rapport du MRN et serait à environ 1,6 km à l'est de HAM « A » (cf carte 637-D, pp 36-39 et Appendice A, rapport MRN).

Puits "A" (île du Havre-aux-Maisons)

Profondeur (m)		Géologie (selon Brisebois, 1981)	Lithostratigraphie
de	à		
0,00	6,71	Mort-terrain	Mélange de sable, d'argile et de roc trituré
6,71	7,92	Membre de l'Étang-des-Caps	Grès gris, très dur
7,92	20,12		Grès gris interstratifié de schiste argileux
20,12	25,60		Silstone rouge
25,60	28,04		Grès rouge à grain fin
28,04	34,75		Schiste argileux et silstone rouge
34,75	42,67		Grès rouge, très dur et lits de schiste argileux
42,67	65,23		Argilite rouge et lits de grès rouge
65,23	67,06		Grès gris
67,06	73,15		Argilite ininterstratifiée de grès gris et de grès rouge

Puits « B » (île du Havre-aux-Maisons)

Profondeur (m)		Géologie (selon Brisebois, 1981)	Lithostratigraphie
de	à		
0,00	6,00	Mort-terrain	Mélange d'argile rouge, de sable et de roc trituré
6,00	56,40	Membre de l'Étang-des-Caps	Grès rouge à grain fin (Perte de circulation, 9 sacs de boue)
56,40	79,27		Grès rouge et lits d'argilite rouge

Tableau 9 : Descriptions lithostratigraphiques du secteur de Havre-aux-Maisons

Les profondeurs respectives des puits « A » et « B » sont de 73,15 m et de 79,3 m alors que celle du captage P-1 est inconnue, la documentation descriptive de ce captage n'ayant pas été retrouvée.

En termes hydrogéologiques, les paramètres hydrodynamiques du captage P-1 sont aussi inconnus alors que la transmissivité en P-4, déterminée par LEQ (1993), est de $5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ associée à un coefficient d'emmagasinement de $1,6 \cdot 10^{-4}$. Pour ce captage, la productivité hydraulique est indéterminée alors que le débit sécuritaire a été fixé à 55 gimp (250 L/min).

Par ailleurs, le piézomètre 13007042 présente une transmissivité de $2,6 \cdot 10^{-2}$ m²/s et un coefficient d'emmagasinement de $3,75 \cdot 10^{-3}$. Ces valeurs, supérieures à celles déterminées par LEQ, sont associées à un forage plus profond et au recoupement d'horizons productifs.

Sous conditions statiques, la piézométrie était méconnue tout comme la profondeur de l'interface eau douce / eau salée.

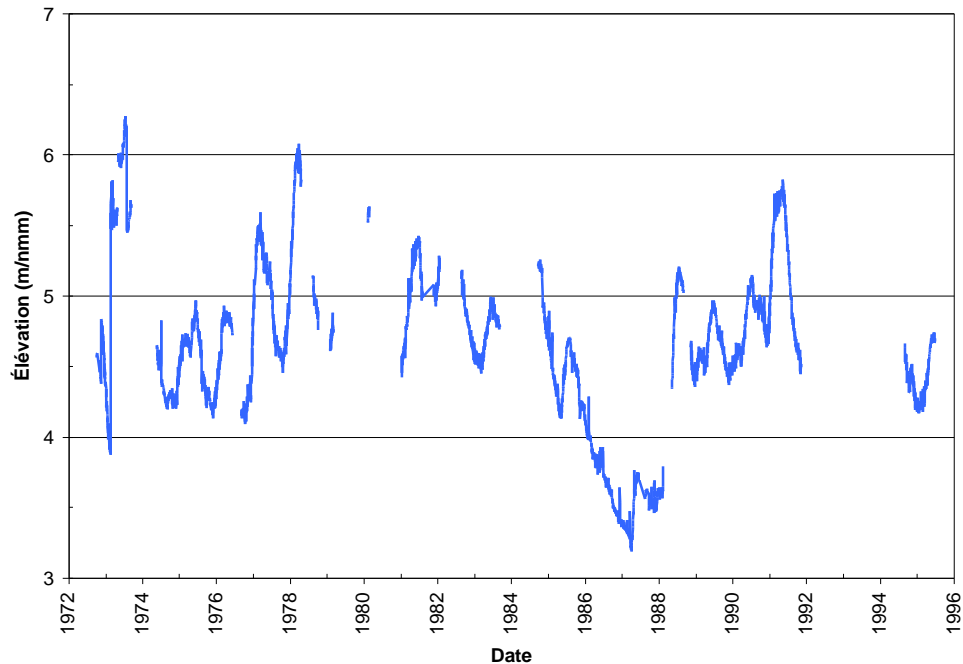


Figure 18 : Fluctuations piézométriques dans le secteur de Havre-aux-Maisons

La figure 18 montre les fluctuations piézométriques dans les environs du captage municipal P-1 (période de 1972 à 1996). Pour cette période d'observation et aux modalités de pompage appliquées au captage, les niveaux d'eau hydrodynamiques oscillaient entre 3,2 et 6,3 m/nmm. Selon la relation de Ghyben-Herzberg, la profondeur de l'interface eau douce / eau salée aurait donc oscillé entre -128 et -252 m/nmm au cours de cette période. À noter que les modalités de pompage appliquées dans le passé à ce puits sont inconnues.

Aujourd'hui, les captages municipaux P-1 et P-4 sont exploités respectivement à des débits de 4,3 L/s (56 gimpm) et de 4,0 L/s (54 gimpm). LEQ (1993) précise que le puits P-1 fournissait à l'époque un débit total de 900 L/min (15 L/s) alors qu'une directive du Ministère de l'Environnement du Québec limitait le débit d'exploitation d'un puits à 228 L/min (2,8 L/s).

Les captages P-1 et P-4 n'ont pas fait l'objet au passé d'une délimitation de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection, ni d'une évaluation de la vulnérabilité des ressources.

7.2 CAPTAGES MUNICIPAUX P-2 ET P-3 – RUISSEAU DES SILLONS

En termes géographique et hydrographique, les captages municipaux P-2 et P-3 se situent dans la partie amont du ruisseau des Sillons qui s'écoule vers le nord en direction de la lagune du Havre-aux-Maisons. Ces captages sont à 1 km environ de la côte est de l'île (amont) et à

quelques 2 km du littoral de la lagune. Le bassin versant renfermant ces deux captages municipaux s'étend vers les Buttes Pelées qui culminent à une altitude de 85 m/nmm et la Butte à Cajetan qui culmine à une altitude de 98 m/nmm, le ruisseau y trouvant son origine à l'élévation 80 m/nmm.

Les secteurs aval et amont du captage municipal P-2 sont habités, secteurs desservis par le réseau d'aqueduc alors que les environs de P-3 sont libres de contraintes environnementales immédiates. À l'est du captage P-3, se trouve une ancienne piste de course équestre.

En termes géologiques, le socle rocheux constituant la Butte à Cajetan et les Buttes Pelées est formé des roches de la Formation de Cap-au-Diable (basaltes, roches pyroclastiques et calcaires cristallins). Là où se trouvent les forages P-2 et P-3, le socle rocheux est constitué de grès éoliens du Membre de L'Étang-des-Caps de la Formation de Cap-aux-Meules. Entre les deux unités précitées, se trouve une mince bande de roches appartenant au Membre de L'Étang-du-Nord (grès, mudstones, conglomérats et calcaires). À l'instar des puits P-1 et P-4, on retrouve la Formation du Havre-aux-Maisons, constituée de brèches d'effondrement composées de mudstones, siltstones, grès, calcaires, gypse et roches volcano-clastiques, qui apparaît aux extrémités sud-est et sud-ouest de la figure 17.

La lithostratigraphie spécifique au forage P-2 est totalement inconnue alors que celle rattachée à P-3 apparaît dans le rapport LEQ (1993). À cet emplacement, l'épaisseur de sable et d'argile surmontant la formation de grès rouge est de 2,50 m et la profondeur de ce puits de 35,0 m. Comme à P-4, ce puits présente trois sections crépinées de 3,13 m de longueur dont les ouvertures sont de 1,524 mm de largeur (0,060 pouce) (rapport LEQ p. 4) séparées par deux sections de tubage en acier inoxydable de 2 m de longueur et positionnées dans la partie inférieure du captage.

En termes hydrogéologiques, les paramètres hydrodynamiques du captage P-2 sont inconnus alors que la transmissivité calculée en P-3 par LEQ (1993) est de $4,4 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ associée à un coefficient d'emmagasinement de $3,6 * 10^{-2}$. Pour ce captage, la productivité hydraulique est indéterminée alors que le débit sécuritaire a été fixé à 55 gimp (250 L/min).

Sous conditions statiques, la piézométrie à ces forages était méconnue empêchant ainsi de positionner la profondeur de l'interface eau douce / eau salée.

Aujourd'hui, les captages municipaux P-2 et P-3 sont exploités respectivement à des débits de 4,3 L/s (56 gimp) et de 10,2 L/s (135 gimp). LEQ (1993) précise que le puits P-2 fournissait à cette époque un débit total de 900 L/min (15 L/s) alors qu'une directive du Ministère de l'Environnement du Québec en limitait le débit d'exploitation d'un puits à 228 L/min (2,8 L/s).

Aucune délimitation de l'aire d'alimentation et des périmètres de protection ni évaluation de la vulnérabilité des ressources n'a eu lieu pour les captages P-2 et P-3 dans les études antérieures.

8 ESSAIS DE POMPAGE REALISES EN MAI 2003

8.1 MODALITES DE POMPAGE

Les essais de pompage aux quatre captages municipaux de l'île du Havre-aux-Maisons ont été réalisés du 13 au 16 mai 2003 avec observation sur les puits et piézomètres adjacents. Le calendrier des essais de pompage réalisés apparaît au tableau 10.

Puits	Date et heure de l'essai de pompage		Durée (min.)	Date et heure de fin remontée	Durée (min.)
	Début	Fin			
P-1	03-05-13 09:40	03-05-14 08:55	1395	03-05-15 08:55	1440
P-3	03-05-14 09:10	03-05-15 08:50	1420	03-05-16 08:50	1440
P-4	03-05-15 09:15	03-05-16 08:55	1420	03-05-17 08:55	1440
P-2	03-05-16 09:15	03-05-16 16:45	450	03-05-16 16:45	0

Tableau 10 : Calendrier des essais de pompage

Les captages municipaux sont équipés de compteurs volumétriques fonctionnels qui ont servi à :

- q déterminer le débit d'exploitation des puits avant la réalisation de l'essai de pompage;
- q comparer le débit d'exploitation avec le débit de balancement recommandé (voir tableau 20, rapport d'avancement no 1, mars 2003);
- q déterminer le débit appliqué lors des essais de pompage.

Les quatre captages municipaux de Havre-aux-Maisons ont été testés séparément. Chaque puits a été isolé de l'influence des puits voisins pendant une période minimale de 18 heures. Les essais de pompage ont été réalisés dans les conditions similaires à celles du régime d'exploitation, c'est-à-dire que les débits pompés lors des essais sont les mêmes que ceux pompés usuellement. Les valeurs de débit ont été directement mesurées à l'aide des débitmètres présents sur les conduites du réseau d'aqueduc. Dans le cas de P-1 cependant, le débit n'a pu être mesuré à l'aide de cet appareil et le calcul des paramètres hydrodynamiques (T et S) a été basé sur le débit recommandé. Les interprétations des essais de pompage ont également pris en compte cette lacune. Les conditions de pompage sont résumées au tableau 11.

Puits	Date	Puits coupés	Puits fonctionnels
P-1	13-mai-03	P-3 (865 m)	P-2 (553 m) P-4 (489 m)
P-3	14-mai-03	P-1 (865 m) P-4 (1299 m)	P-2 (314 m)
P-4	15-mai-03	P-1 (489 m)	P-2 (1001 m) P-3 (1299 m)
P-2	16-mai-03	P-1 (553 m)	P-3 (314 m) P-4 (1001 m)

Tableau 11 : Conditions de pompage dans le voisinage des puits testés

8.2 SYSTEME DE TELEMETRIE

Le système de télémétrie (Ohméga) était installé sur les quatre puits de Havre-aux-Maisons. Les investigations sur le terrain lors des essais de pompage ont permis de constater que le système était non calé (puits P-1, P-2 et P-3) ou non fonctionnel (puits P-4). La comparaison des valeurs mesurées sur le terrain avec la sonde et les valeurs collectées provenant du système Ohméga met en évidence une dérive. La figure 19 illustre la dérive instrumentale constatée sur le puits P-1.

Les mesures des niveaux d'eau du système Ohméga se font par le biais d'une sonde fonctionnant sur le principe d'un gradient de résistivité. L'évolution des écarts calculés entre les valeurs de la télémétrie et celles prises avec la sonde mettent en évidence deux sources d'erreur.

Tout d'abord, il existe un problème de niveau de base. En niveau statique (avant l'essai par pompage), il a été constaté un écart de niveau mesuré engendré par un niveau de référence erroné. Pour le cas de P-1, l'écart serait d'environ 2,2 m.

Ensuite, comme le montre la figure 19, l'écart n'est pas constant pendant le pompage. La dérive varie en effet de manière non linéaire, ce qui empêche toute correction sur les valeurs piézométriques obtenues par le système de télémétrie. Le gradient de résistivité ne varie pas proportionnellement avec la profondeur. C'est probablement aussi le cas pour les autres puits de Havre-aux-Maisons où l'on dispose des données de la télémétrie mais où aucune sonde n'a pu être introduite dans le puits. Un étalonnage et une remise au niveau de référence du système Ohméga est donc recommandé.

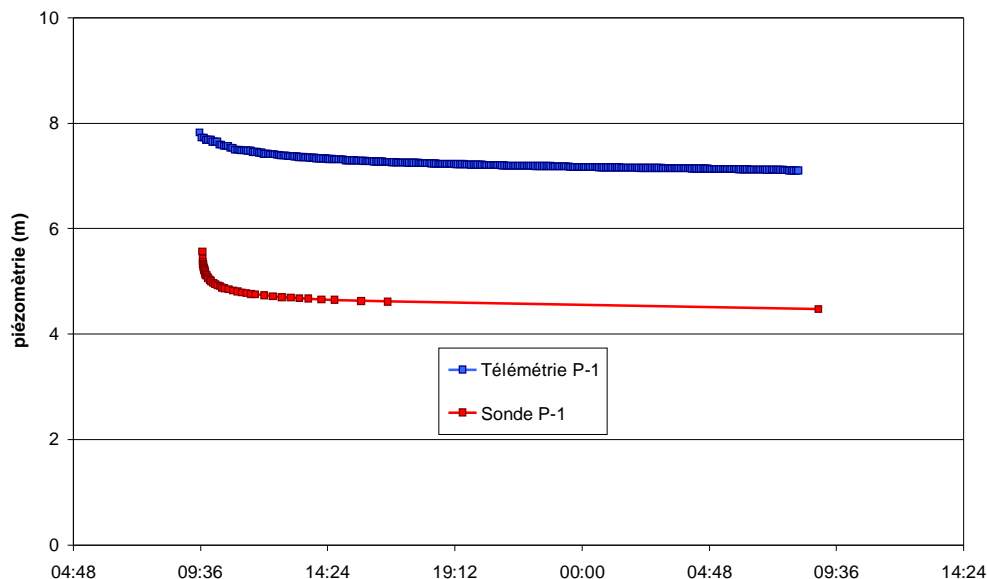


Figure 19 : Comparaison télémétrie-sonde pour le puits P-1

Compte tenu de la dérive instrumentale mentionnée ci-dessus, les valeurs des paramètres hydrodynamiques obtenues pour les remontées (suivies uniquement par télémétrie) n'ont donc pas été prises en considération autrement que de manière qualitative. Elles ont permis

seulement de confirmer et/ou de valider l'ordre de grandeur des paramètres hydrodynamiques calculés pendant les descentes de niveau d'eau dans les puits.

8.3 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Les figures 20 et 21 comparent, pour chacun des captages municipaux, les courbes de rabattement enregistrées lors des pompages réalisés au printemps 2003. Les valeurs interprétées des essais réalisés à Havre-aux-Maisons sont regroupées au tableau 12.

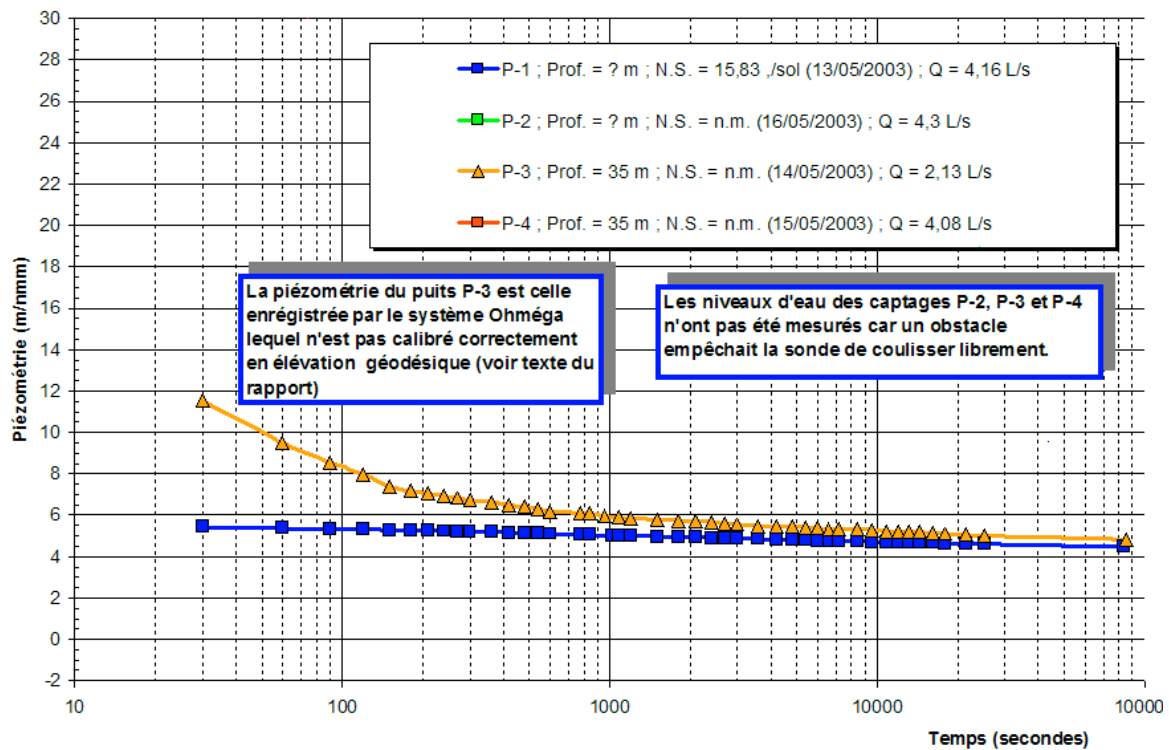


Figure 20 : Comparaison des courbes de rabattement dans les puits testés

Puits pompé	Puits de lecture	Élévation margelle (m/nm) (1)	Profondeur du puits (m)	Distance au puits pompé (m)	Débit mesuré (l/mln)	Débit recommandé (l/mln)	niveau statique (m/nm)	niveau dynamique (m/nm)	Rabattement (s = m)	Débit spécifique (Q/s = L/min/m)	T descente calculée (m ² /s)	S descente calculé (s.u.)	T remontée calculée à partir de la télémétrie non calée (m ² /s) (2)
P-1	P-1	21,40	??	0	??	250	5,57	4,48	1,09	-	2.3E-03	-	9.89E-04
	Pz-1	21,00	??	13	-	-	5,50	4,56	0,94	-	2.5F-03	1.4F-03	-
	Pz-autre	20,00 ?	??	104	-	-	5,49 ?	5,42 ?	??	-	2.5E-02	4.2E-03	-
P-2	P-2	22,40	??	0	258	255	n.m.	n.m.	n.c.	-	n.c.	n.c.	-
	Pz-1	22,50	??	13	-	-	5,31	5,05	0,26	-	2.6E-03	0,14	-
P-3	P-3	20,40	35,00	0	128	614	15,06 ?	4,83 ?	10,23 ?	12,5 ?	5.6E-04	-	1.05E-03
	Pz-1	18,70	??	29	-	-	4,82	4,60	0,22	-	6.5E-03	1.6E-03	-
P-4	P-4	19,30	36,30	0	215	211	n.m.	n.m.	n.c.	-	n.c.	n.c.	-
	Pz-1	18,40	??	33	-	-	5,42	4,96	0,46	-	7.5E-03	2.4E-06	-

(1) Référence : Arpenteur-géomètre Jean Boucher, février 2003

(2) Valeurs qualitatives

n.c. = non calculé
n.m. = non mesuré
?? = inconnu

Tableau 12 : Essais de pompage à l'Île du Havre-aux-Maisons

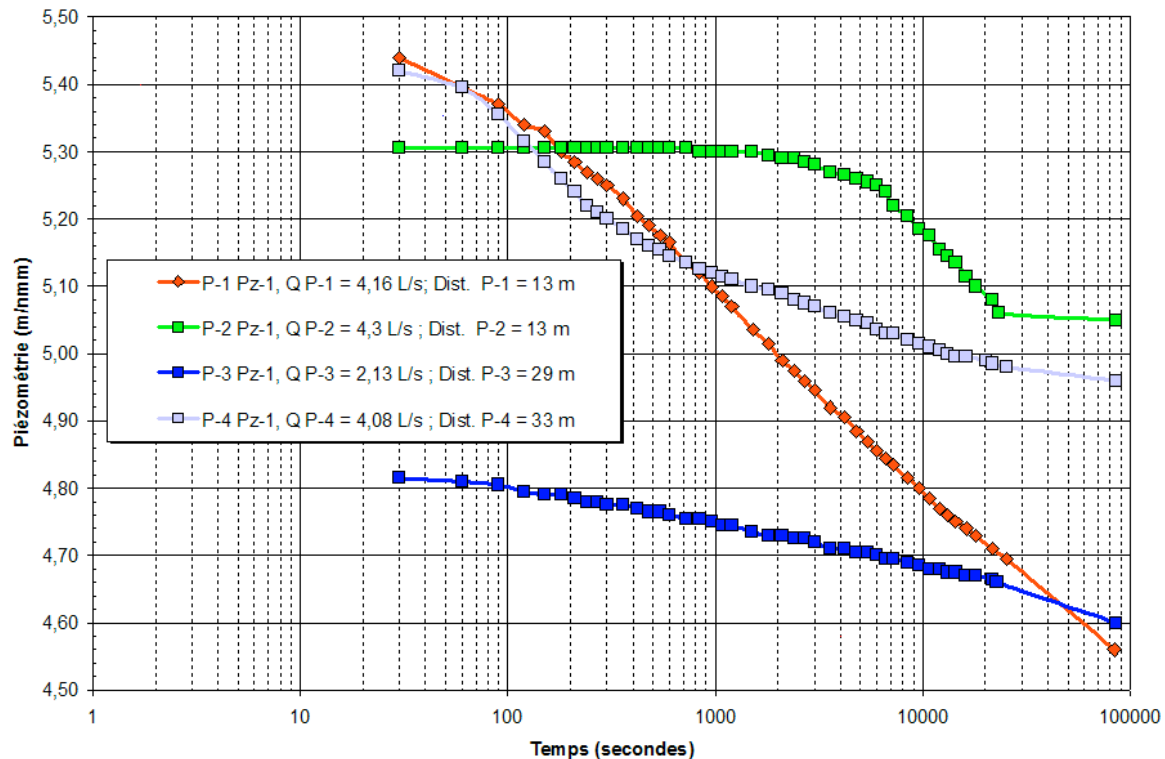


Figure 21 : Comparaison des courbes de rabattement dans les piézomètres

Du tableau 12 et des figures 17, 20 et 21, on constate que :

- q les profondeurs des puits P-1 et P-2 ne sont pas connues mais sont vraisemblablement de l'ordre de 60 à 70 m comme pour le piézomètre Pz-autre (13007042) et tous les anciens puits de l'archipel forés dans les années 1970;
- q les profondeurs des puits P-3 et P-4, qui sont des puits récents (1993), sont respectivement de 35 m et 36,30 m (rapport LEQ, p. 3);
- q les puits P-2 et P-4 sont exploités à un débit équivalent à celui recommandé;
- q le puits P-3 est exploité à un débit très inférieur à celui recommandé du fait d'un mauvais calibrage de la pompe pour ce captage (la pompe est tombée en panne au cours de l'hiver 2003 et a été remplacée provisoirement par une pompe deux fois moins puissante);
- q les niveaux d'eau statiques mesurés en mai 2003 varient entre 4,82 et 5,57 m/nmm (inconnu pour le puits P-3 du fait d'un problème de calibration sur le système Ohméga);
- q cette plage piézométrique, lorsque comparée à la figure 18 des fluctuations au piézomètre 13007042, indique que les niveaux d'eau sont comparables avec ceux mesurés lors du suivi effectué par le Ministère de l'Environnement entre 1973 et 1995;
- q la piézométrie des niveaux dynamiques, à l'exception de P-1 qui montre un niveau de 4,48 m/nmm, n'est pas connue dans les puits testés car l'introduction de toute sonde est impossible;
- q les essais de pompage en P-1 et P-2 fournissent pour la première fois une valeur de transmissivité sur ces ouvrages alors que les transmissivités interprétées en P-3 et P-4 sont comparables aux transmissivités obtenues précédemment par LEQ (1993);

- q les courbes de niveaux d'eau sous conditions de pompage ont montré des frontières tantôt positives (P-4), tantôt des changements de milieu (P-3 et P-4) et très souvent une absence de limite visible (P-1 et P-2) témoignant de l'hétérogénéité du milieu aquifère.

8.4 INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTS ESSAIS DE POMPAGE

Le tableau 13 récapitule les valeurs de transmissivité obtenues par le traitement des courbes de rabattement.

Puits pompé	Puits d'observation	1ere pente			2e pente			3e pente		
		intervalle de temps (s)	T (m2/s)	S (s.u.)	intervalle de temps (s)	T (m2/s)	S (s.u.)	intervalle de temps (s)	T (m2/s)	S (s.u.)
P-1	P-1	30 - 300	3.8E-03	-	300 - +	2.3E-03	-	-	-	-
	Pz-1	30 - 150	5.1E-03	8.1E-03	300 - +	2.5E-03	1.4E-03	-	-	-
	Pz-autre	-	-	-	2000 - +	2.5E-02	4.2E-03	-	-	-
P-2	Pz-1	-	-	-	2500 - 6000	9.0E-03	2.0E-01	6000 - +	2.6E-03	1.40E-01
P-3	P-3	30 - 150	6.3E-05	-	150 - 1000	2.0E-04	-	1000 - +	5.6E-04	-
	Pz-1	-	-	-	300 - +	6.5E-03	1.6E-03	-	-	-
P-4	Pz-1	80 - 400	2.5E-03	2.3E-04	400 - 15000	7.5E-03	2.4E-05	15000 - +	début de stabilisation	-

Tableau 13 : Paramètres hydrodynamiques à l'Île du Havre-aux-Maisons

8.4.1 Essai de pompage sur P-1

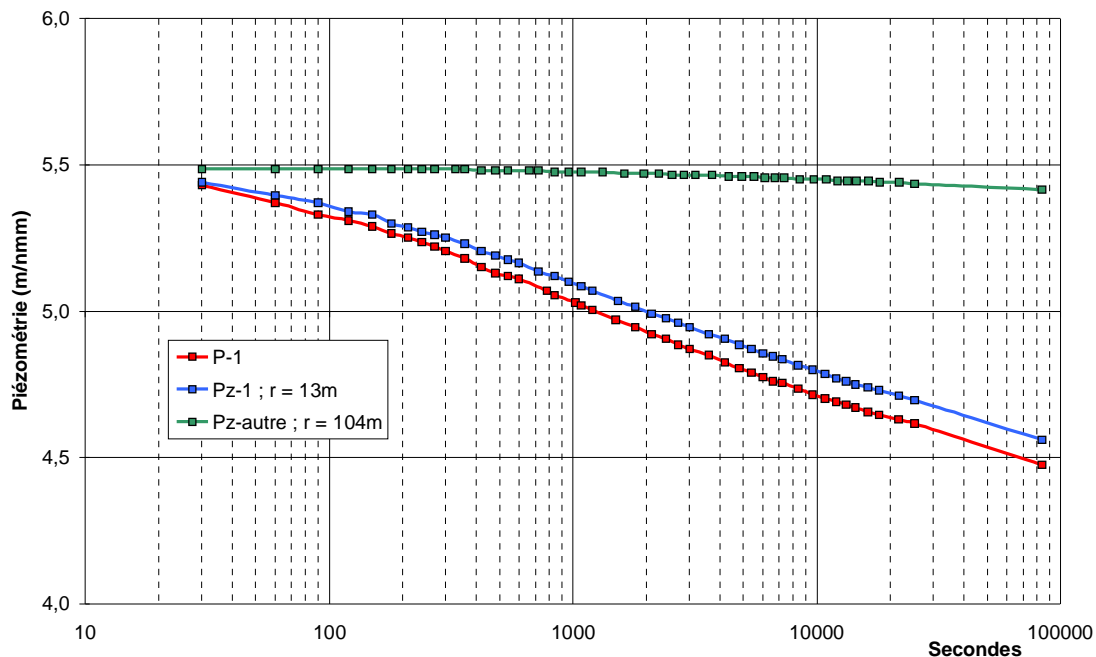


Figure 22 : Essai de pompage sur P-1

Le piézomètre indiqué Pz-Autre (13007042) a été volontairement exclu des interprétations dans la mesure où il est dans une position très éloignée du puits et à proximité d'un ruisseau dont l'infiltration peut influencer de façon trop importante la piézométrie.

Les rabattements observés sur P-1 et son piézomètre Pz-1 lors du pompage de P-1 montrent deux changements de pente dans le sens d'une diminution de transmissivité de $4,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s en moyenne dans les environs immédiats du puits à $2,4 \cdot 10^{-3}$ m²/s en moyenne pour une zone mobilisée par le pompage plus vaste (voir tableau 13 et figure 22).

Cette diminution de transmissivité peut s'expliquer par :

- q l'atteinte d'une limite étanche, vraisemblablement le socle mississippien (horst);
- q l'atteinte d'un secteur moins transmissif;
- q le débordement de la zone développée par le fonctionnement du puits.

Le calcul de la distance de la limite imperméable au puits donne une valeur de l'ordre de 20 m, ce qui permet d'exclure l'hypothèse de la présence du socle puisqu'il se situe, d'après la carte géologique (Brisebois, 1981), à plus de 300 m de P-1.

L'hypothèse du changement de milieu devient alors la plus plausible, d'autant plus que le contact entre le Membre de L'Étang-des-Caps (formation dans laquelle sont implantés les captages de Havre-aux-Maisons) et le Membre de L'Étang-du-Nord se situe à quelques dizaines de mètres tout au plus au sud du captage. On ne peut exclure non plus l'idée d'une zone développée plus transmissive dans les environs du pompage, d'autant plus que P-1 est un puits ancien, ce qui a pu permettre la décimentation poussée du grès autour de ce puits à la faveur des écoulements.

La transmissivité retenue dans ce cas est la transmissivité à long terme, de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Le coefficient d'emmagasinement calculé sur Pz-1, de l'ordre de 10^{-3} , est caractéristique d'une nappe semi-libre.

8.4.2 Essai de pompage sur P-2

Les rabattements n'ont pu être observés que sur le piézomètre adjacent. Ils s'amorcent très tardivement traduisant un fort coefficient d'emmagasinement et montrent deux pentes. La première correspond à une transmissivité de $9 \cdot 10^{-3}$ m²/s, la seconde à une valeur de $2,6 \cdot 10^{-3}$ m²/s (voir tableau 13 et figure 23).

Encore une fois, et comme pour P-1, trois hypothèses peuvent être évoquées :

- q l'atteinte d'une limite étanche, vraisemblablement le socle mississippien (horst);
- q l'atteinte d'un secteur moins transmissif;
- q le débordement de la zone développée par le fonctionnement du puits, plus transmissive que l'aquifère avoisinant.

Le calcul donne une distance à la limite étanche de moins de 15 m ce qui est incompatible avec les observations géologiques (carte de Brisebois, 1981, et observations de terrain), le socle mississippien se situant en effet à près de 800 m de P-2. L'hypothèse du changement lithologique est également à exclure puisque le contact Membre de L'Étang-du-Nord / Membre de L'Étang-des-Caps est localisé à environ 400 m de P-2.

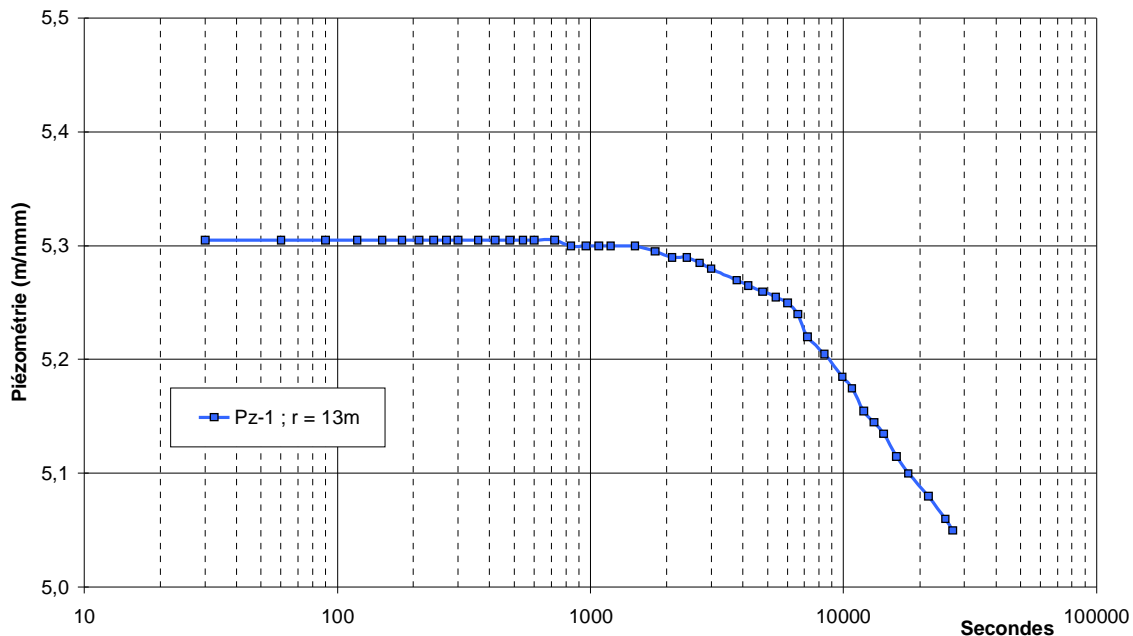


Figure 23 : Essai de pompage sur P-2

L'explication de ce comportement serait donc une zone plus transmissive dans les environs immédiats du puits, correspondant au développement de l'aquifère par le fonctionnement du pompage. Cette interprétation est d'autant plus pertinente que ce captage date des années 1970 et que le milieu a donc eu le temps de se modifier sous l'effet des écoulements. La transmissivité du réservoir serait donc la valeur à long terme de $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le coefficient d'emmagasinement calculé est exceptionnellement élevé, de l'ordre de 0,2 ce qui traduit incontestablement une nappe libre avec une forte porosité totale.

8.4.3 Essai de pompage sur P-3

Le suivi des rabattements dus au pompage de P-3 a été réalisé sur le puits lui-même et son piézomètre par relevé des données de la télémétrie. On n'a considéré dans l'interprétation des données de pompage que celles acquises à la sonde (sur Pz-1), le système de télémétrie générant classiquement des données erronées.

L'évolution des rabattements sur le piézomètre montre une pente traduisant une transmissivité de $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Aucune limite n'est clairement mise en évidence par ce pompage d'essai. Toutefois le dernier point de l'essai (à $t=1420$ minutes) semble amorcer une augmentation des rabattements peut-être due à l'atteinte du socle ou d'une formation moins transmissive. Le calcul des limites donne des valeurs comprises entre 200 et 450 m, ce qui paraît cohérent compte tenu du contexte géologique (affleurement des roches de L'Étang-du-Nord puis du socle mississippien au sud du captage).

On retiendra la valeur de transmissivité de $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ comme valeur de l'aquifère dans le secteur de P-3. Le coefficient d'emmagasinement de $1,6 \cdot 10^{-3}$ traduit une nappe semi-libre.

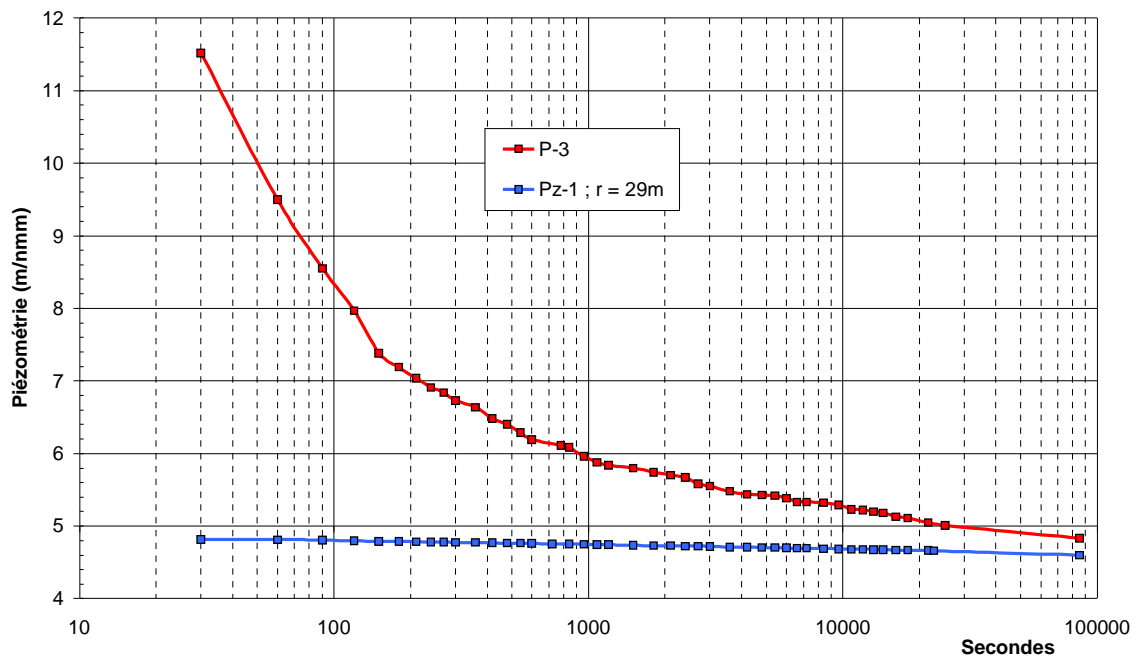


Figure 24 : Essai de pompage sur P-3

8.4.4 Essai de pompage sur P-4

Le suivi des rabattements sur le piézomètre Pz-1 du puits P-4 montre un changement de pente traduisant une augmentation de transmissivité, de $2,5 \cdot 10^{-3}$ à $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Cette nette augmentation peut s'expliquer soit par une transition lithologique avec atteinte d'une formation plus transmissive, soit par le débordement d'une zone colmatée dans les environs du pompage. La première hypothèse étant incompatible avec le contexte hydrogéologique, c'est la deuxième qui est retenue. La transmissivité caractéristique du réservoir gréseux serait donc de $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Une tendance à la stabilisation se manifeste au-delà de 15 000 secondes de pompage. Le calcul donne une distance à cette limite d'environ 2 km, qui est dans l'ordre de grandeur de la distance du puits à la mer (environ 1 km).

Les coefficients d'emmagasinement de l'ordre de 10^{-4} – 10^{-5} traduisent une nappe semi-captive à captive.

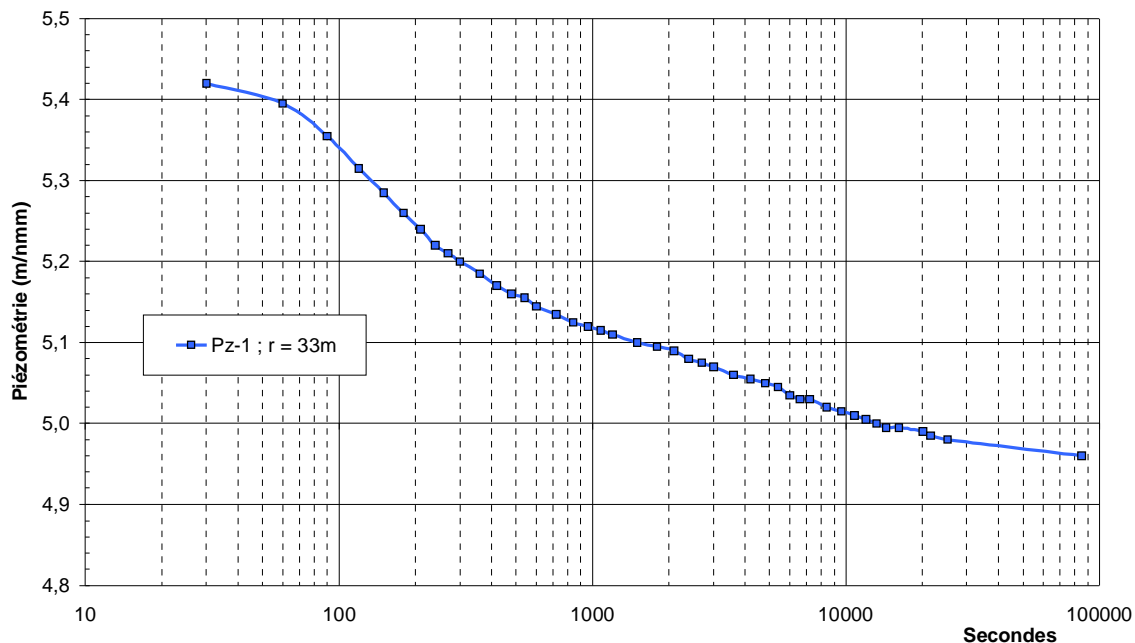


Figure 25 : Essai de pompage sur P-4

8.5 CONCLUSIONS PARTIELLES CONCERNANT LES ESSAIS DE POMPAGE

L'analyse et l'exploitation des courbes de rabattement ont permis d'extraire un certain nombre d'informations sur les caractéristiques hydrodynamiques et la structure hydrogéologique de l'aquifère gréseux dans les environs du champ captant de Havre-aux-Maisons.

- q Tous les essais de pompage montrent des variations de transmissivité traduisant des changements dans les caractéristiques spatiales du réservoir aquifère. En particulier, les puits P-1 et P-3 révèlent le contact géologique situé au sud du champ captant, séparant le Membre de L'Étang-des-Caps, dans lequel sont implantés les puits, et celui de L'Étang-du-Nord moins transmissif. La présence du socle mississippien adjacent à ce dernier peut être évoquée pour expliquer le comportement observé dans le secteur de P-3. Le cas de P-4, implanté le plus proche de la lagune, révèle, quand à lui, l'influence de celle-ci comme limite d'alimentation. La majorité des puits de Havre-aux-Maisons montre par ailleurs un milieu plus développé dans l'environnement immédiat des puits pouvant résulter de la décimentation des grès sous l'effet des écoulements (P-1 et P-2, puits les plus anciens). Dans le cas du P-4 (puits récent), un colmatage ou une crépine inadéquate pourraient être évoqués.
- q Les transmissivités calculées dans le secteur du champ captant de Havre-aux-Maisons sont cohérentes entre elles et de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} m²/s (comprises entre $2,3 \cdot 10^{-3}$ et $7,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s).
- q Les coefficients d'emmagasinement sont très variables, avec des valeurs de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-5} , révélant une forte hétérogénéité des formations de recouvrement de l'aquifère qui confère à la nappe des propriétés variant de libre (P-2) à captive (P-4).

9 EVALUATION DE LA PROTECTION DES CAPTAGES

Différentes activités ont été réalisées relativement à l'évaluation de la protection des captages :

- q délimitation des périmètres d'intervention (ParaPol);
- q évaluation de la vulnérabilité selon l'indice DRASTIC;
- q inventaire des activités à risques.

Les méthodologies mises en œuvre pour la réalisation de ces activités sont décrites dans la section méthodologique de ce rapport final (voir document 1).

9.1 DELIMITATION DES PERIMETRES D'INTERVENTION (PARAPOL)

Les sources potentielles de contamination des captages doivent être inventoriées dans le voisinage des puits de pompage. Préalablement à l'inventaire des activités à risques, des périmètres d'intervention ont donc été délimités à l'aide du logiciel ParaPol, selon la méthodologie décrite dans la section méthodologique de ce rapport final.

L'ensemble des données nécessaires à l'application du logiciel ParaPol, ainsi que les aires géographiques ainsi délimitées sont présentées dans le document 1 du rapport final (section méthodologique). Une fois ces périmètres déterminés, il est possible d'évaluer la vulnérabilité des ressources autour des puits de pompage et d'inventorier les activités à risques susceptibles de contaminer l'eau souterraine.

9.2 VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES AUTOUR DES CAPTAGES MUNICIPAUX

Le 3^e paragraphe de l'article 25 du Règlement sur le captage des eaux souterraines oblige « l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines dans les aires définies au paragraphe 2^e (soit les aires de protection bactériologique (200 jours) et virologique (550 jours)) par l'application de la méthode DRASTIC ; »

De plus, le 2^e alinéa de l'article 26 interdit « l'épandage de déjections animales, de compost de ferme ou de matières résiduelles fertilisantes, sauf les matières résiduelles fertilisantes conformes à la norme CAN/BNQ 0413-200 , CAN/BNQ 0413-400 ou NQ 0419-090 dans l'aire de protection bactériologique d'un lieu de captage d'eau souterraine lorsque celle-ci est réputée vulnérable ou lorsque l'indice DRASTIC de vulnérabilité est supérieur à 100 sur une quelconque portion de cette aire. »

Quant au 3^e alinéa, il interdit « l'épandage de boues provenant d'ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées ou de tout autre système de traitement ou d'accumulation d'eaux usées sanitaires, ou de matières contenant de telles boues dans l'aire de protection virologique d'un lieu de captage d'eau souterraine lorsque celle-ci est réputée vulnérable ou lorsque l'indice DRASTIC de vulnérabilité est égal ou supérieur à 100 sur une portion quelconque de cette aire. Cette interdiction d'épandage n'est toutefois pas applicable aux boues ou matières en contenant qui sont certifiées conformes à la norme CAN/BNQ 0413-200 ou CAN/BNQW 0413-400 ».

Dans le secteur des puits de Havre-aux-Maisons, les aires d'alimentation recoupent les quatre unités géologiques reconnues aux Îles-de-la-Madeleine. Du nord vers le sud, elles

correspondent successivement à la Formation de Cap-aux-Meules, Membre de L'Étang-des-Caps (unité 3b) dans laquelle sont aménagés les puits P-1, P-2, P-3 et P-4, la Formation de Cap-aux-Meules, Membre de L'Étang-du-Nord (unité 3a), la Formation de Cap-au-Diable (unité 2a) et la Formation de Havre-aux-Maisons (unité 1).

Le tableau 14 regroupe par captage municipal le calcul des indices DRASTIC.

Captages	Formation/Membre géologique	Recouverte par	Général	Remarques
P-1	Formation de Cap-aux-Meules/Membre de l'Étang-des-Caps	Unité pédologique de Lavernière	122	
P-2		Unité pédologique de Gros-Cap	127	
P-3			136	
P-4		Unité pédologique de Coffin	131	
Aucun	Formation de Cap-aux-Meules/Membre de l'Étang-des-Caps	Sable limoneux	117	Estimation effectuée à partir d'hypothèse et en l'absence de forage
Aucun	Formation de Cap-au-Diable		78	
Aucun	Formation de Havre-aux-Maisons		90	

Membre/Formation

Description

Formation du Cap-aux-Meules/Membre de l'Étang-des-Caps	Grès(quartzitiques) et silstones à laminations obliques géantes
Formation du Cap-aux-Meules/Membre de l'Étang-du-Nord	Grès, silstones, mudstones, conglomérats et calcaires
Havre-aux-Maisons	Brèches d'effondrement, judstones, silstones, grès, calcaires, dolomites, gypse, anhydrite, basaltes, roches volcaniques
Cap-aux-Diable	Basaltes, roches pyroclastiques, calcaire cristallin

Unité pédologique

Description

Lavernière	Sable limoneux développé au dépens de matériau glacio-marin
Gros-Cap	Sable limoneux développé au dépens de matériau résiduel
Coffin	Sable développé au dépens de matériau résiduel

Tableau 14 : Indices DRASTIC pour l'Île du Havre-aux-Maisons

L'indice de vulnérabilité DRASTIC a été déterminé pour l'unité 3b (Membre de L'Étang-des-Caps) et ce, à partir des informations obtenues pour chacun des captages aménagés dans cette unité. Une valeur moyenne de 129 pour l'indice DRASTIC (indice variant entre 122 et 136) a été obtenue pour le secteur des puits de Havre-aux-Maisons terminés dans cette formation. La valeur la plus élevée est obtenue au site de P-3 localisée à proximité de la piste de course équestre.

Tel que mentionné précédemment, aucun ouvrage de captage alimentant l'île de Havre-aux-Maisons n'est aménagé dans l'unité 3a (Membre de L'Étang-du-Nord). Pour l'évaluation des paramètres de l'indice DRASTIC associé à cette unité géologique, nous nous sommes référés aux informations obtenues des indices associés aux puits P-6 et PU-5 à l'Étang-du-Nord qui sont les seuls à avoir été aménagés dans cette formation géologique tout en considérant

l'environnement immédiat de cette unité que recoupe l'aire d'alimentation notamment en ce qui concerne la topographie. C'est ainsi qu'un indice DRASTIC moyen de 117 a été associé à cette unité géologique.

En raison du caractère peu productif de l'unité 2a (Formation du Cap-au-Diable), il n'y a pas eu à toutes fins pratiques de recherche hydrogéologique dans cette unité. Il existe donc très peu d'informations permettant d'évaluer l'indice DRASTIC. La seule information qui semble s'apparenter à cette unité apparaît sur la carte de Sylvestre (1985) où une valeur de transmissivité de $5,2 \cdot 10^{-4}$ m²/s a été déterminée sur un forage de 13,8 m de profondeur réalisé à L'Étang-du-Nord. Certaines hypothèses de base ont été formulées tenant compte de la réalité de terrain, notamment en ce qui concerne la profondeur à la nappe, la recharge annuelle et l'impact de la zone vadose. Une valeur de 78 est ainsi attribuée à cette unité géologique

Contrairement aux unités précédentes, il n'existe aucune information à caractère hydrogéologique concernant unité 1 (Formation de Havre-aux-Maisons). Ainsi, des hypothèses doivent être formulées en ce qui concerne la conductivité hydraulique, la profondeur à la nappe, la recharge annuelle et l'impact de la zone vadose. En tenant compte de ces valeurs, une cote de 90 est attribuée à cette unité géologique.

9.3 INVENTAIRE DES SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATION

Les sources potentielles de contamination des captages ont été inventoriées selon une codification et une hiérarchisation précises, au voisinage immédiat des puits de pompage, dans les aires délimitées à l'aide du logiciel ParaPol.

Les sources potentielles de contamination ont été classées par thème à partir des observations faites sur le terrain. Une hiérarchisation a également été réalisée selon le risque que pouvaient représenter la source contaminante vis-à-vis de la consommation humaine et de l'environnement. L'ensemble des activités à risques ont été intégrées dans le SIG de la municipalité. Certaines figures de la section relative aux périmètres de protection déterminés à l'aide du logiciel ModFlow présenteront également les sources de contamination ainsi inventoriées.

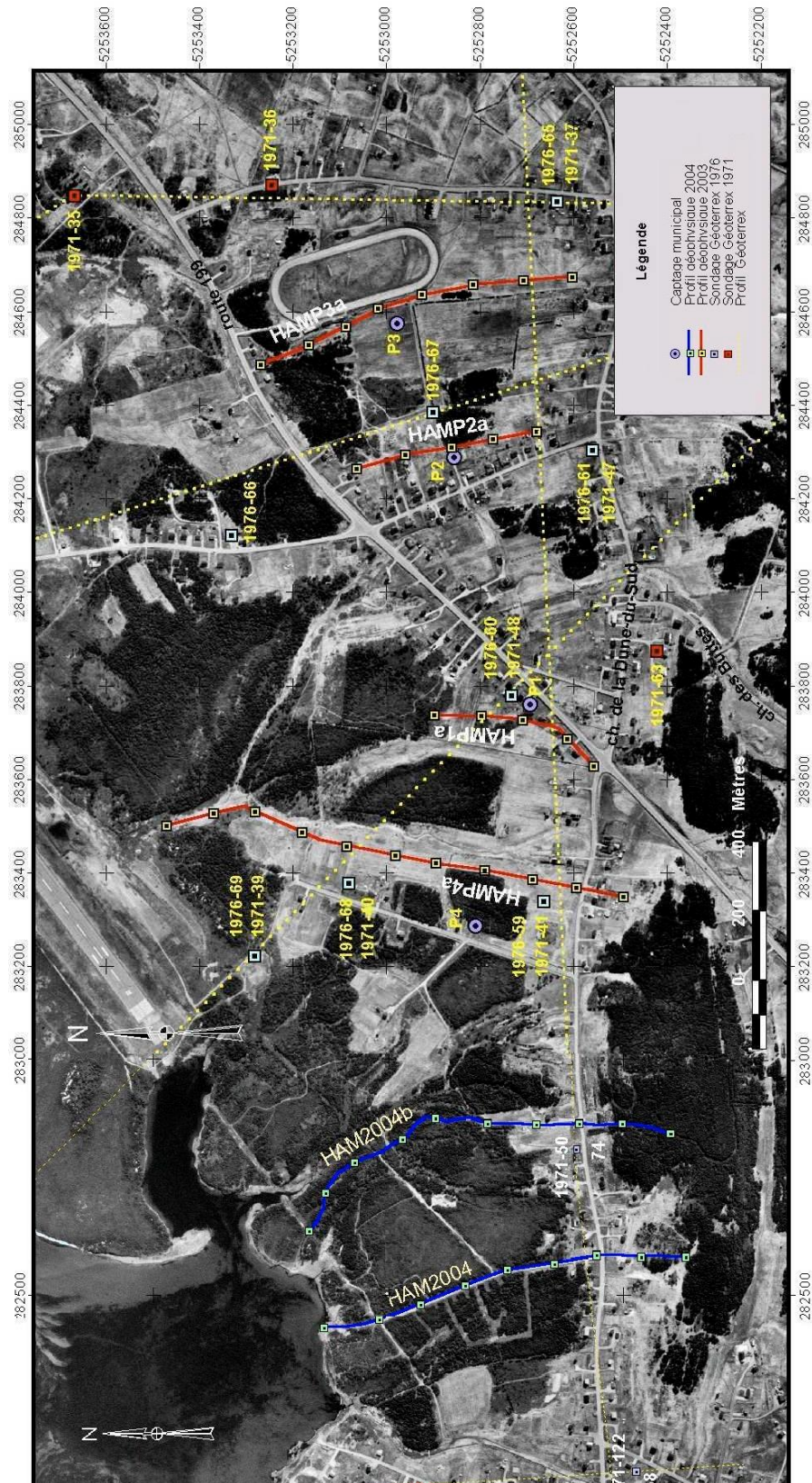


Figure 26 : Levés géophysiques sur l'île du Havre-aux-Maisons

10 INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES

Le Groupe Madelin'Eau a mis en œuvre une méthode de prospection dénommée tomographie de résistivité électrique (ERT). La méthode (définition et principes) et la technique déployée sur le terrain sont décrites à la section méthodologique de ce présent rapport final (voir document 1).

La figure 26 présente le tracé des levés géophysiques réalisés (lignes rouges) en 2003 ainsi que l'emplacement des sondages électriques précédemment réalisés par Géoterrex (1971 et 1976). Les quatre sections géophysiques sont orientées nord-sud. La figure 27 présente l'ensemble des profils géophysiques réalisés en 2003 et 2004.

10.1 RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATION

10.1.1 Profil P-3

Le profil représenté au bas de la figure 27 illustre le levé géophysique effectué au voisinage du captage P-3, suivant une direction nord-sud. Il longe la piste hippique et se situe en totalité sur le plateau de grès éoliens, entre les deux profils QR (1976) et R (1971) de Géoterrex. Leur profil S est perpendiculaire et passe à quelques mètres au sud du nôtre.

On y distingue la superposition de deux horizons :

- un horizon superficiel résistant et discontinu qui s'étend de 0 à 15 m de profondeur environ avec des résistivités comprises entre 100 et 500 ohm.m caractérisant la zone non saturée,
- un horizon relativement profond et homogène, de résistivités comprises entre 40 et 100 ohm.m et correspondant aux grès saturés d'eau douce ; la transition entre cet horizon et le niveau supérieur se situe entre 10 et 15 m de profondeur, position confirmée par les relevés des niveaux statiques dans les puits au cours de la campagne d'essais de pompage (mai 2003);

On observe en surface, entre les points 200 et 290 m, un amincissement important de la zone non saturée, correspondant à une zone humide constituant un réservoir superficiel et permettant une infiltration d'eau vers la nappe.

Dans la partie sud du profil, entre les points 0 et 200 m, c'est-à-dire du côté intérieur de l'île, les résistivités obtenues, comparables à celles des niveaux inférieurs de la zone non saturée (environ 120 ohm.m), traduisent vraisemblablement la présence d'un compartiment effondré du socle mississippien surmonté de sa couverture de grès indurés du Membre de L'Étang-du-Nord. D'après la carte de Brisebois (1981), les premiers affleurent à environ 300 m au nord du profil, les seconds à une centaine de mètres. Sur son profil S, Geoterrex (1976) identifie le socle résistant (140 ohm.m) à environ 200 m de profondeur dans ce même secteur.

Le réservoir aquifère, à la hauteur du captage P-3, est naturellement vulnérable aux intrusions d'eau salée. Aucune barrière géologique imperméable n'étant observable en direction de la mer, une intrusion saline, à moyen ou long terme, demeure donc un risque réel.

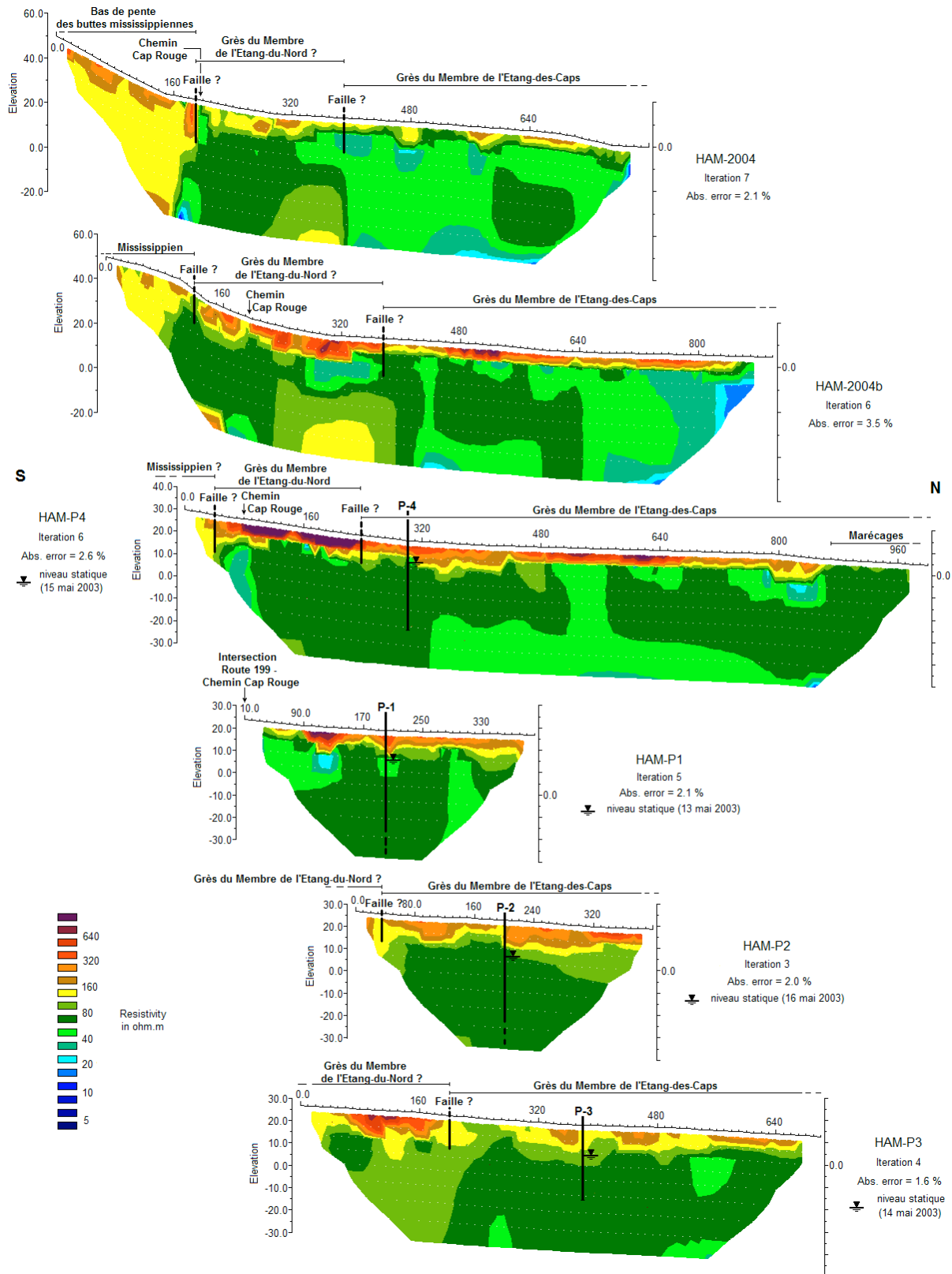


Figure 27 : Profils géophysiques réalisés sur l'île du Havre-aux-Maisons

Un respect du débit recommandé est donc préconisé avec, en mesure complémentaire, un suivi de la conductivité électrique de l'eau. Précisons toutefois qu'en été 2003 le puits était équipé d'une pompe de remplacement provisoire deux fois moins puissante que l'ancienne pompe et fonctionnait à un débit bien inférieur au débit recommandé. Ces préconisations s'appliquent évidemment à la nouvelle pompe qui sera définitivement installée.

10.1.2 Profil P-2

Le profil, d'orientation nord-sud, passant à proximité du captage P-2 est réalisé en totalité sur le plateau de grès rouge. La partie sud du profil QR de Géoterrex (1976) coïncide assez bien avec le tracé de ce levé. Leur profil S (1971 et 1976) lui est perpendiculaire et passe à quelques mètres au sud. Comme pour P-3, on distingue la superposition de deux horizons :

- un horizon résistant et continu en surface, correspondant à la zone non saturée, qui s'étend de 0 à 20 m de profondeur et présente des résistivités comprises entre 80 et 400 ohm.m environ;
- un horizon profond plus conducteur (résistivités comprises entre 40 et 80 ohm.m) et relativement homogène traduisant la zone saturée en eau douce ; la position de la surface libre est confirmée par les relevés des niveaux statiques dans les puits au cours de la campagne d'essais de pompage (mai 2003).

Dans le secteur sud, apparaît une anomalie résistante qui peut s'interpréter, comme pour le profil en P-1, par la présence des grès du Membre de L'Étang-du-Nord, qui affleurent par ailleurs à 250 m environ au sud du captage P-2. Cette anomalie disparaît vers le nord. Les investigations de Geoterrex (1976) précisaient quant à elles le socle résistant (140 ohm.m) à environ 200 m de profondeur. Le contact avec les grès aquifères du Membre de L'Étang-du-Nord ne constitue pas une barrière imperméable.

Ainsi, l'aquifère ne semble pas montrer d'indices de remontées salines. La nappe présente des résistivités typiques d'une eau douce. Le réservoir aquifère présente toutefois une vulnérabilité naturelle aux intrusions salines dans la mesure où aucune barrière géologique imperméable n'est visible, ni en profondeur, ni au nord dans la direction du littoral. Le suivi des conductivités ainsi que le respect des débits recommandés sont encore une fois à préconiser pour prévenir toute intrusion.

10.1.3 Profil P-1

Le profil géophysique nord-sud réalisé dans le voisinage du captage P-1 débute au croisement entre la route 199 et le chemin du Cap- Rouge au sud et descend vers le nord en direction de l'aéroport. Il est réalisé en totalité sur le plateau de grès rouge. La partie sud du profil Q de Géoterrex (1971 et 1976), bien que de direction un peu différente, coïncide assez bien avec notre profil. Le profil S de Géoterrex (1971 et 1976) est perpendiculaire à notre profil et le recoupe en son milieu. On distingue deux grands ensembles sur le profil :

- un horizon superficiel relativement résistant et continu, qui s'étend de 0 à 10 m environ de profondeur, de résistivités supérieures à 80 ohm.m et correspondant à la zone non saturée;

- q un horizon profond de résistivités comprises entre 30 et 80 ohm.m, commençant à 10 m de profondeur environ et traduisant l'aquifère saturé d'eau douce dont la surface libre est confirmée par les relevés des niveaux statiques dans les puits au cours de la campagne d'essais de pompage (mai 2003).

Un certain nombre d'anomalies sont également visibles. Dans la partie sud du profil s'observent les plus faibles résistivités de la zone noyée, inférieures à 40 ohm.m. Ces faibles valeurs, obtenues durant le passage dans des jardins privés jouxtant la route 199, restent malgré tout plus élevées que celles d'un aquifère saturé d'eau saumâtre. Elles peuvent être dues à une contamination par des eaux minéralisées de surface (eaux usées, rejet de champs d'épuration, infiltration d'eau chargées en sels de déglacage, etc.). Une perturbation du signal électrique due au passage de conduites le long de la route n'est pas non plus à exclure et pourrait expliquer la présence de cette anomalie diffuse.

À la profondeur maximale d'investigation, soit au-delà de 55 m, apparaît un niveau plus résistant qui peut indiquer la présence des grès indurés du Membre de L'Étang-du-Nord, qui affleurent à quelques dizaines de mètres de l'extrémité nord du profil. La signature du socle sur ce profil est cependant questionnable, d'autant plus que Géoterrex l'avait noté à environ 200 m sous cette zone.

Dans le secteur prospecté, l'aquifère ne montre pas d'indice de remontées salines. Il présente toutefois une vulnérabilité naturelle à des intrusions dans la mesure où aucune barrière géologique imperméable n'est visible, ni en profondeur, ni au nord dans la direction du littoral. Un suivi des conductivités ainsi qu'un respect du débit recommandé reste bien sûr une mesure efficace pour réduire au maximum les risques de contamination.

10.1.4 Profil P-4

Le profil géophysique, d'orientation nord-sud, réalisé au voisinage du puits P-4, débute quelques mètres au sud du chemin du Cap-Rouge, au pied des buttes, et se termine à 100 m environ avant la piste d'atterrissage de l'aéroport. Il est toujours situé sur le plateau gréseux. Le profil Q de Géoterrex (1971 et 1976) recoupe ce profil avec un angle d'environ 45 degrés. Également, le profil S le recoupe perpendiculairement non loin du chemin du Cap-Rouge.

De manière générale on distingue ici aussi deux horizons :

- q un horizon résistant et continu en surface, qui s'étend de 0 à 10-15 m de profondeur avec des résistivités entre 80 et 600 ohm.m environ et traduisant la zone non saturée;
- q un horizon plus conducteur et relativement homogène au delà de 10-15 m de profondeur, correspondant à l'aquifère saturé d'eau douce dont les résistivités sont comprises entre 20 et 80 ohm.m et diminuant en profondeur; la position de la surface de la nappe est confirmée par les relevés des niveaux statiques au cours des essais de pompage de mai 2003.

On observe également un certain nombre d'anomalies. En surface et dans la partie nord de la section (entre les points 860 et 1000 m), les résistivités diminuent fortement pour devenir comparables à celles des grès saturés en eau douce. Cette zone, d'altitude proche du zéro

marin, correspond à des marécages où la nappe affleure, en contact avec la lagune du Havre-aux-Maisons. La zone non saturée est ici absente.

Dans le coin nord du profil et vers 40 m de profondeur, se dessine une zone d'eaux conductrices. Les valeurs de résistivité de ce niveau, de l'ordre de 30 ohm.m, traduisent la présence proche de la zone de transition eau douce / eau salée (eau saumâtre), à l'approche de la lagune située à quelques centaines de mètres au nord du profil.

De petites anomalies conductrices sont également visibles en surface de la nappe, sous le chemin du Cap-Rouge, sous les points 160, 530, 640 et 770 m. Les valeurs de résistivités sont de l'ordre de 20 à 35 ohm.m, donc légèrement supérieures à de l'eau saumâtre. Ces anomalies traduisent vraisemblablement une contamination de surface d'origine anthropique. Ceci est particulièrement flagrant au niveau de la route où peuvent se produire des infiltrations d'eau chargée en sels de déglacage ou des rejets de champs d'épuration. Les autres anomalies observables plus au nord, sont beaucoup moins contrastées et peuvent correspondre à la dérive des précédentes anomalies à la faveur de l'écoulement naturel de la nappe.

L'aquifère de grès rouges éoliens est naturellement vulnérable aux intrusions d'eau salée, dans la mesure où il n'existe pas de barrière en profondeur susceptible de les bloquer. Les conductivités sont en effet croissantes en profondeur sur presque tout l'aquifère. Seule sa bordure sud, plus proche du horst, semble protégée par le compartiment enfoui en profondeur. Le dôme observable sous le secteur 500-600 pourrait bien correspondre à un début d'intrusion saline liée au puits P-4 situé en amont. Une remontée de l'interface eau douce / eau salée semble donc un risque réel à court ou moyen terme. Le suivi des conductivités électriques ainsi que le respect du débit recommandé sont évidemment préconisés pour prévenir au maximum ces intrusions salines.

10.1.5 Profils réalisés en 2004

Deux profils géophysiques ont été réalisés en automne 2004 afin de préciser la géométrie de l'aquifère et les vitesses d'écoulement naturel des eaux souterraines grâce à la méthode de traçage géophysique mise en œuvre dans ce projet. De façon globale, ces deux profils (présentés en haut de la figure 27) confirment :

- q l' horizon résistant et continu en surface, qui s'étend de 0 à 10-15 m de profondeur avec des résistivités entre 80 et 600 ohm.m environ et traduisant la zone non saturée;
- q l' horizon plus conducteur et relativement homogène au delà de 10-15 m de profondeur, correspondant à l'aquifère saturé d'eau douce dont les résistivités sont comprises entre 20 et 80 ohm.m et diminuant en profondeur;
- q la présence, au sud de ces profils, des grès du Membre de L'Étang-du-Nord marqués par des résistivités nettement plus élevées, traduisant la plus faible porosité de cette formation;
- q la présence du biseau salé au nord des profils, indiquant des résistivités tendant vers celles de l'eau de mer;

- q quelques anomalies conductrices traduisant vraisemblablement une contamination de surface d'origine anthropique (infiltrations d'eau chargée en sels de déglacage ou rejets de champs d'épuration);
- q un dôme conducteur assez marqué dans le tiers nord des profils, pouvant indiquer une remontée du biseau salée en relation avec le pompage en P4.

10.2 CONCLUSIONS PARTIELLES CONCERNANT LA GEOPHYSIQUE

Les levés géophysiques ont permis de mettre en évidence certaines caractéristiques hydrogéologiques, structurales et environnementales sur l'aquifère gréseux du champ captant du Havre-aux-Maisons.

- q Le réservoir aquifère présente des limites de deux types : en bordure sud de l'aquifère, le socle mississippien constitue une limite quasi imperméable. Le levé géophysique a parfois permis d'observer son extension en profondeur, avec une structure de demi horst en marches d'escalier. Parfois, seule la présence des grès indurés du Membre de L'Étang-du-Nord a été détectée. En bordure nord, la lagune du Havre-aux-Maisons se raccorde à la surface piézométrique au niveau des étangs et marécages côtiers.
- q La nappe (et son aquifère) montre une relative homogénéité spatiale de ses caractéristiques électriques. Celles-ci se répartissent en effet sur une gamme assez serrée dont les valeurs témoignent en outre d'une faible minéralisation de l'eau.
- q Au-delà de la bande protégée par la présence du socle sous-jacent, dans les secteurs où sont implantés les puits, la nappe montre un gradient croissant de minéralisation avec la profondeur indiquant une certaine vulnérabilité de la ressource aux remontées et intrusions salines, et ce d'autant plus importantes qu'on se rapproche de la mer.
- q Un léger cône de remontée de l'interface eau douce / eau salée est visible, mais seulement sur les profils réalisés autour de P4. Le respect des débits recommandés pour les puits de Havre-aux-Maisons a très vraisemblablement joué un rôle important dans le maintien de l'équilibre de la ressource.
- q Les profils révèlent une rareté des milieux humides de surface alimentant la nappe. Sa recharge s'effectue donc essentiellement et directement par l'infiltration des eaux de pluie.
- q Des contaminations de surface d'origine anthropique ont été détectées dans les secteurs proches des chemins du Cap-Rouge et de la route 199 (profils P-1, P-4 et 2004), traduisant vraisemblablement l'infiltration d'eaux chargées en sels déglacants et minéraux divers et/ou la présence de rejets en sortie de systèmes d'assainissement individuels domestiques.
- q Par ailleurs, une certaine dérive naturelle de ces anomalies conductrices en direction de la mer s'observe sur le long des profils. Ce phénomène, qui constitue un traçage naturel de l'écoulement de la nappe, a permis de calculer la porosité cinématique de l'aquifère à 1 %.

11 MODELISATION HYDROGEOLOGIQUE

11.1 SIMULATION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS (MODFLOW)

La mise en œuvre du logiciel de modélisation MODFLOW, appliqué au contexte hydrogéologique des Îles-de-la-Madeleine, a permis de simuler le fonctionnement de la nappe phréatique pour l'Île Centrale, l'Île du Havre-aux-Maisons, l'Île du Havre-Aubert et l'île de La Grande-Entrée.

11.1.1 Carte piézométrique de l'Île de Havre-aux-Maisons

La figure 28 présente la carte piézométrique de l'Île du Havre-aux-Maisons simulée pour un régime permanent. Les niveaux d'eau générés ont été calibrés sur les niveaux statiques printaniers des puits et piézomètres de l'Île (voir détails méthodologiques du calage dans la section méthodologique – Document No 1). Précisons que nos seuls points de mesure (puits et piézomètres) sont localisés au centre nord de l'île, entre les secteurs Le Pré et Dune-du-Sud.

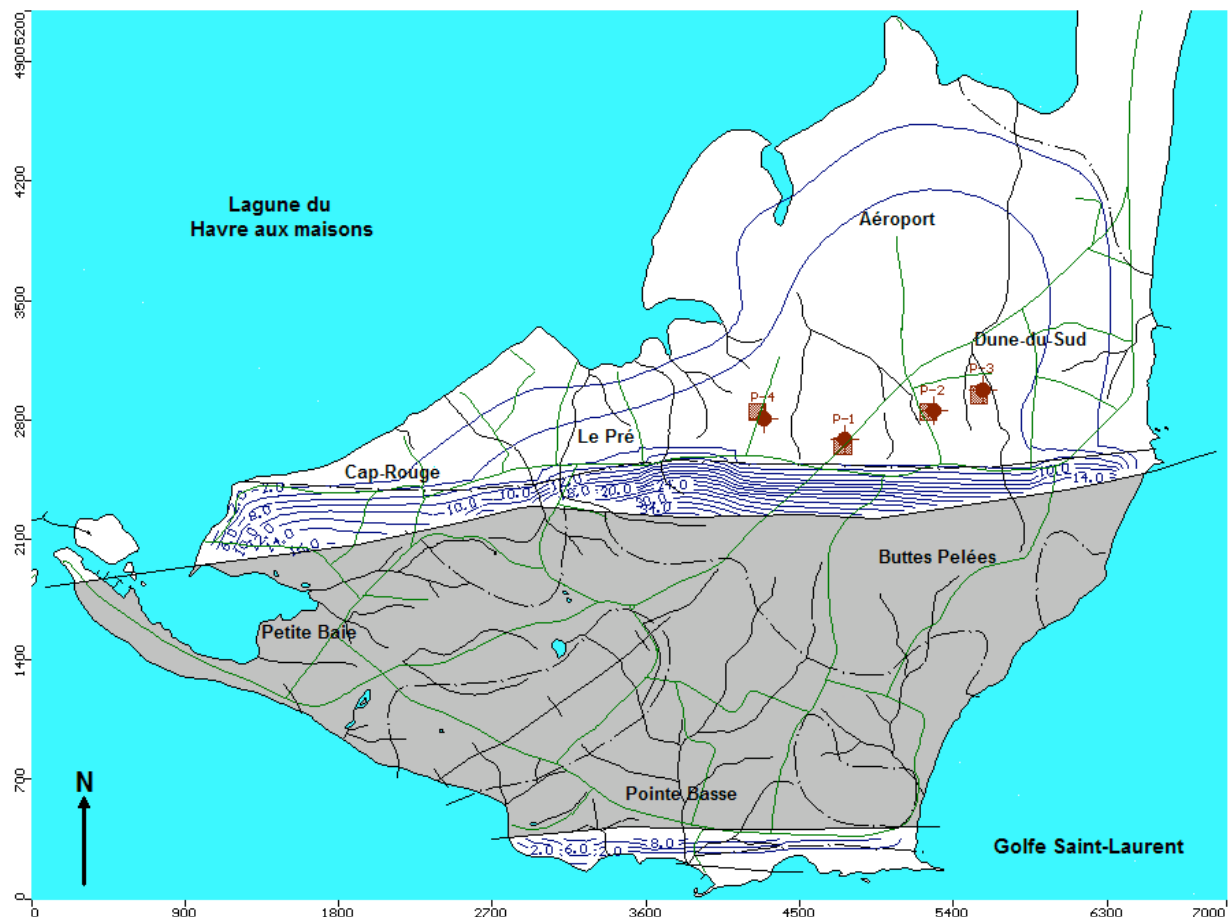


Figure 28 : Piézométrie simulée pour l'Île-du-Havre-aux-Maisons (régime permanent)

Ainsi, seule la piézométrie sur le flanc nord de l'île est relativement bien connue et a donc pu être calibrée. Les caractéristiques hydrogéologiques appliquées aux autres secteurs sont une extrapolation des paramètres calibrés dans ce secteur.

La piézométrie de l'Île du Havre-aux-Maisons, comme dans les autres secteurs modélisés de l'archipel, présente une pente relativement régulière depuis le horst central constitutif des buttes (en grisé sur la figure) jusqu'à la mer. Le horst sépare l'île en deux aquifères dissymétriques, la partie sud présentant peu d'intérêt du fait de sa faible extension géographique. Les buttes constituent une zone d'alimentation, par ruissellement de surface et/ou écoulement hypodermique, des réservoirs aquifères au sein desquels l'écoulement se dirige ensuite vers la mer.

Les courbes piézométriques en bordure nord et sud du horst, y sont globalement parallèles et montrent des gradients hydrauliques élevés (de l'ordre de 0,01). Ces bandes d'orientation est-ouest correspondent à l'affleurement de grès indurés du Membre de L'Étang-du-Nord. En aval de ces zones, en particulier dans le domaine nord, les grès éoliens du Membre de L'Étang-des-Caps (conductivités hydrauliques de l'ordre de 10^{-5} m/s) induisent des gradients plus faibles (de l'ordre de 0,001). Dans ce même ensemble, entre l'aéroport et le champ captant, la piézométrie montre un dôme induisant un écoulement radial en direction de la lagune du Havre-aux-Maisons à l'ouest et au nord, et de la mer à l'est. Ce dôme piézométrique révèle dans ce secteur une prédominance de la recharge par les pluies plutôt que par l'alimentation du horst dont les bassins versants sont de petite taille.

11.1.2 Bilan des entrées – sorties d'eau

En termes hydrogéologiques, le calcul du bilan des entrées – sorties d'eau dans le système aquifère à l'échelle de l'île entière montre que :

- q les entrées d'eau (recharge uniforme et infiltration au contact du socle) totalisent en moyenne $6364 \text{ m}^3/\text{j}$;
- q les prélèvements par les puits de pompage totalisent en moyenne $782 \text{ m}^3/\text{j}$;
- q les sorties d'eau en mer représentent donc une fuite moyenne de $5583 \text{ m}^3/\text{j}$.

Seuls 12 % de l'eau entrant dans l'aquifère sont interceptés. Il apparaît donc que l'exploitation actuelle de la ressource, en termes quantitatifs globaux, ne l'épuise pas et qu'il existe même une quantité potentiellement exploitable d'eau s'écoulant actuellement en mer. Cette remarque ne tient pas compte de la répartition spatiale de ces prélèvements.

11.1.3 Répartition des prélèvements et distribution des débits potentiels

La répartition spatiale des prélèvements est relativement bien distribuée sur l'Île du Havre-aux-Maisons. Les quatre captages sont en effet implantés sur une ligne parallèle au horst, répartissant ainsi la pression exercée sur la nappe.

La figure 29 présente un découpage du secteur nord de l'Île du Havre-aux-Maisons en quatre zones d'équi-recharge (c'est-à-dire approximativement de même recharge). Chacune des quatre zones peut être considérée comme un aquifère quasi autonome, possédant sa propre recharge, ses prélèvements et ses fuites en mer, sans échange significatif avec les zones voisines, le découpage ayant été effectué de manière à limiter au maximum les possibles échanges d'eau entre secteurs (limites perpendiculaires aux courbes piézométriques). Le

tableau 15 résume des valeurs des débits entrants, prélevés, échangés et perdus en mer pour chacune des zones ainsi définies.

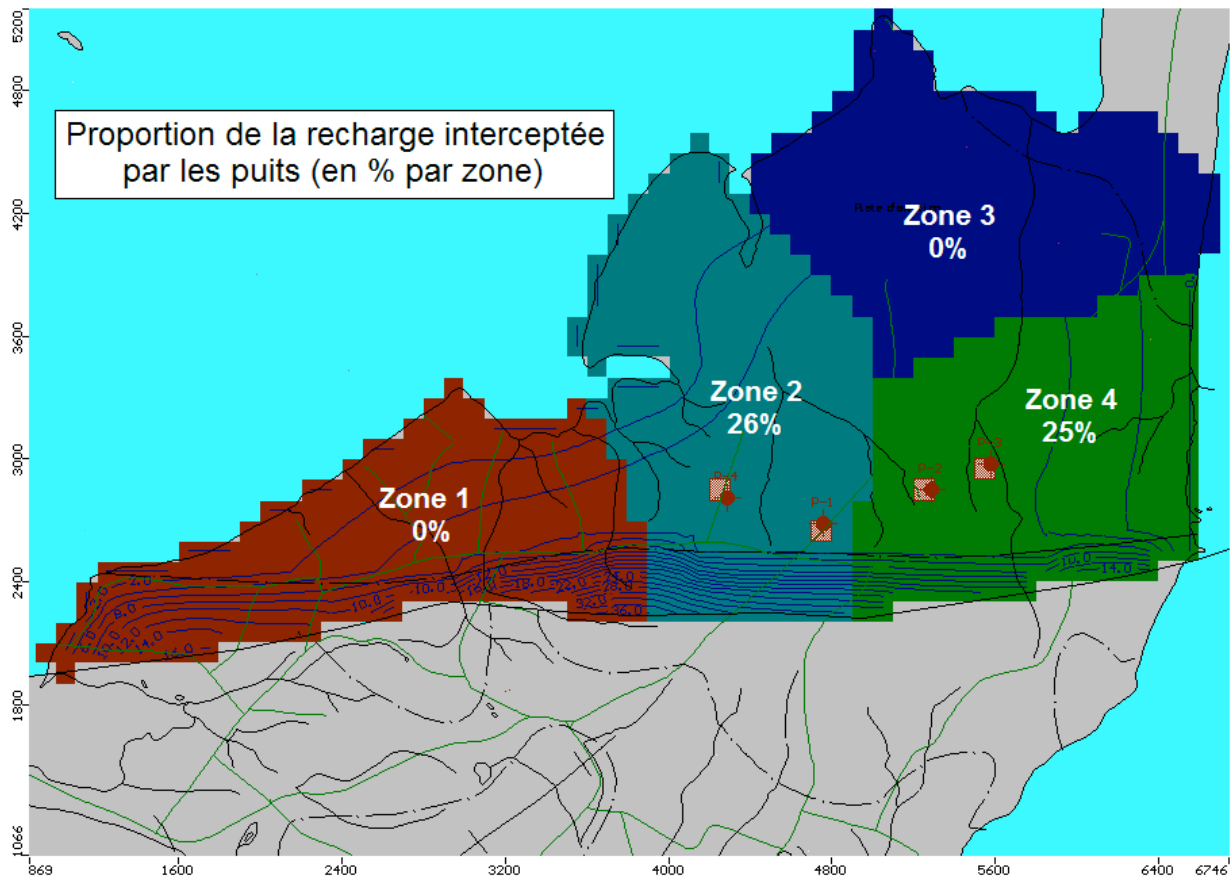


Figure 29 : Subdivision du secteur en zones d'équi-recharge

Zone #	Recharge m3/j	Prélèvements m3/j	Pertes en mer m3/j	Echanges avec zones voisines m3/j	Recharge prélevée par les puits %
1	1449	0	1354	95	0
2	1568	402	1122	44	26
3	1235	0	1208	27	0
4	1515	380	1301	166	25

Tableau 15 : Bilan des débits par zone d'équi-recharge

D'après le tableau 15 et la figure 29, on constate, pour l'Île du Havre-aux-Maisons, que :

- dans la zone 2 (Le Pré - est), où sont implantés les deux captages P-1 et P-4, une part non négligeable de la recharge (26 %) est interceptée;
- dans la zone 4 (Dune-du-Sud), où sont implantés les deux autres captages P-2 et P-3, 25 % de la recharge est interceptée;

- q dans les zones 1 et 3 la ressource n'est pas exploitée, et respectivement 1354 et 1208 m³/j s'écoulent en mer.

Il apparaît donc que les secteurs 1 et 3 contiennent une ressource vierge potentiellement exploitable. Toutefois, la zone 1 (Cap-Rouge), proche de la mer en tout point est à exclure dans un premier temps. La zone 3, au contraire, constituerait un intéressant potentiel d'exploitation supplémentaire. Or l'aéroport installé dans ce secteur constitue une forte contrainte environnementale qui devra être prise en compte lors d'une réflexion future sur l'implantation de nouveaux captages. Notons aussi que les secteurs 2 et 4 où sont implantés les captages actuels sont loin d'être surexploités puisqu'ils n'interceptent que le quart de la recharge. Un développement supplémentaire de ces secteurs est à première vue envisageable.

11.1.4 Perspectives quant au mode d'exploitation futur des puits existants

De manière générale, la répartition des captages municipaux paraît relativement bien adaptée au contexte hydrogéologique de l'Île du Havre-aux-Maisons. Les débits prélevés sont bien répartis sur les quatre puits et restent modérés. Dans ces secteurs d'implantation, 25 % environ de la recharge est intercepté, ce qui laisse supposer qu'il reste encore dans ces zones environ 75 % de ressource renouvelable exploitable. Pourtant, ceci ne signifie en aucun cas que l'on puisse augmenter sans risque le débit de pompage des puits existants, puisque le facteur limitant l'exploitation de la ressource en eau n'est pas la quantité d'eau disponible, mais sa vulnérabilité vis-à-vis des intrusions salines. Il en va de même pour les secteurs vierges. Affirmer que plus de 2400 m³/j sont perdus ne signifie pas que la totalité de ce débit peut être prélevé sans risque de salinisation de la ressource.

La section suivante traitera des débits maximaux préservant la ressource contre ces risques.

11.2 SIMULATION DE L'INTRUSION SALINE (SUTRA)

Le logiciel de modélisation SUTRA a été mis en œuvre pour simuler les écoulements densitaires aux Îles-de-la-Madeleine, c'est-à-dire la structure et l'évolution des biseaux salés dans les aquifères côtiers. Ceci a permis de tester l'incidence des débits actuels de prélèvement des captages municipaux et l'effet d'un possible relèvement de ceux-ci.

11.2.1 Représentation des équilibres densitaires en bloc-diagramme

La figure 30 localise le domaine modélisé dans le secteur Le Pré - Dune-du-Sud. Ce domaine est limité au sud par le contact entre l'aquifère et le horst peu perméable, au nord et au nord-ouest par la lagune du Havre-aux-Maisons, et à l'est par le Golfe Saint-Laurent. La base du modèle est fixée arbitrairement à 500 m sous le niveau de la mer afin de prendre en compte la position du biseau salé.

La figure 31 illustre les résultats obtenus pour différents régimes de pompage. On remarque ainsi dans une première analyse que :

- q le régime moyen d'exploitation actuel de la ressource n'induit pas d'intrusion significative, l'interface eau douce / eau salée montrant par ailleurs une forte pente vers l'intérieur de l'île;

- q les premières intrusions ne se produisent que lorsque l'on quintuple les débits de prélèvement.

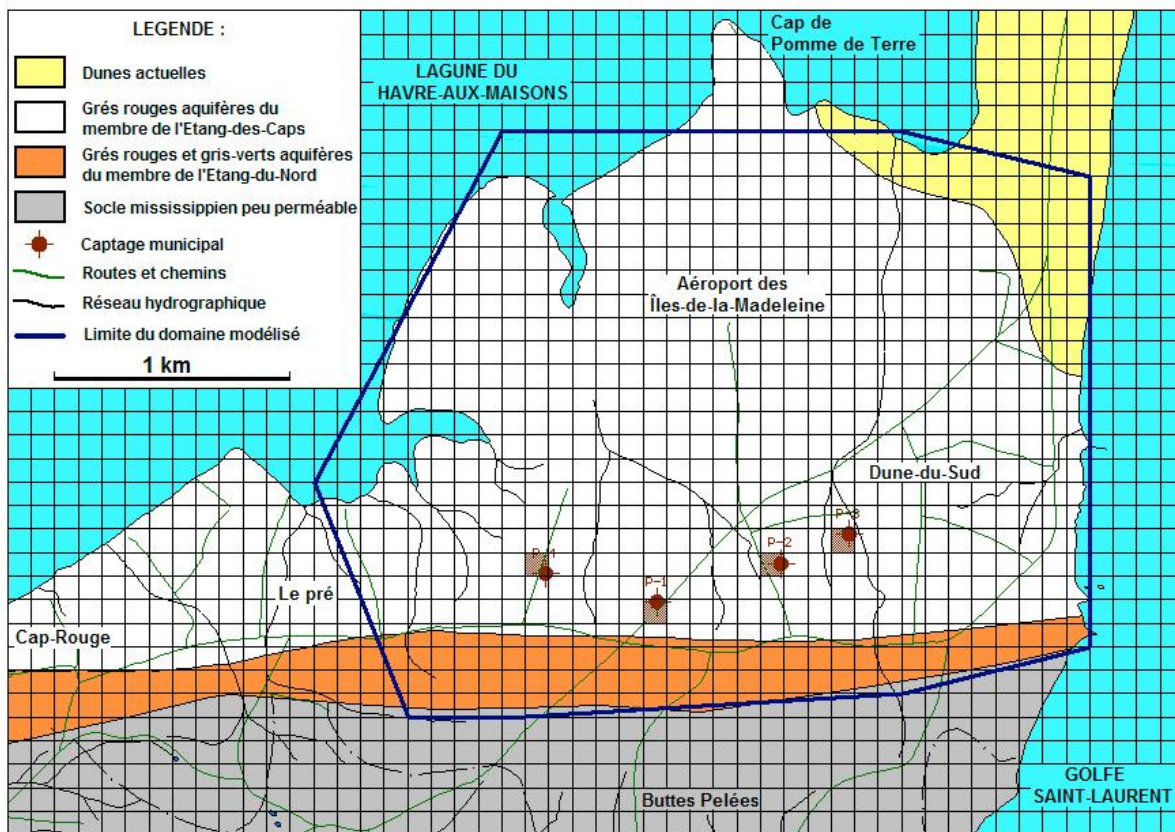


Figure 30 : Secteur de l'Île du Havre-aux-Maisons simulé avec SUTRA

11.2.2 Discussion des différents scénarios de prélèvement

Il faut être très prudent quant à la définition et à la signification des différentes notions de débits utilisées et véhiculées par les différents auteurs. La première simulation réalisée avec SUTRA présente la géométrie de l'interface eau douce / eau salée obtenue pour le régime permanent en appliquant aux puits les **débits moyens prélevés en 2003**. Le débit moyen d'un puits représente donc la répartition uniforme sur 365 jours du volume total d'eau prélevé sur ce puits durant toute l'année. La simulation obtenue avec ces débits moyens représente donc le comportement moyen de la nappe à l'équilibre. La nappe n'apparaît pas, dans ce régime moyen de pompage, menacée à long terme. Le renouvellement de la ressource (recharge moyenne annuelle) s'il reste inchangé dans le futur est donc suffisant pour maintenir cet équilibre.

La seconde simulation présente la situation en régime permanent dans le cas où l'on triple les débits annuels moyens. Sachant que les puits pompent en moyenne sur l'année 13 à 15 heures par jour, et l'été 20 à 22 heures, ce scénario représente donc une **situation estivale accrue, pour laquelle les prélèvements seraient augmentés d'environ 50 %** et maintenus ainsi de façon permanente (c'est-à-dire toute l'année durant plusieurs années). Cette simulation ne paraît pas non plus menacer les captages.

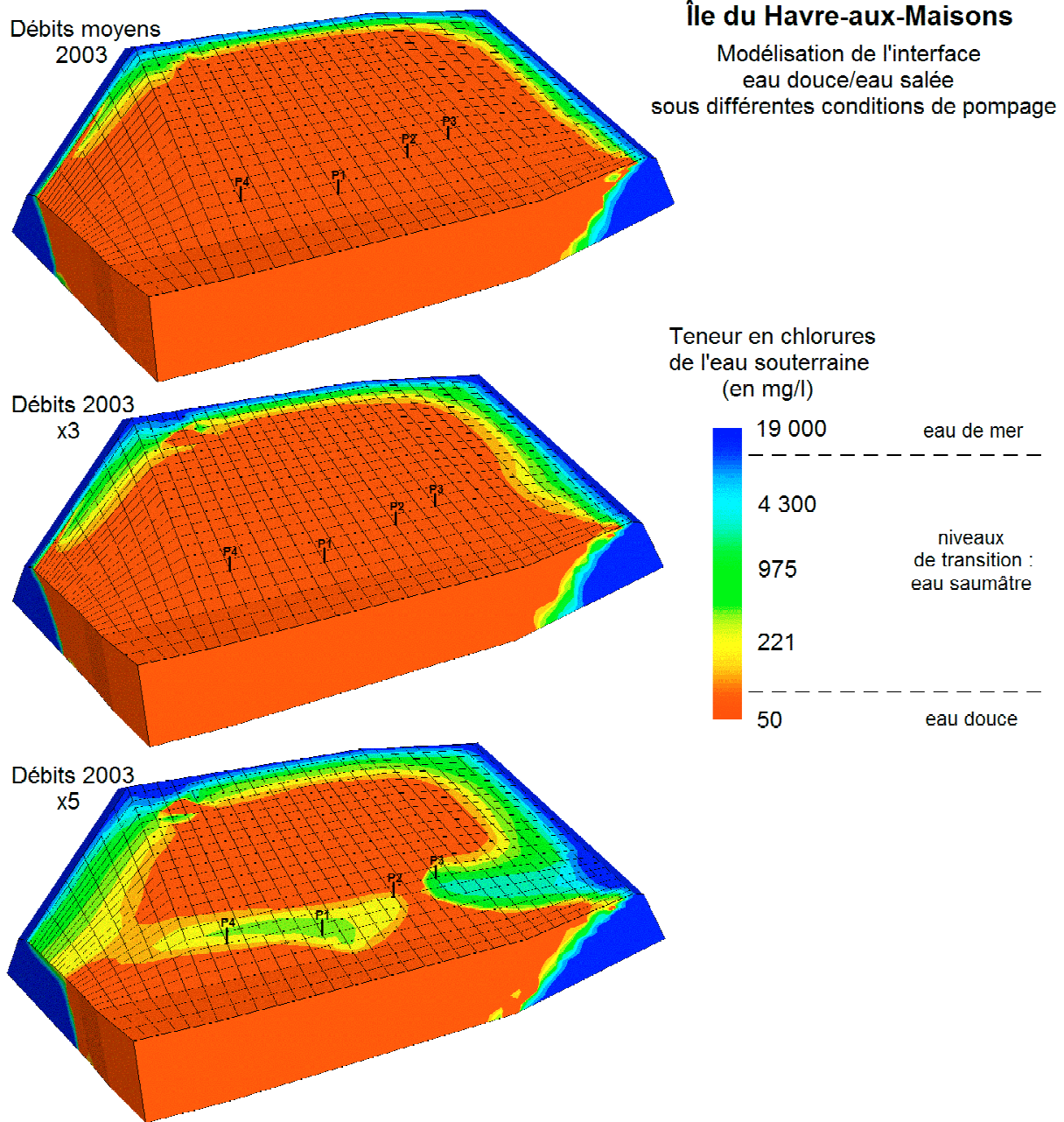


Figure 31 : Simulation des intrusions salines avec SUTRA

La troisième et dernière simulation présente le cas peu vraisemblable d'une **consommation quintuplée**. Il a pour principal intérêt de montrer l'équilibre vers lequel la ressource tendrait si le prélèvement par les puits devenait significatif par rapport à la recharge de la nappe. Ce cas serait celui d'une utilisation excessive des puits actuels fonctionnant à leur pleine capacité de pompage. La géométrie des remontées salines induites est due à la superposition de deux phénomènes :

- q remontée verticale du fait de rabattements locaux excessifs de la nappe (migration verticale de l'interface de Ghyben-Herzberg);
- q invasion marine horizontale du fait de l'interception de l'eau douce qui s'écoule des buttes vers le littoral, diminuant ainsi la repoussée du biseau vers la mer.

Il apparaît que le premier mécanisme domine pour les puits P-1, P-2 et P-4, le second pour le captage P-3 situé dans l'ombre de P-2.

Le risque d'intrusions salines dans le secteur du champ captant de Havre-aux-Maisons est bien réel. La configuration et les propriétés de l'aquifère y sont propices, ce qui est par ailleurs appuyé par les résultats de la géophysique. Toutefois un tel phénomène demanderait une importante augmentation des prélèvements. En d'autres termes, une augmentation des débits et/ou des durées de prélèvement sur les captages existants paraît possible sans compromettre la qualité de la ressource, mais cette augmentation devrait se faire progressivement afin de s'assurer de la stabilité des équilibres eau douce / eau salée.

Quoi qu'il en soit, les régimes de pompage, autrement dit l'intensité des prélèvements doivent être surveillés et adaptés au contexte insulaire.

11.2.3 Conséquences de l'actuelle répartition spatiale des puits

Certaines observations peuvent être faites sur les conséquences de la répartition des captages, en d'autres termes la configuration spatiale des champs captants.

La simulation à débits triplés et quintuplés montre très clairement que le puits le plus vulnérable à une intrusion saline est P-3 qui est implanté dans l'ombre de P-2. En effet, comme le montrent les sens d'écoulement dans ce secteur, le puits P-2 intercepte une part importante de l'eau qui serait en son absence pompée par P-3. Ce dernier, pour prélever la quantité d'eau qu'implique son débit est contraint de mobiliser la nappe en aval ce qui provoque une intrusion d'eau saline. Les autres captages, P-1, P-2 et P-4 ne sont gênés par aucun puits et sont donc moins susceptibles d'entraîner une intrusion. Les interactions entre puits sont également discutées dans la section suivante traitant des zones d'alimentation des captages municipaux.

11.3 DETERMINATION DES PERIMETRES DE PROTECTION

11.3.1 Zones d'alimentation des captages

Le modèle MODFLOW permet de simuler le trajet suivi par une particule d'eau au sein de l'aquifère. Cet outil est particulièrement intéressant pour simuler les lignes d'écoulement de toutes les particules d'eau vers un puits donné. La courbe enveloppe de ces lignes d'écoulement définit l'aire d'alimentation du captage, tenant compte des interactions entre les puits voisins.

La figure 32 présente les aires d'alimentation des captages municipaux de Havre-aux-Maisons. On constate un certain nombre d'interactions entre les puits :

- q P-3, dans l'ombre de P-2 est contraint de déborder l'aire de ce dernier et de mobiliser l'eau en provenance du secteur de l'aéroport;
- q P-2, dans l'ombre de P-1 est contraint de déborder l'aire de ce dernier en mobilisant pour une part l'eau venant du secteur de l'aéroport, pour l'autre part l'eau arrivant du socle à l'est de P-2.

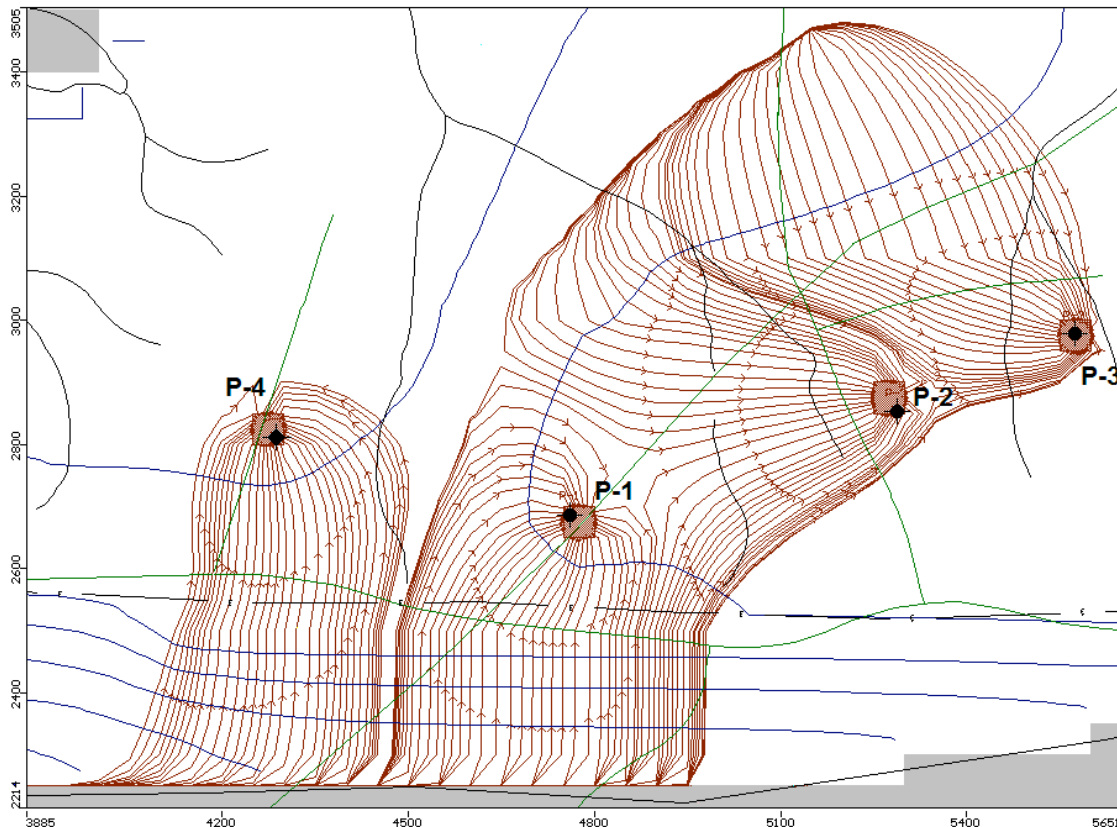


Figure 32 : Aires d'alimentation des puits de l'Île du Havre-aux-Maisons

Ces configurations, tel que discuté dans la section précédente, peuvent avoir des conséquences importantes en termes de risque d'intrusions salines.

11.3.2 Périmètres de protection bactériologique et virologique réglementaires

Sur la figure 32, les marqueurs positionnés sur chacune des lignes d'écoulement, représentent les temps d'arrivée 200 et 500 jours des particules au captage. Ces temps caractérisent les périmètres de protections virologique et bactériologique, tel que requis par le Règlement sur le captage des eaux souterraines. Après numérisation des courbes reliant chacun de ces marqueurs pour un même puits, les périmètres ainsi délimités ont été intégrés au système d'information géographique de la municipalité permettant ainsi le couplage avec différentes couches d'information. La figure 33 illustre la superposition de ces périmètres de protections avec les cartes d'inventaire des sources potentielles de contamination.

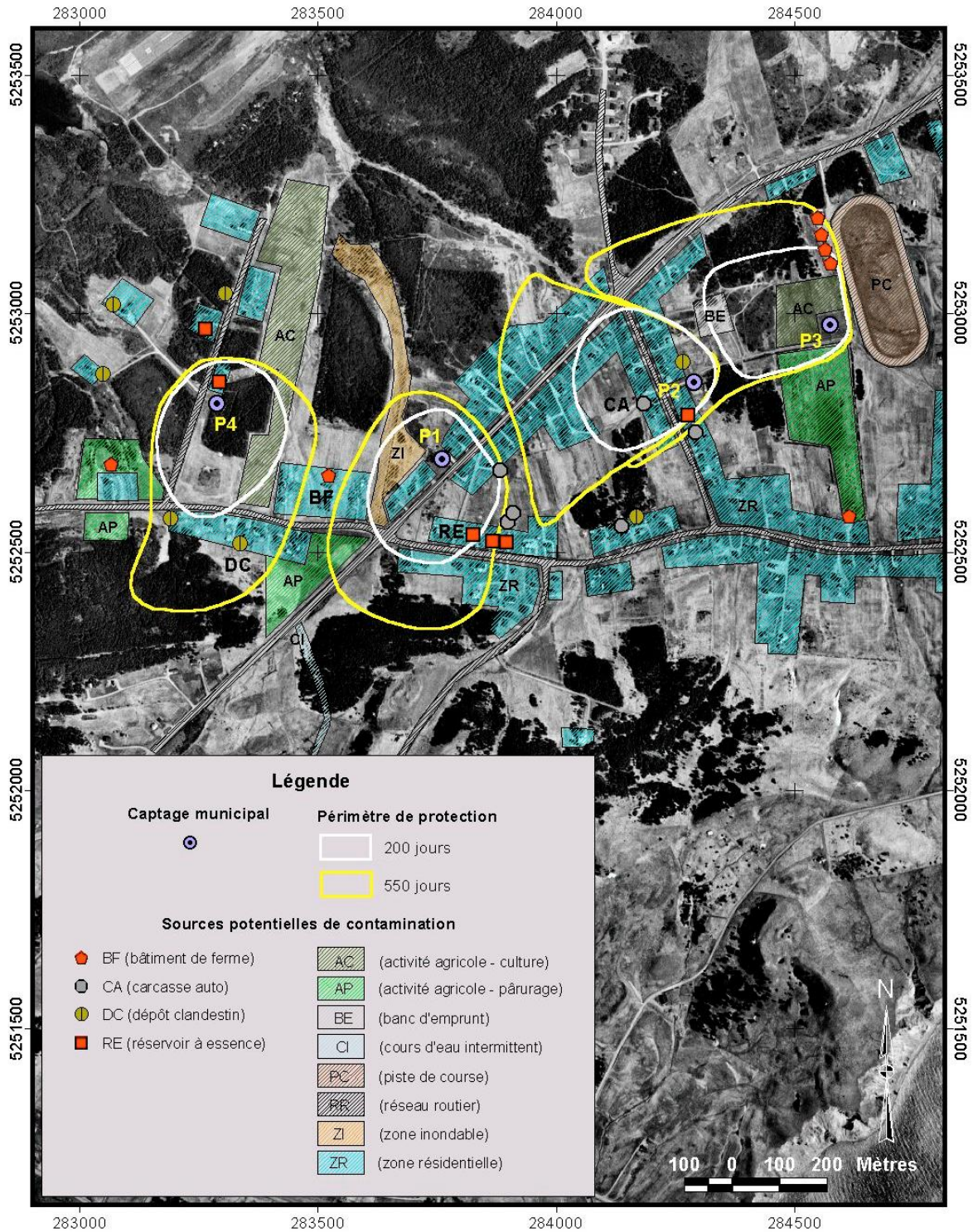


Figure 33 : Périmètres de protection des puits de l'île du Havre-aux-Maisons

12 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les divers travaux d'acquisition et d'interprétation des données hydrogéologiques et géophysiques réalisés à l'été 2003 et en 2004, ainsi que la réalisation des modèles hydrogéologiques sur l'Île de Havre-aux-Maisons ont permis d'améliorer la compréhension de la structure, du fonctionnement et des risques d'intrusion saline de l'aquifère des grès rouges.

12.1 STRUCTURE HYDROGEOLOGIQUE

La mise en œuvre des panneaux électriques a conduit à certains constats sur la structure de l'aquifère au voisinage du champ captant de l'Île de Havre-aux-Maisons.

- q le réservoir est limité au sud par le horst composé des formations géologiques peu perméables ;
- q à son contact, est présente une bande de grès du Membre de L'Étang-du-Nord d'environ 200 m de largeur, conformément aux cartes géologiques existantes ; ces grès indurés, mais aquifères, s'enfoncent sous les grès éoliens pour former un niveau plus résistant à quelque 50 m de profondeur sous les puits et disparaissent du champ d'investigation géophysique au nord des captages; des compartiments effondrés du socle mississippien pourraient être présents à faible profondeur sous ces niveaux;
- q l'aquifère est en contact direct avec le Golfe Saint-Laurent à l'est et avec la lagune du Havre-aux-Maisons, par l'intermédiaire de zones humides où la nappe affleure au nord;
- q l'aquifère ainsi que l'eau qu'il renferme présentent une bonne homogénéité dans l'espace;
- q la nappe d'eau douce, lorsque l'on s'éloigne du horst, montre un gradient vertical de minéralisation croissant avec la profondeur, ce qui indiquerait une vulnérabilité naturelle aux remontées d'eau salée; les captages sont implantés dans ce contexte, mais aucune remontée d'eau salée n'est observée au voisinage des puits;
- q la recharge de l'aquifère s'effectue quasi-exclusivement par infiltration diffuse de l'eau de pluie; les réservoirs superficiels susceptibles d'alimenter la nappe à partir du réseau hydrographique de surface sont presque inexistantes, du fait du nombre et de la taille très limités des bassins versants du horst alimentant ce versant de l'île;
- q l'urbanisation relativement dense dans les environs de la route 199 et du chemin du Cap-Rouge sont à l'origine de l'entraînement vers la nappe de nombreux polluants tels les sels de déglçage directement liés aux routes et autres polluants anthropiques, qui peuvent perturber la minéralisation de l'eau en surface de la nappe.

12.2 COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE

Les essais de pompage réalisés sur les puits de l'île, la géophysique et la modélisation des écoulements souterrains (MODFLOW) ont fourni un certain nombre de réponses sur les paramètres hydrogéologiques et le comportement de l'aquifère.

- q conformément aux résultats de la géophysique et aux cartes géologiques, l'aquifère est limité au sud par un compartiment étanche ou peu perméable, influençant fortement le comportement des niveaux des puits et au nord, par la lagune du Havre-aux-Maisons avec ses nombreux étangs ou marécages bordiers ; c'est le cas du puits P-4 implanté le plus proche de la lagune;

- q les transmissivités calculées sont relativement élevées, de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; leur faible variabilité sur tout le champ captant confirme la bonne homogénéité du réservoir, une caractéristique confirmée par les observations géophysiques;
- q l'environnement immédiat des puits semble par ailleurs avoir été modifié par leur fonctionnement, ce qui se traduit parfois par une transmissivité plus élevée que le réservoir (développement naturel) ou parfois plus faible (colmatage);
- q les coefficients d'emmagasinement, de l'ordre de $10^{-1} - 10^{-5}$, sont relativement variables et traduisent vraisemblablement une grande hétérogénéité des matériaux de recouvrement de la nappe qui lui confèrent des caractéristiques de nappe tantôt libre tantôt captive;
- q la porosité cinématique, déterminée par le traçage géophysique de traceurs naturels dans le secteur de P-4, est de l'ordre de 1%;
- q les écoulements se font globalement depuis le horst central en direction du rivage ; le horst constitué des formations mississippiennes peu perméables représente une zone d'alimentation de l'aquifère par ruissellement de surface et/ou hypodermique;
- q un dôme piézométrique engendré par l'infiltration des précipitations est présent dans le secteur de l'aéroport;
- q les gradients hydrauliques sont beaucoup plus élevés dans le Membre de L'Étang-du-Nord (de l'ordre de 0,01) (bandes aux contacts nord et sud du horst), que dans le Membre de L'Étang-des-Caps (de l'ordre de 0,001) qui constitue l'aquifère proprement dit (plateau nord de l'île entre Cap-Rouge et Dune-du-Sud);
- q les propriétés hydrogéologiques ainsi que la vaste extension géographique du Membre de L'Étang-des-Caps rend cette unité beaucoup plus intéressante en termes d'exploitation que le Membre de L'Étang-du-Nord ;
- q des secteurs vierges potentiellement exploitables existent, notamment à l'ouest et au nord du champ captant actuel; ces deux zones montrent malgré tout des contraintes à considérer, à savoir la proximité de la lagune pour la première et la présence de l'aéroport pour la seconde;
- q les aires d'alimentation et les périmètres de protection virologique et bactériologique, déterminés pour chacun des quatre captages du secteur en tenant compte du fonctionnement hydrogéologique actuel de la nappe, révèlent certaines interactions entre les puits, notamment une gêne occasionnée par P-1 sur P-2 et par P-2 sur P-3.

12.3 MODE D'EXPLOITATION DES PUIITS ET RISQUES D'INTRUSION SALINE

Pour tous les puits de l'Île du Havre-aux-Maisons, les débits d'exploitation semblent respecter les débits recommandés (voir tableau 20, rapport d'activité no 1, mars 2003). Aux puits P-2 et P-4, ils sont presque égaux alors que le débit mesuré de P-3 y était très largement inférieur du fait d'un mauvais calibrage de la pompe de remplacement. Une nouvelle pompe doit être installée et calibrée sur ce dernier. Le doute demeure pour P-1 où le débitmètre était défectueux lors des essais de pompage. Il ne paraît pas exister pour ces quatre puits de risque d'appel d'eau salée à court terme. Par contre, les caractéristiques structurales du réservoir le rendent vulnérable aux remontées salines puisqu'il n'existe aucune barrière naturelle ni sous les puits, ni entre les puits et la lagune. Le risque d'intrusion saline reste donc bien réel à moyen ou long terme.

La modélisation de l'interface eau douce/eau salée (SUTRA) vient confirmer ces craintes. Bien que l'exploitation actuelle de la nappe semble tenir à distance le biseau salé sur une année hydrologique moyenne, il apparaît cependant qu'une augmentation significative des débits

annuels moyens et à plus forte raison durant la saison estivale aurait pour effet l'apparition à moyen terme d'intrusions salines. Cette contamination affecterait d'abord P-3, implanté dans l'ombre de P-2 et P-1, par une invasion venant du Golfe, puis les trois autres captages par remontée verticale. Toutefois, la configuration linéaire du champ captant (à l'exclusion de P-3) ainsi que les prélèvements modérés des puits sont relativement bien adaptés au contexte insulaire, ce qui a pour conséquence des risques d'intrusion moindres que pour tous les autres champs captants municipaux de l'archipel.

12.4 CALIBRAGE DU SYSTEME OHMEGA

Le système de télémétrie nécessite un étalonnage complet.

- q Le niveau de base (erroné) doit être réajusté à une cote de référence. L'écart sur le puits P-1 serait d'environ 2,2 m (en moins) entre la profondeur du niveau mesuré et le niveau réel de l'eau dans le puits, différence qui peut prendre une grande importance vis-à-vis de la gestion de l'eau en milieu insulaire.
- q La variation des niveaux mesurés par le système Ohméga n'est pas proportionnelle à celle des niveaux mesurés sur le terrain. Un calibrage de la sonde est donc préconisé.
- q Un étalonnage des compteurs volumétriques et/ou des débitmètres est également conseillé afin d'avoir une meilleure connaissance de la quantité d'eau prélevée.
- q Une vérification des niveaux d'alarme du système Ohméga (niveau d'eau critique dans le puits) et de la qualité des mesures de conductivité électrique sont également à réaliser afin d'être averti dès la moindre variation en cas d'intrusion saline.

12.5 SUIVI PIEZOMETRIQUE

Les mesures quotidiennes de la profondeur des niveaux d'eau prises par le système Ohméga dans les captages municipaux devront être converties en données chronologiques piézométriques par rapport au niveau de la mer. Un suivi des niveaux d'eau dans chaque puits devrait être réalisé sur chaque puits (de préférence en non fonctionnement depuis quelques heures) sur un pas de temps mensuel afin de déceler les tendances dans le temps et de corriger la situation au moment opportun. Cette opération constituera par ailleurs une banque de données hydrogéologiques pertinente et nécessaire pour toute intervention hydrogéologique future.

12.6 REORGANISATION ET SUIVI DU MODE D'EXPLOITATION DES PUIITS

Les débits mesurés sur les puits du champ captant de l'Île du Havre-aux-Maisons se sont avérés respectueux de ceux qui ont été recommandés. Cependant, le débit d'exploitation de P-1 n'a pu être évalué en raison du dysfonctionnement du débitmètre. De plus, la pompe définitive n'était pas installée sur P-3 au moment de l'étude.

Tel que révélé par la modélisation des intrusions salines, le mode de fonctionnement individuel et combiné des captages doit faire l'objet d'une attention particulière. En particulier, même si la situation est moins critique que sur l'Île de Cap-aux-Meules et l'Île du Havre-Aubert, le régime actuel d'exploitation moyen annuel de la ressource ne doit en aucun cas être augmenté trop significativement et en priorisant plutôt la mise en place de nouveaux captages. Dans tous les cas, les niveaux dynamiques aux puits ne doivent jamais descendre sous le niveau marin ou s'en approcher.

12.7 DEVELOPPEMENT SUPPLEMENTAIRE DE LA RESSOURCE

Un développement supplémentaire et durable de l'exploitation de la nappe peut se faire par l'implantation de nouveaux captages, respectant les conditions suivantes :

- q les nouveaux captages doivent être implantés dans des secteurs vierges, c'est-à-dire à Havre-aux-Maisons à une distance d'au moins 500 m à l'ouest ou au nord des puits actuels;
- q dans le cas de l'implantation de plusieurs puits, ils doivent être implantés en ligne perpendiculaire à la direction d'écoulement naturel de la nappe;
- q ils doivent respecter les modes de fonctionnement évoqués précédemment.

12.8 SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE

L'absence de données physico-chimiques et bactériologiques de la ressource ne permet pas de connaître l'évolution de la qualité de cette dernière au cours du temps et donc de juger de sa vulnérabilité. Il serait important de caractériser la ressource en eau souterraine à la sortie du captage (à l'eau brute), avant sa distribution dans le réseau d'aqueduc. Un suivi physico-chimique et bactériologique de l'eau brute est donc recommandé. Il permettrait de localiser plus facilement l'origine d'une pollution en cas de contamination et de mieux connaître l'évolution de la qualité de la ressource au fil des années. Ainsi, en cas de problèmes, des décisions pourront être prises avant que la situation ne devienne irréversible en matière de qualité de l'eau et d'alimentation en eau potable destinée à la consommation humaine. Il pourrait être pertinent de recommander la mise en place d'une sonde de conductivité électrique pour la mesure in situ et en continu de ce paramètre dans les puits. Ceci permettrait ainsi de réagir à temps dans le cas d'une dérive de salinité. Ceci sera d'autant plus pertinent dans le cas de tout nouveau puits pour lequel le manque d'information a priori rendra la gestion plus délicate.