

**GASTEM INC.
MUNICIPALITÉ DES ÎLES—DE-LA-MADELEINE**

1155, rue Université, bureau 1215
Montréal (Qc)
H3B 3A7

297

DB13

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

**PROJET DE RÉALISATION D'UN FORAGE GAZIER
VERTICAL ET CONVENTIONNEL
D'UNE PROFONDEUR DE 2500 MÈTRES
MUNICIPALITÉ DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE**

**RECONNAISSANCE/IDENTIFICATION
DES CIBLES LES PLUS PROPICES**

**RAPPORT D'ÉTAPE 1
EXPERTISE HYDROGÉOLOGIQUE**

MADÉLIN'EAU

Septembre 2011

Les travaux présentés dans ce rapport ont été réalisés par :

**Denis Richard, ing. Hydrogéologue – Madelin'Eau - AGÉOS
Olivier Banton, Ph. D. en hydrogéologie – Madelin'Eau - Hydriad
Renald McCormack, Hydrogéologue – Madelin'Eau – Envir'Eau-Puits**

Avec la participation de :

**Yamina Benhouhou, hydrogéologue, AGÉOS
Steve Blackburn, technologue, AGÉOS**

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | MISE EN SITUATION | 1 |
| 1.1 | CONTEXTE..... | 1 |
| 1.2 | MANDAT | 2 |
| 2 | TRAVAUX RÉALISÉS..... | 4 |
| 3 | SECTEURS DE FATIMA ET HAVRE-AUX-MAISONS - CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE | 5 |
| 3.1 | CONTEXTE GÉNÉRAL | 5 |
| 3.2 | CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE | 5 |
| 3.2.1 | <i>Formation du Havre-aux-Maisons</i> | <i>9</i> |
| 3.2.2 | <i>Formation du Cap-au Diable.....</i> | <i>9</i> |
| 3.2.3 | <i>Formation du Cap-aux-Meules.....</i> | <i>9</i> |
| 3.3 | GÉOLOGIE STRUCTURALE..... | 10 |
| 3.3.1 | <i>Les failles.....</i> | <i>10</i> |
| 3.3.2 | <i>Les plis.....</i> | <i>11</i> |
| 3.3.3 | <i>Les diaclases.....</i> | <i>11</i> |
| 4 | SECTEUR DE FATIMA - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE..... | 12 |
| 4.1 | RÉSERVOIR AQUIFÈRE CAPTÉ PAR LES PUIITS MUNICIPAUX | 12 |
| 4.2 | CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE L'ÎLE DE CAP-AUX-MEULES | 12 |
| 4.3 | BILAN DES ENTRÉES – SORTIES D'EAU | 16 |
| 4.4 | RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS ET DISTRIBUTION DES DÉBITS POTENTIELS | 16 |
| 4.5 | POTENTIEL D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE..... | 17 |
| 4.6 | PRÉLÈVEMENTS MUNICIPAUX 2010 | 18 |
| 4.6.1 | <i>Les puits municipaux</i> | <i>18</i> |
| 4.6.2 | <i>Prélèvement actuel du réservoir aquifère.....</i> | <i>19</i> |
| 4.7 | VULNÉRABILITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE (DRASTIC) | 20 |
| 4.8 | QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES | 23 |
| 4.8.1 | <i>Puits prélevés et échantillonnés.....</i> | <i>23</i> |
| 4.8.2 | <i>Résultats.....</i> | <i>23</i> |
| 4.8.3 | <i>Particularités</i> | <i>24</i> |
| 4.8.4 | <i>Constance de la qualité de l'eau souterraine dans le temps.....</i> | <i>25</i> |
| 5 | SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE..... | 29 |
| 5.1 | RÉSERVOIR AQUIFÈRE CAPTÉ PAR LES PUIITS MUNICIPAUX | 29 |
| 5.2 | CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE L'ÎLE DE HAVRE-AUX-MAISONS | 29 |
| 5.3 | BILAN DES ENTRÉES – SORTIES D'EAU | 32 |
| 5.4 | RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS ET DISTRIBUTION DES DÉBITS POTENTIELS | 32 |
| 5.5 | POTENTIEL D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE..... | 33 |
| 5.6 | PRÉLÈVEMENTS MUNICIPAUX 2010 | 34 |
| 5.6.1 | <i>Les puits municipaux</i> | <i>34</i> |
| 5.6.2 | <i>Prélèvement actuel du réservoir aquifère.....</i> | <i>35</i> |
| 5.7 | VULNÉRABILITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE (DRASTIC) | 36 |
| 5.8 | QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES | 39 |
| 5.8.1 | <i>Puits prélevés et échantillonnés.....</i> | <i>39</i> |
| 5.8.2 | <i>Résultats.....</i> | <i>39</i> |
| 5.8.3 | <i>Particularités</i> | <i>40</i> |
| 5.8.4 | <i>Constance de la qualité de l'eau souterraine dans le temps.....</i> | <i>41</i> |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | SECTEUR DE FATIMA - CRITÈRES D'IMPLANTATION ET IDENTIFICATION DE CIBLES | 44 |
| 6.1 | LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES NON AQUIFÈRES | 44 |
| 6.1.1 | <i>Cible no 1 – Environs de la carrière</i> | <i>45</i> |
| 6.1.2 | <i>Cible no 2 – Sud du quai du Cap-Vert</i> | <i>46</i> |
| 6.2 | LA FORMATION GÉOLOGIQUE AQUIFÈRE EN BORDURE DE MER | 46 |
| 6.2.1 | <i>Cible no 3 – Environs de la pointe à Frank.....</i> | <i>47</i> |
| 7 | SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - CRITÈRES D'IMPLANTATION ET IDENTIFICATION DE CIBLES..... | 49 |
| 7.1 | LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES NON AQUIFÈRES | 49 |
| 7.1.1 | <i>Cible no 4 – Le secteur des Dunes (sud de l'île Paquet)</i> | <i>50</i> |
| 7.2 | LA FORMATION GÉOLOGIQUE AQUIFÈRE EN BORDURE DE MER | 51 |
| 7.2.1 | <i>Cible no 5 – Sur le littoral au nord du carrefour des chemins des Cyr et du Cap-Rouge</i> | <i>51</i> |
| 8 | RECOMMANDATIONS..... | 53 |
| 9 | RÉFÉRENCES..... | 54 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| FIGURE 1 : GÉOLOGIE DE L'ARCHIPEL DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE | 6 |
| FIGURE 2 : ÎLE DE CAP-AUX-MEULES - CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES UTILISÉES POUR LA MODÉLISATION | 14 |
| FIGURE 3 : ÎLE DE CAP-AUX-MEULES - PIÉZOMÉTRIE SIMULÉE (RÉGIME PERMANENT) ET PUIITS MUNICIPAUX EXISTANT EN 2004 | 15 |
| FIGURE 4 : SECTEUR DE FATIMA - SUBDIVISION DU SECTEUR EN ZONES D'ÉQUI-RECHARGE | 17 |
| FIGURE 5 : SECTEUR DE FATIMA - LOCALISATION DES PUIITS MUNICIPAUX | 22 |
| FIGURE 6 : ÎLE DE HAVRE-AUX-MAISONS - CONDUCTIVITÉS HYDRAULIQUES UTILISÉES POUR LA MODÉLISATION..... | 30 |
| FIGURE 7 : ÎLE DE HAVRE-AUX-MAISONS - PIÉZOMÉTRIE SIMULÉE (RÉGIME PERMANENT) ET PUIITS MUNICIPAUX EXISTANT EN 2004 | 31 |
| FIGURE 8 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - SUBDIVISION DU SECTEUR EN ZONES D'ÉQUI-RECHARGE..... | 33 |
| FIGURE 9 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - LOCALISATION DES PUIITS MUNICIPAUX | 38 |
| FIGURE 10 : SECTEUR DE FATIMA – CIBLES D'IMPLANTATION POTENTIELS | 48 |
| FIGURE 11 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS – CIBLES D'IMPLANTATION POTENTIELS..... | 52 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| TABLEAU 1 : NOMENCLATURE STRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS PERMO-CARBONIFÈRES DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE | 7 |
| TABLEAU 2 : DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES MEMBRES ET FORMATIONS DU TABLEAU 1..... | 8 |
| TABLEAU 3 : SECTEUR DE FATIMA - BILAN DES DÉBITS PAR ZONE D'ÉQUI-RECHARGE..... | 17 |
| TABLEAU 4 : SECTEUR DE FATIMA - COORDONNÉES DES DIX (10) PUIITS MUNICIPAUX..... | 18 |
| TABLEAU 5 : SECTEUR DE FATIMA - PUIITS MUNICIPAUX - RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS AUTORISÉS ET EN DEMANDE D'AUTORISATION..... | 20 |
| TABLEAU 6 : SECTEUR DE FATIMA - COMPARAISON DE LA QUALITÉ INORGANIQUE DES EAUX SOUTERRAINES | 25 |
| TABLEAU 7 : SECTEUR DE FATIMA - PUIITS DE PRODUCTION – RÉSULTATS D'ANALYSES – TABLEAUX 6-1 ET 6-2..... | 26 |
| TABLEAU 8 : SECTEUR DE FATIMA - PUIITS DE PRODUCTION – RQEP – SUBSTANCES ORGANIQUES, PESTICIDES ET SUBSTANCES RADIOLOGIQUES | 28 |
| TABLEAU 9 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - BILAN DES DÉBITS PAR ZONE D'ÉQUI-RECHARGE | 33 |
| TABLEAU 10 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - COORDONNÉES DES PUIITS MUNICIPAUX | 35 |
| TABLEAU 11 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - PUIITS MUNICIPAUX - RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS AUTORISÉS OU EN DEMANDE D'AUTORISATION..... | 35 |
| TABLEAU 12 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - COMPARAISON DE LA QUALITÉ INORGANIQUE DES EAUX SOUTERRAINES..... | 41 |
| TABLEAU 13 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - PUIITS DE PRODUCTION – RÉSULTATS D'ANALYSES – TABLEAUX 6-1 ET 6-2 | 42 |
| TABLEAU 14 : SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - PUIITS DE PRODUCTION – RQEP – SUBSTANCES ORGANIQUES, PESTICIDES ET SUBSTANCES RADIOLOGIQUES | 43 |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|------------|--|
| Annexe 1 : | Projet de Gastem - Localisation et forage type |
| Annexe 2 : | Gastem et la Municipalité – Lettre d'entente datée du 20 septembre 2011 |
| Annexe 3 : | Secteur de Fatima - Documents cartographiques fournis par la Municipalité (9 thématiques différentes) |
| Annexe 4 : | Secteur de Havre-aux-Maisons - Documents cartographiques fournis par la Municipalité (9 thématiques différentes) |

1 MISE EN SITUATION

1.1 CONTEXTE

Gastem projette de réaliser un forage gazier vertical conventionnel sur le territoire de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine. La cible géologique, profonde (environ 2500 mètres), est en étroite relation avec un dôme de sel associé à un bassin salifère localisé au nord-ouest du bassin Madeleine. Selon Gastem, l'emplacement du forage exploratoire à réaliser devrait idéalement prendre place dans le corridor délimité à l'annexe 1. Le site du forage exploratoire projeté se situerait donc à environ 500 mètres au nord de la bordure nord du dôme de sel (diapir) dans les limites d'un corridor subdivisé :

- ✓ en une zone optimale (représentée en vert) d'une largeur de 200 m,
- ✓ en une zone élargie (représentée en mauve) d'une largeur de 600 m.

Ce corridor s'étend de Fatima (secteur de Fatima) au Mont-Alice (secteur de Havre-aux-Maisons). GASTEM souhaitant réaliser son forage exploratoire sur un territoire terrestre plutôt que marin, le corridor d'intérêt se subdivise en deux secteurs :

- ✓ le secteur de Fatima couvrant une superficie approximative d'un (1) km² dans les environs des chemins du Cap-Vert et Léonard-d'Aucoin,
- ✓ le secteur de Havre-aux-Maisons couvrant une superficie d'un (1) km² dans les environs des chemins des Cyr, de la Petite-Baie et de Cap-Rouge.

Gastem estime par ailleurs que l'aire de travail requise pour le déploiement des équipements et engins nécessaires à la réalisation du forage exploratoire est de 7500 m² soit environ 75 m * 100 m.

Les coupes géologique et technique du forage envisagées par Gastem sont présentées à l'annexe 1. Les formations géologiques susceptibles d'être interceptées seraient donc :

- ✓ de 0 à 800 mètres, la formation de Cap-aux-Meules,
- ✓ de 800 à 2300 mètres, la formation Naufrage
- ✓ de 2300 et plus, la formation de Cable Head où le gisement gazier serait confiné sous un shale (matériau géologique imperméable).

Ces profondeurs sont prévisionnelles et seront confirmées suite à la réalisation du forage exploratoire.

Gastem est conscient que l'unique source d'approvisionnement en eau potable des Îles-de-la-Madeleine est l'eau souterraine présente dans les secteurs aquifères des Îles. C'est pourquoi au printemps 2011, avant d'initier le forage exploratoire gazier profond, Gastem a recherché auprès de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, un avis expert portant sur les contraintes hydrogéologiques avoisinant les secteurs d'intérêt définis ci-dessus. En septembre 2011, la Municipalité a demandé à Madelin'Eau (voir annexe 2) de fournir à Gastem l'avis expert

recherché réclamant aussi le partage de la totalité de l'information résultante et une copie de l'entente (programme) convenue entre Gastem et Madelin'Eau. Le programme de travail convenu entre Gastem et Madelin'Eau est la version intégrale du programme de travail soumise initialement le 21 avril 2011 à l'attention de la Municipalité. Pour satisfaire les préoccupations de la Municipalité visant à accéder à toutes les informations de la présente expertise, Gastem a souhaité recevoir ce rapport d'expertise adressé aussi à l'attention de la Municipalité. De façon générale et dans le cadre du présent document, Madelin'Eau, groupement d'experts en hydrogéologie et actifs dans l'archipel depuis 2001 à titre de conseillers auprès de la Municipalité, a partagé les informations hydrogéologiques disponibles à ce jour avec le promoteur et, ce, afin de :

- ✓ Confirmer/infirmier les secteurs retenus par Gastem pour le forage exploratoire compte tenu de critères rigoureux de maintien de l'intégrité de la nappe d'eau souterraine (qualité et quantité),
- ✓ Suivre les travaux de forage en termes :
 - d'impact sur les eaux de surface (stockage des fluides de forage),
 - d'impact sur la qualité des eaux souterraines (piézomètres ou puits privés environnants),
 - d'étanchéification du forage exploratoire,
- ✓ Rédiger un document technique final incluant les conclusions et les recommandations pertinentes relativement à l'impact du forage exploratoire gazier sur l'intégrité des ressources en eau souterraine (quantité et qualité).

1.2 MANDAT

Le programme de travail évoqué ci-dessus s'appuie sur une approche méthodologique soumise par Madelin'Eau, articulée en quatre (4) étapes comme suit :

- ✓ **Étape I** - Reconnaissance/Identification des cibles les plus propices et évaluation de la nécessité de réaliser des levés géophysiques et/ou mise en place de piézomètres
- ✓ **Étape II** - Expertise hydrogéologique sur le terrain et définition du programme de suivi hydrogéologique à mettre en œuvre durant les travaux exploratoires
- ✓ **Étape III** - Supervision hydrogéologique lors des travaux exploratoires
- ✓ **Étape IV** - Rapport d'expertise témoignant des travaux encourus et concluant sur l'impact de l'éventuelle exploitation gazière à grande profondeur sur l'intégrité des ressources en eaux souterraines

Le présent document technique constitue le rapport d'Étape 1 lequel bénéficie de la connaissance hydrogéologique acquise par le groupe Madelin'Eau dans le cadre des précédents projets :

- ✓ « *Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable* » (voir références no 1 et 2) sur financement FAQDD – de 2002 à 2004,

- ✓ Examen de la faisabilité d'effectuer un prélèvement additionnel dans le secteur de Havre-aux-Maisons (voir références no 3 (septembre 2008) et 4 (mars 2009),
- ✓ Dépôts de demandes d'autorisation auprès du MDDEP pour l'ajout aux puits municipaux existants :
 - de quatre (4) nouveaux puits d'alimentation en eau potable dans le secteur de Fatima (voir référence no 6, mai 2010) et
 - de deux (2) nouveaux puits dans le secteur de Havre-aux-Maisons (voir référence no 7, mai 2010).

Dans le cadre de ses activités, Madelin'Eau a délimité les aires d'alimentation et les périmètres de protection autour des puits de production existants en décembre 2004 (voir référence no 2) en conformité avec les exigences de l'article 25 du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (RCES) et déposé en mai 2010 les rapports hydrogéologiques en vertu de l'article 31 du RCES justifiant les demandes d'autorisation auprès du MDDEP et, ce, dans le cadre des règlements applicables. Pour ce faire, Madelin'Eau a entre autres développé des modélisations numériques permettant pour les divers scénarios d'exploitation projetés de :

- ✓ simuler les écoulements souterrains et
- ✓ d'entrevoir l'évolution des interfaces eau douce/eau salée.

Les travaux de terrain ont par ailleurs permis de géoréférencer de nombreuses couches d'informations dont la reconstitution des surfaces topographiques, la cartographie géologique et pédologique, les emplacements des puits municipaux existants et nouveaux ainsi que les entités géographiques prescrites à la réglementation (aires d'alimentation et périmètres de protection), l'emplacement des divers levés géophysiques réalisés dans le passé et dans le cadre de nos activités hydrogéologiques, les périmètres de protection, la vulnérabilité et l'inventaire des activités à risques. Ces informations ont toutes été transmises à l'attention de la Municipalité qui les a insérées dans son système d'information géographique (SIG) en complément des informations qu'elle maîtrisait telles le lotissement, le zonage, les éléments naturels et autres informations.

L'exploitation de ce SIG a permis de dresser les cartes thématiques présentées à l'annexe 3 (Fatima) et à l'annexe 4 (Havre-aux-Maisons). Ces niveaux d'information sont à jour au mois de septembre 2011.

2 TRAVAUX RÉALISÉS

Dans le cadre du présent mandat Étape 1, Madelin'Eau a :

- ✓ Le 21 avril 2011 - Déposé auprès de la Municipalité un programme de travail et son estimé budgétaire portant sur l'expertise hydrogéologique en appui à la Municipalité en regard du projet de Gastem de mettre en place un forage exploratoire gazier conventionnel
- ✓ Le 2 juin 2011 – Tenu une première réunion avec les représentants de Gastem à Montréal,
- ✓ Le 6 juin 2011 – Déposé auprès de la Municipalité une demande d'accès à l'information cartographique utile à la réalisation de son mandat
- ✓ Du 7 au 9 juin 2011 – Effectué une reconnaissance sur le terrain des territoires d'intérêt décrits à la section 1.1 et tenu une réunion avec une partie des membres du conseil municipal et des employés techniques de la Municipalité,
- ✓ Du 10 juin au 31 août 2011 – Attendu une décision de Gastem pour la poursuite du mandat Étape 1,
- ✓ Du 1 au 14 septembre 2011 – Consulté/Exploité la documentation hydrogéologique produite par Madelin'Eau dans le cadre de ses activités antérieures,
- ✓ Le 11 septembre 2011 – Élaboré avec la Municipalité les cartes thématiques demandées le 6 juin 2011,
- ✓ Le 15 septembre 2011 – Tenu une réunion avec les représentants de Gastem,
- ✓ Le 30 septembre 2011 – Déposé à Gastem et à la Municipalité le présent rapport technique

3 SECTEURS DE FATIMA ET HAVRE-AUX-MAISONS - CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

3.1 CONTEXTE GÉNÉRAL

En mars 2003, Madelin'Eau a déposé auprès de la Municipalité un rapport d'étape no 1 décrivant les principaux constats de ses activités couvrant la période – Avril 2002 à mars 2003. Ce rapport s'inscrivait dans le cadre d'un financement alloué par le *Fonds d'action québécois pour le développement durable* (FAQDD) et s'intitulait « *Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable* » (référence no 1).

En décembre 2004, Madelin'Eau a déposé auprès de la Municipalité trois (3) documents experts finaux intitulés « *Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable* ». Le document no 1 décrivait la méthodologie de l'étude, le document no 2, partie B décrivait le contexte hydrogéologique du Secteur de Fatima alors que le document no 3, partie B décrivait l'île de Havre-aux-Maisons, soit des territoires sous-jacents aux secteurs d'intérêt pour Gastem.

Les sections suivante reprennent les principaux éléments des rapports Madelin'Eau (2003 et 2004) adaptés au besoin spécifique du présent projet. La figure 1 présente la carte géologique selon la cartographie de Brisebois, 1981. Le corridor d'intérêt pour Gastem chevauche la formation gréseuse de Cap-aux-Meules, soit les secteurs orangés à Fatima et au nord de l'île de Havre-aux-Maisons de part et d'autre de la lagune du Havre-aux-Maisons. Les points verts localisent l'emplacement des puits municipaux existants en 2004. Depuis, de nouveaux puits municipaux ont été ajoutés en 2009. Cette figure 1 montre que la formation de Cap-aux-Meules constitue le réservoir aquifère sollicité par les puits municipaux.

3.2 CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

Les sections suivantes issues de la référence no 1 concernent la géologie de surface (premier 100 mètres) excluant toutes considérations géologiques à des profondeurs supérieures à 100 mètres (sauf avis contraire lorsque exprimé dans le texte).

Selon Brisebois (1981), les roches observables en surfaces aux Îles-de-la-Madeleine sont regroupées en deux assemblages principaux (voir tableau 1):

- ✓ Le Groupe de Windsor d'âge Carbonifère (Viséen), regroupant les formations :
 - ✓ du Havre-aux-Maisons et
 - ✓ du Cap-du-Diable, et
- ✓ La Formation du Cap-aux-Meules, d'âge Permien inférieur.

La Formation du Cap-aux-Meules repose en discordance sur le Groupe de Windsor. Le tableau 2 précise la lithostratigraphie par assemblage géologique (Membres et Formations) tel que définie par Brisebois (1981).

Figure 1 : Géologie de l'archipel des Îles-de-la-Madeleine

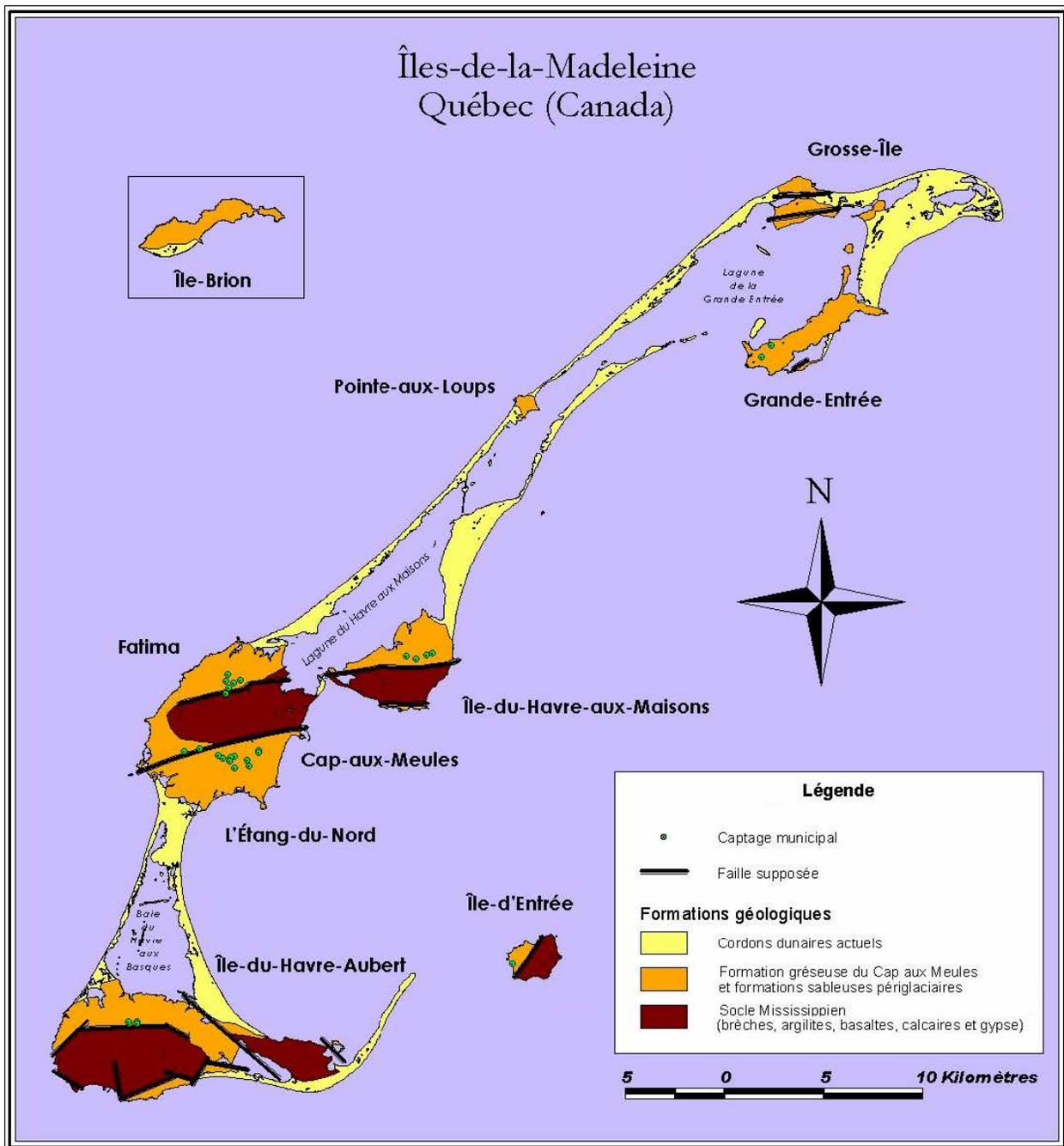


Tableau 1 : Nomenclature stratigraphique des formations permo-carbonifères des Îles-de-la-Madeleine

| Âge | | Millions d'années | Unités stratigraphiques | | |
|-------------------|---------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Permien inférieur | | 245 | Formation du Cap-aux-Meules | | |
| | | 286 | Membre de l'Étang-des-Caps | | |
| | | | Membre de l'Étang-du-Nord | | |
| Carbonifère | Pennsylvanien | Stéphanien | Aucun sédiment (discordance) | | |
| | | Westphalien | | | |
| | | | | | |
| | Mississipien | Namurien | 333 | Groupe de Windsor | |
| | | Viséen | | Formation du Cap-au-Diable | |
| | | | 352 | Formation du Havre-aux-Maisons | |
| | | Tournaisien | | 360 | Aucun sédiment (discordance) |

Sources : Brisebois, D., 1981, DPV-796, p.7

Tableau 2 : Description lithostratigraphique des Membres et Formations du Tableau 1

| Assemblage | Description lithostratigraphique |
|----------------------------------|---|
| Membre de l'Étang-des-Caps : | Grès (quartzitiques) et silstones à laminations obliques géantes |
| Membre de l'Étang-du-Nord : | Grès, silstones, mudstones, conglomérats et calcaires |
| Formation du Cap-au-Diable : | Basaltes, roches pyroclastiques, calcaire cristallin |
| Formation du Havre-aux-Maisons : | Brèches d'effondrement, mudstones, silstones, grès, calcaires, dolomies, gypse, anhydrite, basaltes, roches volcanoclastiques |

Source : Brisebois, D., 1981 - DPV-796

3.2.1 Formation du Havre-aux-Maisons

La **Formation du Havre-aux-Maisons** se retrouve à la base de la séquence stratigraphique observable aux Îles-de-la-Madeleine. Elle est constituée à près de 95% d'une brèche d'effondrement (intraformationnelle) constituée de fragments de mudstones, siltstones, grès, volcanoclastiques et volcaniques, carbonates. Selon Brisebois, 1981, la Formation du Havre-aux-Maisons laquelle pourrait atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, comporterait :

- à la base de la Formation de Havre-aux-Maisons, d'épaisses couches de sels interstratifiées de brèches et d'anhydrite, telles que décrites par les forages profonds réalisés par SOQUEM entre 1973 et 1975; en profondeur, les évaporites totalisent 70% de la séquence stratigraphique,
- dans la partie supérieure de la formation le sel disparaît et le mudstone (60 % des matériaux de la Formation) devient la roche dominante avec des intercalations de :
 - ✓ gypse (5% des matériaux),
 - ✓ calcaires et dolomies (10% des matériaux) de plus en plus abondants vers le sommet de l'unité.
 - ✓ grès (10 % des matériaux) et
 - ✓ roches volcanoclastiques (5% des matériaux).

3.2.2 Formation du Cap-au Diable

La **Formation du Cap-au-Diable** succède graduellement à la Formation du Havre-aux-Maisons. Les roches sont en grande majorité des laves basaltiques et elles sont absentes de la partie nord des îles aussi bien en surface qu'en profondeur. Brisebois (1981) a évalué une puissance approximative de 150 mètres.

3.2.3 Formation du Cap-aux-Meules

La **Formation du Cap-aux-Meules** se subdivise comme suit :

- ✓ Membre de l'Étang-du-Nord et
- ✓ Membre de l'Étang-des-Caps

Près des failles majeures les strates sont sub-verticales, perdant leur inclinaison en s'éloignant des failles, pour devenir sub-horizontales.

3.2.3.1 Membre de l'Étang-du-Nord

Le membre de l'étang-du-Nord est constitué de sédiments terrigènes et d'un peu de calcaire dolomitique. Une estimation de terrain indique que les unités lithologiques principales affleurent

dans les proportions suivantes : grès (80%), mudstone (12%), siltstones (8%) alors que les calcaires et les conglomérats fournissent moins de 1% des matériaux.

La granulométrie des grès est celle d'un grès à grain fin et très fin. La matrice argileuse est toujours inférieure à 5% du volume de la roche. Le grès rouge à ciment d'hématite est poreux et friable. Le grès gris-vert, cimenté par de la calcite, n'est pas poreux et résiste bien à l'érosion. La composition du grès est uniforme sur toute l'épaisseur du membre : quartz et un peu de chert (90 à 95%), feldspath potassique, plagioclase et perthite (5 à 8%), fragments de roches : calcaires, mudstones, roches volcaniques et gypse (<2%).

Brisebois (1981) précise que les sédiments fins, tant mudstones que claystones, ont été cartographiés en bloc et appelés mudstones. Le mudstone apparaît sur toute l'épaisseur du membre mais il est plus abondant à la base de l'unité.

3.2.3.2 Membre de L'Étang-des-Caps

Le membre de l'Étang-des-Caps est constitué entièrement de grès à grain fin ou très fin et d'un peu de siltstones rouges et accessoirement gris-vert. La caractéristique distinctive de ces sédiments est la présence de laminations et de stratifications obliques géantes sur toute l'épaisseur de l'unité. L'épaisseur calculée de l'unité est de 370 m. Selon Brisebois (1981), les grès et les siltstones du Membre de l'Étang-des-Caps représentent vraisemblablement un champ de dunes éoliennes fossilisées.

Tout comme les grès du Membre de l'Étang-du-Nord, la granulométrie des grès du Membre de l'Étang-des-Caps est celle d'un grès à grain fin et très fin. Le grès est composé de quartz (92 à 95%), de feldspath (2 à 3 %), de fragments de roches volcaniques, de mudstones, de gypse et de calcaires (1 à 2%).

3.3 GÉOLOGIE STRUCTURALE

3.3.1 Les failles

La distribution des roches en surface est contrôlée principalement par un réseau de failles subverticales qui délimitent une série de blocs affectés de mouvements verticaux. Sur l'île du Havre-Aubert et sur les îles du Cap-aux-Meules et Havre-aux-Maisons, ces blocs constituent deux horsts composés des roches déformées, fracturées et bréchiques du Groupe de Windsor qui percent les strates essentiellement horizontales de la Formation du Cap-aux-Meules. Brisebois estime à 300 m l'amplitude des déplacements verticaux alors que le mouvement vertical des diapirs de sels pourrait atteindre près de 5000 mètres (Howie et Barss (1975)). La présence de sel diapirique sous l'archipel des îles et les réajustements qui se sont produits à l'intérieur de ces masses salines ont fournis le mécanisme moteur au mouvement des horsts.

Le horst du Cap-aux-Meules et du Havre-aux-Maisons dominant es îles du même nom dans une direction ouest-sud-ouest à est-nord-est, sur une longueur de 14 km et une largeur variant de 2 à 2,5 km. Il est largement ouvert sur la mer, à l'est, tandis que le mouvement vertical semble s'atténuer vers l'ouest, où le Membre de L'Étang-du-Nord recouvre les roches du Groupe de Windsor.

3.3.2 Les plis

Des plissements sont observés dans le Groupe de Windsor. Trois plis plus importants sont rapportés sur les cartes : deux synclinaux et un anticlinal dont le synclinal de l'anse à Damase (Havre-aux-Maisons).

Ce synclinal affleure dans la coupe côtière de l'anse à Damase et se prolonge à l'intérieur de l'île du Havre-aux-Maisons sur une distance de 1,7 km selon une direction nord-est-sud-ouest. Les pendages des flancs sont de l'ordre de 40 à 50° et le pli semble plonger vers le sud avec un angle faible. Comme pour le synclinal de l'Île d'Entrée, la Formation du Cap-au-Diable est préservée au cœur du plissement et la Formation du Havre-aux-Maisons apparaît sur les flancs.

3.3.3 Les diaclases

Les Formations du Havre-aux-Maisons et du Cap-au-Diable sont traversées par un réseau très complexe de fractures sans orientation préférentielle. Les fractures de la Formation du Havre-aux-Maisons sont généralement remplies de veines de gypse alors qu'on observe surtout de la calcite, un peu de silice et d'hématite dans la Formation du Cap-au-Diable.

4 SECTEUR DE FATIMA - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

4.1 RÉSERVOIR AQUIFÈRE CAPTÉ PAR LES PUIITS MUNICIPAUX

Le réservoir aquifère capté par les puits municipaux existants et nouveaux est composé des grès de la formation de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps (voir section 3.2.3.2) excluant les autres formations géologiques.

En décembre 2004 (voir référence no 2b), Madelin'Eau a modélisé le contexte hydrogéologique des Îles-de-la-Madeleine avec le logiciel de modélisation MODFLOW. Cette modélisation a permis de simuler le fonctionnement hydrogéologique des aquifères de l'Île de Cap-aux-Meules notamment le secteur de Fatima. La méthodologie ainsi que les hypothèses d'applicables au modèle développé sont précisées dans le document 1 (voir référence 2a).

Ce qui suit, est un extrait du rapport Madelin'Eau, décembre 2004, document 2b.

4.2 CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE L'ÎLE DE CAP-AUX-MEULES

La modélisation des écoulements du secteur de Fatima a été réalisée conjointement avec celle du secteur L'Étang-du-Nord – Cap-aux-Meules car il s'agit de la même entité insulaire, géographique et hydrogéologique.

La figure 2 montre la distribution spatiale des conductivités hydrauliques retenues pour la modélisation de l'île de Cap-aux-Meules. Le corridor d'intérêt décrit à la section 1.1 chevauche donc des secteurs géographiques où la conductivité hydraulique est de :

- ✓ $2,8 * 10^{-5}$ m/s (plage jaune) correspondant à la formation gréseuse de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps (unité 3B de la carte géologique de l'annexe 3),
- ✓ $1,2 * 10^{-6}$ m/s (plage orangée) correspondant à la formation gréseuse de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-du-Nord (unité 3a de la carte géologique de l'annexe 3).

Les formations centrales des îles (correspondant aux zones de horst) n'ont pas été prises en compte dans le modèle, du fait de leur très faible perméabilité et de l'absence de mesure de transmissivité caractérisant leurs formations géologiques. Dans ce dernier domaine (zone des horsts = plage grise sur la figure 2), les écoulements sont supposés avoir lieu soit par écoulement de surface, soit par écoulement hypodermique, c'est-à-dire dans les matériaux meubles de recouvrement et dans les sols de surface.

La figure 3 présente la carte piézométrique simulée en régime permanent pour la totalité de l'Île de Cap-aux-Meules incluant les prélèvements effectifs provenant des puits existants en 2004. Les niveaux d'eau simulés ont été calés sur les niveaux statiques printaniers mesurés sur les puits de l'Île (voir détails méthodologiques du calage dans la section méthodologique, référence no 2, Document No 1).

La piézométrie de l'Île de Cap-aux-Meules montre une géométrie circulaire avec des gradients hydrauliques radiaux du cœur de l'île vers la périphérie. Les écoulements provenant du horst central contribue à l'alimentation de l'aquifère des grès au niveau de la zone de contact horst-grès. L'eau s'écoule ensuite en direction de la mer, perpendiculairement aux courbes piézométriques.

Dans le secteur de Fatima, les gradients hydrauliques sont relativement faibles, traduisant un matériel aquifère très perméable (conductivités hydrauliques de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s), constitué des grès rouges du Membre de L'Étang-des-Caps.

Les captages municipaux existants en 2004, pourtant densément implantés, rabattent relativement peu la surface de la nappe (en conditions moyennes sur l'année). Au contraire, en bordure du horst, les gradients hydrauliques sont beaucoup plus marqués. Ceci est dû à la présence, identifiée par la géophysique, de matériaux moins perméables à quelques 30 m de profondeur. Ces terrains correspondent aux compartiments de socle effondrés limitant en profondeur l'extension de l'aquifère des grès et abaissant donc de façon importante la transmissivité du milieu.

Figure 2 : Île de Cap-aux-Meules - Conductivités hydrauliques utilisées pour la modélisation

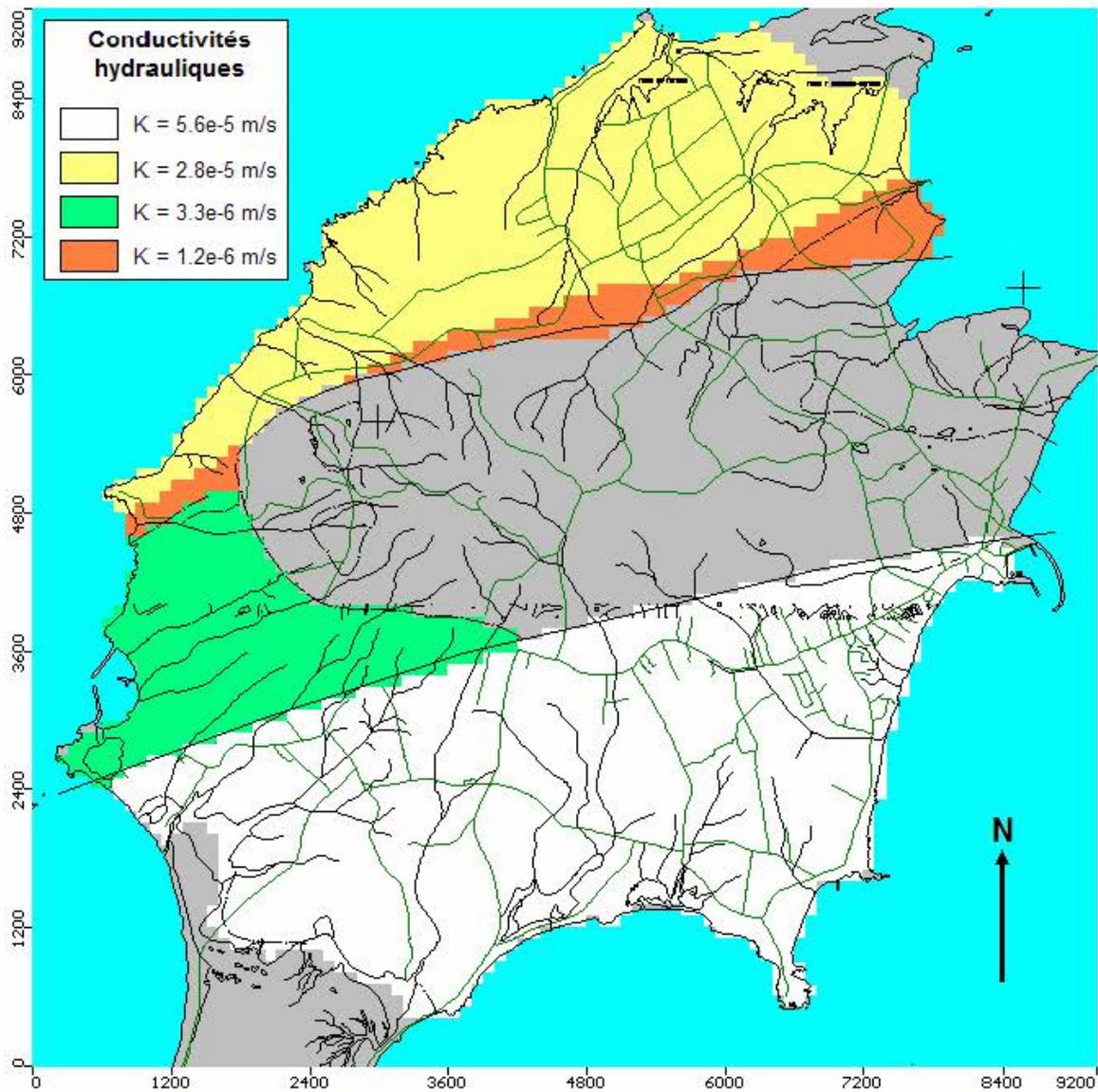
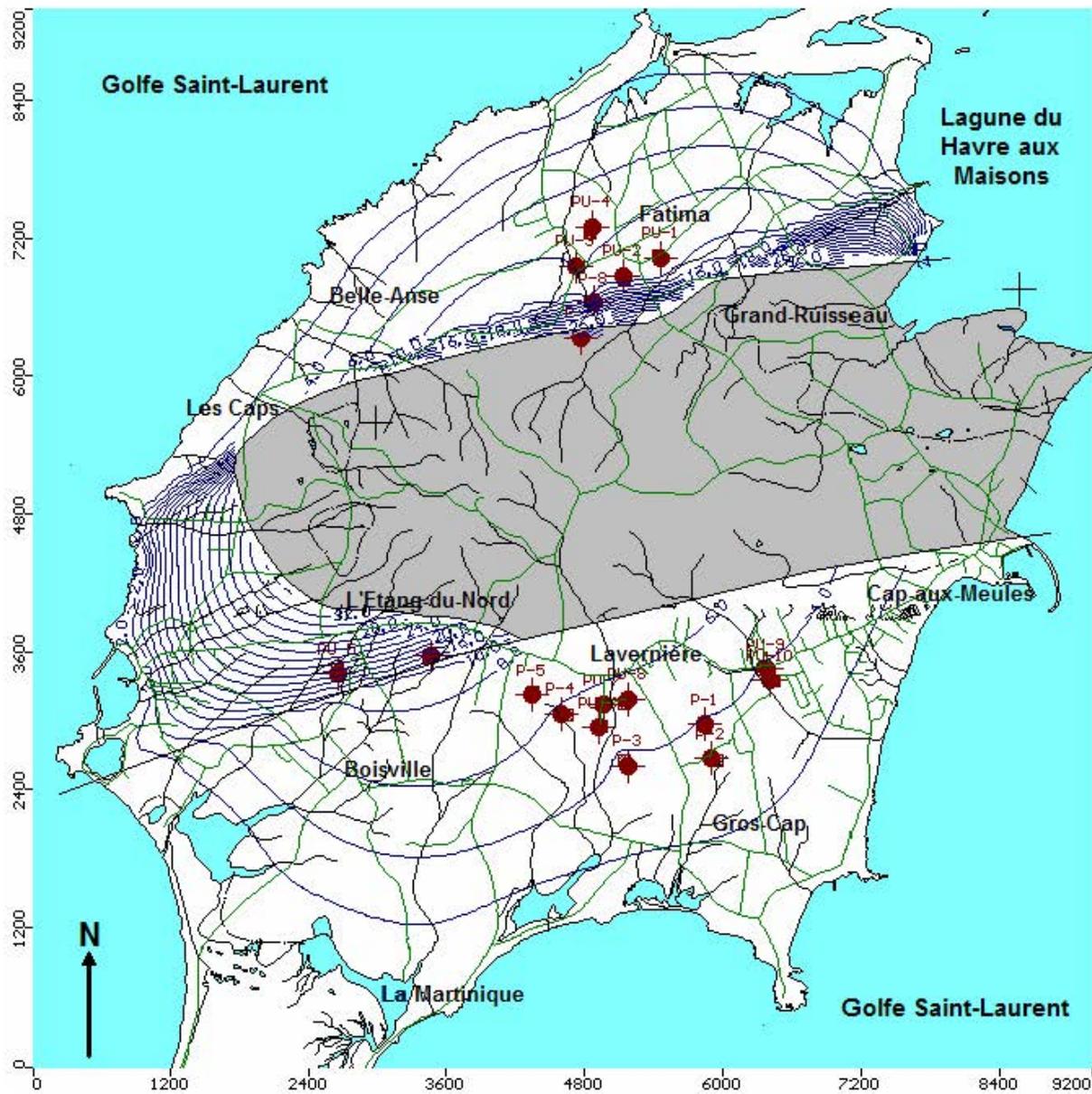


Figure 3 : Île de Cap-aux-Meules - Piézométrie simulée (régime permanent) et puits municipaux existant en 2004



4.3 BILAN DES ENTRÉES – SORTIES D'EAU

En termes hydrogéologiques, le bilan des entrées – sorties d'eau dans le système aquifère de l'Île de Cap-aux-Meules montre que :

- les entrées d'eau (recharge uniforme et infiltration au contact du socle) totalisent en moyenne 26 560 m³/j;
- les prélèvements par les puits de pompage existant en 2004 totalisaient en moyenne 3 562 m³/j;
- les sorties d'eau en mer représentaient donc un flux moyen de 22 998 m³/j.

Seuls 13% de l'eau s'infiltrant dans l'aquifère étaient donc interceptés par les ouvrages municipaux existant en 2004 répartis sur l'île de Cap-aux-Meules. L'exploitation de la ressource, en termes quantitatifs globaux, était loin d'épuiser la ressource. Il faut cependant préciser que cette remarque ne tient pas compte de l'effet de la répartition spatiale de ces prélèvements ni de l'équilibre du biseau salé.

4.4 RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS ET DISTRIBUTION DES DÉBITS POTENTIELS

La répartition spatiale des prélèvements n'est pas homogène sur la surface de l'île. Les captages sont souvent implantés en regroupements serrés, impliquant des secteurs où la nappe est très sollicitée.

La figure 4 propose un découpage du secteur de Fatima en zones d'équi-recharge (c'est-à-dire d'approximativement même recharge). Chacune des quatre zones peut être considérée comme un aquifère relativement 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 3 résume les valeurs des débits entrants, prélevés à partir des puits municipaux existant en 2004, échangés et perdus en mer pour chacune des zones définies. D'après le tableau 3 et la figure 4, on constate, pour le secteur de Fatima, que :

- dans la zone 9 (Fatima Centre), où sont implantés les six captages du secteur existant en 2004, une part importante de la recharge (37 %) est interceptée;
- dans les zones 7, 8 et 10, où la ressource n'était pas exploitée (en 2004), 2118, 1582 et 2768 m³/j s'écoulaient respectivement en mer.

Figure 4 : Secteur de Fatima - Subdivision du secteur en zones d'équi-recharge

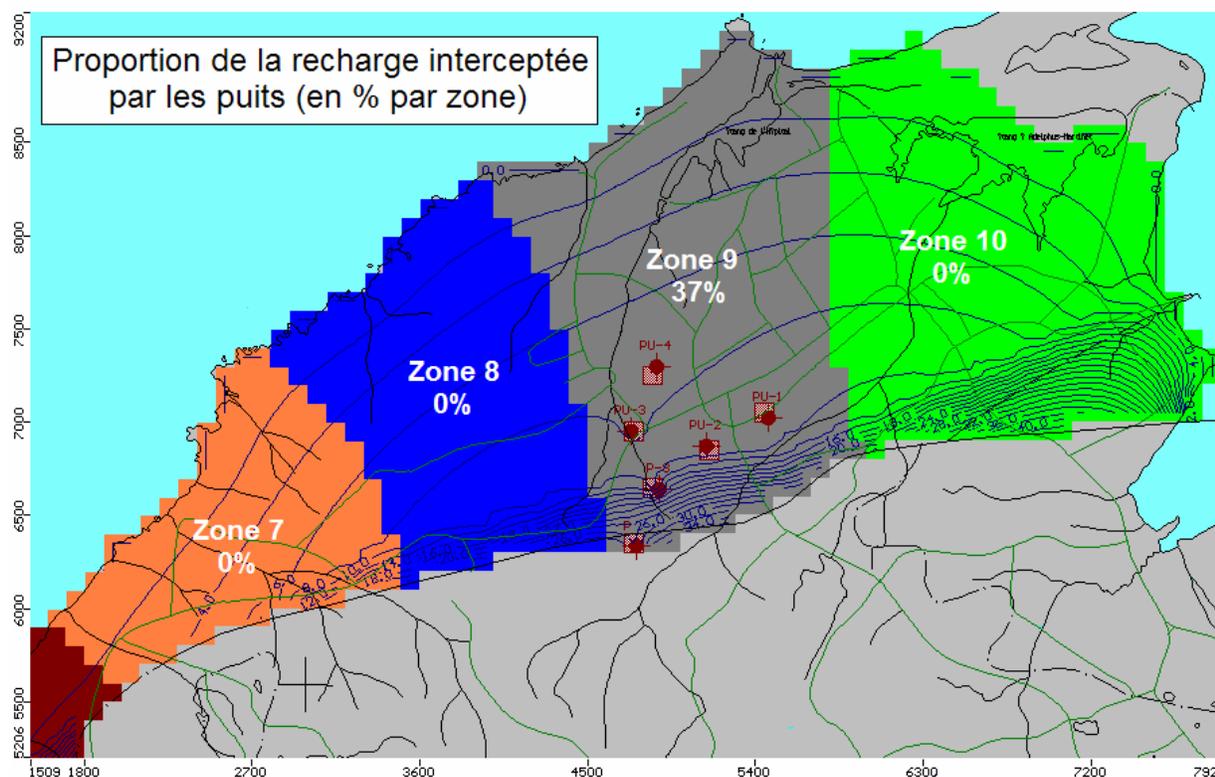


Tableau 3 : Secteur de Fatima - Bilan des débits par zone d'équi-recharge

| Zone # | Recharge m3/j | Prélèvements m3/j | Pertes en mer m3/j | Echanges avec zones voisines m3/j | Recharge prélevée par les puits % |
|--------|---------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 7 | 1815 | 0 | 2118 | 303 | 0 |
| 8 | 1984 | 0 | 1582 | 402 | 0 |
| 9 | 2904 | 1062 | 2093 | 251 | 37 |
| 10 | 2911 | 0 | 2768 | 143 | 0 |

4.5 POTENTIEL D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE

Comme discuté précédemment, la répartition 2004 des captages municipaux était responsable d'une exploitation intense et localisée de la ressource. Dans le secteur de Fatima Centre, plus de 37% de la recharge était déjà interceptée en zone 9 par les puits municipaux existant en 2004. En termes de quantité d'eau, ce chiffre pourrait laisser supposer qu'il reste encore, pour le captage, 63% de la ressource renouvelable. Ceci n'est pas le cas puisque ces 63% de recharge non interceptés servent à maintenir la position actuelle du biseau salé, en « refoulant » vers la mer et

vers le fond les eaux salines. Il en va de même pour les secteurs vierges où l'on ne peut envisager de capter toute la ressource disponible. En positionnant de façon optimale les puits de captage, on pourrait espérer pouvoir aller chercher dans ces nouveaux secteurs 40% de la ressource renouvelable disponible.

Le corridor d'intérêt de Gastem (voir section 1.1) s'étend donc dans la zone 10 où il n'y a actuellement (septembre 2011) aucun puits municipal existant et pour lequel existerait un certain potentiel hydrogéologique. Toutefois, ce potentiel est loin d'être effectif car le milieu est densément habité, la piézométrie est relativement faible (quelques mètres au-dessus du zéro marin) restreignant le potentiel de ce secteur par la présence de l'interface eau douce / eau salée induite par la présence de deux masses d'eau salée distinctes :

- ✓ Au nord, le golf du Saint-Laurent,
- ✓ À l'est, la lagune de Havre-aux-Maisons.

4.6 PRÉLÈVEMENTS MUNICIPAUX 2010

4.6.1 Les puits municipaux

En septembre 2011, la municipalité est propriétaire de six (6) puits existants (PU-1 à PU-4 : P7 et P8) et de quatre (4) nouveaux puits (FAT-09-01 à FAT-09-04) faisant actuellement (septembre 2011) l'objet d'une demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES déposée en mai 2010 auprès du MDDEP. Les coordonnées de ces puits municipaux sont au tableau 4.

Tableau 4 : Secteur de Fatima - Coordonnées des dix (10) puits municipaux

| PUIITS | Fatima | | Coordonnées MTM NAD83 et distances de séparation entre les ouvrages | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|---------|---|------|------|------|------|------|------------------------|-------------|-------------|-------------|---|---|---|
| | X | Y | Puits existants | | | | | | Puits réalisés en 2009 | | | | | | |
| | | | PU1 | PU2 | PU3 | PU4 | P7 | P8 | FAT-09-01PP | FAT-09-02PP | FAT-09-03PP | FAT-09-04PP | | | |
| PU1 | 274869 | 5251625 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PU2 | 274540 | 5251473 | 362 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PU3 | 274132 | 5251554 | 740 | 416 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PU4 | 274267 | 5251899 | 661 | 506 | 370 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P7 | 274164 | 5250935 | 986 | 656 | 620 | 969 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P8 | 274287 | 5251240 | 698 | 344 | 350 | 659 | 329 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| FAT-09-01PP | 272563 | 5250968 | 2398 | 2040 | 1675 | 1942 | 1601 | 1745 | - | - | - | - | - | - | - |
| FAT-09-02PP | 272711 | 5251114 | 2218 | 1864 | 1488 | 1743 | 1464 | 1581 | 208 | - | - | - | - | - | - |
| FAT-09-03PP | 272917 | 5251185 | 2001 | 1648 | 1270 | 1527 | 1272 | 1371 | 415 | 218 | - | - | - | - | - |
| FAT-09-04PP | 273308 | 5251954 | 1595 | 1323 | 916 | 961 | 1331 | 1212 | 1236 | 1031 | 863 | - | - | - | - |

La frontière ouest du secteur d'intérêt Gastem (voir carte de localisation transmise par la Municipalité à l'annexe 3) est à quelque 600 m du puits municipal le plus proche soit le puits PU-1. Les localisations des puits réalisés en 2009 sont toutes sises à l'ouest des puits existants en 2004 donc hors limite de la carte de l'annexe 3 soit dans la zone 8 de la figure 4. Aussi, la figure

5 localise à une échelle régionale les emplacements de l'ensemble des puits municipaux (incluant les puits 2009) par rapport au secteur d'intérêt Gastem.

Les profondeurs des puits existant varient de 48,80 m/sol (P8) à 71,63 m/sol (PU-2) dans les limites de la zone 9 (voir figure 4) alors que celles des puits nouveaux réalisés en 2009 varient de 49,4 m/sol (FAT-09-04P) à 61,6 m/sol (FAT-09-02P) dans les limites de la zone 8 (voir figure 4). Comparativement à la profondeur projetée du forage exploratoire gazier (profondeur estimée de 2500 mètres), seuls les premiers 75 m ont été investigués. La description lithostratigraphique provenant du forage Gastem apportera d'importantes précisions sur la lithostratigraphie et les structures géologiques imbriquées dans le réservoir aquifère capté par les puits municipaux. En effet, l'épaisseur présumée selon Gastem (voir annexe 1) de la formation de Cap-aux-Meules serait de 800 m alors que par hypothèse dans le cadre de la modélisation ayant eu lieu en 2004, et mise à jour en 2009, cette épaisseur a été posée à 500 m.

4.6.2 Prélèvement actuel du réservoir aquifère

En mai 2010 (voir référence no 6), Madelin'Eau a déposé auprès du MDDEP une demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES visant à ajouter au prélèvement existant de 1263 m³/j (14,62 L/s) à partir des puits existants (PU-1, PU-2 et P-7, P-8, voir référence 4) : un prélèvement additionnel de 979,7 m³/j (11,34 L/s) à partir de quatre (4) nouveaux puits de production identifiés FAT-09-01PP, FAT-09-02PP, FAT-09-03PP, FAT-09-04PP. Tous ces puits (existants et en demande d'autorisation) visent l'alimentation du réseau d'aqueduc approvisionnant en eau potable le secteur de Fatima.

Ce projet de captage visait à combler les besoins en eau du secteur à l'horizon (+ 30 ans) soit l'année 2040. Les prélèvements concernés par cette demande d'autorisation sont distribués comme indiqués au tableau 5.

Ainsi, lorsqu'ils seront autorisés, les puits FAT-09-01PP, FAT-09-02PP, FAT-09-03PP, FAT-09-04PP ajouteront un débit d'eau potable de 979,3 m³/j, ce qui portera le débit total disponible pour le secteur de Fatima à 2242,7 m³/j.

Tableau 5 : Secteur de Fatima - Puits municipaux - Répartition des prélèvements autorisés et en demande d'autorisation

| Scénario 3 (30 ans) | | |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|
| Puits | Débit simulé | Somme |
| | m ³ /j | m ³ /j |
| Puits existant en 2004 | | |
| PU-1 | 418 | 1263 |
| PU-2 | 384 | |
| PU-3 | 0 | |
| PU-4 | 0 | |
| P-7 | 216 | |
| P-8 | 245 | |
| Puits réalisés en 2009 | | |
| FAT-09-01 | 217,7 | 979,7 |
| FAT-09-02 | 217,7 | |
| FAT-09-03 | 217,7 | |
| FAT-09-04 | 326,6 | |
| Total = | 2242,7 | m³/j |

4.7 VULNÉRABILITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE (DRASTIC)

Le 3^e paragraphe de l'article 25 du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (RCES) 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 ».

La méthode DRASTIC demeure la méthode de détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines la plus communément utilisée. Cette méthode qui consiste en un système de cotation numérique est décrite en détail dans le document EPA/600-2-87-035 (Aller et al, 1987).

Cette méthode repose sur les trois hypothèses de base suivantes avec lesquelles les utilisateurs doivent être familiers afin de bien cerner ses limites d'application :

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol,
- De la surface du sol les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace,
- La nature des contaminants potentiels n'est pas considérée dans le calcul de l'indice.

Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC identifient les paramètres qui permettront de déterminer la valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces derniers sont dans l'ordre :

- ✓ D : *Depth to water table* ou profondeur de la nappe d'eau;
- ✓ R : *Recharge* ou infiltration efficace;
- ✓ A : *Aquifer media* ou milieu aquifère;
- ✓ S : *Soil media* ou type de sol (pédologie)
- ✓ T : *Topography* ou pente du terrain;
- ✓ I : *Impact of the vadose zone* ou impact de la zone vadose;
- ✓ C : *Hydraulic conductivity* ou conductivité hydraulique.

Ces sept paramètres découpent de façon schématique une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol.

Une valeur numérique (poids paramétrique) comprise entre 1 et 5 reflète le degré d'influence de chacun des paramètres de calcul énumérés ci-dessus. Le poids de ces paramètres a été fixé par un groupe expert américain selon la méthode DELPHI. À chacun des paramètres est aussi associée une cote variant de 1 à 10 définie en fonction d'intervalles de valeurs. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. L'attribution de la cote à chacun des paramètres doit être faite par un hydrogéologue chevronné et familier du terrain.

L'indice de vulnérabilité DRASTIC (ID) est déterminé pour chacune des unités hydrogéologiques à l'intérieur des aires de protection correspondant à des temps de transport de 200 et 550 jours par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante.

Ainsi :

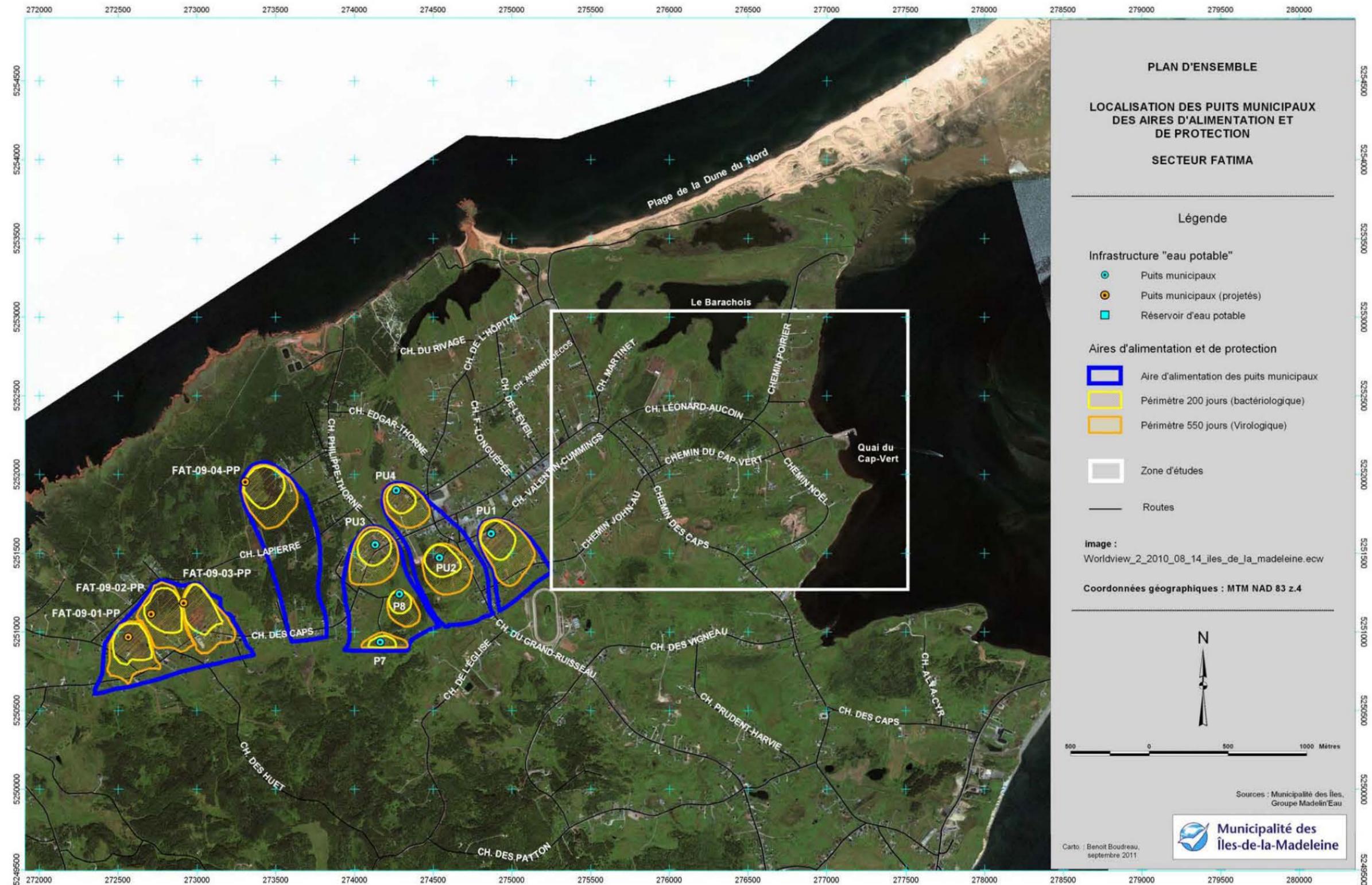
$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$

Madelin'Eau, mai 2010 (référence no 6) précise l'indice DRASTIC pour les quatre (4) puits de production FAT-09-01PP ; FAT-09-02PP ; FAT-09-03PP et FAT-09-04PP qui captent une seule unité hydrogéologique : un grès fracturé décimenté recouvert par une mince couche superficielle de sable graveleux à argileux. Le grès capté (formation de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps) constitue une unité hydrogéologique homogène qui s'étend sur les zones 7 à 10 (voir figure 4). Pour la zone 8 où se trouvent les puits municipaux réalisés en 2009, l'indice DRASTIC varie de 101 à 113. Selon le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, article 13, les eaux souterraines sont considérées vulnérables au droit des périmètres de protection d'un captage lorsque :

- L'indice général DRASTIC est supérieur à 100 au niveau des périmètres de protection bactériologique et virologique,
- Au droit desdits périmètres de protection se retrouvent des ouvrages ou des activités susceptibles d'altérer la qualité microbiologique des eaux souterraines.

Considérant l'extension régionale de cette unité hydrogéologique qui renferme une nappe libre, il est possible d'entrevoir la présence d'une nappe vulnérable sur l'ensemble des zones 7 à 10 de la figure 4 et ce, dans les limites de la formation de Cap-aux-Meules.

Figure 5 : Secteur de Fatima - Localisation des puits municipaux



4.8 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

4.8.1 Puits prélevés et échantillonnés

Les meilleurs indicateurs de la qualité des eaux souterraines du réservoir aquifère composé des grès de la formation de Cap-aux-Meules en particulier le membre de l'Étang-des-Caps, sont ceux provenant de la demande d'autorisation déposée en mai 2010 pour le secteur de Fatima (voir référence no 6). Cette évaluation de la qualité des eaux souterraines prévalait pour la zone 8 (voir figure 4) et non la zone 10 sous-jacente au corridor d'intérêt Gastem. Toutefois et considérant l'extension régionale de la formation de Cap-aux-Meules (voir section 4.1) constituant le réservoir aquifère utile du secteur, cette qualité des eaux souterraines peut être élargie à l'ensemble des zones 7 à 10, en terme de signature chimique générale.

Les analyses effectuées répondaient aux normes et exigences du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP) adopté en juin 2001 et, ce, pour les débits testés apparaissant au tableau 5. Ces résultats concernent les puits municipaux réalisés en 2009 (FAT-09-01 à FAT-09-04) qui se localisent dans la zone 8 (voir figure 4) et non la zone 10 (voir figure 4) sous-jacente au corridor d'intérêt Gastem. Toutefois, la qualité des eaux souterraines provenant de la zone 10 (non déterminée en 2010) et du réservoir aquifère composé des grès de la formation de Cap-aux-Meules en particulier le membre de l'Étang-des-Caps, est réputée être de qualité équivalente à celle provenant du même réservoir sous-jacent à la zone 8.

Ainsi, des échantillons d'eau ont été prélevés à 24, 48 et 72h à chacun des puits lors du pompage simultané des quatre (4) puits de production testés à un débit cumulé de 15,12 L/s, et analysés en conformité avec les exigences du *Guide de conception des installations de production d'eau potable*, décembre 2006, notamment en ce qui concerne :

- ✓ Les paramètres énumérés aux tableaux 6-1 (24 h et 72 h) et 6-2 (24h, 48h et 72h) de ce guide ont été analysés pour chacun des puits de production (total = 4 puits),
- ✓ Les paramètres de l'Annexe 1 du RQEP ont été analysés après 72h de pompage pour une sélection de deux (2) puits parmi 4 puits de production soit les puits FAT-09-01PP et FAT-09-04PP.

Les résultats d'analyses sont compilés aux tableaux 6 à 8 du présent rapport et les certificats d'analyses sont regroupés aux annexes 10 à 13 du rapport cité à la référence no 6.

4.8.2 Résultats

La qualité microbiologique de l'eau souterraine captée aux puits FAT-09-01PP, FAT-09-02PP, FAT-09-03PP et FAT-09-04PP respectait les critères de potabilité stipulés par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP).

Les eaux souterraines présentaient un faciès hydrogéochimique :

- ✓ bicarbonaté, chloruré et sodique aux puits FAT-09-01PP, FAT-09-02PP et FAT-09-04PP,
- ✓ bicarbonaté, chloruré et calcique au puits FAT-09-03PP.

Tous les puits testés (FAT-09-01PP, FAT-09-02PP, FAT-09-03PP et FAT-09-04PP) respectaient, pour les paramètres inorganiques, les normes de potabilité stipulées par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP)*. Seules certaines recommandations n'étaient pas totalement rencontrées tels :

- ✓ La dureté totale pour le puits FAT-09-03PP qui excède le critère esthétique de 180 mg/L CaCO_3 et
- ✓ le pH détecté en FAT-09-01PP (pH = 6,4) légèrement inférieure à la plage recommandée (6,5 < pH < 8,5).

Les paramètres organiques prescrits au RQEP, annexe 1, ont été analysés après 73 heures de pompage aux puits de production FAT-09-01PP et FAT-09-04PP uniquement, à l'exception des composés organiques volatils qui ont été analysés au niveau de chacun des quatre (4) puits testés. Tous les composés organiques semi-volatils, les phénols ainsi que l'acide nitrilotriacétique analysés sont en deçà des limites de détection de chaque analyse. Seule une faible concentration en chloroforme (chloroforme = 9 µg/L) a été détectée au puits FAT-09-04PP (voir section 4.8.3).

Les pesticides prescrits au RQEP, annexe 1, ont été analysés après 73 heures de pompage aux puits de production FAT-09-01PP et FAT-09-04PP et étaient jugés non détectés.

Les paramètres radiologiques prescrits au RQEP, annexe 1, ont été analysés après 73 heures de pompage aux puits de production FAT-09-01PP et FAT-09-04PP. Les résultats obtenus étaient sous les seuils de quantification ou bien détectés à des teneurs nettement inférieures aux critères de potabilité stipulés par le RQEP.

4.8.3 Particularités

En ce qui concerne la présence du chloroforme, en mars 2010, Monsieur Benoit Barbeau, ing., Ph. D (référence no 5) a évalué la problématique du chloroforme dans les eaux souterraines en particulier pour le secteur de Grande-Entrée. L'opinion scientifique de Monsieur Barbeau suggérait que les concentrations en chloroforme détectées dans les eaux souterraines de l'archipel (incluant le secteur de Fatima) n'ont rien d'exceptionnel, et seraient associées aux eaux profondes des îles-de-la-Madeleine et peuvent être, selon la littérature scientifique, d'origine naturelle.

Le chloroforme, un trihalométhane, ne fait pas l'objet d'une norme spécifique dans le RQEP, par contre la somme des trihalométhanes (chloroforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane, bromoforme) doit être inférieure à 80 µg/L. La teneur en chloroforme

détectée au captage FAT-09-04PP (chloroforme = 9 µg/L) peut donc être assimilée à un bruit de fond naturel sans aucun impact sur la santé publique.

Également, la loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement (LCPE, 1999) ne régit pas le chloroforme.

4.8.4 Constance de la qualité de l'eau souterraine dans le temps

Durant l'essai de pompage simultané de 73 heures au débit cumulé de 15,12 L/s réparti sur les quatre (4) puits faisant l'objet de la demande d'autorisation déposée en mai 2009, des échantillons d'eau ont été prélevés après 24, 48 et 73 heures. Le tableau 6 indique les indicateurs généraux de qualité (faciès chimique, indésirables, etc.) alors que le tableau 7 compile tous les résultats d'analyses obtenus pour les paramètres des Tableaux 6-1 et 6-2 et le tableau 8 les paramètres associés à l'annexe 1 du RQEP. L'examen du tableau 7 montre une constance de la qualité de l'eau par puits en fonction du temps.

Cette constance de la qualité présuppose que les conditions d'exploitation des puits recommandées au tableau 5 soient strictement observées. Autour des puits municipaux, la qualité des eaux souterraines pourrait être menacée par la migration de l'interface eau douce/eau salée en direction des puits si les conditions d'exploitation des puits ne sont pas respectées.

Tableau 6 : Secteur de Fatima - Comparaison de la qualité inorganique des eaux souterraines

| Puits de production | FAT-09-01PP | FAT-09-02PP | FAT-09-03PP | FAT-09-04PP |
|--------------------------|---|---|---|---|
| L/s | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 3,78 |
| pH | 6,4 | 7,3 | 7,6 | 6,9 |
| Minéralisation | Faible, SD = 150 mg/L | Faible, SD = 170 mg/L | Moyenne, SD = 300 mg/L | Faible, SD = 170 mg/L |
| Faciès | Bicarbonatée (28 mg/L HCO ₃) chlorurée (35 mg/L Cl) et sodique (28 mg/L Na) | Bicarbonatée (77 mg/L HCO ₃) chlorurée (32 mg/L Cl) et sodique (25 mg/L Na) | Bicarbonatée (120 mg/L HCO ₃) chlorurée (89 mg/L Cl) et calcique (76 mg/L Ca) | Bicarbonatée (44 mg/L HCO ₃) chlorurée (43 mg/L Cl) et sodique (28 mg/L Na) |
| Dureté | Douce (47 mg/L CaCO ₃) | Douce (88 mg/L CaCO ₃) | Supérieure à la recommandation (210 mg/L CaCO ₃) | Douce (71 mg/L CaCO ₃) |
| Indicateurs de pollution | Nitrates (3,2 mg/L NO ₃) | Nitrates (1,5 mg/L NO ₃) | Nitrates (2,4 mg/L NO ₃) | Nitrates (0,49 mg/L NO ₃) |
| Indésirables | Sans fer et traces de manganèse (0,008 mg/L Mn) | Sans fer et sans manganèse | 0,17 mg/L Fe et traces de manganèse (0,007 mg/L Mn) | Sans fer et sans manganèse |

Tableau 7 : Secteur de Fatima - Puits de production – Résultats d'analyses – Tableaux 6-1 et 6-2

| Débit testé (L/s) | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|--|--|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Date de prélèvement | | | 23-nov-09 | 24-nov-09 | 25-nov-09 | 23-nov-09 | 24-nov-09 | 25-nov-09 |
| Paramètres | Unités | Valeur maximale (RQEP ou recommandation) | FAT-09-01PP | | | FAT-09-02PP | | |
| | | | Caractéristiques microbiologiques | | | | | |
| - Coliformes totaux | UFC/100 ml | 10 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Coliformes fécaux | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Colonnies atypiques | UFC/100 ml | 200 | <1 | <1 | 3 | 87 | 17 | 35 |
| - Entérocoques | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Virus coliphage F-spécifiques | Détection /100 ml | 0 | NA | NA | absence | NA | NA | absence |
| Caractéristiques physiques | | | | | | | | |
| - Couleur vraie | (UCV) | <15 (1) | <2 | <2 | <2 | 3 | <2 | <2 |
| - pH | | 6,5 - 8,5 | 6,6 | 6,45 | 6,38 | 7,33 | 7,35 | 7,3 |
| - Température de l'eau à l'émergence | (oC) | < 15 degré C | 6,7 | | | 6,5 | | |
| - Turbidité | (UTN) | 5 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | <0,1 | 0,1 |
| Caractéristiques chimiques | | | | | | | | |
| - Absorbance UV 254 nm | (cm-1) | - | 0,014 | 0,014 | 0,016 | 0,014 | 0,011 | 0,016 |
| - Alcalinité totale | (mg/l CaCO3) | - | 27 | 27 | 28 | 88 | 79 | 77 |
| - Antimoine | (mg/l) | 0,006 | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | <0,003 |
| - Arsenic | (mg/l) | 0,025 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Azote ammoniacal | (mg/l N) | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0,05 | <0,05 |
| - Azote total Kjeldahl | (mg/L N) | - | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Baryum | (mg/l) | 1 | <0,02 | NA | <0,02 | <0,02 | NA | <0,02 |
| - Bore | (mg/l) | 5 | <0,05 | NA | <0,05 | <0,05 | NA | <0,05 |
| - Bromures | | - | 0,1 | NA | 0,2 | <0,1 | NA | <0,1 |
| - Carbone organique dissous | (mg/l) | - | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| - Carbone organique total | (mg/l) | - | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1 | 1 | 1 |
| - Cadmium | (mg/l) | 0,005 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Chrome (total) | (mg/l) | 0,05 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Conductivité 25oC | (S/cm) | <1500 (2) | 230 | NA | 230 | 290 | NA | 280 |
| - Cuivre | (mg/l) | 1 | <0,003 | NA | <0,003 | 0,0036 | NA | 0,0093 |
| - Cyanures | (mg/l) | 0,2 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Demande en chlore | (mg/l) | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,4 |
| - Dureté totale | (mg/l CaCO3) | <180 - 200 (2) | 43 | 44 | 47 | 85 | 79 | 88 |
| - Fer dissous | (mg/l) | - | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 | <0,1 | <0,1 |
| - Fer total | (mg/l) | 0,3 (2) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,15 | <0,1 | <0,1 |
| - Fluorures | (mg/l) | 1,5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | NA | 0,2 |
| - Manganèse dissous | (mg/l) | - | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,005 | 0,003 | <0,003 |
| - Manganèse total | (mg/l) | 0,05 (1) | 0,0087 | 0,0078 | 0,0074 | 0,005 | 0,0035 | <0,003 |
| - Matières en suspension | (mg/l) | - | <2 | <2 | <2 | 5 | <2 | <2 |
| - Mercure | (mg/l) | 0,001 | <0,0001 | NA | <0,0001 | <0,0001 | NA | <0,0001 |
| - Nitrates + Nitrites | (mg/l N) | 10 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |
| - Nitrites | (mg/l N) | 1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| - Plomb | (mg/l) | 0,01 | <0,005 | NA | <0,005 | <0,005 | NA | <0,005 |
| - Sélénium | (mg/l) | 0,01 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Solides dissous 180oC | (mg/l) | - | 150 | 150 | 150 | 170 | 180 | 170 |
| - Solides totaux 180oC | (mg/l) | <500 (1) | 150 | 150 | 150 | 180 | 180 | 170 |
| - Sulfures | (mg/l H2S) | 0,05 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,03 | <0,02 | <0,02 |
| - Uranium | (mg/l) | 0,02 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Zinc | (mg/l) | 5 (1) | <0,003 | NA | <0,003 | 0,004 | NA | 0,0049 |
| - SDS-THM | | | | | | | | |
| * Température d'incubation | degrés C | - | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| * Temps d'incubation | heures | - | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| * Chlore libre final | (mg/l) | - | 0,5 | 0,65 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| * Chloroforme | (microg/l) | - | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| * Bromodichlorométhane | (microg/l) | - | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| * Dibromochlorométhane | (microg/l) | - | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| * Bromoforme | (microg/l) | - | 6 | 6 | 6 | 3 | 5 | 3 |
| * Total THM | (microg/l) | 80 | 16 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Faciès général - Anions | | | | | | | | |
| - Bicarbonates | (mg/l HCO3) | - | 27 | NA | 28 | 88 | NA | 77 |
| - Chlorures | (mg/l) | 250 (1) | 35 | NA | 35 | 32 | NA | 32 |
| - Sulfates | (mg/l) | 500 (1) | 13 | NA | 13 | 10 | NA | 9,4 |
| Faciès général - Cations | | | | | | | | |
| - Calcium | (mg/l) | - | 13 | 13 | 14 | 30 | 28 | 31 |
| - Magnésium | (mg/l) | - | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| - Sodium | (mg/l) | 200 (1) | 23 | 23 | 28 | 22 | 21 | 25 |
| Composés organiques volatiles | | | | | | | | |
| - HMA - HHT (blanc de terrain) | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | NA | NA | ND | NA | NA | ND |
| - HMA - HHT | microg/L | | NA | NA | ND | NA | NA | ND |

(1) = Santé Canada

(2) = Valeur recommandée selon les règles de l'art

na = Non analysé

<tni> =

trop nombreux pour être identifiés

<> =

colonies atypiques trop élevées pour dénombrer les coliformes totaux

Dépasse la recommandation pour ce paramètre

Dépasse la norme pour ce paramètre

Tableau 7 : ... (suite)

| Débit testé (L/s) | | | | | | | | |
|--|-------------------|--|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------------------|
| Date de prélèvement | | | 23-nov-09 | 24-nov-09 | 25-nov-09 | 23-nov-09 | 24-nov-09 | 25-nov-09 |
| Paramètres | Unités | Valeur maximale (RQEP ou recommandation) | FAT-09-03PP | | | FAT-09-04PP | | |
| Caractéristiques microbiologiques | | | | | | | | |
| - Coliformes totaux | UFC/100 ml | 10 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Coliformes fécaux | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Colonies atypiques | UFC/100 ml | 200 | 70 | 130 | 100 | 2 | <1 | <1 |
| - Entérocoques | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Virus coliphage F-spécifiques | Détection /100 ml | 0 | NA | NA | absence | NA | NA | absence |
| Caractéristiques physiques | | | | | | | | |
| - Couleur vraie | (UCV) | <15 (1) | <2 | 2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| - pH | | 6,5 - 8,5 | 7,96 | 7,71 | 7,63 | 7,07 | 6,88 | 6,91 |
| - Température de l'eau à l'émergence | (oC) | < 15 degré C | 6,5 | | | 6,4 | | |
| - Turbidité | (UTN) | 5 | 3,3 | 14 | 2,5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Caractéristiques chimiques | | | | | | | | |
| - Absorbance UV 254 nm | (cm-1) | - | 0,043 | 0,12 | 0,049 | 0,005 | 0,006 | 0,01 |
| - Alcalinité totale | (mg/l CaCO3) | - | 140 | 140 | 120 | 46 | 44 | 44 |
| - Antimoine | (mg/l) | 0,006 | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | <0,003 |
| - Arsenic | (mg/l) | 0,025 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Azote ammoniacal | (mg/l N) | - | <0,05 | <0,05 | 0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| - Azote total Kjeldahl | (mg/L N) | - | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Baryum | (mg/l) | 1 | 0,091 | NA | 0,089 | <0,02 | NA | <0,02 |
| - Bore | (mg/l) | 5 | <0,05 | NA | <0,05 | <0,05 | NA | <0,05 |
| - Bromures | | - | <0,1 | NA | 0,1 | <0,1 | NA | <0,1 |
| - Carbone organique dissous | (mg/l) | - | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| - Carbone organique total | (mg/l) | - | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| - Cadmium | (mg/l) | 0,005 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Chrome (total) | (mg/l) | 0,05 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Conductivité 25oC | (S/cm) | <1500 (2) | 570 | NA | 550 | 260 | NA | 260 |
| - Cuivre | (mg/l) | 1 | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | <0,003 |
| - Cyanures | (mg/l) | 0,2 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Demande en chlore | (mg/l) | - | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 |
| - Dureté totale | (mg/l CaCO3) | <180 - 200 (2) | 200 | 200 | 210 | 62 | 63 | 71 |
| - Fer dissous | (mg/l) | - | 0,2 | 0,3 | 0,1 | <0,1 | 0,1 | <0,1 |
| - Fer total | (mg/l) | 0,3 (2) | 0,26 | 0,55 | 0,17 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| - Fluorures | (mg/l) | 1,5 | 0,1 | NA | 0,1 | 0,3 | NA | 0,3 |
| - Manganèse dissous | (mg/l) | - | 0,007 | 0,023 | 0,007 | <0,003 | <0,003 | <0,003 |
| - Manganèse total | (mg/l) | 0,05 (1) | 0,008 | 0,024 | 0,0069 | <0,003 | <0,003 | <0,003 |
| - Matières en suspension | (mg/l) | - | 18 | 61 | 19 | <2 | <2 | <2 |
| - Mercure | (mg/l) | 0,001 | <0,0001 | NA | <0,0001 | <0,0001 | NA | <0,0001 |
| - Nitrates + Nitrites | (mg/l N) | 10 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 0,52 | 0,52 | 0,49 |
| - Nitrites | (mg/l N) | 1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| - Plomb | (mg/l) | 0,01 | <0,005 | NA | <0,005 | <0,005 | NA | <0,005 |
| - Sélénium | (mg/l) | 0,01 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Solides dissous 180oC | (mg/l) | - | 400 | 390 | 380 | 160 | 170 | 170 |
| - Solides totaux 180oC | (mg/l) | <500 (1) | 430 | 470 | 300 | 170 | 170 | 170 |
| - Sulfures | (mg/l H2S) | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | <0,02 | <0,02 |
| - Uranium | (mg/l) | 0,02 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Zinc | (mg/l) | 5 (1) | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | <0,003 |
| - SDS-THM | | | | | | | | |
| * Température d'incubation | degrés C | - | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| * Temps d'incubation | heures | - | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| * Chlore libre final | (mg/l) | - | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 |
| * Chloroforme | (microg/l) | - | 2 | 2 | 2 | 7 | 8 | 8 |
| * Bromodichlorométhane | (microg/l) | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| * Dibromochlorométhane | (microg/l) | - | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| * Bromoforme | (microg/l) | - | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 |
| * Total THM | (microg/l) | 80 | 11 | 11 | 11 | 13 | 17 | 15 |
| Faciès général - Anions | | | | | | | | |
| - Bicarbonates | (mg/l HCO3) | - | 140 | NA | 120 | 46 | NA | 44 |
| - Chlorures | (mg/l) | 250 (1) | 95 | NA | 89 | 43 | NA | 43 |
| - Sulfates | (mg/l) | 500 (1) | 12 | NA | 11 | 10 | NA | 9,2 |
| Faciès général - Cations | | | | | | | | |
| - Calcium | (mg/l) | - | 72 | 73 | 76 | 18 | 18 | 20 |
| - Magnésium | (mg/l) | - | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| - Sodium | (mg/l) | 200 (1) | 22 | 24 | 26 | 22 | 21 | 28 |
| Composés organiques volatiles | | | | | | | | |
| - HMA - HHT (blanc de terrain) | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, | NA | NA | ND | NA | NA | ND |
| - HMA - HHT | microg/L | Section 3 | NA | NA | ND | NA | NA | ND sauf chloroforme = 9 |

(1) = Santé Canada

(2) = Valeur recommandée selon les règles de l'art

na = Non analysé

<tni> =

trop nombreux pour être identifiés

<'> =

colonies atypiques trop élevées pour dénombrer les coliformes totaux

Dépasse la recommandation pour ce paramètre

Dépasse la norme pour ce paramètre

Tableau 8 : Secteur de Fatima - Puits de production – RQEP – Substances organiques, pesticides et substances radiologiques

| Paramètres | Unités | Valeur maximale (RQEP ou recommandation) | FAT-09-01PP - 72h | FAT-09-04PP - 72h |
|--|----------|--|------------------------------------|-------------------|
| Débit testé (L/s) | | | 3,8 | 3,8 |
| Date de prélèvement | | | 25 novembre 2009 | 25 novembre 2009 |
| Pesticides (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 3) - Microg/L | | | | |
| - Domaine 170 Diquat - Paraquat | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | ND | ND |
| - Domaine 171 et 174 O-P et Carbamates Dom 175 Atrazine et ses métabolites, Dom 173 Méthoxichlore | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 172 et 176 Phénoxyacides | microg/L | | ND sauf 2,4-D = 0,09 (norme = 100) | ND |
| - Domaine 173 Méthoxychlore | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 175 Atrazine et ses métabolites | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 177 Glyphosate | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 178 Aldicarbes et ses métabolites | microg/L | | ND | ND |
| Substances organiques (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 3) - Microg/L | | | | |
| - Acide nitrolotriactique (NTA) | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | ND | ND |
| - Phénols | microg/L | | ND | ND |
| - HAP (Benzo(a)pyrène) | microg/L | | ND | ND |
| Substances radioactives (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 4) | | | | |
| - Césium-137 | Bq/L | 10 | <0,04 | <0,02 |
| - Iodine 131 | Bq/L | 6 | <0,08 | <0,1 |
| - Radium-226 | Bq/L | 0,6 | 0,01 | 0,01 |
| - Strontium-90 | Bq/L | 5 | <0,2 | <0,2 |
| - Tritium | Bq/L | 7000 | <15 | 58 |

NA = Non analysé

ND = Non détecté

| | |
|--|---|
| | Dépasse la recommandation pour ce paramètre |
| | Dépasse la norme pour ce paramètre |

5 SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

5.1 RÉSERVOIR AQUIFÈRE CAPTÉ PAR LES PUIITS MUNICIPAUX

Le réservoir aquifère capté par les puits municipaux existants et nouveaux dans le secteur de Havre-aux-Maisons est composé des grès de la formation de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps (voir section 3.2.3) excluant les autres formations géologiques.

En décembre 2004 (voir référence no 3b), Madelin'Eau a modélisé le contexte hydrogéologique des Îles-de-la-Madeleine avec le logiciel de modélisation MODFLOW. Cette modélisation a permis de simuler le fonctionnement hydrogéologique des aquifères de l'Île de Havre-aux-Maisons. La méthodologie ainsi que les hypothèses d'applicables au modèle développé sont précisées dans le document 1 (voir référence 2a).

Ce qui suit, est un extrait du rapport Madelin'Eau, décembre 2004, document 3b.

5.2 CARTE PIÉZOMÉTRIQUE DE L'ÎLE DE HAVRE-AUX-MAISONS

La figure 6 montre la distribution spatiale des conductivités hydrauliques retenues pour la modélisation de l'île de Havre-aux-Maisons. Le corridor d'intérêt décrit à la section 1.1 chevauche donc des secteurs géographiques où la conductivité hydraulique est :

- ✓ de $5,0 * 10^{-7}$ m/s (plage orangé) correspondant à la formation gréseuse de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-du Nord (unité 3a de la carte géologique de l'annexe 4),
- ✓ de $1,2 * 10^{-5}$ m/s (plage blanche) correspondant à la formation gréseuse de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps (unité 3b de la carte géologique de l'annexe 3).

Les formations centrales des îles (correspondant aux zones de horst) n'ont pas été prises en compte dans le modèle, du fait de leur très faible perméabilité et de l'absence de mesure de transmissivité caractérisant leurs formations géologiques. Dans ce dernier domaine (zone des horsts = plage grise sur la figure 6), les écoulements sont supposés avoir lieu soit par écoulement de surface, soit par écoulement hypodermique, c'est-à-dire dans les matériaux meubles de recouvrement et dans les sols de surface.

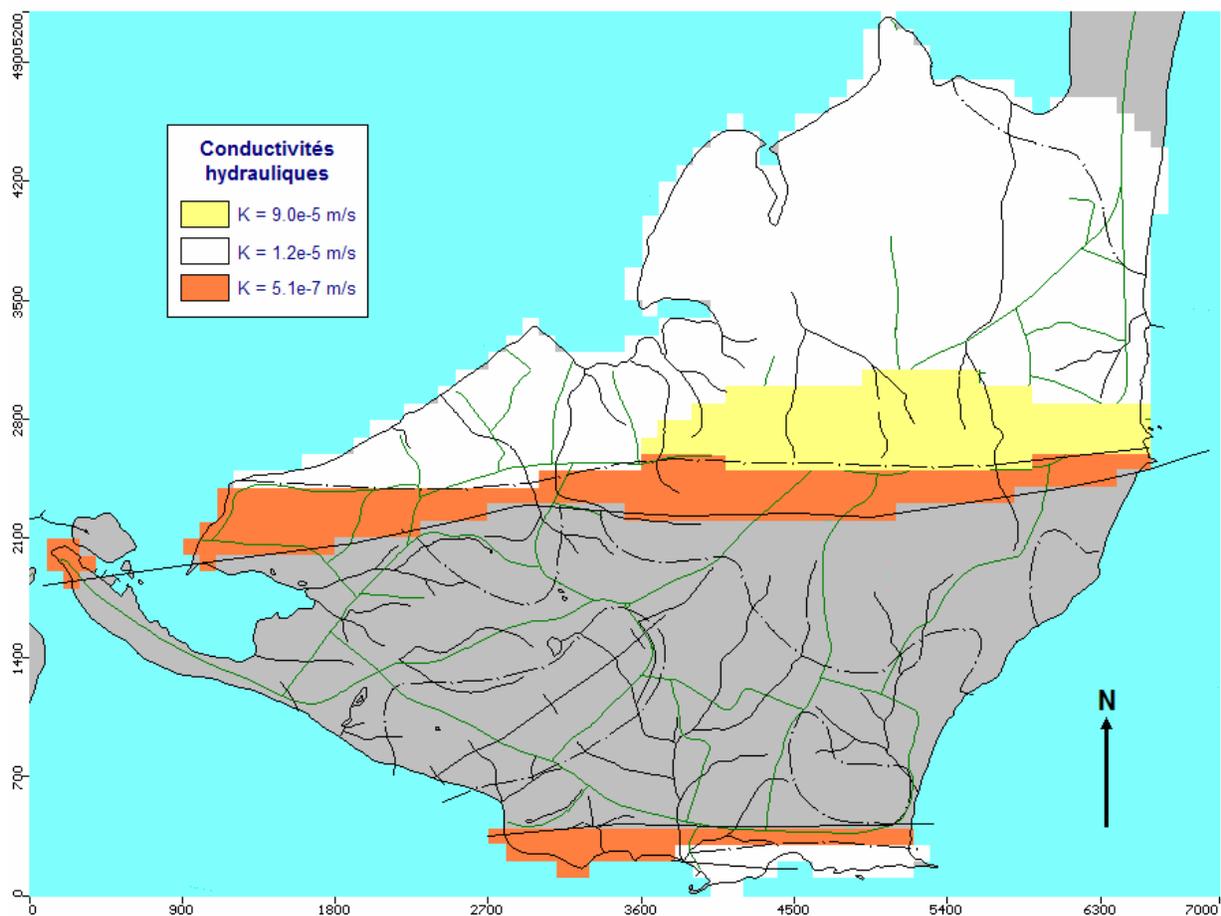
La figure 7 présente la carte piézométrique simulée en régime permanent pour la totalité de l'Île de Havre-aux-Maisons incluant les prélèvements effectifs provenant des puits existants en 2004. Les niveaux d'eau simulés ont été calés sur les niveaux statiques printaniers mesurés sur les puits de l'Île (voir détails méthodologiques du calage dans la section méthodologique, référence no 2, Document No 1).

Précisons que les seuls points de mesure (puits et piézomètres) étaient localisés au centre nord de l'île, entre les secteurs Le Pré et Dune-du-Sud. 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.

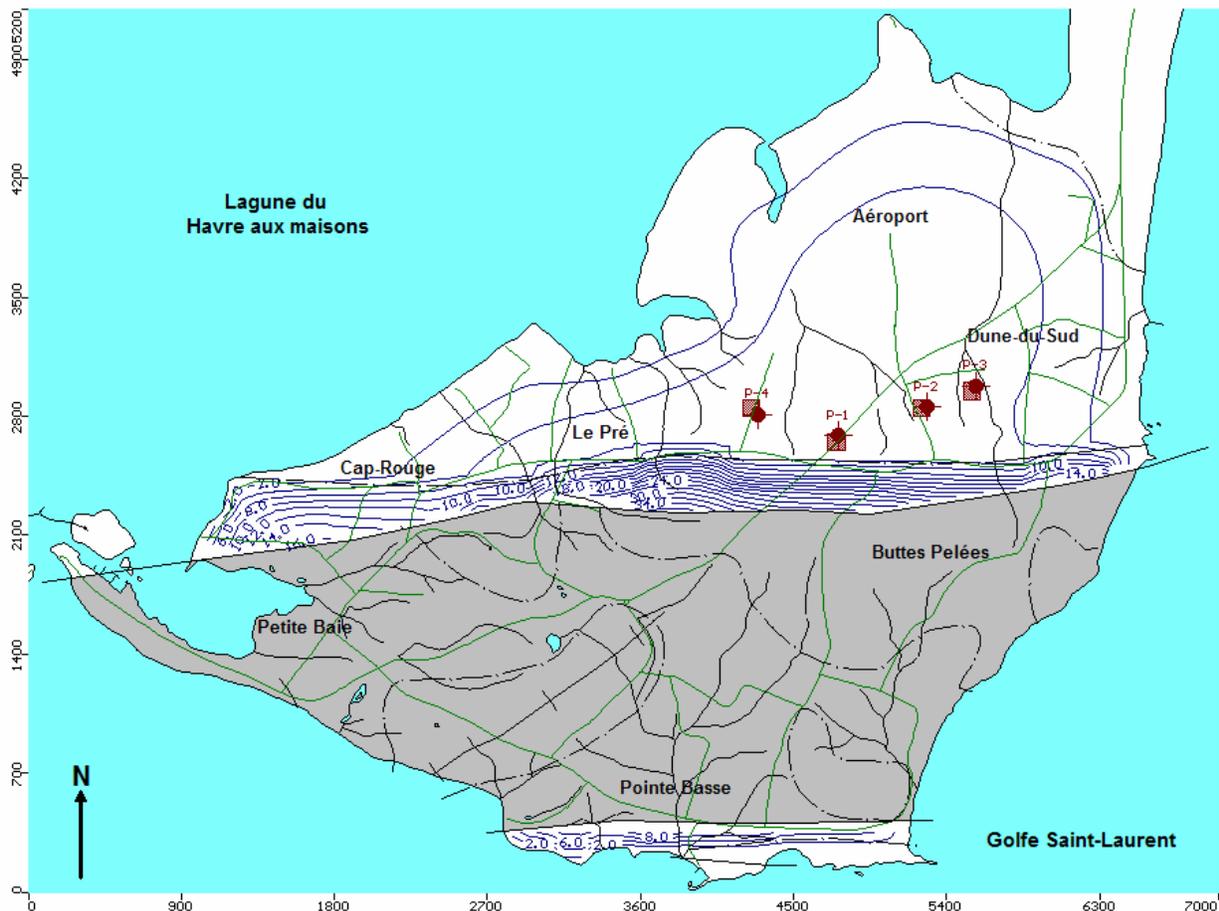
La piézométrie de l'Île du Havre-aux-Maisons, comme dans les autres secteurs modélisés de l'archipel, présente une pente relativement régulière depuis le horst central constitutif des buttes (en grisé sur la figure 6) jusqu'à la mer. Le horst sépare l'île en deux aquifères dissymétriques, la partie sud 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.

Figure 6 : Île de Havre-aux-Maisons - Conductivités hydrauliques utilisées pour la modélisation



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 (unité 3a de la carte géologique transmise par la Municipalité, voir annexe 4). 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.

Figure 7 : Île de Havre-aux-Maisons - Piézométrie simulée (régime permanent) et puits municipaux existant en 2004



5.3 BILAN DES ENTRÉES – SORTIES D'EAU

En termes hydrogéologiques (en 2004), le calcul du bilan des entrées – sorties d'eau dans le système aquifère l'île de Havre-aux-Maisons montrait que :

- les entrées d'eau (recharge uniforme et infiltration au contact du socle) totalisaient en moyenne 6364 m³/j;
- les prélèvements par les puits de pompage exploités en 2004 totalisaient en moyenne 782 m³/j;
- les sorties d'eau en mer représentaient donc une fuite moyenne de 5583 m³/j.

Seuls 12 % de l'eau entrant dans l'aquifère étaient interceptés. Il apparaissait donc que l'exploitation de la ressource (en 2004), en termes quantitatifs globaux, ne l'épuisait pas et qu'il existait même une quantité potentiellement exploitable d'eau s'écoulant actuellement en mer. Il faut cependant préciser que cette remarque ne tient pas compte de l'effet de la répartition spatiale de ces prélèvements ni de l'équilibre du biseau salé.

5.4 RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS ET DISTRIBUTION DES DÉBITS POTENTIELS

La répartition spatiale des prélèvements en 2004 était 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 8 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 9 résume les valeurs des débits entrants, prélevés, échangés et perdus en mer pour chacune des zones ainsi définies. D'après le tableau 9 et la figure 8, on constatait en 2004, 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 %) était interceptée;
- dans la zone 4 (Dune-du-Sud), où sont implantés les deux autres captages P-2 et P-3, 25 % de la recharge était interceptée;
- dans les zones 1 et 3 la ressource n'était pas exploitée, et respectivement 1354 et 1208 m³/j s'écoulaient en mer.

Figure 8 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Subdivision du secteur en zones d'équi-recharge

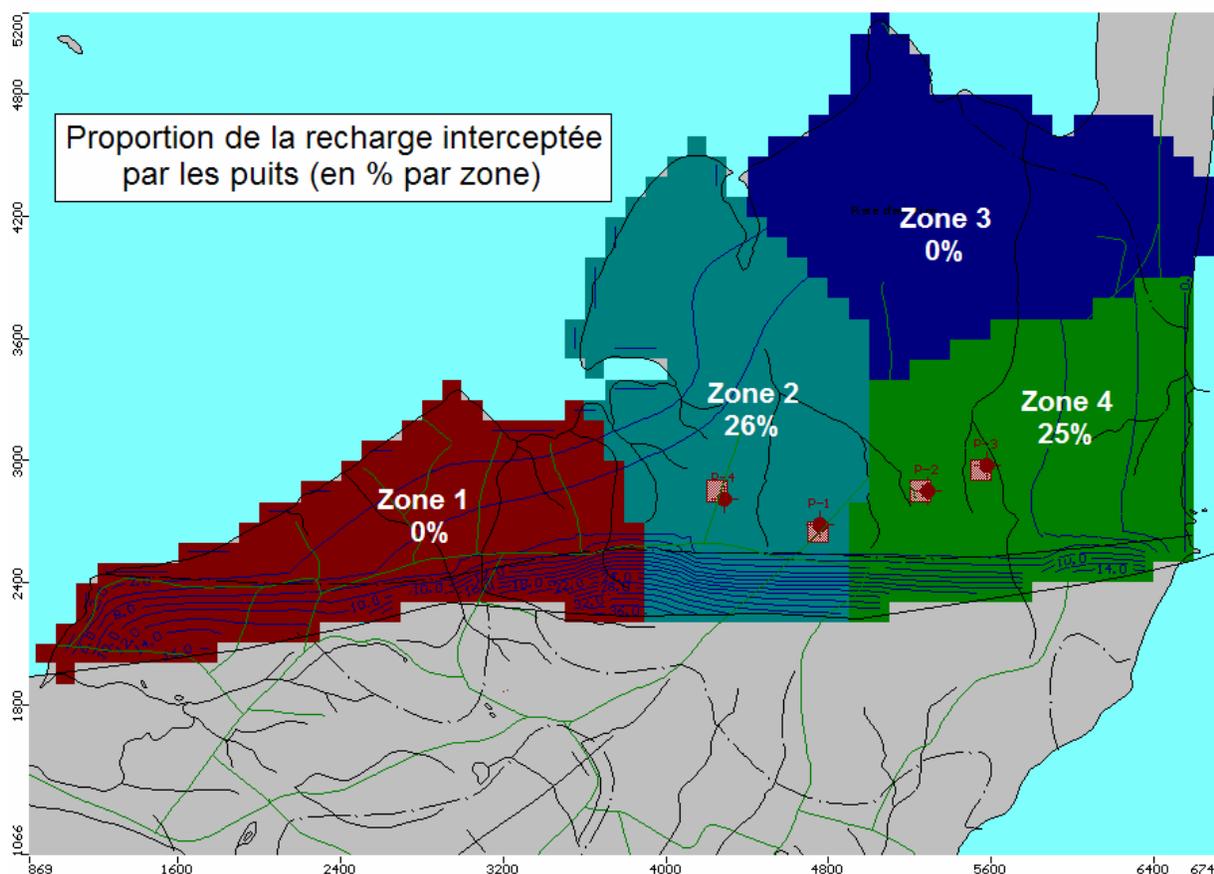


Tableau 9 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Bilan des débits par zone d'équi-recharge

| 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 |

5.5 POTENTIEL D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE

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.

Le corridor d'intérêt de Gastem (voir section 1.1) s'étend donc dans la zone 1 où il n'y a actuellement (septembre 2011) aucun puits municipal existant en 2004 et un (1) puits nouveau réalisé en 2009 (HAM-2009-01P, voir tableau 10) localisé à la frontière est délimitant les zones 1 et 2.

5.6 PRÉLÈVEMENTS MUNICIPAUX 2010

5.6.1 Les puits municipaux

En septembre 2011, la municipalité est propriétaire de quatre (4) puits existants (P1 à P4) et de deux (2) nouveaux puits (HAM-09-01PP et HAM-09-02PP) faisant actuellement (septembre 2011) l'objet d'une demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES déposée en mai 2010 auprès du MDDEP. Les coordonnées de ces puits municipaux sont au tableau 10.

La frontière est du secteur d'intérêt Gastem (voir carte de localisation des puits transmise par la Municipalité à l'annexe 4) est à quelque 750 m du puits municipal le plus proche soit le puits HAM-09-01PP sis à l'ouest des puits existants (2004). Le puits HAM-09-02PP est à l'est des puits existants (2004) et donc hors limite de la carte de l'annexe 4 soit dans la zone 4 de la figure 8. Aussi, la figure 9 localise à l'échelle de l'île les emplacements de l'ensemble des puits municipaux (en utilisation et en voie d'autorisation) par rapport au secteur d'intérêt Gastem

Les profondeurs des puits existant en 2004 varient de 35 m/sol (P1 et P2) dans les limites de la zone 3 (voir figure 8) à 79,25 m/sol (P-3 ou P4) dans les limites de la zone 2 (voir figure 8) alors que celles des puits nouveaux réalisés en 2009 varient de 43,3 m/sol (HAM-09-01PP) à 48,8 m/sol (HAM-09-02PP). Comparativement à la profondeur projetée du forage exploratoire gazier (profondeur estimée de 2500 m), seuls les premiers 80 m ont été investigués. La description lithostratigraphique provenant du forage Gastem apportera d'importantes précisions sur la lithostratigraphie et les structures géologiques imbriquées dans le réservoir aquifère capté par les puits municipaux. En effet, l'épaisseur présumée selon Gastem (voir annexe 1) de la formation de Cap-aux-Meules serait de 800 m alors que par hypothèse dans le cadre de la modélisation ayant eu lieu en 2004, cette épaisseur a été posée à 500 m.

Tableau 10 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Coordonnées des puits municipaux

| Havre-aux-Maisons | | | Distances (m) de séparation | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------------------------------------|------|------|------|----------------|----------------|--|
| PUITS | X | Y | Puits et infrastructures existants | | | | | | |
| | | | P1 | P2 | P3 | P4 | HAM-09 01PP | HAM-09 02PP | |
| P1 | 283760 | 5252687 | - | | | | | | |
| P2 | 284287 | 5252853 | 553 | - | | | | | |
| P3 | 284575 | 5252978 | 865 | 314 | - | | | | |
| P4 | 283287 | 5252811 | 489 | 1001 | 1299 | - | | | |
| HAM-09-01PP | 282694 | 5252865 | 1081 | 1593 | 1884 | 595 | - | | |
| HAM-09-02PP | 284746 | 5252880 | 1005 | 460 | 197 | 1461 | 2052 | - | |

5.6.2 Prélèvement actuel du réservoir aquifère

En mai 2010 (voir référence no 7), Madelin'Eau a déposé auprès du MDDEP une demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES visant à ajouter au prélèvement existant de 1084 m³/j (12,55 L/s) à partir des puits existants en 2004 (P-1, P-2, et P-4) : un prélèvement additionnel de 653,2 m³/j (7,56 L/s) à partir de deux (2) nouveaux puits de production identifiés HAM-09-01PP et HAM-09-02PP. Tous ces puits (existants et en demande d'autorisation) visent l'alimentation du réseau d'aqueduc approvisionnant en eau potable le secteur de Havre-aux-Maisons.

Ce projet de captage visait à combler les besoins en eau du secteur à l'horizon (+ 30 ans) soit l'année 2040. Les prélèvements concernés par cette demande d'autorisation sont distribués comme indiqués au tableau 11.

Tableau 11 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Puits municipaux - Répartition des prélèvements autorisés ou en demande d'autorisation

| Scénario 3 (30 ans) | | |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|
| Puits | Débit simulé | Somme |
| | m ³ /j | m ³ /j |
| Puits existant en 2004 | | |
| P-1 | 359 | 1084 |
| P-2 | 372 | |
| P-3 | 0 | |
| P-4 | 353 | |
| Puits réalisés en 2009 | | |
| HAM-09-01 | 326,6 | 653,2 |
| HAM-09-02 | 326,6 | |
| Total = | 1737,2 | m³/j |

Ainsi, lorsqu'ils seront autorisés, les puits HAM-09-01PP et HAM-09-02PP ajouteront un débit d'eau potable de 653,2 m³/j, ce qui portera le débit total disponible pour le secteur de Havre-aux-Maisons à 1737,2 m³/j.

5.7 VULNÉRABILITÉ DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE (DRASTIC)

Le 3^e paragraphe de l'article 25 du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (RCES) 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 ».

La méthode DRASTIC demeure la méthode de détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines la plus communément utilisée. Cette méthode qui consiste en un système de cotation numérique est décrite en détail dans le document EPA/600-2-87-035 (Aller et al, 1987).

Cette méthode repose sur les trois hypothèses de base suivantes avec lesquelles les utilisateurs doivent être familiers afin de bien cerner ses limites d'application :

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol,
- De la surface du sol les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace,
- La nature des contaminants potentiels n'est pas considérée dans le calcul de l'indice.

Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC identifient les paramètres qui permettront de déterminer la valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces derniers sont dans l'ordre :

- ✓ D : *Depth to water table* ou profondeur de la nappe d'eau;
- ✓ R : *Recharge* ou infiltration efficace;
- ✓ A : *Aquifer media* ou milieu aquifère;
- ✓ S : *Soil media* ou type de sol (pédologie)
- ✓ T : *Topography* ou pente du terrain;
- ✓ I : *Impact of the vadose zone* ou impact de la zone vadose;
- ✓ C : *Hydraulic conductivity* ou conductivité hydraulique.

Ces sept paramètres découpent de façon schématique une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol.

Une valeur numérique (poids paramétrique) comprise entre 1 et 5 reflète le degré d'influence de chacun des paramètres de calcul énumérés ci-dessus. Le poids de ces paramètres a été fixé par un groupe expert américain selon la méthode DELPHI. À chacun des paramètres est aussi associée une cote variant de 1 à 10 définie en fonction d'intervalles de valeurs. La plus petite cote

représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. L'attribution de la cote à chacun des paramètres doit être faite par un hydrogéologue chevronné et familier du terrain.

L'indice de vulnérabilité DRASTIC (ID) est déterminé pour chacune des unités hydrogéologiques à l'intérieur des aires de protection correspondant à des temps de transport de 200 et 550 jours par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante.

Ainsi :

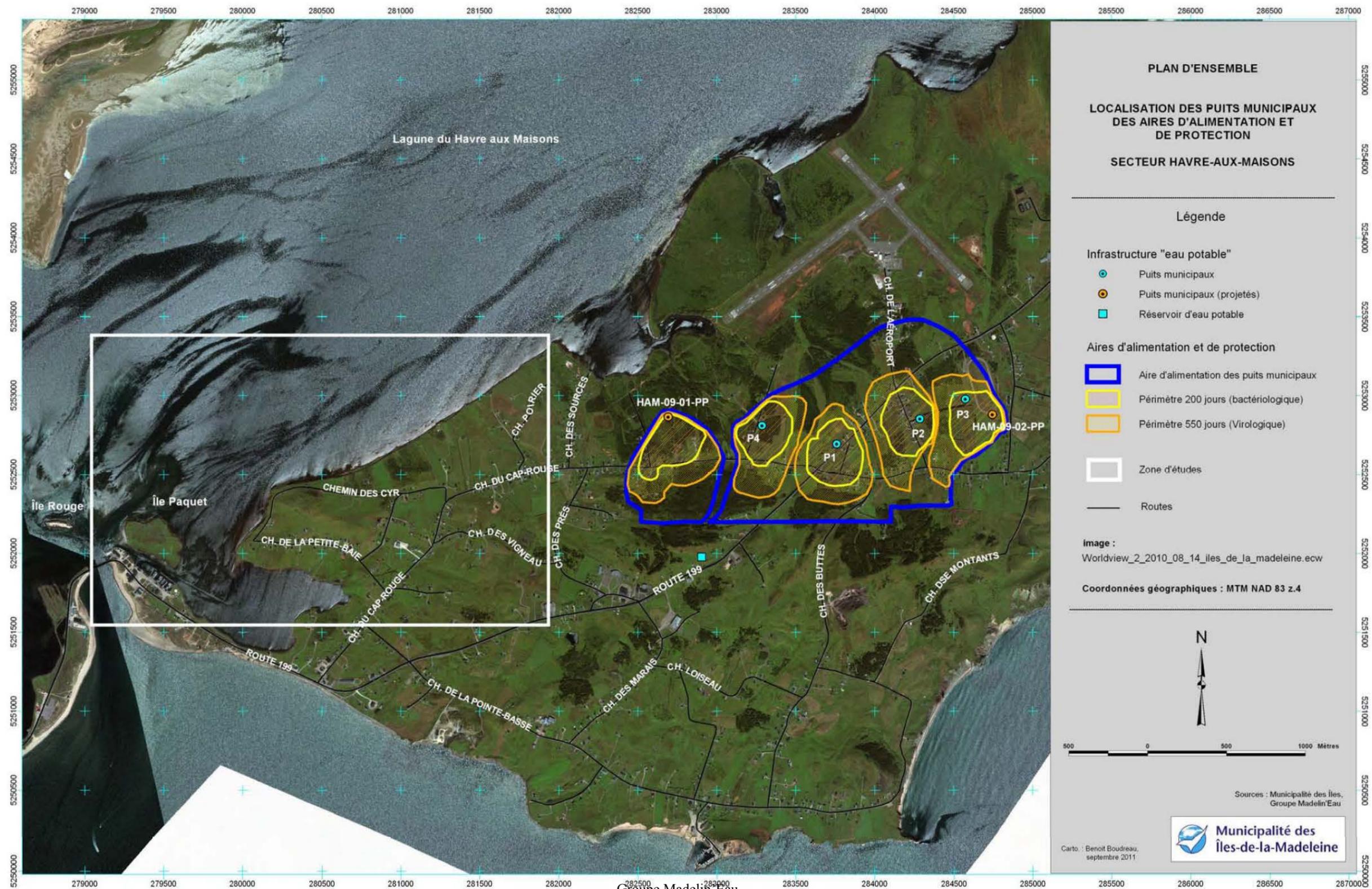
$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$

Madelin'Eau, mai 2010 (référence no 7) précise l'indice DRASTIC pour les deux (2) puits de production HAM-09-01PP et HAM-09-02PP qui captent une seule unité hydrogéologique : un grès fracturé recouvert par une mince couche superficielle de sable silteux. Le grès capté (formation de Cap-aux-Meules) constitue une unité hydrogéologique homogène qui s'étend sur les zones 1 à 4 (voir figure 8). Pour les zones 1 et 4 où se trouvent les puits municipaux réalisés en 2009, l'indice DRASTIC varie de 104 (HAM-09-02PP) à 111 (HAM-09-01PP). Selon le *Règlement sur la qualité de l'eau potable*, article 13, les eaux souterraines sont considérées vulnérables au droit des périmètres de protection d'un captage lorsque :

- L'indice général DRASTIC est supérieur à 100 au niveau des périmètres de protection bactériologique et virologique,
- Au droit desdits périmètres de protection se retrouvent des ouvrages ou des activités susceptibles d'altérer la qualité microbiologique des eaux souterraines.

Considérant l'extension régionale de cette unité hydrogéologique qui renferme une nappe libre, il est possible d'entrevoir la présence d'une nappe vulnérable sur l'ensemble des zones 1 à 4 de la figure 8 et ce, dans les limites de la formation de Cap-aux-Meules.

Figure 9 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Localisation des puits municipaux



5.8 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

5.8.1 Puits prélevés et échantillonnés

Les meilleurs indicateurs de la qualité des eaux souterraines du réservoir aquifère composé des grès de la formation de Cap-aux-Meules en particulier le membre de l'Étang-des-Caps, sont ceux provenant de la demande d'autorisation déposée en mai 2010 pour le secteur de Havre-aux-Maisons (voir référence no 7). Cette évaluation de la qualité des eaux souterraines prévalait pour les zones 1 et 4 (voir figure 8) et non la zone 1 sous-jacente au corridor d'intérêt Gastem. Toutefois et considérant l'extension régionale de la formation de Cap-aux-Meules (voir section 4.1) constituant le réservoir aquifère utile du secteur, cette qualité des eaux souterraines peut être élargie à l'ensemble des zones 1 à 4 en terme de signature chimique générale.

Les analyses effectuées répondaient aux normes et exigences du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP) adopté en juin 2001 et, ce, pour les débits testés apparaissant au tableau 11. Ces résultats concernent les puits municipaux réalisés en 2009 (HAM-09-01PP et HAM-09-02PP) qui se localisent respectivement dans les zones 1 (limite est) et 4 (voir figure 8) où la zone 1 (voir figure 8) chevauche aussi le corridor d'intérêt Gastem.

Des échantillons d'eau ont été prélevés à 24, 48 et 72h à chacun des puits lors du pompage simultané des deux nouveaux (2) puits de production testés à un débit cumulé de 7,56 L/s, e analysés en conformité avec les exigences du *Guide de conception des installations de production d'eau potable*, décembre 2006, notamment en ce qui concerne :

- ✓ Les paramètres énumérés aux tableaux 6-1 (24 h et 72 h) et 6-2 (24 h, 48 h et 72 h) de ce guide ont été analysés pour chacun des puits de production (total = 2 puits),
- ✓ Les paramètres de l'Annexe 1 du RQEP ont été analysés après 72 h de pompage pour les deux (2) puits testés HAM-09-01PP et HAM-09-02PP.

Le tableau 12 indique les indicateurs généraux de qualité (faciès chimique, indésirables, etc.) alors que le tableau 13 compile tous les résultats d'analyses obtenus pour les paramètres des Tableaux 6-1 et 6-2 et le tableau 14 les paramètres associés à l'annexe 1 du RQEP. L'examen du tableau 13 montre une constance de la qualité de l'eau par puits en fonction du temps.

Les certificats d'analyses sont regroupés aux annexes 8 et 9 du rapport cité à la référence no 7.

5.8.2 Résultats

La qualité microbiologique de l'eau souterraine captée aux puits HAM-09-01PP et HAM-09-02PP respecte les critères de potabilité stipulés par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP).

Les eaux souterraines des puits HAM-09-01PP et HAM-09-02PP) présentaient un faciès hydrogéochimique bicarbonaté, chloruré et calcique. L'eau souterraine provenant de ces deux puits renferme respectivement une teneur en nitrates de 2,4 mg/L N en HAM-09-01PP et 1,0 mg/L N en HAM-09-02PP qui laisse supposer une source de contamination azotée qui, pourrait être associée à la parcelle d'inclusion agricole localisée en amont hydraulique du puits HAM - 09-01PP (voir référence no 7). La norme pour ce paramètre est de 10 mg/L N. Les deux puits de production HAM-09-01PP à HAM-09-02PP ont montré l'absence des indésirables tels le fer et le manganèse.

Les paramètres analysés au niveau des puits de production (HAM-09-01PP et HAM-09-02PP) respectent, pour les paramètres inorganiques, les normes de potabilité stipulées par le *Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP)*.

Les paramètres organiques prescrits au RQEP, annexe 1, (tableau 14) et les composés organiques volatils (tableau 14), ont été analysés après 72 heures de pompage aux puits de production HAM-09-01PP et HAM-09-02PP. Tous les composés organiques semi-volatils, les phénols ainsi que l'acide nitrilotriacétique analysés sont en deçà des limites de détection de chaque analyse. Seule une faible concentration (chloroforme = 2 µg/L) a été détectée au puits HAM-09-01PP (voir section 5.8.3).

Les pesticides prescrits au RQEP, annexe 1, ont été analysés après 72 heures de pompage sur les nouveaux puits de production HAM-09-01PP et HAM-09-02PP. Tous les pesticides analysés ont été non détectés (voir tableau 14).

Les paramètres radiologiques prescrits au RQEP, annexe 1, ont été analysés après 72 heures de pompage aux puits de production HAM-09-01PP et HAM-09-02PP. Les résultats obtenus sont sous les seuils de quantification ou bien détectés à des teneurs nettement inférieures aux critères de potabilité stipulés par le RQEP (voir tableau 14).

5.8.3 Particularités

En ce qui concerne la présence du chloroforme, en mars 2010, Monsieur Benoit Barbeau, ing., Ph. D (référence no 5) a évalué la problématique du chloroforme dans les eaux souterraines en particulier pour le secteur de Grande-Entrée. L'opinion scientifique de Monsieur Barbeau suggérait que les concentrations en chloroforme détectées dans les eaux souterraines de l'archipel (incluant le secteur de Fatima) n'ont rien d'exceptionnel, seraient associées aux eaux profondes des îles-de-la-Madeleine et peuvent être, selon la littérature scientifique, d'origine naturelle.

Le chloroforme, un trihalométhane, ne fait pas l'objet d'une norme spécifique dans le RQEP, par contre la somme des trihalométhanes (chloroforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane, bromoforme) doit être inférieure à 80 µg/L. La teneur en chloroformes détectée au captage HAM-09-01PP (chloroforme = 2 µg/L) peut donc être assimilée à un bruit de fond naturel sans aucun impact sur la santé publique.

Également, la loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement (LCPE, 1999) ne régit pas le chloroforme.

5.8.4 Constance de la qualité de l'eau souterraine dans le temps

Durant l'essai de pompage simultané de 72 heures au débit cumulé de 7,56 L/s réparti équitablement sur les deux (2) puits faisant l'objet de la demande d'autorisation en mai 2010, des échantillons d'eau ont été prélevés après 24, 48 et 72 heures. Le tableau 13 compile les résultats d'analyses obtenus et l'examen de ce tableau montre une constance de la qualité de l'eau par puits en fonction du temps.

Cette constance de la qualité présuppose que les conditions d'exploitation des puits recommandées au tableau 11 soient strictement observées. Autour des puits municipaux, la qualité des eaux souterraines pourrait être menacée par la migration de l'interface eau douce/eau salée si les conditions d'exploitation des puits ne sont pas respectées.

Tableau 12 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Comparaison de la qualité inorganique des eaux souterraines

| Puits de production | HAM-09-01PP | HAM-09-02PP |
|---------------------------------|---|--|
| L/s | 3,78 | 3,78 |
| pH | 7,53 | 7,87 |
| Minéralisation | Faible, SD = 210 mg/L | Faible, SD = 170 mg/L |
| Faciès | Bicarbonatée (110 mg/L HCO ₃) chlorurée (33 mg/L Cl) et calcique (42 mg/L Ca) | Bicarbonatée (90 mg/L HCO ₃) chlorurée (28 mg/L Cl) et calcique (34 mg/L Ca) |
| Dureté | Douce (130 mg/L CaCO ₃) | Douce (93 mg/L CaCO ₃) |
| Indicateurs de pollution | Nitrates (2,4 mg/L NO ₃) | Nitrates (1,0 mg/L NO ₃) |
| Indésirables | Sans fer et sans manganèse | Sans fer et sans manganèse |

**Tableau 13 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Puits de production – Résultats d'analyses –
Tableaux 6-1 et 6-2**

| Débit testé (L/s) | | | 3,78 | | | 3,78 | | |
|--|-------------------|--|-------------|----------|-------------------------|-------------|----------|----------|
| Date de prélèvement | | | 7-déc-09 | 8-déc-09 | 9-déc-09 | 7-déc-09 | 8-déc-09 | 9-déc-09 |
| Paramètres | Unités | Valeur maximale (RQEP ou recommandation) | HAM-09-01PP | | | HAM-09-02PP | | |
| Caractéristiques microbiologiques | | | | | | | | |
| - Coliformes totaux | UFC/100 ml | 10 | <1 | 2 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Coliformes fécaux | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Colonnies atypiques | UFC/100 ml | 200 | 4 | 3 | 6 | 6 | 5 | 1 |
| - Entérocoques | UFC/100 ml | 0 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Virus coliphage F-spécifiques | Détection /100 ml | 0 | NA | NA | absence | NA | NA | absence |
| Caractéristiques physiques | | | | | | | | |
| - Couleur vraie | (UCV) | <15 (1) | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| - pH | | 6,5 - 8,5 | 7,74 | 7,47 | 7,53 | 7,87 | 7,84 | 7,87 |
| - Température de l'eau à l'émergence | (oC) | < 15 degré C | 6,1 | | | 6,8 | | |
| - Turbidité | (UTN) | 5 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Caractéristiques chimiques | | | | | | | | |
| - Absorbance UV 254 nm | (cm-1) | - | 0,007 | 0,006 | 0,005 | 0,009 | 0,009 | 0,008 |
| - Alcalinité totale | (mg/l CaCO3) | - | 110 | 110 | 100 | 90 | 91 | 90 |
| - Antimoine | (mg/l) | 0,006 | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | <0,003 |
| - Arsenic | (mg/l) | 0,025 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Azote ammoniacal | (mg/l N) | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| - Azote total Kjeldahl | (mg/L N) | - | <1 | <0,05 | <1 | <1 | <1 | <1 |
| - Baryum | (mg/l) | 1 | <0,02 | NA | <0,02 | 0,021 | NA | 0,023 |
| - Bore | (mg/l) | 5 | <0,05 | NA | <0,05 | <0,05 | NA | <0,05 |
| - Bromures | | - | <0,1 | NA | <0,1 | <0,1 | NA | <0,1 |
| - Carbone organique dissous | (mg/l) | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| - Carbone organique total | (mg/l) | - | 1 | 0,9 | 0,7 | 1,2 | 1 | 1 |
| - Cadmium | (mg/l) | 0,005 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Chrome (total) | (mg/l) | 0,05 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Conductivité 25oC | (S/cm) | <1500 (2) | 370 | NA | 360 | 290 | NA | 290 |
| - Cuivre | (mg/l) | 1 | <0,003 | NA | <0,003 | <0,003 | NA | 0,019 |
| - Cyanures | (mg/l) | 0,2 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Demande en chlore | (mg/l) | - | 0,1 | 0,2 | ND | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| - Dureté totale | (mg/l CaCO3) | <180 - 200 (2) | 120 | 120 | 130 | 82 | 81 | 93 |
| - Fer dissous | (mg/l) | - | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| - Fer total | (mg/l) | 0,3 (2) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| - Fluorures | (mg/l) | 1,5 | 0,2 | NA | 0,2 | 0,2 | NA | 0,2 |
| - Manganèse dissous | (mg/l) | - | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 |
| - Manganèse total | (mg/l) | 0,05 (1) | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 | <0,003 |
| - Matières en suspension | (mg/l) | - | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| - Mercure | (mg/l) | 0,001 | <0,0001 | NA | <0,0001 | <0,0001 | NA | <0,0001 |
| - Nitrates + Nitrites | (mg/l N) | 10 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 1,2 | 1,2 | 1 |
| - Nitrites | (mg/l N) | 1 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| - Plomb | (mg/l) | 0,01 | <0,005 | NA | <0,005 | <0,005 | NA | <0,005 |
| - Sélénium | (mg/l) | 0,01 | <0,002 | NA | <0,002 | <0,002 | NA | <0,002 |
| - Solides dissous 180oC | (mg/l) | - | 240 | 220 | 210 | 170 | 150 | 170 |
| - Solides totaux 180oC | (mg/l) | <500 (1) | 230 | 220 | 220 | 170 | 170 | 180 |
| - Sulfures | (mg/l H2S) | 0,05 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 |
| - Uranium | (mg/l) | 0,02 | <0,01 | NA | <0,01 | <0,01 | NA | <0,01 |
| - Zinc | (mg/l) | 5 (1) | <0,003 | NA | 0,003 | <0,003 | NA | 0,027 |
| - SDS-THM | | | | | | | | |
| * Température d'incubation | degrés C | - | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| * Temps d'incubation | heures | - | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| * Chlore libre final | (mg/l) | - | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| * Chloroforme | (microg/l) | - | 2 | 2 | 2 | <1 | <1 | <1 |
| * Bromodichlorométhane | (microg/l) | - | <1 | <1 | <1 | 2 | 2 | 2 |
| * Dibromochlorométhane | (microg/l) | - | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 5 |
| * Bromoforme | (microg/l) | - | 2 | 2 | 2 | 7 | 6 | 5 |
| * Total THM | (microg/l) | 80 | 6 | 6 | 6 | 15 | 13 | 12 |
| Faciès général - Anions | | | | | | | | |
| - Bicarbonates | (mg/l HCO3) | - | 110 | NA | 100 | 90 | NA | 90 |
| - Chlorures | (mg/l) | 250 (1) | 33 | NA | 33 | 28 | NA | 28 |
| - Sulfates | (mg/l) | 500 (1) | 16 | NA | 16 | 6,1 | NA | 5,3 |
| Faciès général - Cations | | | | | | | | |
| - Calcium | (mg/l) | - | 38 | 37 | 42 | 30 | 29 | 34 |
| - Magnésium | (mg/l) | - | 6 | 6 | 7 | 2 | 2 | 2 |
| - Sodium | (mg/l) | 200 (1) | 16 | 23 | 18 | 16 | 16 | 19 |
| Composés organiques volatiles | | | | | | | | |
| - HMA - HHT (blanc de terrain) | microg/L | | NA | NA | ND | NA | NA | ND |
| - HMA - HHT | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | NA | NA | ND sauf chloroforme = 2 | NA | NA | ND |

(1) = Santé Canada

(2) = Valeur recommandée selon les règles de l'art

na = Non analysé

<tni> =

trop nombreux pour être identifiés

<*> =

colonnies atypiques trop élevées pour dénombrer les coliformes totaux

Dépasse la recommandation pour ce paramètre

Dépasse la norme pour ce paramètre

Tableau 14 : Secteur de Havre-aux-Maisons - Puits de production – RQEP – Substances organiques, pesticides et substances radiologiques

| Paramètres | Unités | Valeur maximale (RQEP ou recommandation) | HAM-09-01PP | HAM-09-02PP |
|--|----------|--|-----------------|-----------------|
| Débit testé (L/s) | | | | |
| Date de prélèvement | | | 9 décembre 2009 | 9 décembre 2009 |
| Pesticides (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 3) - Microg/L | | | | |
| - Domaine 170 Diquat - Paraquat | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | ND | ND |
| - Domaine 171 et 174 O-P et Carbamates Dom 175 Atrazine et ses métabolites, Dom 173 Méthoxichlore | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 172 et 176 Phénoxyacides | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 173 Méthoxychlore | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 175 Atrazine et ses métabolites | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 177 Glyphosate | microg/L | | ND | ND |
| - Domaine 178 Aldicarbes et ses métabolites | microg/L | | ND | ND |
| Substances organiques (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 3) - Microg/L | | | | |
| - Acide nitrolotriacétique (NTA) | microg/L | Voir RQEP, Annexe 1, Section 3 | ND | ND |
| - Phénols | microg/L | | ND | ND |
| - HAP (Benzo(a)pyrène) | microg/L | | ND | ND |
| Substances radioactives (Règlement sur la qualité de l'eau potable - Annexe 1 - Section 4) | | | | |
| - Césium-137 | Bq/L | 10 | <0,03 | <0,02 |
| - Iodine 131 | Bq/L | 6 | <0,1 | <0,2 |
| - Radium-226 | Bq/L | 0,6 | <0,005 | 0,01 |
| - Strontium-90 | Bq/L | 5 | <0,1 | <0,1 |
| - Tritium | Bq/L | 7000 | <15 | 15 |

NA = Non analysé

ND = Non détecté

| | |
|--|---|
| | Dépasse la recommandation pour ce paramètre |
| | Dépasse la norme pour ce paramètre |

6 SECTEUR DE FATIMA - CRITÈRES D'IMPLANTATION ET IDENTIFICATION DE CIBLES

La figure 10 localise le corridor d'intérêt Gastem (voir aussi l'annexe 1) en superposition avec les contacts géologiques, les levés géophysiques du passé, les puits municipaux, les puits privées et autres forages. Cette figure 10 montre que les puits municipaux sont totalement à l'extérieur du secteur d'intérêt Gastem.

Par rapport à cette Étape I portant sur la reconnaissance et identification des cibles les plus propices à la réalisation du forage exploratoire, les paramètres évoqués ci-dessus sont ceux qui s'appliquent directement à l'évaluation hydrogéologique notamment :

- ✓ Les formations géologiques non aquifères,
- ✓ Le littoral marin de la formation géologique aquifère là où l'interface eau douce /eau salée est près de la surface (limite inexploitable de l'aquifère).

6.1 LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES NON AQUIFÈRES

Considérant le contexte géologique et hydrogéologique du secteur de Fatima, les formations géologiques non aquifères (de faible transmissivité) qui se regroupent au centre de l'île de Cap-aux-Meules (correspondant aussi aux zones de horst), sont en amont topographique (et hydraulique) de la formation aquifère (formation de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps). Ces formations non aquifères sont les formations :

- ✓ Du Havre-aux-Maisons (Unité 1, de la carte géologique de l'annexe 3),
- ✓ Du Cap-au-Diable (unité 2a, de la carte géologique de l'annexe 3),
- ✓ Du Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-du-Nord (unité 3a, de la carte géologique de l'annexe 3).

Ces diverses formations favorisent le ruissellement et l'écoulement hypodermique (section 3.3.2) et ne renferment pas de nappe aquifère exploitable par la Municipalité. Par rapport au corridor d'intérêt Gastem (voir section 1.1), ces formations non aquifères se localisent entre la limite sud du corridor et le contact nord du dôme de sel (figure 10) et les territoires géographiques qu'elles occupent, constituent a priori des sites favorables pour l'implantation d'un site de forage exploratoire bien que celui-ci pourrait être incliné.

Outre ces considérations hydrogéologiques, les autres critères de sélection sont :

- ✓ Les dimensions des lots permettant la mise en place de l'aire d'excavation (750 m² minimum, voir section 1.1 et aussi la carte du lotissement transmise par la Municipalité, annexe 3),
- ✓ Les grandes affectations du territoire (plan de zonage) en évitant, pour les zones d'affleurement des formations non aquifères décrites ci-dessus, les territoires zonés :

- Agricole (classe A, de la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 3) car des autorisations devront être obtenues du MAPAQ et/ou de la Municipalité pour utilisation d'une superficie à des fins autres qu'agricoles,
- Résidentiel (Classe R, de la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 3),
- ✓ La connaissance des structures géologiques (failles, joints, fractures, etc.) dans les environs des sites d'implantation, a priori, généralement reconnues via les levés géophysiques.

L'agrégation des informations cartographiques convergeant vers l'application de ces divers critères au territoire non aquifère permet d'identifier deux cibles favorables à l'implantation d'un forage exploratoire :

- **Cible no 1** – les environs de la carrière abandonnée (désaffectée) :
- **Cible no 2** – le secteur sud du quai du Cap-Vert

6.1.1 Cible no 1 – Environs de la carrière

Les environs de la carrière correspondent à :

- ✓ L'affectation Fa50 (voir la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 3) ou,
- ✓ Une partie des lots 31357742, 3135746, 3134467, 3134468 et 3134469 (voir carte de lotissement transmise par la Municipalité, annexe 3).

Les lots 3134467, 3134468 et 3134469 renferment une carrière abandonnée qui paraît être un site pertinent pour réaliser un tel forage profond car l'excavation permettrait, entre autres, de :

- ✓ Gérer les effluents liquides en les canalisant (après traitement) via un cours d'eau intermittent (voir la carte des Éléments naturels à protéger transmise par la Municipalité, annexe 3),
- ✓ Réhabiliter possiblement le site après avoir complété le forage profond.

Toutefois, les structures géologiques avoisinant ces carrières désaffectées sont inconnues car elles n'ont pas été prospectées via les divers levés géophysiques réalisés dans le passé (voir carte géophysique de l'annexe 3). Conséquemment, Madelin'Eau conclut que la carrière désaffectée représente un premier site propice à l'implantation d'un site de forage gazier conventionnel (profondeur de 2500 m) sous réserves de :

1. Cartographier en surface les structures géologiques observables et identifiables par la réalisation de levés géophysiques,
2. inventorier les divers usagers de la ressource en eau souterraine dans un rayon d'un (1) kilomètre,
3. déterminer le bruit de fond hydrogéochimique de l'eau souterraine avant, durant et après la réalisation du forage exploratoire gazier à partir de points d'échantillonnage jugés représentatifs.

6.1.2 Cible no 2 – Sud du quai du Cap-Vert

Les environs au sud du quai correspondent à :

- ✓ L'affectation Ic7 (voir la carte de zonage, annexe 3) ou,
- ✓ Un territoire non lotis au sud du lot 3135776 (voir carte de lotissement, annexe 3).

Toutefois, les structures géologiques avoisinant les environs de cette cible sont inconnues car elles n'ont pas été prospectées via les divers levés géophysiques réalisés dans le passé (voir carte géophysique de l'annexe 3). Conséquemment, Madelin'Eau conclut que ce secteur représente un second site propice à l'implantation d'un site de forage gazier conventionnel (profondeur de 2500 m) sous réserves de :

1. Cartographier en surface les structures géologiques observables et identifiables par la réalisation de levés géophysiques,
2. Inventorier les divers usagers de la ressource en eau souterraine dans un rayon d'un (1) kilomètre,
3. Déterminer le bruit de fond hydrogéochimique de l'eau souterraine – avant, durant et après la réalisation du forage exploratoire gazier à partir de points d'échantillonnage jugés représentatifs.

6.2 LA FORMATION GÉOLOGIQUE AQUIFÈRE EN BORDURE DE MER

Considérant le contexte géologique et hydrogéologique du secteur de Fatima, la formation géologique aquifère (de forte transmissivité) prend place entre les formations non aquifères (voir section 6.1) et les littoraux représentés d'une part par le golf du Saint-Laurent et d'autre part la lagune du Havre-aux-Maisons. En termes hydrogéologiques, cet aquifère (zone 10 de la figure 4) est contraint dans son exploitation par la présence des masses d'eau saline sur son littoral. Les littoraux sont donc des endroits où l'aquifère est inexploitable.

Les littoraux constituent donc des endroits propices pour l'implantation d'un forage de reconnaissance. Outre ces considérations hydrogéologiques, les autres critères de sélection évoqués à la section 6.1 sont aussi applicables. L'agrégation des informations cartographiques convergeant vers l'application de ces divers critères au territoire aquifère permet d'identifier une cible favorable à l'implantation d'un forage exploratoire :

- **Cible no 3** – les environs de la pointe à Frank.

6.2.1 Cible no 3 – Environs de la pointe à Frank

Les environs de la pointe à Frank correspondent à :

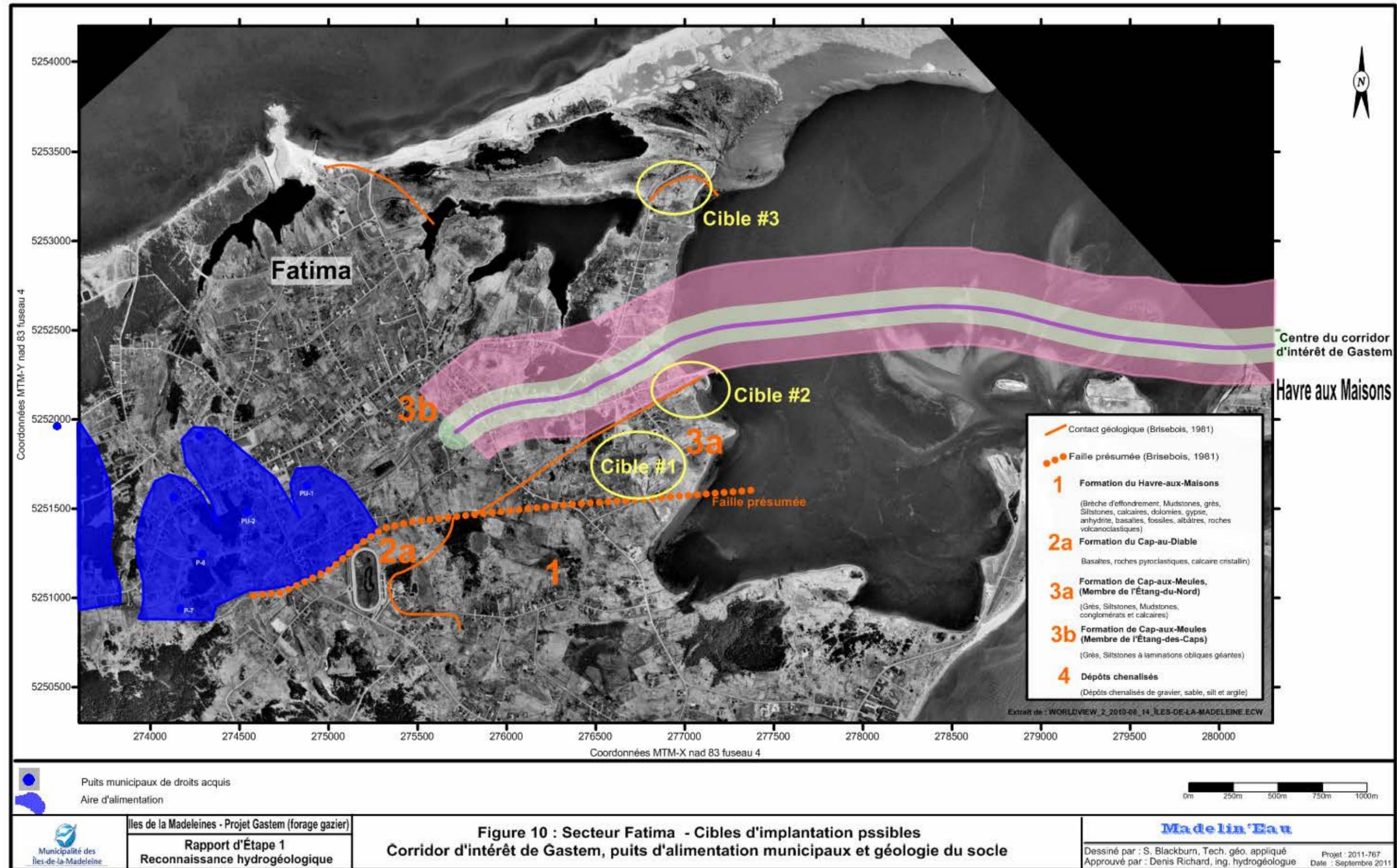
- ✓ L'affectation Aa42 (voir la carte de zonage de l'annexe 3) ou,
- ✓ Une partie des lots 4136302, 3133174 ou encore le territoire non loti au nord du lot 3133174 (voir carte de lotissement de l'annexe 3).

Cette cible est au nord est du Barachois renfermant aussi une masse d'eau saline.

Dans ce secteur, les structures géologiques imbriquées dans les grès sont inconnues car elles n'ont pas été prospectées via les divers levés géophysiques réalisés dans le passé (voir carte géophysique de l'annexe 3) vraisemblablement à cause des eaux salines susceptibles de masquer les signaux électriques. Conséquemment, Madelin'Eau conclut que les environs de la pointe à Frank représentent un troisième site propice à l'implantation d'un site de forage gazier conventionnel (profondeur de 2500 m) sous réserves de :

1. Inventorier les divers usagers de la ressource en eau souterraine dans un rayon d'un (1) kilomètre,
2. Déterminer le bruit de fond hydrogéochimique de l'eau souterraine – avant, durant et après la réalisation du forage exploratoire gazier à partir des eaux de surface provenant du Barachois et des eaux souterraines à prélever d'éventuel puits privés.

Figure 10 : Secteur de Fatima – Cibles d'implantation potentiels



7 SECTEUR DE HAVRE-AUX-MAISONS - CRITÈRES D'IMPLANTATION ET IDENTIFICATION DE CIBLES

La figure 11 localise le corridor d'intérêt Gastem (voir aussi l'annexe 1) en superposition avec les contacts géologiques, les levés géophysiques du passé, les puits municipaux, les puits privées et autres forages. Cette figure 11 montre que les puits municipaux sont totalement à l'extérieur du secteur d'intérêt Gastem.

Par rapport à cette Étape I portant sur la reconnaissance et identification des cibles les plus propices à la réalisation du forage exploratoire, les paramètres évoqués ci-dessus sont ceux qui s'appliquent directement à l'évaluation hydrogéologique notamment :

- ✓ Les formations géologiques non aquifères,
- ✓ Le littoral marin de la formation géologique aquifère là où l'interface eau douce /eau salée est près de la surface (limite inexploitable de l'aquifère).

7.1 LES FORMATIONS GÉOLOGIQUES NON AQUIFÈRES

Considérant le contexte géologique et hydrogéologique du secteur de Havre-aux-Maisons, les formations géologiques non aquifères (de faible transmissivité) qui se regroupent au centre de l'île de Havre-aux-Maisons (correspondant aussi aux zones de horst), sont en amont topographique (et hydraulique) de la formation aquifère (formation de Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-des-Caps, unité 3b, de la carte géologique transmise par la Municipalité, annexe 4). Ces formations non aquifères sont les formations :

- ✓ Du Havre-aux-Maisons (Unité 1, de la carte géologique de l'annexe 4),
- ✓ Du Cap-au-Diable (unité 2a, de la carte géologique de l'annexe 4),
- ✓ Du Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-du-Nord (unité 3a, de la carte géologique de l'annexe 4),
- ✓ Des Dunes cartographiées au sud de l'île Paquet (unité Dunes, de la carte géologique de l'annexe 4).

À l'exception du sud de l'île Paquet, ces diverses formations favorisent le ruissellement et l'écoulement hypodermique (section 3.2) et ne renferment pas de nappe aquifère exploitable. Par rapport au corridor d'intérêt Gastem (voir section 1.1 et figure 11), ces formations non aquifères se localisent dans le corridor d'intérêt en particulier la formation du Cap-aux-Meules, membre de l'Étang-du-Nord (unité 3a, de la carte géologique transmise par la Municipalité, annexe 4) qui s'étend aussi sur l'île Paquet. Il est à noter que les formations « Dunes » correspondent aussi à un site de rejet des déblais provenant du chantier de construction du pont de remplacement. Les territoires géographiques occupés par ces formations non aquifères, constituent autant de sites favorables pour l'implantation d'un site de forage exploratoire. Outre ces considérations hydrogéologiques, les autres critères de sélection sont :

- ✓ Les dimensions des lots permettant la mise en place de l'aire d'excavation (750 m² minimum, voir section 1.1 et aussi la carte du lotissement transmise par la Municipalité, annexe 4),
- ✓ Les grandes affectations du territoire (plan de zonage) en évitant, pour les zones d'affleurement des formations non aquifères décrites ci-dessus, les territoires zonés :
 - Agricole (classe A, de la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 4) car des autorisations devront être obtenues du MAPAQ et/ou de la Municipalité pour utilisation d'une superficie à des fins autres qu'agricoles,
 - Résidentiel (Classe R, de la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 4),
- ✓ La connaissance des structures géologiques (failles, joints, fractures, etc.) dans les environs des sites d'implantation, a priori, généralement reconnues via les levés géophysiques,
- ✓ Zone d'approche et aire de transition de l'aéroport (voir carte « Autres éléments à considérer » transmise par la Municipalité, annexe 4),
- ✓ Les secteurs boisés (voir carte « Les Éléments naturels à protéger » transmise par la Municipalité, annexe 4).

L'agrégation des informations cartographiques convergeant vers l'application de ces divers critères au territoire non aquifère permet d'identifier une cible favorable à l'implantation d'un forage exploratoire :

- **Cible no 4** – Le secteur des Dunes : une zone remblayée au sud de l'île Paquet

7.1.1 Cible no 4 – Le secteur des Dunes (sud de l'île Paquet)

Le secteur des Dunes correspond à :

- ✓ L'affectation VA27 (voir la carte de zonage de l'annexe 4) ou,
- ✓ Le lot 3779492 (voir carte de lotissement de l'annexe 4).

Bien que ce lot soit désigné comme étant une zone de conservation, a priori, une telle désignation s'appliquerait plutôt à l'île Rouge d'autant plus que le lot concerné est un site de rejet des déblais provenant de la construction du pont de remplacement. Ce statut pourrait être réévalué par les professionnels accrédités pour ce type d'évaluation. En termes hydrogéologiques, l'île Paquet étant hors les secteurs de Fatima et de Havre-aux-Maisons, le secteur des Dunes de l'île Paquet se localise hors nappe aquifère exploitée par la Municipalité. Aussi, ce secteur est entouré d'eau saline et ne pourra jamais être exploité à des fins d'eau potable. Conséquemment, Madelin'Eau conclut que le secteur des Dunes au sud de l'île Paquet représente un quatrième site propice à l'implantation d'un site de forage gazier conventionnel (profondeur de 2500 m) sous réserves de :

1. Déterminer le bruit de fond hydrogéochimique de l'eau de mer – avant, durant et après la réalisation du forage exploratoire gazier dans la masse d'eau saline environnante.

7.2 LA FORMATION GÉOLOGIQUE AQUIFÈRE EN BORDURE DE MER

Considérant le contexte géologique et hydrogéologique du secteur de Havre-aux-Maisons, la formation géologique aquifère (de forte transmissivité) prend place entre les formations non aquifères (voir section 7.1) et le littoral représenté par la lagune du Havre-aux-Maisons. En termes hydrogéologiques, cet aquifère est contraint dans son exploitation par la présence des masses d'eau saline sur son littoral. Les littoraux sont donc des endroits où l'aquifère est inexploitable.

Le littoral constitue donc des endroits propices à l'implantation d'un forage profond. Outre ces considérations hydrogéologiques, les autres critères de sélection évoqués à la section 7.1 sont aussi applicables. L'agrégation des informations cartographiques convergeant vers l'application de ces divers critères au territoire aquifère permet d'identifier une cible favorable à l'implantation d'un forage exploratoire :

- **Cible no 5** – Sur le littoral au nord du carrefour du chemin des Cyr et du chemin du Cap-Rouge.

7.2.1 Cible no 5 – Sur le littoral au nord du carrefour des chemins des Cyr et du Cap-Rouge

Le littoral de ce secteur correspondant à :

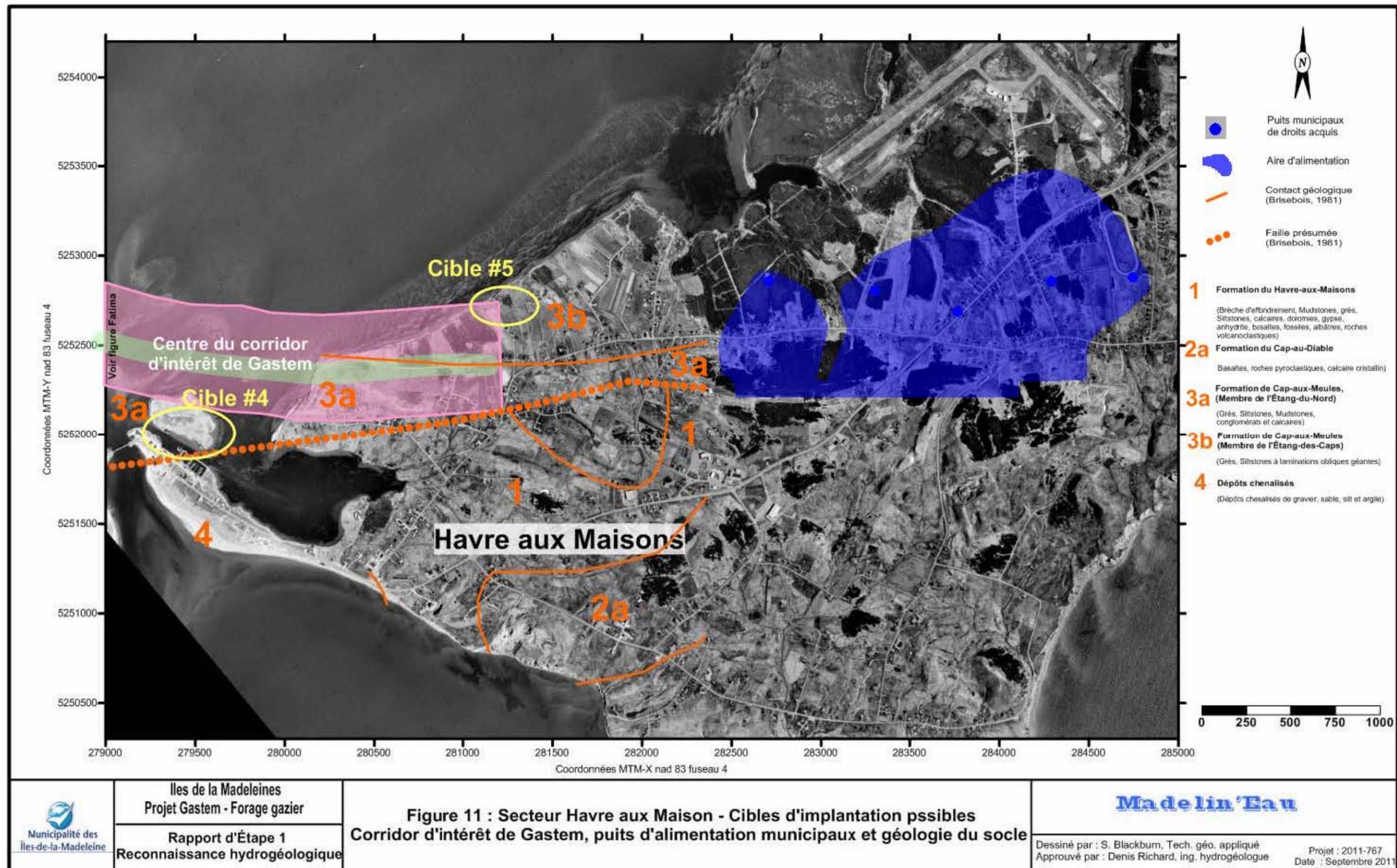
- ✓ L'affectation VILa12 (voir la carte de zonage transmise par la Municipalité, annexe 4) ou,
- ✓ Une partie du lot 3779095 à l'ouest ou à l'est du secteur boisé (voir carte de lotissement transmise par la Municipalité, annexe 4).

Ce secteur serait à environ 6 m au dessus du plan de la lagune du Havre-aux-Maisons à proximité d'une masse d'eau saline.

Dans ce secteur, les structures géologiques imbriquées dans les grès ont été reconnues à grande profondeur par un levé géophysique effectué par Geoterrex en 1971 (voir carte des Levés géophysiques à l'annexe 4). Conséquemment, Madelin'Eau conclut que le littoral au nord du carrefour des chemins des Cyr et du Cap-Rouge représente un cinquième site propice à l'implantation d'un site de forage gazier conventionnel (profondeur de 2500 m) sous réserves de :

1. Cartographier en surface les structures géologiques observables et identifiables par la réalisation de levés géophysiques,
2. Inventorier les divers usagers de la ressource en eau souterraine dans un rayon d'un (1) kilomètre,
3. Déterminer le bruit de fond hydrogéochimique de l'eau souterraine – avant, durant et après la réalisation du forage exploratoire gazier.

Figure 11 : Secteur de Havre-aux-Maisons – Cibles d'implantation potentiels



| | | | |
|--|---|---|---------------------------|
|  <p>Municipalité des Îles-de-la-Madeleine</p> | <p>Iles de la Madeleines Projet Gastem - Forage gazier</p> | <p>Figure 11 : Secteur Havre aux Maison - Cibles d'implantation pssibles Corridor d'intérêt de Gastem, puits d'alimentation municipaux et géologie du socle</p> | <p>Madelin'Eau</p> |
| | <p>Rapport d'Étape 1 Reconnaissance hydrogéologique</p> | | |

8 RECOMMANDATIONS

De ce qui précède, Madelin'Eau a identifié cinq (5) cibles d'implantation potentielles pour le forage exploratoire profond notamment :

Dans le secteur de Fatima :

- ❑ **Cible no 1** – les environs de la carrière abandonnée (désaffectée)
- ❑ **Cible no 2** – le secteur sud du quai du Cap-Vert
- ❑ **Cible no 3** – les environs de la pointe à Frank

Dans le secteur du Havre-aux-Maisons :

- ❑ **Cible no 4** – Le secteur des Dunes : une zone remblayée au sud de l'île Paquet
- ❑ **Cible no 5** – Sur le littoral au nord du carrefour du chemin des Cyr et du chemin du Cap-Rouge.

Outre les recommandations spécifiques énoncées à la description de chacune des cibles recommandées, Madelin'Eau recommande fortement :

1. La tenue d'une réunion d'orientation entre Gastem et la Municipalité des Iles-de-la-Madeleine afin de :
 - a. Retenir l'une ou l'autre des cinq (5) cibles décrites aux sections 6 et 7,
 - b. Suggérer éventuellement d'autres cibles d'implantation (le cas échéant) qui devront être évaluées au mérite sur la base des critères hydrogéologiques évoqués dans ce rapport,
2. La réalisation de l'Étape II (voir section 1.2) incluant celle des levés géophysiques.

Les enjeux de l'Étape II vise à :

1. Définir un programme de suivi hydrogéologique à valoriser avant, durant et après les travaux liés à la réalisation du forage exploratoire profond,
2. Cartographier, entre autres via un levé géophysique, la fracturation superficielle affectant le socle et pouvant constituer des conduits de fuite préférentielle des fluides de forage vers les zones aquifères exploitées,
3. Implanter des piézomètres sur la base de critères structuraux déduits de l'interprétation des levés géophysiques là où un levé géophysique peut être mis en oeuvre.

Denis Richard ing,
Hydrogéologue



Pour Madelin'Eau (Denis Richard, Renald McCormack et Olivier Banton)

9 RÉFÉRENCES

1. Madelin'Eau, mars 2003 – Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable – Rapport d'étape no 1 couvrant la période – Avril 2002 à mars 2003, présenté à la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine dans le cadre d'un financement provenant du Fonds d'action québécois pour le développement durable (FAQDD).
2. Madelin'Eau, Décembre 2004 – Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable – Rapport final présenté à la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine dans le cadre d'un financement provenant du Fonds d'action québécois pour le développement durable (FAQDD) :
 - a. **Document no 1** – Méthodologie de l'étude
 - b. **Document no 2** (Île de Cap-aux-Meules) - Partie A : Secteur de L'Étang-du-Nord – Cap-aux-Meules, Partie B : Secteur de Fatima
 - c. **Document no 3** (archipel hors Île Centrale) – Partie A : île du Havre-Aubert, Partie B : Île de Havre-aux-Maisons, Partie C : Île de la Grande-Entrée, Partie D : Île de Grosse-Île, Partie E : Île d'Entrée, Partie F; île de Pointe-aux-Loups, présenté à la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine dans le cadre d'un financement provenant du Fonds d'action québécois pour le développement durable (FAQDD).
3. Madelin'Eau, Septembre 2008 – Secteur Havre-aux-Maisons – Captages municipaux (P1, P2, P3 et P4) – Prélèvement additionnel de 400 m³/jour aux débits autorisés – Examen de la faisabilité – Rapport d'expertise,
4. Madelin'Eau, 17 mars 2009 (révisé le 30 mars 2009) – Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, secteurs couverts par un réseau d'aqueduc, Réponses aux questions posées par BPR – Groupe Conseil dans le cadre de la mise aux normes des réseaux
5. Benoit Barbeau, ing., Ph. D., Professeur agrégé, Titulaire agrégé - Chaire Industrielle-CRSNG en Eau Potable, École Polytechnique de Montréal, mars 2010 - Îles-de-la-Madeleine – Secteur de Grande-Entrée - *Évaluation de la problématique du chloroforme dans les eaux souterraines*
6. Madelin'Eau, mai 2010 – Secteur de Fatima (regroupement no 2) - Alimentation en eau potable - Puits FAT-09-01PP, FAT-09-02PP, FAT-09-03PP et FAT-09-04PP - Demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES - Phase III – Rapport d'expertise hydrogéologique
7. Madelin'Eau, mai 2010 – Secteur de Havre-aux-Maisons (regroupement no 3) - Alimentation en eau potable - Puits HAM-09-01PP et HAM-09-02PP - Demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du RCES - Phase III – Rapport d'expertise hydrogéologique

Annexe 1

Projet de Gastem Localisation et forage type



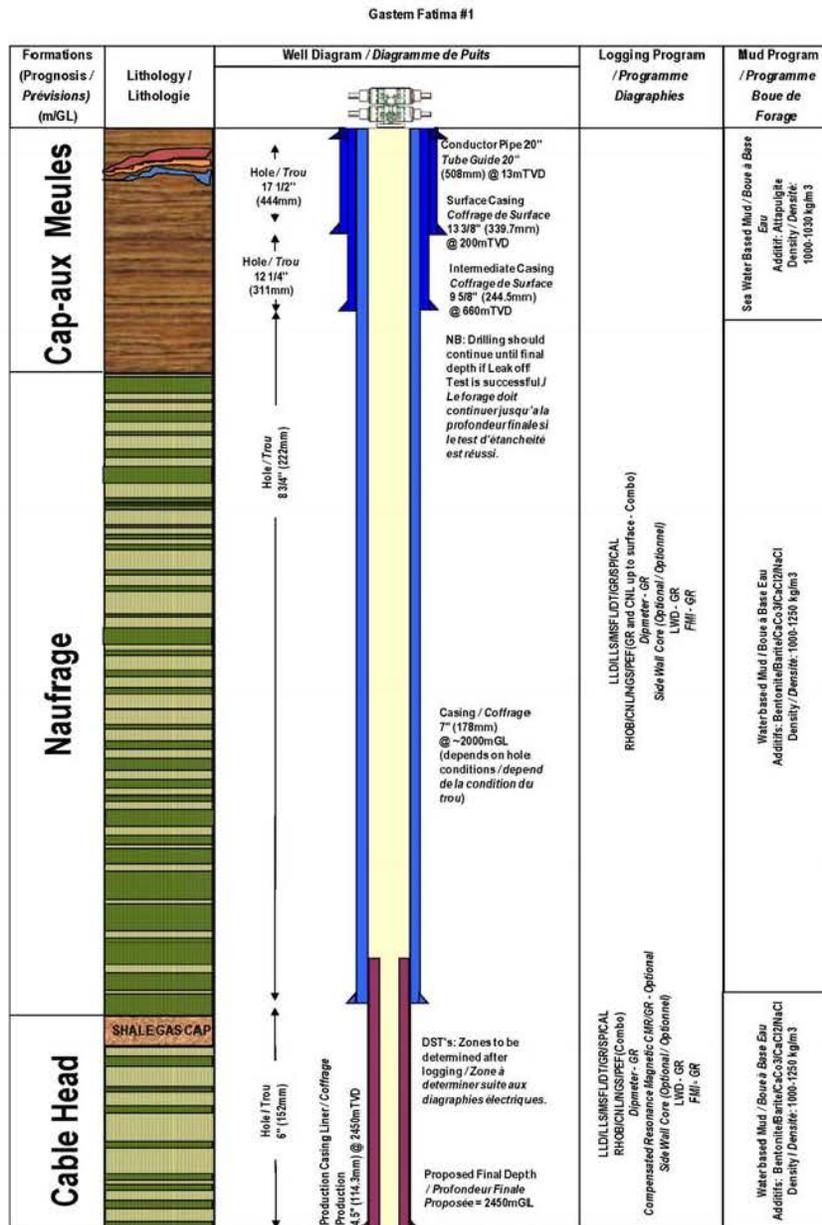


Figure 5: Geological Prognosis & Drilling Program - DRAFT

Annexe 2

Gastem et la Municipalité des îles-de-la-Madeleine
Lettre d'entente datée du 20 septembre 2011



Municipalité des Îles-de-la-Madeleine

Direction du développement du milieu et de l'aménagement du territoire

Le 20 septembre 2011

Monsieur Denis Richard
Madelin'Eau
8265, Rimbaud
Brossard (Québec) J4X 1T4

Monsieur,

Comme vous le savez, Gastem a informé la Municipalité de son intention de forer, dès cet automne, un puits exploratoire lui permettant de valider le potentiel de gaz naturel dans le sous-sol des Îles-de-la-Madeleine. Gastem a, par la même occasion, réitéré sa volonté de tenir compte des préoccupations des membres de la table de concertation sur les hydrocarbures quant au respect de l'intégrité de la nappe phréatique des Îles, seule source d'eau potable sur notre territoire. L'entreprise a donc sollicité de la part de la Municipalité un avis d'expert quant à l'hydrogéologie de la zone où se situent ses cibles de forage.

Or, la Municipalité ne dispose pas des ressources humaines et techniques qui lui seraient nécessaires pour fournir un tel avis. Madelin'Eau étant notre consultant en la matière et œuvrant depuis de nombreuses années sur notre territoire, nous nous adressons à vous afin de fournir au promoteur un avis d'expert à l'intérieur d'un contrat dont vous conviendrez avec lui.

La Municipalité n'entendant pas encourir de frais pour la production de cet avis, vous devrez aussi convenir des honoraires associés à ce travail, lesquels devront être entièrement assumés par Gastem. Nous vous demandons toutefois de prévoir dans cette entente avec Gastem une disposition vous engageant à transmettre tous les rapports de Madelin'Eau relatifs à cette expertise en copie conforme à la Municipalité.

Nous comptons aussi sur votre collaboration pour nous transmettre copie de l'entente dont vous aurez convenu avec Gastem dès qu'elle aura été signée. Nous vous demandons par ailleurs d'inviter un observateur de la Municipalité à toute rencontre de travail avec le promoteur dans le cadre de votre éventuel mandat.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

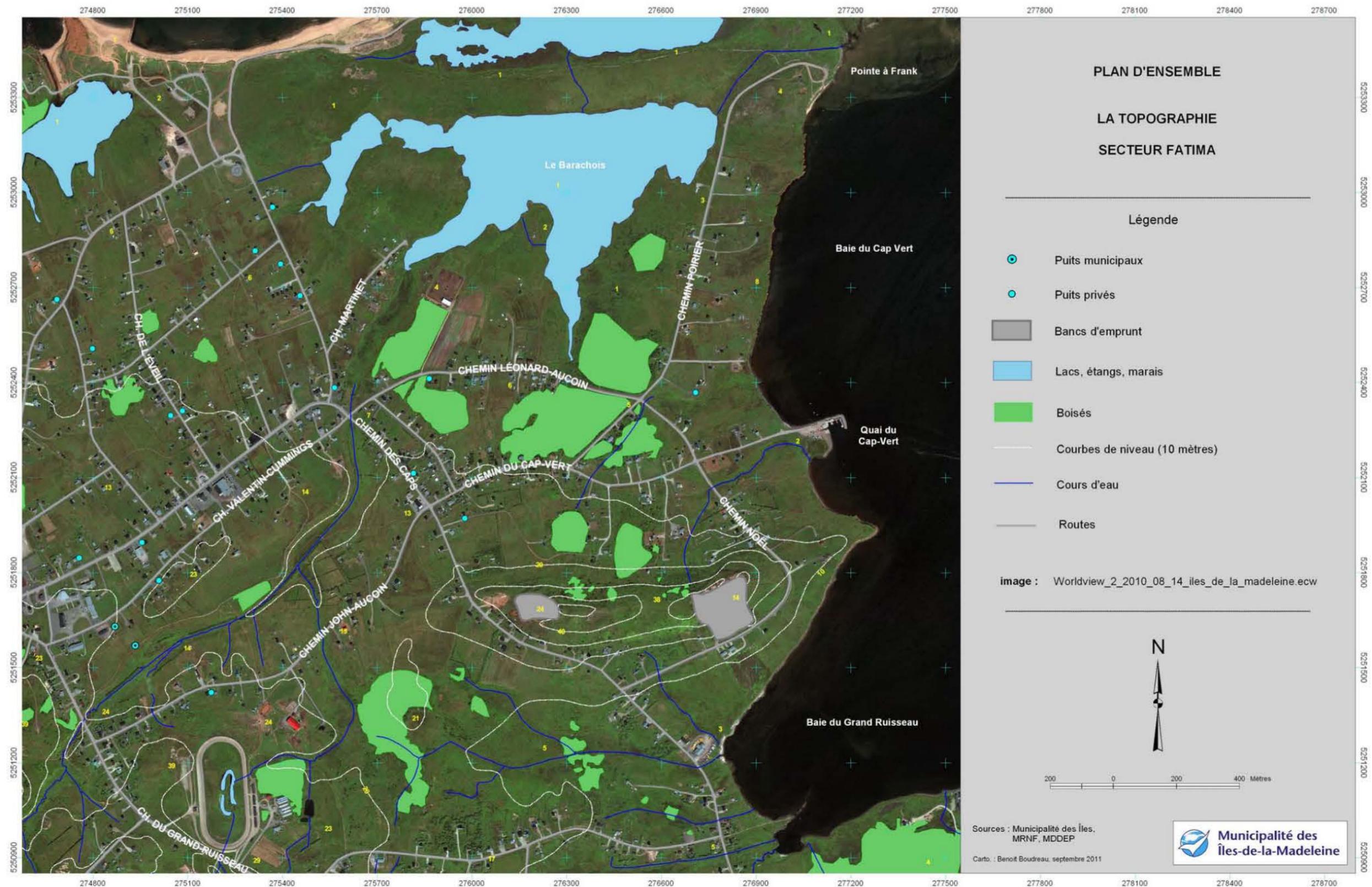
Le directeur du développement du milieu et
de l'aménagement du territoire,

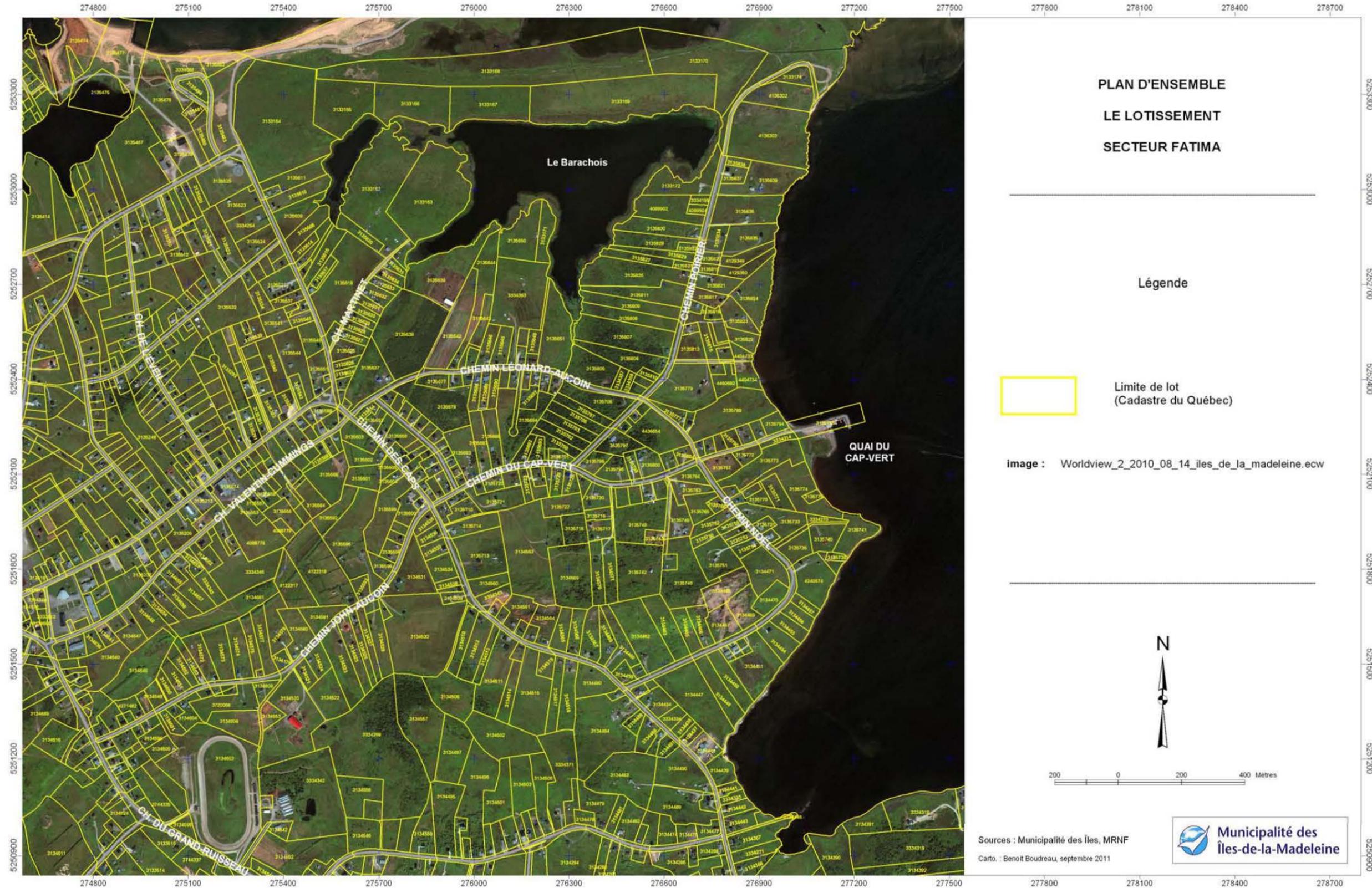
Jeannot Gagnon

JG/nc

Annexe 3

Secteur de Fatima
Documents cartographiques fournis par la Municipalité
(9 thématiques différentes)



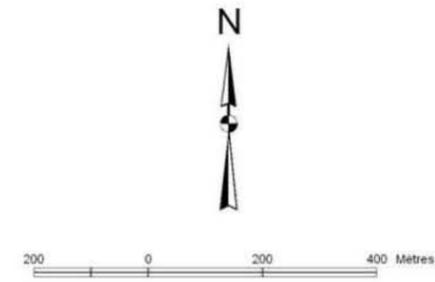


**PLAN D'ENSEMBLE
 LE LOTISSEMENT
 SECTEUR FATIMA**

Légende

 Limite de lot
(Cadastré du Québec)

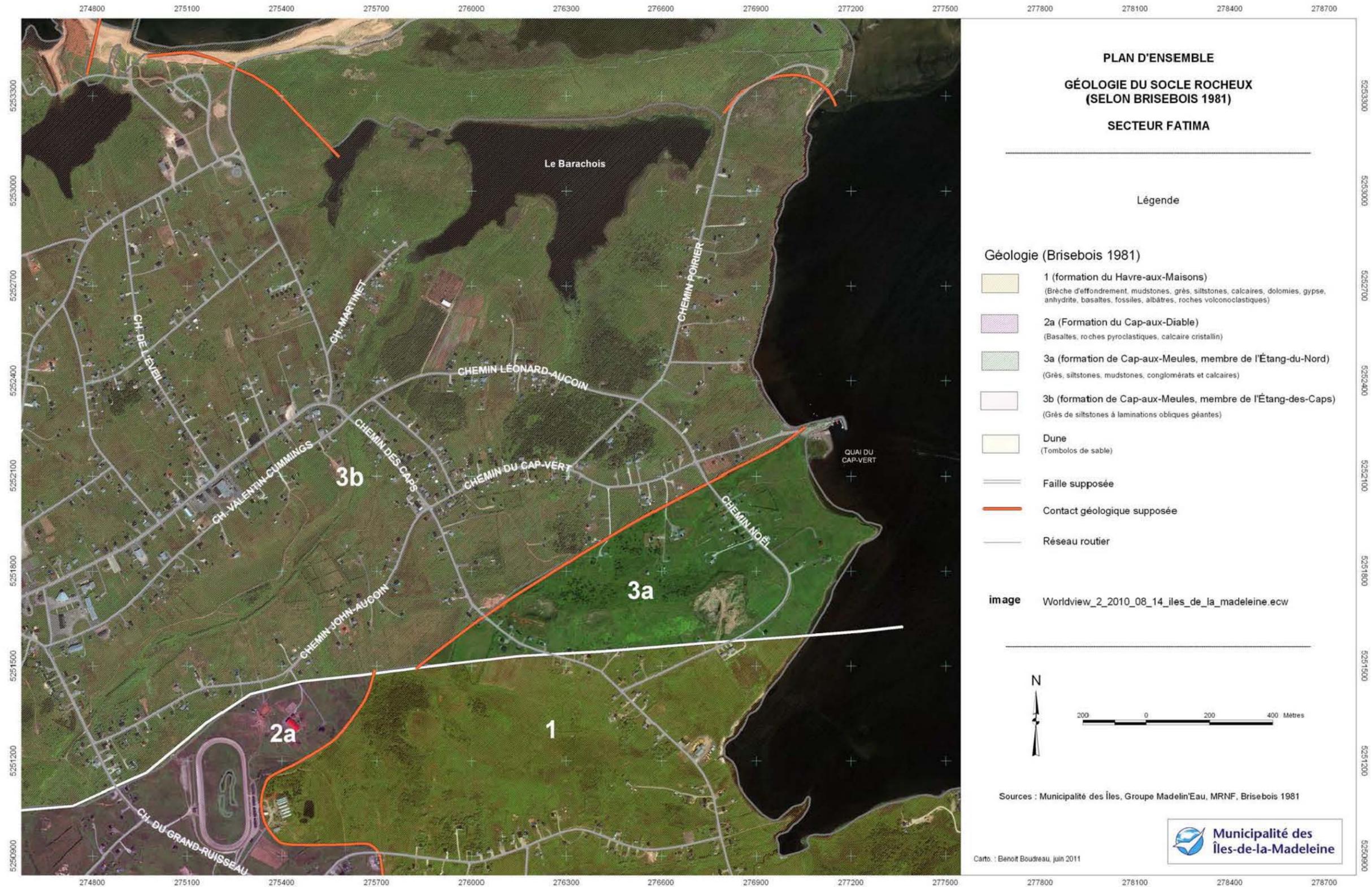
image : Worldview_2_2010_08_14_iles_de_la_madeleine.ecw

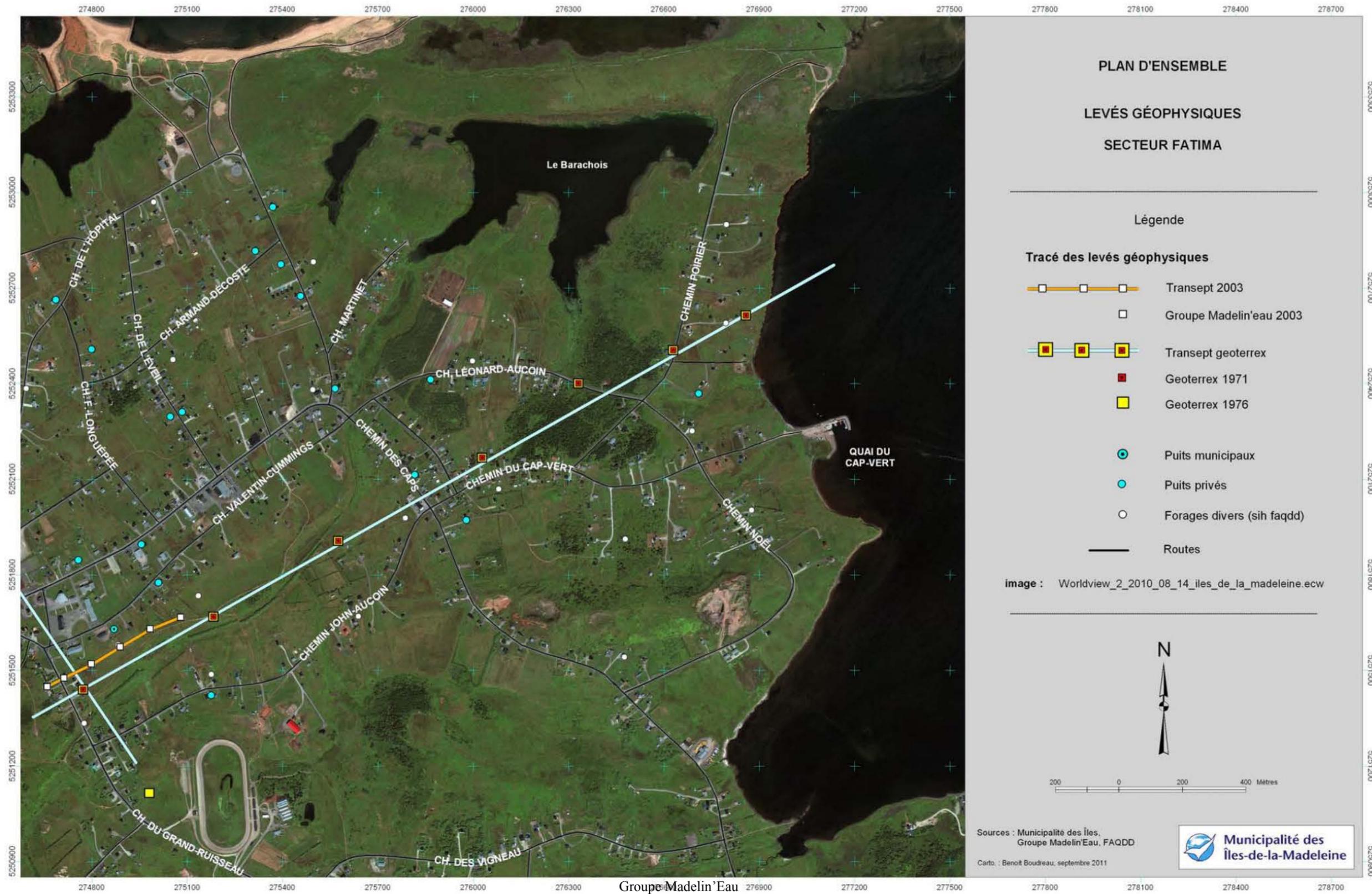


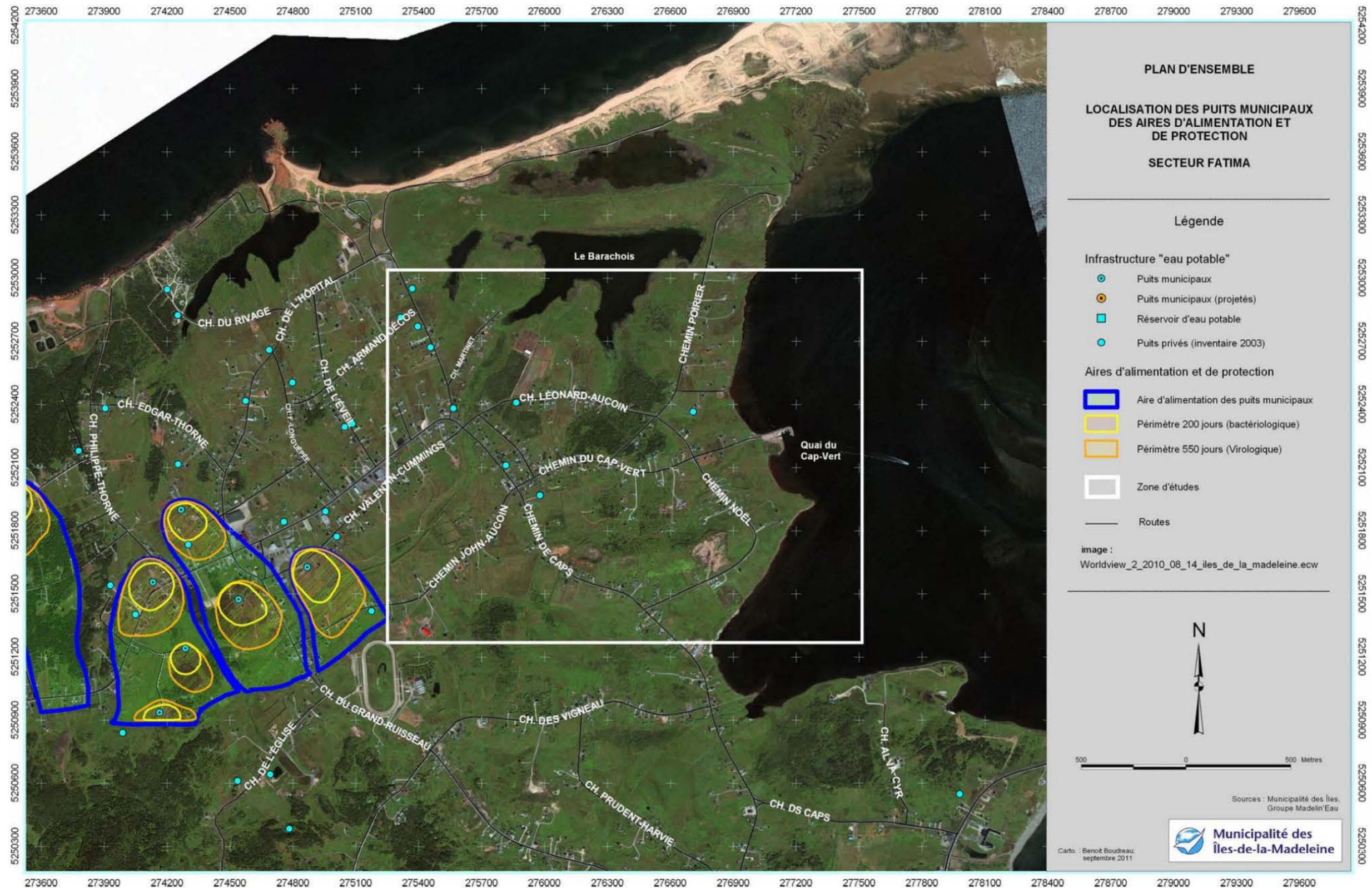
Sources : Municipalité des Îles, MRNF
 Carto. : Benoit Boudreau, septembre 2011



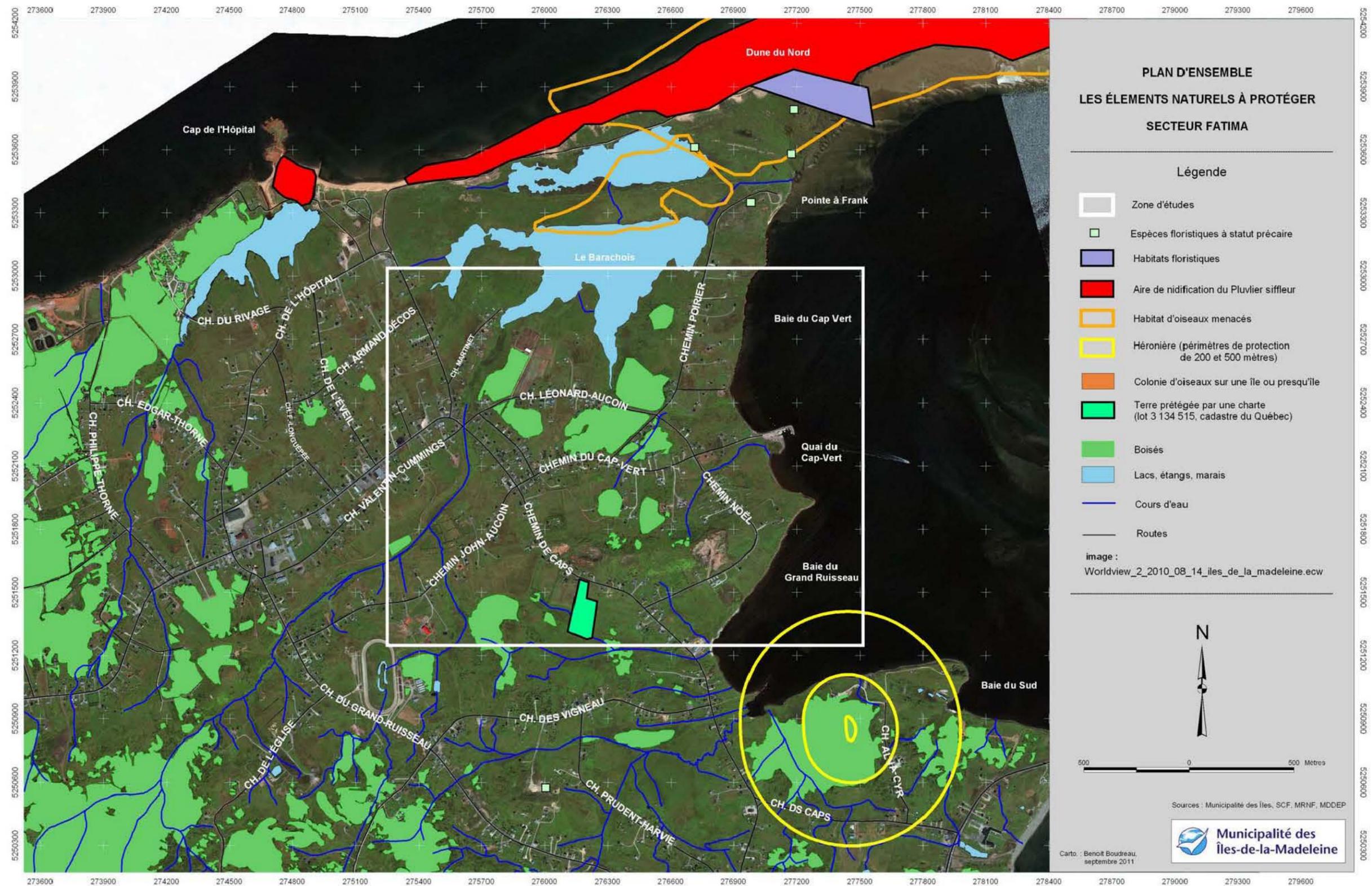


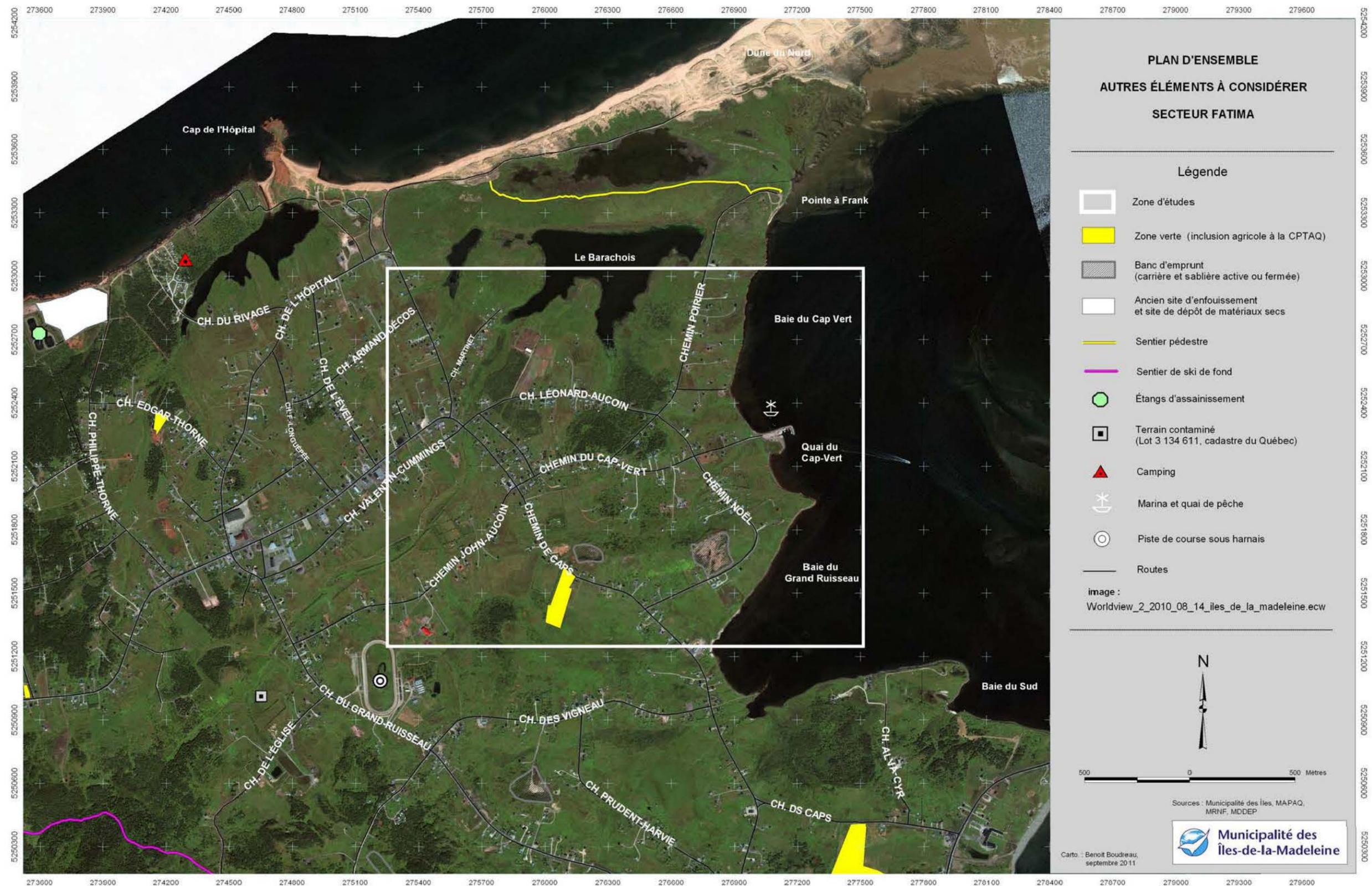












Annexe 4

Secteur de Havre-aux-Maisons
Documents cartographiques fournis par la Municipalité

(9 thématiques différentes)

