

Optimisation de l'exploitation des aquifères insulaires – exemple de l'île de la Grande-Entrée (Québec, Canada)

O.Banton ^(1,2), J.C.Comte ^(2,3), D.Richard ⁽⁴⁾, R. Mc Cormack ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Laboratoire d'Hydrogéologie – UMR EMMAH, Université d'Avignon ; ⁽²⁾ HYDRIAD ;

⁽³⁾ Queen's University Belfast; ⁽⁴⁾ Agéos – Québec; ⁽⁵⁾ Envir'Eau Puits – Québec

olivier.banton@univ-avignon.fr

L'archipel des Îles-de-la-Madeleine appartient à la province géologique canadienne des Appalaches et, plus spécifiquement, au bassin Carbonifère des Maritimes. Le socle rocheux constituant l'île de La Grande-Entrée est formé des grès quartzitiques du Permien inférieur. Les produits d'altération de la roche et des sédiments d'origine glaciaire (essentiellement du sable avec un peu de gravier) recouvrent localement les grès et comblent principalement une paléo-vallée (d'une profondeur pouvant dépasser 70 m) occupant l'axe médian de l'île. Les grès quartzitiques constituent un excellent aquifère et la seule ressource en eau en l'absence de tout cours d'eau. L'exploitation de cette ressource est cependant contrainte par la proximité de la masse d'eau salée. La nappe libre est alimentée par une recharge évaluée à 230 mm/an permettant de maintenir une piézométrie de quelques mètres au centre de l'île. Les rabattements induits par les puits influencent cependant de façon importante la piézométrie et conditionnent la position de l'interface eau douce/eau salée. Les travaux réalisés par le groupement de spécialistes Madelin'Eau mandaté par la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine ont consisté en une intense caractérisation géophysique de la géologie et du biseau salé, et une modélisation des écoulements souterrains visant l'optimisation de l'exploitation de la ressource assurant le maintien de l'équilibre de l'interface eau douce/eau salée.

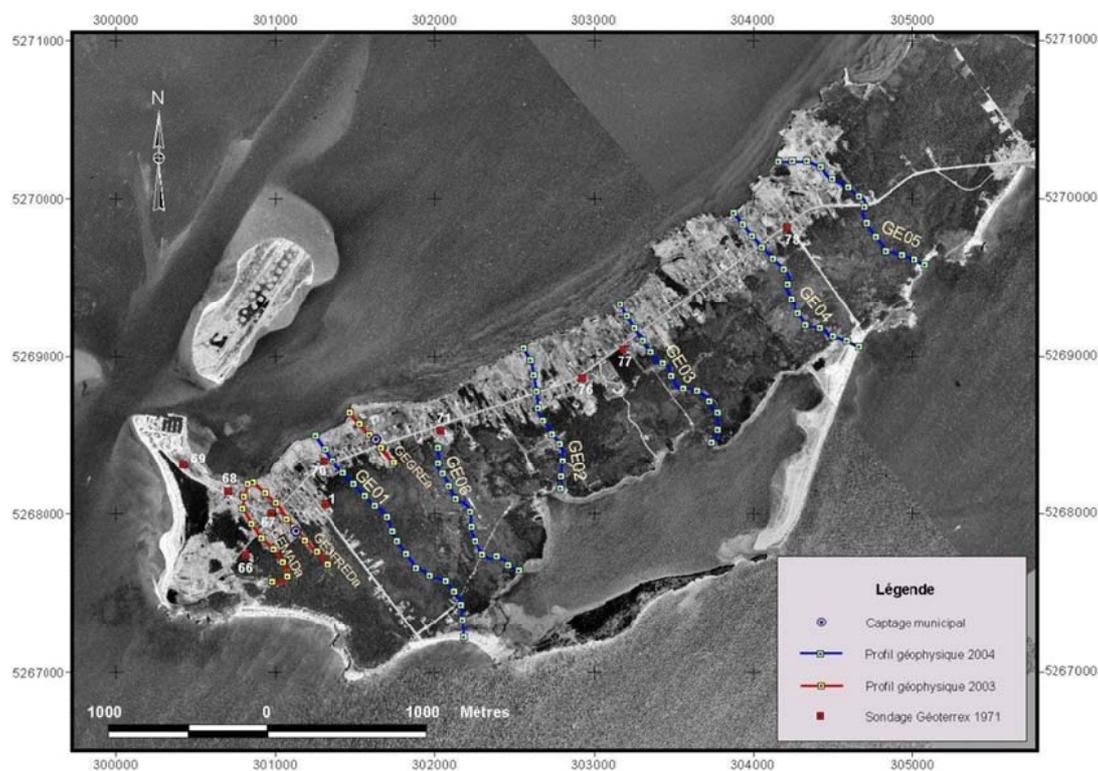


Figure 1 – Île de la Grande Entrée (Îles-de-La-Madeleine, Québec, Canada) avec localisation des investigations géophysiques réalisées

I- CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

L'île de la Grande-Entrée (Figure 1) est d'une longueur d'environ 6 km, avec une largeur n'excédant pas 1,5 km. La crête topographique, orientée dans l'axe d'élongation culmine à 43 m. Aucun cours d'eau pérenne n'est présent. L'habitat prend essentiellement place sur le flanc nord-ouest de l'île et, à ce jour, se trouve principalement alimenté par des puits privés [1-2]. Le contexte hydrogéologique est conditionné par la vallée de sable qui couvre le centre de l'île, d'ouest en est, et les grès rouges éoliens distribués de part et d'autre de la paléo-vallée de sable [1]. Cette dernière se caractérise par de très faibles transmissivités ($< 10^{-5}$ m²/s) alors que la transmissivité moyenne des grès est de l'ordre de 10^{-3} m²/s mais avec une grande variabilité [1]. La nappe est libre avec un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de $0.5 \cdot 10^{-3}$ à $6 \cdot 10^{-3}$. La piézométrie atteint au centre de l'île 3 m, avec des gradients de 0,001 à 0,009. Selon la relation de Ghyben-Herzberg, la position de l'interface eau douce/eau salée dépasserait 100 m au centre de l'île. Le faciès des eaux souterraines est de type bicarbonaté-chloruré-sulfaté à chloruré-sulfaté-bicarbonaté avec une teneur en solides totaux dissous variant de 192 mg/L à 1012 mg/L et des conductivités électriques variant de 216 μ S/cm à 1210 μ S/cm.

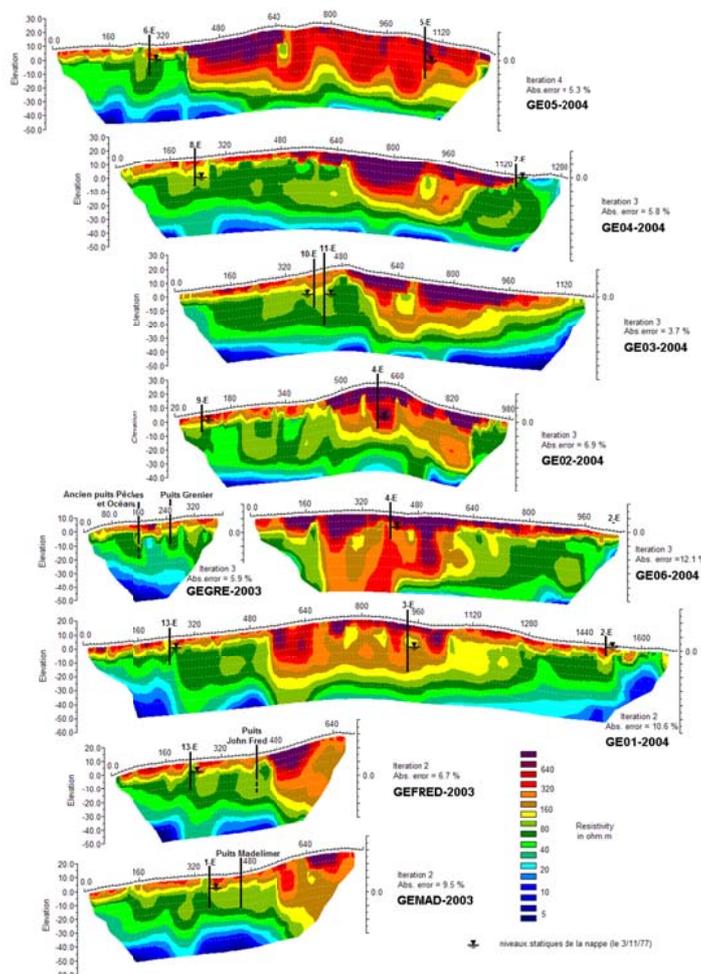


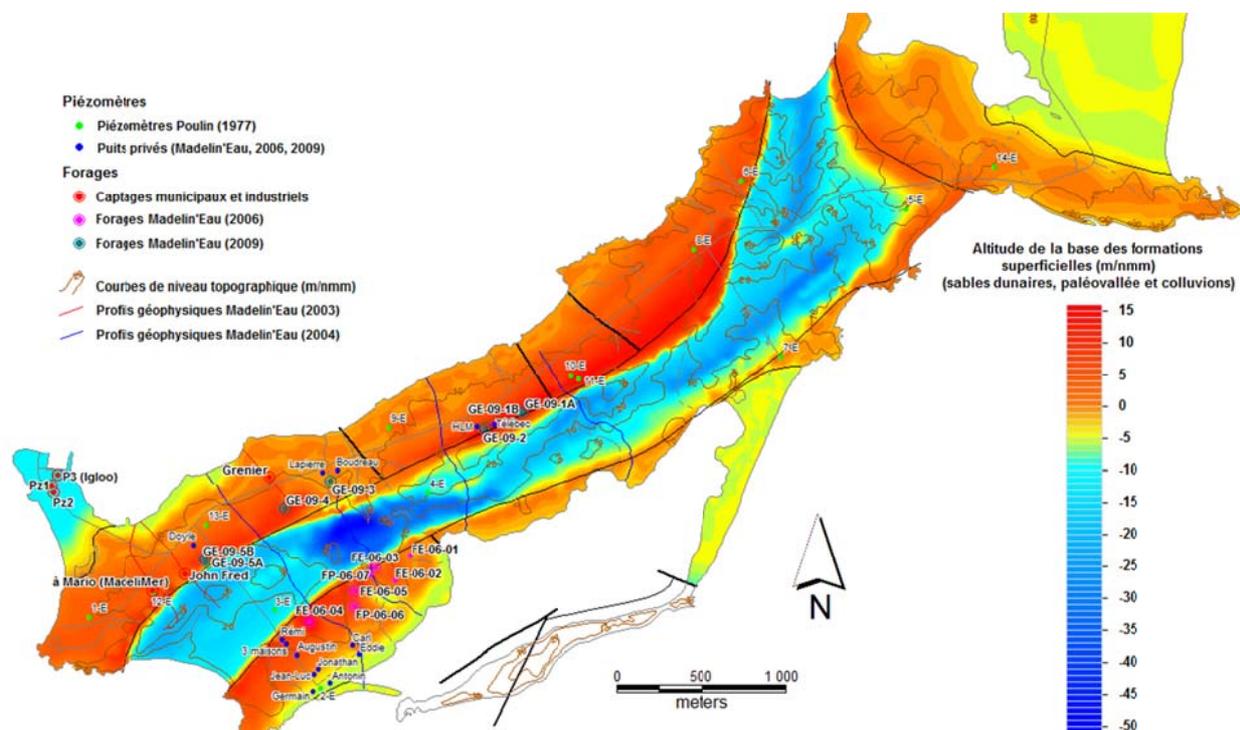
Figure 2 – Profils géophysiques ERT obtenus sur l'île de la Grande Entrée

Diverses investigations géophysiques ont été réalisées au travers de l'île (Figure 1) afin de préciser le contexte géologique et d'identifier si possible l'interface eau douce / eau salée [1-2]. Toutes les sections géophysiques sont approximativement orientées NO-SE afin de recouper la paléo-vallée centrale. Les profils géophysiques obtenus sont présentés à la Figure 2. La géophysique met clairement en évidence les caractéristiques hydrogéologiques, structurales et environnementales. La morphologie de la paléo-vallée est précisément décrite du fait des contrastes élevés entre les résistivités des grès et des sables. Les grès montrent une forte hétérogénéité spatiale des caractéristiques électriques traduisant une importante

hétérogénéité du réservoir. La nappe présente un fort gradient de salinité en profondeur, avec une interface située entre 25 et 55 m de profondeur. Les dômes observés au droit des principaux puits traduisent la remontée du front salin. La contamination de la ressource par les sels déglaçants ressort également bien au droit de la route.

II- MODELISATION

Une modélisation des écoulements souterrains a été réalisée à l'aide de la suite logicielle Visual MODFLOW (ver. 2009.1 Pro) en utilisant les modèles MODFLOW et SEAWAT. SEAWAT est un modèle en différences finies, couplant lui-même le modèle d'écoulement MODFLOW et le modèle de transport MT3D, et permet la simulation des écoulements densitaires en milieu poreux, en particulier l'équilibre entre l'eau douce et l'eau salée dans les aquifères côtiers. Le territoire simulé, jusqu'à une profondeur de 200 m de manière à prendre en compte un domaine vertical suffisamment épais pour ne pas influencer l'évolution du biseau salé par la position de la limite inférieure du domaine, a été discrétisé en mailles de 40 m x 40 m, avec 10 couches d'épaisseurs moyennes de l'ordre de 20 m (min = 5 m ; max = 40 m). La structure géologique de l'île a été prise en compte conformément aux données géologiques et géophysiques. La Figure 3 illustre la morphologie des formations superficielles recouvrant le substratum gréseux.



Différentes zones de perméabilité ont été considérées tenant compte de la structure géologique (paléovallée et failles) et des valeurs obtenues des pompages d'essai. La piézométrie simulée avant exploitation est présentée à la Figure 4. La géométrie simulée du biseau salé avant exploitation a été validée grâce à la position de l'interface eau douce / eau salée obtenue par les profils géophysiques [3-4].

III- OPTIMISATION

Tenant compte de la géologie, de la piézométrie et de l'occupation du territoire, des forages ont été implantés afin de constituer un réseau AEP municipal. Suite à la foration et au test des ouvrages et à la

modélisation régionale du biseau salé, les débits de prélèvement ont fait l'objet d'une optimisation permettant de maintenir l'interface eau douce / eau salée à une profondeur sécuritaire (Figures 5 et 6).



Figure 4 – Piézométrie simulée pour la situation hydrogéologique actuelle (avant exploitation)

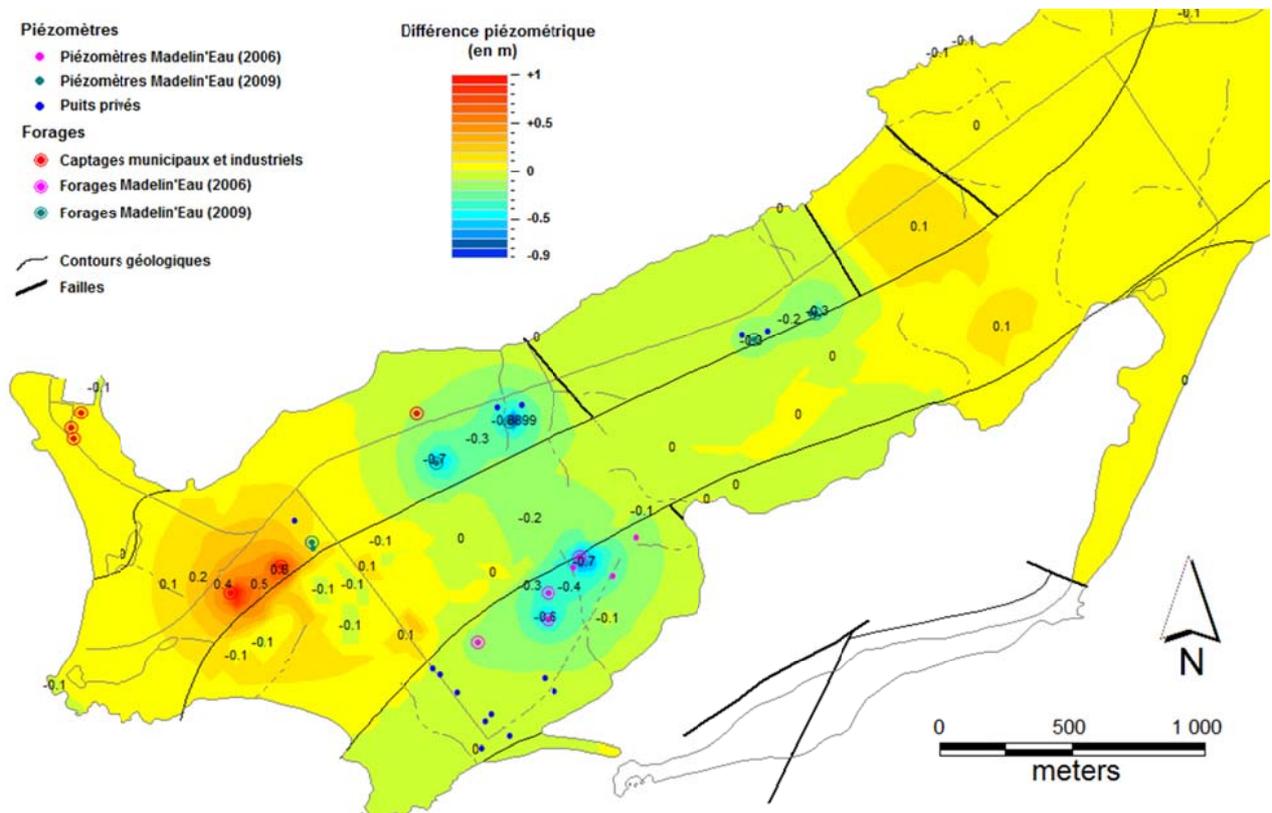


Figure 5 – Impact piézométrique simulé pour le scénario d'exploitation optimal

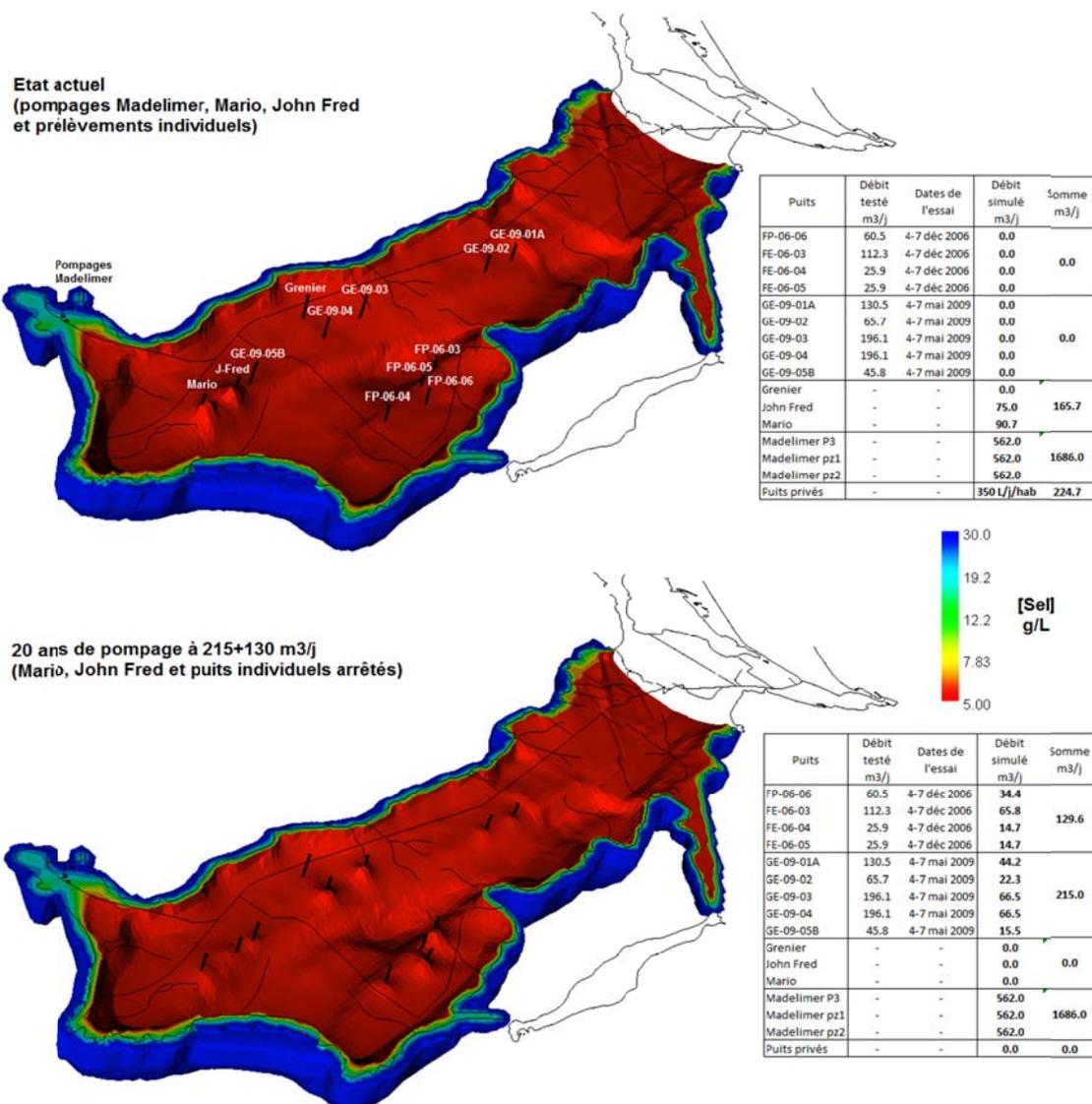


Figure 6 – Morphologie 3D de la zone de transition eau douce / eau salée pour la situation actuelle et le scénario d'exploitation optimal

IV- DISCUSSION-CONCLUSION

L'exploitation durable des eaux souterraines côtières nécessite de se préoccuper du maintien du fragile équilibre existant entre les eaux douces côtières et les eaux salées marines. Cet équilibre ne peut être conservé qu'à l'aide d'une optimisation des débits de prélèvement des eaux douces permettant de contrôler les éventuelles intrusions et remontées salines sous l'effet des pompages et du rabattement de la nappe. Cette optimisation nécessite de mettre en œuvre une modélisation des écoulements souterrains tenant compte de l'effet des variations de densité de l'eau. Cette modélisation implique non seulement le développement, le paramétrage et la validation d'un modèle simulant de façon fiable et représentative les écoulements des eaux souterraines, mais également la position de l'interface du biseau salé. Pour cela, la caractérisation géophysique par les méthodes électriques s'avère des plus pertinentes grâce aux contrastes de résistivité électrique existant entre la zone non saturée, la nappe d'eau douce et les eaux salées du biseau. Ainsi, l'exploitation durable des eaux souterraines côtières nécessite d'intégrer dans une même

approche la caractérisation géophysique du milieu géologique et hydrogéologique et la modélisation des écoulements densitaires. Tel que le montrent les résultats de cette étude, les débits de prélèvement ainsi optimisés sont considérablement plus faibles que le potentiel de la ressource représenté par la transmissivité du milieu et par la réserve d'eau douce présente. Comme dans tout milieu aquifère, l'exploitation durable de la ressource ne doit représenter qu'une part de son renouvellement naturel. Mais contrairement aux autres types d'aquifères, il n'est pas possible de mettre en œuvre une gestion 'active' de ces ressources côtières qui autoriserait une exploitation plus intense durant les périodes de demande à la faveur de la reconstitution de ces ressources durant le reste de l'année. Les contraintes d'exploitation des aquifères côtiers sont en effet exacerbées par le fragile équilibre hydrodynamique entre les eaux douces et les eaux salées. Ainsi, tout rabattement piézométrique avoisinant le niveau moyen des mers est susceptible de déséquilibrer de façon durable l'interface et d'entraîner une contamination saline de l'aquifère dont la résilience durerait plusieurs années à des dizaines d'années. Également, la position des pompes et crépines revêt une importance capitale puisque, contrairement aux autres milieux aquifères, la position optimale des pompes et crépines se situerait ici à l'altitude du niveau moyen des mers.

Remerciements

Les auteurs remercient la Municipalité et les différents intervenants des Îles-de-La-Madeleine pour leur appui et leur participation à ces travaux.

Références bibliographiques

- [1] Madelin'Eau, 2004 – Île de La Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec, Évaluation de la capacité support des ressources en eau souterraine pour fins d'alimentation en eau potable, Rapport Madelin'Eau 14/12/04.
- [2] Madelin'Eau, 2004 – Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine, Un défi de développement durable, Rapport final déc. 2004.
- [3] Comte J.C., Banton O., 2006 – Modelling of seawater intrusion in the Magdalen Islands, Québec, Canada, Proceedings 1st SWIM-SWICA Joint Saltwater Intrusion Conference, Cagliari-Chia Laguna, Italy.
- [4] Comte, J.C., Banton O., 2007 – Cross-validation of geo-electrical and hydrogeological models to evaluate seawater intrusion in coastal aquifers, Geophysical Research Letters, 34, L10402,