

Chapitre 5

GESTION DURABLE DE LA
RESSOURCE EAU SOUTERRAINE

Maud Touchette, Gwénaëlle Chaillou et Richard St-Louis

Chapitre 5 Table des matières

CHAPITRE 5	1
5.1 LES AQUIFÈRES CÔTIERS ET INSULAIRES : UN ENJEU MONDIAL, UNE GESTION LOCALE	161
5.2 MESURES ET POLITIQUES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE	172
5.3 RÉFÉRENCES	179

«La préservation des ressources en eau est l'affaire de tous. Il convient de changer à la fois les mentalités et les comportements, collectifs et individuels. C'est la condition d'un développement durable, soutenable et largement partagé».
(Pennequin et Aureli, 2009)

Au Canada, les observations des dernières années ont montré que l'absence de mesures préventives, les lacunes au niveau de la localisation et de l'aménagement de zones de captage d'eau souterraine ainsi que les faibles connaissances des caractéristiques et du fonctionnement des **aquifères** souterrains ont été à l'origine de cas de **pollution** et de **contamination** ponctuelle ou diffuse des eaux souterraines (Conseil des académies canadiennes, 2009). Il apparaît donc nécessaire d'améliorer la gestion de cette ressource par l'acquisition de connaissances pertinentes à son état et à sa dynamique ainsi que de planifier son exploitation selon les principes du développement durable afin d'en assurer la pérennité pour les générations futures (GRIES, 2010). Ce constat est d'autant plus vrai dans les milieux côtiers et insulaires qui, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, sont sujets à de multiples pressions naturelles et anthropiques. En 2009 dans son rapport sur la gestion des eaux souterraines au Canada, le Conseil des académies canadiennes énumère les différents facteurs faisant pression sur la ressource eau souterraine, dont l'augmentation de la population, l'intensification de l'agriculture industrielle, l'exploitation des hydrocarbures et d'autres ressources minérales, les changements climatiques et la présence de sites contaminés. Il est à noter que les eaux souterraines requièrent une gestion des risques particulière et différente de celle des eaux de surface car les effets néfastes sur les aquifères peuvent prendre plusieurs années, voire plusieurs décennies avant de se manifester. De plus, lorsqu'ils sont décelés, il est souvent difficile et coûteux de remédier aux problèmes et même parfois trop tard pour poser une quelconque action (Conseil des académies canadiennes, 2009).

Les problématiques relatives à la gestion et à l'exploitation des eaux souterraines concernent toutes les communautés côtières et insulaires telles qu'en témoignent les nombreuses études à ce sujet (Bear *et al.*, 1999; Das & Data, 1999; Oude Essink, 2001; IGRAC, 2004; Cheng & Ouazar, 2004; Custodio, 2005; 2010; Barlow & Reichard, 2010; Bocanegra *et al.*, 2010; Cardoso da Silva *et al.*, 2010; White & Falkland, 2010) ainsi que l'attention qu'y portent de grands organismes internationaux (UNESCO, AIEA, FAO). Dans ce chapitre, nous nous intéressons au défi qu'est la gestion durable des aquifères en milieu insulaire. Nous présentons différentes mesures de protection, de conservation et de gestion des eaux souterraines. Nous soulignons aussi l'enjeu auquel doivent faire face ces territoires, à travers le monde, soit de concilier le développement énergétique, essentiel à leur développement, et la protection des ressources en eaux douces de

bonne qualité. Dans un deuxième temps, nous nous intéressons spécifiquement à la gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine et aux enjeux liés au développement d'activités d'exploration ou d'exploitation du gaz naturel sur la portion continentale de l'archipel.

Ce dernier chapitre représente la conclusion de la synthèse des connaissances sur les eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine. Le but n'est pas de faire un inventaire exhaustif des problématiques ni des différentes techniques de gestion des aquifères côtiers et insulaires à travers le monde, mais plutôt de porter un regard international sur la gestion de l'eau souterraine côtière et insulaire et d'amener de nouvelles idées et pistes de réflexion sur la gestion durable des aquifères d'eau douce des Îles-de-la-Madeleine. C'est aussi l'occasion de se questionner sur l'idée d'une gestion intégrée des eaux souterraines insulaires dans un contexte de développement énergétique, essentiel au développement économique et social de tous les milieux insulaires (Bouchard, 2009).

5.1 LES AQUIFÈRES CÔTIERS ET INSULAIRES : UN ENJEU MONDIAL, UNE GESTION LOCALE

Les eaux souterraines sont essentielles aux activités humaines (consommation humaine, irrigation agricole, activités industrielles, énergie, *etc.*) et représentent un enjeu mondial majeur pour l'avenir, notamment en milieu côtier et insulaire où l'eau souterraine est généralement la seule source d'eau potable (Cardoso da Silva *et al.*, 2010). Le stress hydrique engendré par l'augmentation de la population mondiale, les modifications des habitudes de vie, les changements climatiques et le développement économique affectera d'ici 2025 les deux tiers de la population mondiale qui se masse le long des côtes (Garcia Fragio, 2005). Des mesures de protection et de conservation de la ressource eau souterraine et d'adaptation face aux stress grandissants que subissent les aquifères, sont donc développées et instaurées depuis déjà plusieurs décennies. L'urgence d'agir pour la conservation de la ressource eau souterraine est marquée par l'intérêt croissant de la recherche scientifique au niveau mondial et les nombreux congrès internationaux portant sur le sujet : APCAMM (Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting), Strategic Partnership for the Mediterranean Large Marine Ecosystem – Management of Coastal Aquifers and Groundwater (MedPartnership – Groundwater Component), IWCAM (Integrating Watershed and Coastal Areas Management), SWIM (Salt Water Intrusion Meeting), IAH (International Association of Hydrologists- Irish Group), *etc.*.

Des problématiques communes

Les aquifères côtiers et insulaires de l'hémisphère nord, comme ceux de l'hémisphère sud, font face aux mêmes problématiques. Les différences locales sont induites par les facteurs climatiques, le niveau de développement du pays et le rapport recharge/décharge de l'aquifère (Oude Essink, 2001; Bocanegra, 2010; Cardoso da Silva *et al.*, 2010; Custodio, 2010; White & Falkland, 2010). Cardoso Da Silva et ses collaborateurs (2010) ont étudié une trentaine d'aquifères côtiers à travers le monde. De cette étude, sont ressorties les problématiques suivantes :

- vulnérabilité des aquifères à l'**intrusion saline** résultant d'une surexploitation de l'eau souterraine, d'une éventuelle augmentation du niveau de la mer ou diminution de la recharge des aquifères qui pourraient résulter de changements climatiques;
- vulnérabilité des aquifères à la pollution des eaux souterraines par des activités anthropiques;
- manque ou défaillance de gestion des eaux souterraines;
- manque ou insuffisance de connaissances sur le fonctionnement des aquifères;
- manque ou inefficacité de programmes de suivi sur les eaux souterraines.

Les très petites îles (généralement moins de 10 km²) souffrent de contraintes supplémentaires associées surtout à la petitesse de la surface de collecte des précipitations atmosphériques. Par exemple, sur les îles de corail et de sable les eaux de surfaces sont souvent inexistantes, les résidents dépendent donc à 100% des eaux souterraines pour leur consommation (White & Falkland, 2010). De plus, le tourisme est souvent le moteur économique de ces petites îles, ce qui entraîne une pression supplémentaire sur les aquifères déjà hautement vulnérables (Cardoso da Silva *et al.*, 2010). L'effet des marées se fait aussi sentir de manière plus importante sur ces petites îles que partout ailleurs. Les fluctuations journalières font migrer le **front salin** et entraînent le mélange de l'eau de mer et de l'eau douce, cette zone de mélange étant relativement proche des puits de prélèvement (White & Falkland, 2010).

Une gestion durable...

Dans la communauté scientifique internationale, il est généralement admis que la gestion des aquifères côtiers et insulaires s'appuie sur une bonne connaissance de la ressource en termes de comportement hydrodynamique, de taux de recharge et de vulnérabilité à la contamination et à la pollution d'origine anthropique ou naturelle (Custodio et Bruggeman, 1987). De plus, la mise en

place d'institutions, d'organismes et de programmes qui impliquent et réunissent les différents usagers de l'eau souterraine, contribue de manière significative à la gestion durable de la ressource (Bocanegra, 2010; Cardoso da Silva *et al.*, 2010; Custodio, 2010; White & Falkland, 2010). Les politiques de gestion durable des eaux souterraines, dont les cinq objectifs sont explicités dans la Figure 5. 1, doivent donc être construites en considérant les variables externes et les contraintes internes qui affectent la ressource (*c.f.* figure 1.10, chapitre 1). Aussi, il est important d'adapter ces politiques, qui ont souvent été élaborées en prenant en compte un contexte continental et national, aux particularités qu'impose l'insularité. Par exemple, aux Açores (région autonome du Portugal), des besoins spécifiques (financiers, scientifiques, etc.) se font sentir afin de pouvoir atteindre les objectifs fixés par la «Directive fille» sur les eaux souterraines de la Directive-cadre sur l'eau, adoptée par les pays membres de l'Union Européenne en 2006 (Cruz *et al.*, 2010; Cruz, J.V. & Coutinho, R., 2012). Tout comme pour la gestion des eaux de surface selon l'approche des bassins versants, l'idée émerge de considérer et de gérer les aquifères en termes de bassins hydrogéologiques avec des caractéristiques géologiques, hydrologiques et climatiques et des usages propres (APGCQ, 1999; Machard de Gramont *et al.*, 2010); cette gestion locale s'effectuant dans le cadre de règlements nationaux ou fédéraux.

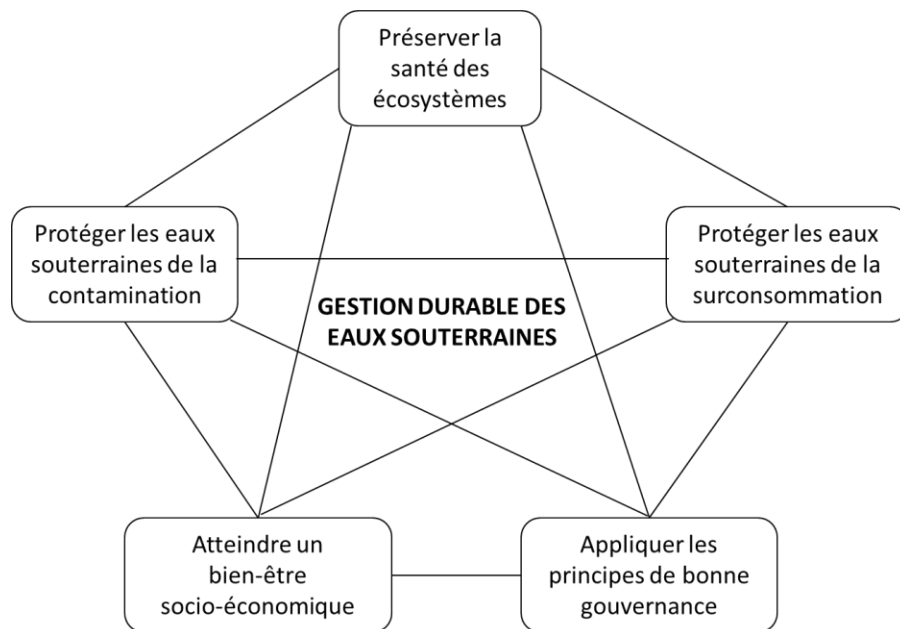


Figure 5. 1. Pentagone de la gestion durable des eaux souterraines (tirée du Conseil des Académies Canadiennes, 2009).

Approches (outils) intégrées pour une gestion durable et efficace des aquifères côtiers et insulaires

Différents outils qui permettent de caractériser et de comprendre des systèmes complexes et de répondre adéquatement aux problématiques mettant en jeu les eaux souterraines, sont disponibles pour les décideurs (WHO, 2006 a; Commission Européenne – Eau Environnement, 2008). Ces approches d'aide à la décision intègrent les questions environnementales (p. ex : les eaux souterraines) et les préoccupations qui leur sont reliées (p. ex : santé humaine) aux seins des divers systèmes politiques (p. ex : Union Européenne) (Kristensen, 2004). Ces approches intégrées prennent généralement la forme d'une chaîne logique de causalité comme celui du modèle conceptuel DPSIR (Figure 5. 2). Ce type de modèle est mondialement utilisé (Afrique du Sud, Europe, Australie, etc.) et intègre les caractéristiques propres au pays ou à l'organisation (p. ex : UNEP, OCDE). Aussi, il est intéressant de mentionner que ces approches peuvent s'adapter à différentes échelles : international, national, régional, etc. (Kristensen, 2004). Le modèle utilisé par le Global International Water Assessment (GIWA) (Figure 5. 3) et celui utilisé par l'Institut national de recherche sur l'environnement (NERI) du Danemark (Figure 5. 4) sont des exemples de variantes du DPSIR.

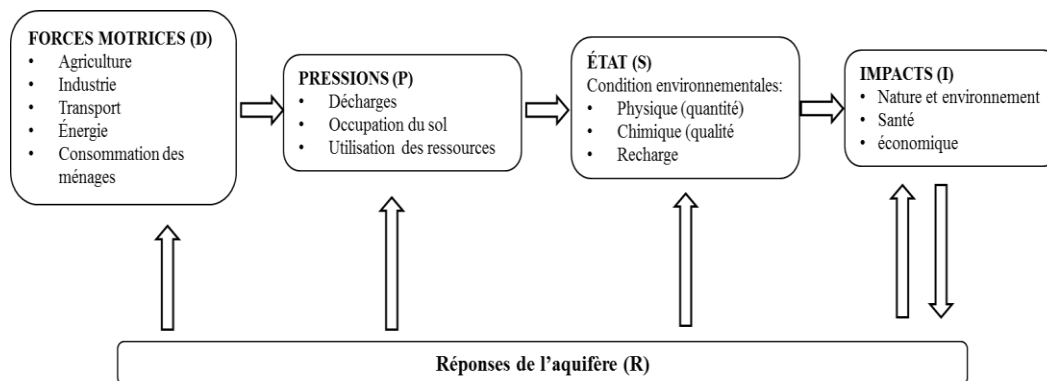


Figure 5. 2. Le modèle DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses) (tirée de : WHO, 2006 a; Commission Européenne – Eau Environnement, 2008).

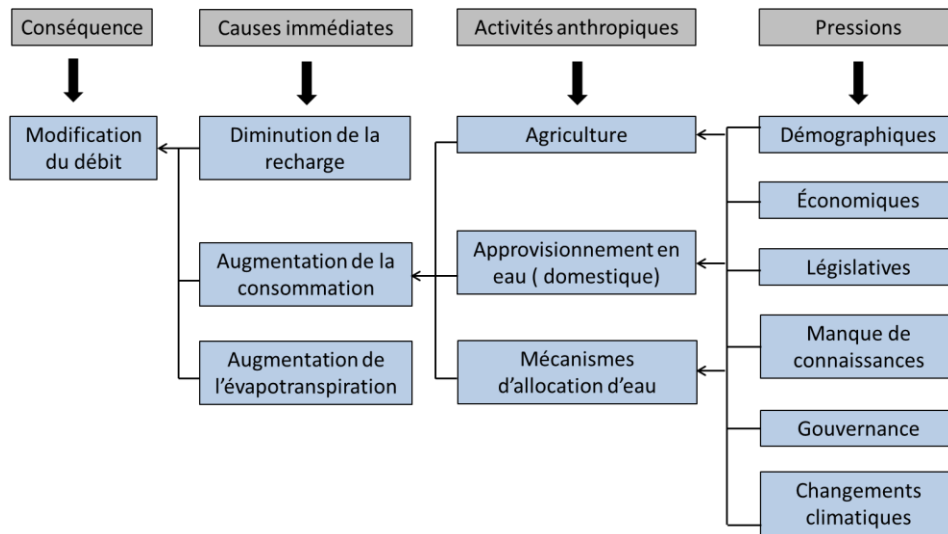


Figure 5. 3. Exemple d’une variante du modèle DPSIR : la chaîne de causalité utilisée par le GIWA (tirée de Kristensen, 2004).

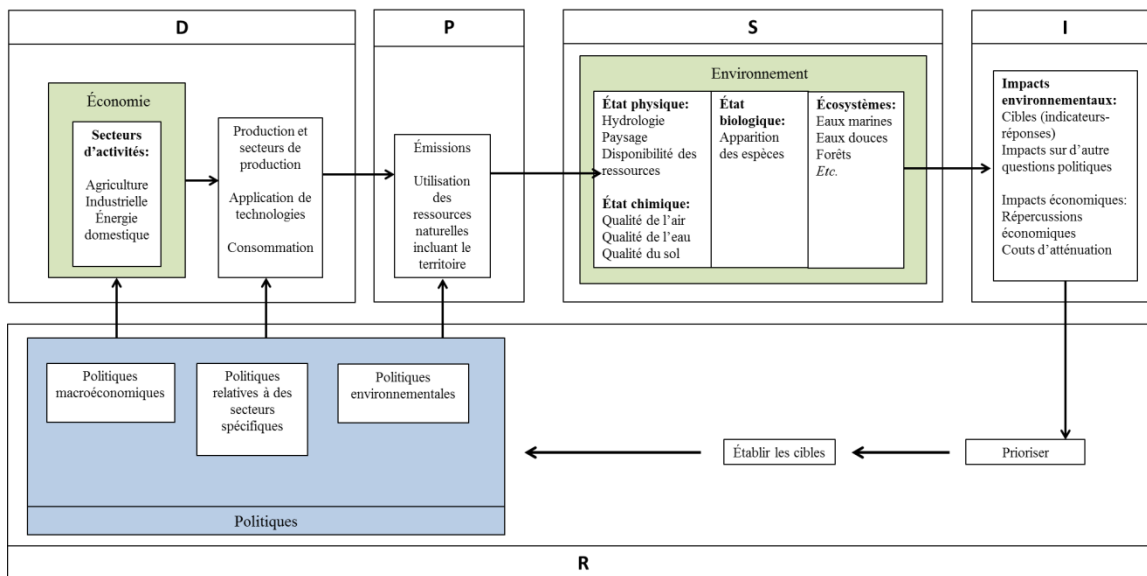


Figure 5. 4. Exemple d’une variante du modèle DPSIR : la chaîne de causalité utilisée par le NERI (tirée de Kristensen, 2004).

Alternatives à l'utilisation des eaux douces souterraines : Ingénierie et exemples

Pour répondre à la diminution de la quantité et de la qualité de leurs eaux souterraines, de nombreux pays et territoires, qu'ils soient continentaux ou insulaires doivent modifier leur gestion de la ressource (Konikow et Kendy, 2005). La protection et la conservation de celle-ci passe, en premier lieu, par la diminution de la consommation et ensuite par le développement et l'utilisation de technologies alternatives. Ces technologies peuvent permettre d'exploiter

différemment les aquifères d'eau douce, de recycler les eaux grises ou même d'exploiter d'autres ressources telles que l'eau de mer et l'eau **saumâtre**.

Récupération de l'eau de pluie

Récupérer les eaux de pluie dans des citernes est une technique utilisée à travers le monde qui permet de réduire la pression exercée sur les aquifères d'eau douce. Cette eau peut être utilisée sans traitement pour toute activité ne nécessitant pas d'eau potable et avec traitement pour la consommation humaine. Par exemple, la France promeut la récupération de l'eau de pluie via l'intégration d'un crédit d'impôt relatif au coût des équipements de récupération et de traitement des eaux pluviales, dans la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012).

Recyclage des eaux usées

Le recyclage (ou réutilisation) des eaux usées (eaux domestiques et/ou industrielles et/ou de ruissellement) représente une alternative intéressante à la consommation de l'eau douce des aquifères et c'est une pratique de plus en plus répandue, surtout dans les pays arides et semi-arides ainsi que pour de nombreuses îles (p. ex : Crête, Canaries, Hawaii, Chypre, Majorque, Malte, etc.). À titre d'exemple, l'Espagne recycle 408 Mm³ d'eau par an, tandis que l'État d'Israël et la Californie recyclent, respectivement, 63 % et 90 % des eaux usées chaque année (Bendelac, 2006; Fabrégat, 2010). Au Japon, la plupart des villes sont équipées d'un double réseau d'aqueduc, dont un uniquement utilisé pour l'eau potable et l'autre pour les eaux recyclées servant pour l'alimentation des bornes fontaines, des chasses d'eau, de l'arrosage extérieur, de la lessive, des usages industriels, des plans d'eau urbains aménagés, etc. (Puil, 1998). Une fois traitées, les eaux sont principalement utilisées pour l'irrigation agricole mais elles sont aussi employées à des fins domestique, énergétique et industrielle. Dépendamment de l'usage souhaité, le niveau de traitement sera différent (Figure 5. 5). Certains pays réutilisent même ces eaux recyclées pour en faire de l'eau potable comme à Windhoek en Namibie et Chelmsford en Angleterre (Fabrégat, 2010). L'Australie, de son côté, innove depuis 1997 avec l'usine Bolivar située tout près d'Adélaïde. Dans cette usine, un procédé de stockage d'eau recyclée dans un aquifère d'où l'eau est ensuite pompée de nouveau pour irriguer les cultures lorsque le besoin s'en fait sentir (Figure 5. 5). Cette technique permet de stocker l'eau recyclée à moindre coût, de

conserver la qualité de l'eau (éviter l'eutrophisation), d'éviter l'évapotranspiration et de soulager les aquifères surexploités (Veolia Environnement, 2011).

La réutilisation des eaux usées présente de nombreux avantages (FAO, 2010 a) :

- diminution de la pression sur les aquifères d'eau douce;
- établissement d'une source d'eau fiable toute l'année;
- diminution de la compétition entre les villes et pour l'irrigation agricole;
- diminution des coûts reliés à l'irrigation agricole, car il n'y a pas les frais associés au pompage de la nappe;
- diminution de la quantité d'engrais utilisée pour les cultures qui ont été irriguées par des eaux recyclées, car ces dernières sont plus riches en nutriments nécessaires à la croissance des végétaux;
- promotion de l'utilisation durable de l'eau;
- possibilité de récupérer le biogaz lors du traitement des eaux usées et de s'en servir comme source d'énergie;
- diminution des coûts associés au pompage de la nappe et au traitement des eaux souterraines, car les nouvelles entrées d'eau dans le système sont moindre.

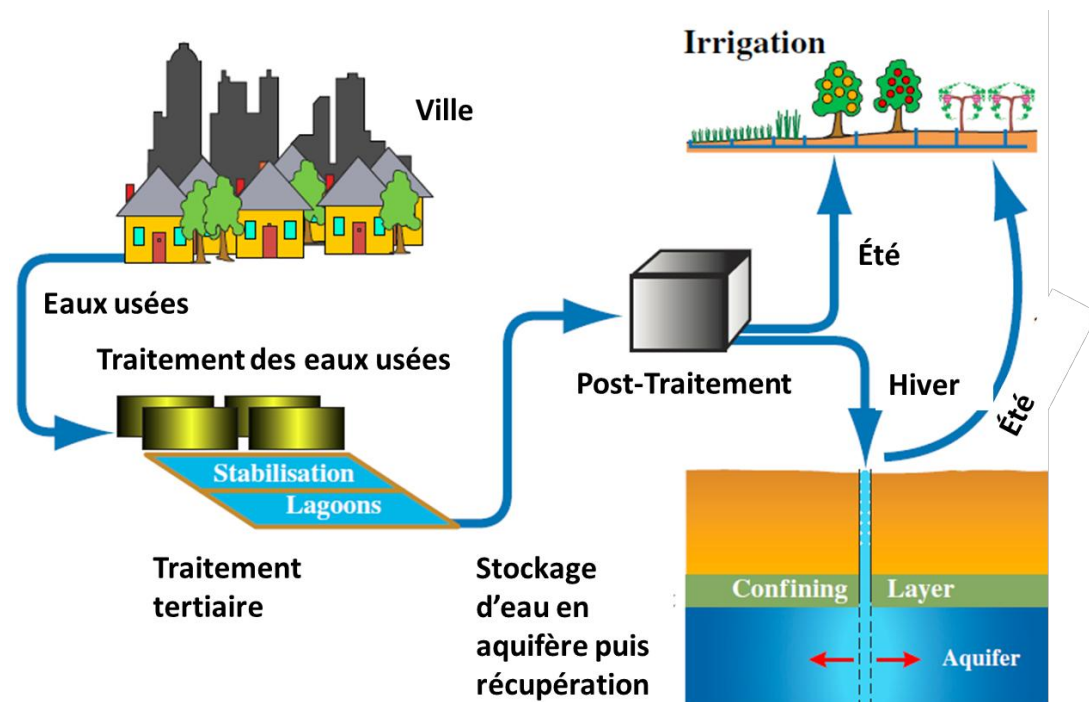


Figure 5. 5. Stockage d'eau recyclée en aquifères, usine de Bolivar, Adélaïde, Australie (tirée de Veolia Environnement, 2005)

Dépendamment de leur provenance, les eaux usées contiennent différentes matières en suspension, des éléments traces (minéraux ou organiques), des nutriments et des micro-organismes ainsi qu'un grand nombre de pathogènes capables de survivre dans les eaux usées et dans les sols et sur les cultures suffisamment longtemps pour être transmis aux animaux et aux humains (Baumont *et al.* 2004; WHO, 2006 b). Ainsi, les eaux d'irrigation doivent répondre à des critères de qualité rigoureux, même si ceux-ci peuvent être moins stricts que ceux pour l'eau de consommation humaine. Dans certains cas, les eaux peuvent être utilisées directement à leur sortie de l'usine d'épuration alors que parfois elles nécessitent des traitements supplémentaires (microfiltration combinée, filtration par osmose inverse, désinfection au moyen de rayons ultraviolets, etc.) (WHO, 2006 b).

Dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau de mer était déjà utilisée au IV^e siècle avant J.C. par les marins Grecs, mais le premier procédé majeur fut instauré par la flotte coloniale Britannique en Mer Rouge en 1869. Il s'agissait d'une unité de distillation utilisée sur les navires (Salomon, 2012). Aujourd'hui, le dessalement de l'eau de mer est une stratégie envisagée et même largement utilisée dans plusieurs pays et territoires, principalement ceux situés en zones côtières ou insulaires, afin de pallier aux problèmes d'approvisionnement en eau douce. Les pays du Moyen et du Proche Orient sont les plus grands producteurs et consommateurs d'eau dessalée. En 2009, 52 millions de mètres cube d'eau saumâtre et d'eau de mer par jour étaient dessalés à l'échelle mondiale. De ce total, 42 Mm³ provenaient de l'eau de mer et 21 Mm³ étaient produits par les pays du Moyen-Orient (Tata-Ducru, 2009).

Les procédés de dessalement étant très énergivores, ils ont longtemps été principalement utilisés dans les pays producteurs de gaz et de pétrole tels que les Émirats Arabes Unis et le Koweït (FAO, 2010 b). Ces techniques sont aujourd'hui aussi communément utilisées aux États-Unis, en Australie, dans plusieurs pays de la méditerranée (Italie, Espagne (Canaries), Grèce, Chypre, Malte et Turquie), en Grande-Bretagne, en Algérie, en Israël, en Syrie et en Amérique Latine (Lattermann, 2008). Il existe aussi plusieurs exemples de l'utilisation de ce procédé dans les pays en voie de développement. Sur l'archipel de Trinidad et Tobago, le dessalement représente par exemple plus de 12% de l'approvisionnement en eau propre à la consommation, soit 136 000 m³ par jour. Aux îles Vierges britanniques, c'est plus de 90% de l'eau potable qui est issue de

procédés de désalinisation alors qu'aux îles Caïmans, l'absence d'eau douce a été totalement compensée par la désalinisation (Emmanuel-Rodriguez, 2007).

Deux grandes familles de procédés sont utilisées pour dessaler l'eau de mer et les eaux saumâtres, les procédés de distillation et les procédés membranaires.

Énergie : Les sources d'énergie utilisées pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre sont diverses et peu importe la technologie utilisée, la production d'eau douce par dessalement est très énergivore. Traditionnellement, les énergies fossiles (pétrole, gaz naturel) sont utilisées dans les plans de dessalement. Depuis quelques années, l'énergie nucléaire ainsi que les énergies éoliennes et solaires sont aussi employées. Par exemple, l'usine de Tchevtchenko, en Russie, utilise le nucléaire pour ses besoins énergétiques (Maurel, 2007), l'usine d'osmose inverse de Perth, en Australie, a fait construire un champ d'éoliennes de 82 mégawatts qui fournit de l'énergie à l'usine ainsi qu'au réseau électrique de la ville (Latterman, 2008), alors qu'en Tunisie l'énergie solaire commence à faire sa place pour faire fonctionner des usines de dessalement de petite envergure (Business News, 2010). Le type de procédé utilisé pour le dessalement dépend des ressources énergétiques disponibles; les pays riches en énergie fossile favoriseront les technologies de distillation thermique alors que les autres iront plutôt vers les technologies membranaires, moins gourmandes en énergie (Tata-Ducru, 2009).

Technologies et coûts : Aujourd'hui, les procédés membranaires occupent la majeure partie du marché du dessalement avec 60% des installations alors que les procédés thermiques occupent 34% du marché mondial. Les procédés membranaires sont, quant à eux, fréquemment utilisés pour le dessalement d'eau saumâtre. Ils permettent des installations dites de petite à moyenne tailles, l'énergie nécessaire au procédé est directement proportionnelle au niveau de salinité initiale de l'eau et ils sont moins énergivores que les procédés de distillation, ce qui représente un avantage pour les pays non-producteurs de pétrole (FAO, 2010 b). Les deux types de procédés utilisent différentes technologies énumérées dans le Tableau A 3.1 (annexe 3).

Les coûts de production ont énormément diminué au cours des 20 dernières années. Ces derniers varient d'un pays à l'autre et dépendent de la technologie et du type d'énergie utilisés. Par exemple, en Israël, produire 1 m³ d'eau dessalée coûte 0,5\$ US alors qu'en Australie, pour le même type d'usine, il en coûte 3\$ US (Voutchkov, 2012). Mentionnons aussi que les procédés de distillation thermique ont, pour la plupart, déjà atteint leur maturité technologique alors que les

technologies membranaires sont encore en constante évolution (FAO, 2010 b). L'utilisation de procédés hybrides (association des procédés thermiques et membranaires) diminue grandement les coûts du dessalement en permettant de coupler la production d'électricité et le dessalement, d'utiliser les surplus d'énergie saisonniers et de corriger les écarts électricité/eau provoqués par les fluctuations journalières et saisonnières de la demande (FAO, 2010 b; Tata-Ducru, 2009).

L'eau produite via les usines de dessalement et de récupération des eaux usées ne sera jamais aussi pure que l'eau potable provenant des aquifères d'eau douce (Lattermann, 2008). Donc, avant d'initier un projet d'usine de dessalement ou de récupération des eaux usées, il importe de tout mettre en œuvre pour gérer durablement, protéger et conserver les eaux souterraines. Aussi, malgré le fait que les technologies alternatives se soient démocratisées durant la dernière décennie, elles nécessitent encore des investissements relativement importants et des installations complexes. Leur utilisation demande donc un temps de préparation et d'étude conséquent à l'envergure du projet.

Un défi de taille : allier développement énergétique et gestion durable des eaux souterraines en milieu insulaire?

Les milieux insulaires constituent des espaces spécifiques particulièrement désavantagés sur le plan du développement (Bouchard, 2009). Qu'ils soient situés sous des latitudes tropicales et subtropicales, tempérées, arctiques ou subarctiques, qu'ils soient maritimes, fluviales ou lacustres, et plus ou moins éloignés des rives continentales, ces petits territoires sont considérés comme très vulnérables en raison de leur environnement fragile (particulièrement dans le contexte des changements climatiques, *c.f.* Chapitre 1), de leurs ressources naturelles limitées ainsi que de leur économie souvent très spécialisée (Bouchard, 2009). L'énergie est un enjeu fondamental du développement durable. Elle se situe à l'interface entre le développement économique, le développement social et la protection de l'environnement. Selon Christian Bouchard (2009), directeur du Département des sciences de l'environnement de l'université laurentienne, dans son étude sur la **Transition énergétique dans le contexte des petits États et territoires insulaires (2009)**, « *La forte dépendance énergétique des petites îles envers les énergies fossiles importées les rend très vulnérables par rapport aux fluctuations des cours internationaux puisque leur approvisionnement peut être interrompu ou limité en cas de crise. Dans une perspective de développement durable, l'évolution souhaitée implique le développement local des énergies renouvelables et une maîtrise de l'énergie optimisée, l'objectif étant de réduire la dépendance énergétique, voire même de retrouver l'indépendance*

énergétique, tout en fournissant aux populations une énergie propre, disponible et à meilleur prix ». L'« indépendance énergétique » des milieux insulaires apparaît donc être un enjeu de taille mais la problématique demeure quant à la protection et la préservation de la qualité et de la quantité des ressources en eau, qu'elle soit de surface ou souterraine (Conseil des académies canadiennes, 2009).

Il est difficile de trouver dans la littérature des exemples d'îles habitées – de taille comparable aux Îles-de-la-Madeleine – où l'exploration et l'exploitation de gaz naturel, sur la partie continentale, sont développées. Bien sûr, à partir des données du U.S. Energy Information Administration (2012), nous constatons que le Japon, l'Irlande, l'Indonésie, la Nouvelle-Zélande, les Philippines, Bahrein, ainsi que d'autres îles, de taille considérable, exploitent et exportent leurs ressources gazières. Dans les territoires insulaires de plus petites tailles, la méconnaissance de la géologie locale ou encore la rareté voir l'absence de ressources limitent ces activités. Cela implique non seulement une hausse du coût énergétique global mais cela renforce également la dépendance des régions insulaires aux approvisionnements externes d'énergie. La plupart des territoires insulaires de petite taille importent leur énergie, qu'elle soit sous forme d'électricité, de gaz, ou de pétrole (exemple des Îles de la Nouvelle-Calédonie, d'Hawaii, de la Corse, des Baléares, *etc.*). La décentralisation de l'énergie ainsi que l'élaboration de plans énergétiques régionaux, centrés sur la valorisation des énergies renouvelables et l'utilisation rationnelle de l'énergie en considérant les besoins mais aussi l'environnement, sont cependant au cœur des politiques de gestion énergétique, comme en témoignent le rapport de la Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies basé sur des retours d'expérience dans les Départements et Territoires d'Outre-Mer français (FNCCR) ou encore celui de La Commission Économie et Développement Régional de l'Assemblée des Régions d'Europe (2010) pour les Îles européennes.

La durabilité et la production énergétique sont étroitement liées aux eaux souterraines, c'est pourquoi de nombreux états lient désormais sécurité énergétique et sécurité de l'approvisionnement en eau (exemple du département américain de l'Énergie et de l'Agence de l'Environnement et de l'Énergie française.). De plus, il apparaît de plus en plus évident pour la communauté scientifique et opérationnelle qui s'intéresse aux questions de sécurité qu'il est impossible aujourd'hui de faire l'impasse sur la question des liens entre sécurité, changements climatiques et, plus généralement, contraintes environnementales (Hallegate et Ambrossi, 2006 ; Carius *et al.*, 2008).

5.2 MESURES ET POLITIQUES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES AUX ÎLES-DE-LA-MADELEINE

L'eau souterraine des Îles-de-la-Madeleine, classée « irremplaçable » selon le système de classification des eaux du MDDEFP constitue la seule source d'eau potable accessible aux résidents de l'archipel. De ce fait, et tenant compte de la fragilité de la ressource, une attention toute particulière doit être portée à sa gestion et à sa protection. Les risques d'intrusions salines et les risques de contamination d'origine anthropique sont bien réels (*c.f.* Chapitre 3) et imposent une grande vigilance, sans compter les effets à long terme des changements climatiques qui sont encore peu documentés dans le cas précis des Îles-de-la-Madeleine. Dans ce contexte, nous comprenons mieux les deux grands défis auxquels fait face l'archipel madelinot : 1) assurer son développement tant social qu'économique et énergétique et 2) préserver la qualité et la quantité de son unique ressource en eau douce.

La gestion de l'eau souterraine aux Îles-de-la-Madeleine : outils et approches de gestion

Les politiques qui encadrent la gestion durable de l'eau dans un contexte insulaire doivent à la fois intégrer les composantes naturelles, anthropiques et infrastructurelles du cycle de l'eau restreintes aux limites physiques de l'archipel (Chiron, 2007). Les composantes naturelles du cycle de l'eau échappant à tout contrôle humain, la gestion des aquifères côtiers et insulaires nécessite la maîtrise des facteurs socio-économiques et politico-administratifs. En ce sens, voici les principales initiatives de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine ainsi que des pistes de réflexions :

- **Optimisation des prélèvements.** Actuellement, des demandes de permis pour implanter de nouveaux puits de captage sur l'île Centrale et sur l'île de Havre-aux-Maisons ont été déposées. Ces nouveaux puits permettront de mieux répartir la pression de pompage dans les aquifères les plus sollicités et de diminuer les risques de remontées salines sous les puits déjà exploités. Le développement d'un nouveau réseau d'aqueduc sur l'île de la Grande-Entrée est aussi en cours et sera complété vers la fin de 2013. Il permettra d'offrir un service d'aqueduc aux citoyens, de répartir les pompages et de gérer la ressource en eau de cet aquifère reconnu comme vulnérable. La municipalité possède aussi un *Règlement de l'utilisation de l'eau en situation de pénurie* qui lui permet d'intervenir le cas échéant. En fait, ce règlement se base sur les valeurs maximales des volumes d'eau qui peuvent être prélevés de chaque puits de captage. Ces valeurs, autorisées par le MDDEFP, ont été établies en 2003 sur la base d'une étude hydrogéologique. Toutefois, elles ne tiennent pas compte des éventuelles variations du taux de recharge de la **nappe aquifère** qui pourraient découler de phénomènes environnementaux comme les changements climatiques et l'érosion côtière (Jean Richard, Communication personnelle, 2012).

- ***Diversification des prélèvements.*** Des alternatives à l'utilisation de l'eau potable ont été mentionnées dans la première section du présent chapitre, telles que le captage de l'eau de pluie et la réutilisation des eaux usées pour toutes les activités ne nécessitant pas d'eau potable. L'utilisation des eaux salées issues de puits côtiers ou directement pompées en mer à des fins industrielles peut aussi être envisageable. Finalement, si la qualité et la quantité de l'eau douce souterraine deviennent réellement un problème aux Îles-de-la-Madeleine, la désalinisation de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre pourrait être envisagée, mais à des coûts énergétiques relativement importants. L'avis technique produit par le Service des eaux municipales en 2012 (Ellis, 2012) mentionne d'ailleurs que l'investissement financier et le coût d'entretien nécessaire pour répondre aux besoins des 12 500 habitants des Îles seraient très élevés avec les technologies actuelles, sans compter que la qualité de l'eau sera assurément moins bonne qu'actuellement.
- ***Aménagement du territoire.*** Dans son schéma d'aménagement, la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine prévoit déjà intégrer les recommandations émises par le Groupe d'hydrogéologie Madelin'Eau, qui portent sur l'aménagement du territoire en fonction des mesures de protection des aires d'alimentation des futurs puits et sur la maîtrise des risques de pollution à partir de la surface. Les indices DRASTICS (Figure 5. 6) établis pour chaque puits par Madelin'Eau pourraient aussi y être intégrés comme une variable supplémentaire permettant d'intégrer la notion de vulnérabilité au schéma d'aménagement. Notons aussi qu'à notre connaissance, aucun puits n'a fait actuellement l'objet d'une demande de protection au MRN selon l'article 304 de la Loi sur les Mines (voir chapitre 4). Nous rappelons que les aires d'alimentation des puits de captage municipaux peuvent être assujetties à cette soustraction de l'activité minière dans un périmètre délimité. Les municipalités qui souhaitent obtenir une telle protection doivent en faire la demande auprès du MRN et ainsi intégrer ce périmètre de protection dans leur schéma d'aménagement.
- ***Acquérir une bonne connaissance et compréhension de l'aquifère.*** Le caractère irremplaçable et essentiel de l'eau souterraine de l'archipel explique que la ressource soit relativement bien documentée, comme en témoignent les nombreuses études et rapports réalisés sur le sujet (Dessureault et Simard, 1970; Sylvestre, 1979; Madelin'eau, 2003; 2004; 2007; 2009; 2011; Chouteau, 2011). Ces travaux permettent de mieux comprendre la dynamique des écoulements souterrains autour des puits exploités par la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine et renseignent sur la vulnérabilité de la ressource. Ils ont également mis en évidence la nécessité absolue de bien gérer la ressource et de veiller à la bonne exploitation des puits ceci dans une perspective de développement durable. De plus, des études spécifiques visant à modéliser le comportement des aquifères et qui intègrent les effets des changements climatiques, la hausse du niveau marin et le déplacement de l'interface eau douce – eau salée sont en cours. Ils permettront une meilleure appréhension du devenir – à plus ou moins long terme – de ces systèmes hautement sensibles et donneront un éclairage essentiel pour prévenir et s'adapter aux changements globaux.
- ***La mise en place d'un système de suivi.*** La Municipalité des Îles-de-la-Madeleine travaille activement sur un plan de gestion de ces aquifères qui devrait être voté au Conseil Municipal au cours de 2012 (Service des Travaux Publics, Communication personnelle, 2012). Il est prévu que ce plan considère de manière spécifique les

recommandations émises par les études hydrogéologiques produites par Madelin'Eau pour chacun des secteurs des Îles. Il comprendra, entre autres, un programme de suivi des débits, des niveaux d'eau (piézométrie) et de la qualité de l'eau. Le *Règlement concernant l'utilisation de l'eau potable des usagers d'aqueduc*, adopté en 2003 par la Municipalité, a permis l'installation de compteurs chez les « grands consommateurs » (entreprises). Toutefois, ces compteurs ne servent pas à une quelconque tarification, mais simplement à avoir une meilleure connaissance de la consommation. Une tarification sur la consommation de l'eau est appliquée seulement aux entreprises de transformation des produits de la mer et à l'approvisionnement des bateaux de la société CTMA. La qualité de l'eau est assurée par un programme de suivi qui inclut des tests annuels des propriétés physico-chimiques et par des tests microbiologiques hebdomadaires de l'eau des différents réseaux de distribution. La Municipalité n'a aucune responsabilité de la qualité de l'eau des puits artésiens de Pointe-aux-Loups et de l'Île d'Entrée. Un système télémétrique permet aussi de suivre à distance les variations du niveau d'eau dans les réservoirs et de détecter des fuites majeures des réseaux de distribution. Ces derniers disposent également de débitmètres. Finalement, il est à mentionner qu'en février 2011 la Municipalité a adopté les recommandations de la *Révision du plan directeur de gestion de l'eau potable*, notamment en matière de pratiques de gestion et de mise à jour de certaines installations. La mise en œuvre de ces recommandations a été appuyée par le soutien financier du MAMROT (Jean Richard, communication personnelle, 2012).

- ***Une participation de la population et les autorités.*** Un programme d'économie et de bonne gestion de l'eau, impliquant tous les usagers de l'eau, a été mis en œuvre par les anciennes municipalités dotées d'un réseau d'aqueduc, la régie de l'eau potable de l'Île Centrale et la MRC. Ce programme est aujourd'hui repris par la Municipalité et consiste à limiter la consommation et interdire le gaspillage sous peine d'amende (Agglomération des Îles-de-la-Madeleine, 2010; Attention Frag'Îles, 2012). D'autre part, il est à signaler que la Municipalité a un programme de reboisement du territoire de l'archipel dont l'un des objectifs est d'avoir des effets positifs sur la recharge. Le reboisement vise en particulier les sites entourant les puits de captage, les bordures de ruisseaux et certains vallonnements. Ces activités visent à : (i) réduire l'évaporation en créant de l'ombrage au sol, (ii) diminuer le ruissellement à la surface du sol lors de pluies abondantes et (iii) augmenter la perméabilité du sol par le système racinaire (Benoît Boudreau, communication personnelle, 2012).
- ***La mise en place d'une institution de gestion de la ressource eau souterraine.*** Avant 2002, la gestion de l'eau potable relevait des directions des travaux publics de chaque municipalité de la MRC des Îles-de-la-Madeleine. Ensuite, entre 2002, année de la fusion des municipalités, et mars 2012, la gestion des réseaux de distribution d'eau a été sous la responsabilité de la direction des travaux publics de la Municipalité des Îles-de-la-Madeleine. Depuis avril 2012, la gestion de l'eau potable relève de la nouvelle direction des services techniques et des réseaux de la Municipalité. Il est à souligner que la Municipalité de Grosse-Île a son réseau et sa propre structure de gestion (communication personnelle Jean Richard, Municipalité des Îles-de-la-Madeleine, 2012). À notre connaissance, il n'y a aucun organisme de gestion extérieur à celui de la Municipalité. Il serait ainsi intéressant d'évaluer la pertinence et la faisabilité d'implanter une organisation du type de celle qui gère les bassins versants, qui pourrait établir une gestion intégrée des eaux souterraines et faire ses recommandations à la municipalité. Les organismes de bassin versant (OBV) du Québec ont le mandat de réaliser un plan directeur de l'eau pour des territoires comportant plusieurs bassins versants. Ce plan directeur comporte notamment un portrait et un diagnostic de la ressource en eau et des

usages visant à orienter les actions et cibles de protection et de gestion de la ressource. Les OBV se basent sur la concertation des acteurs du milieu et misent sur la diffusion d'informations au sein de la population pour renforcer les stratégies de gestion. Il semble que ce type d'organisation serait bénéfique pour la gestion globale de la ressource en eau aux Îles de la Madeleine.

- ***Sensibilisation et diffusion des connaissances et des données sur les eaux souterraines.*** Déjà, les organismes du milieu (Attention Frag'Îles et comité Zip des Îles-de-la-Madeleine) et la Municipalité œuvrent de concert pour informer et sensibiliser la population et les visiteurs à l'importance de préserver et de protéger la ressource eau souterraine. D'autre part, compte tenu de l'importance de la ressource dans le contexte insulaire des Îles-de-la-Madeleine, l'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie de communication sur les pratiques alternatives telles que la récupération d'eau de pluie ou l'utilisation des eaux grises pourrait être envisagé pour sensibiliser la communauté.

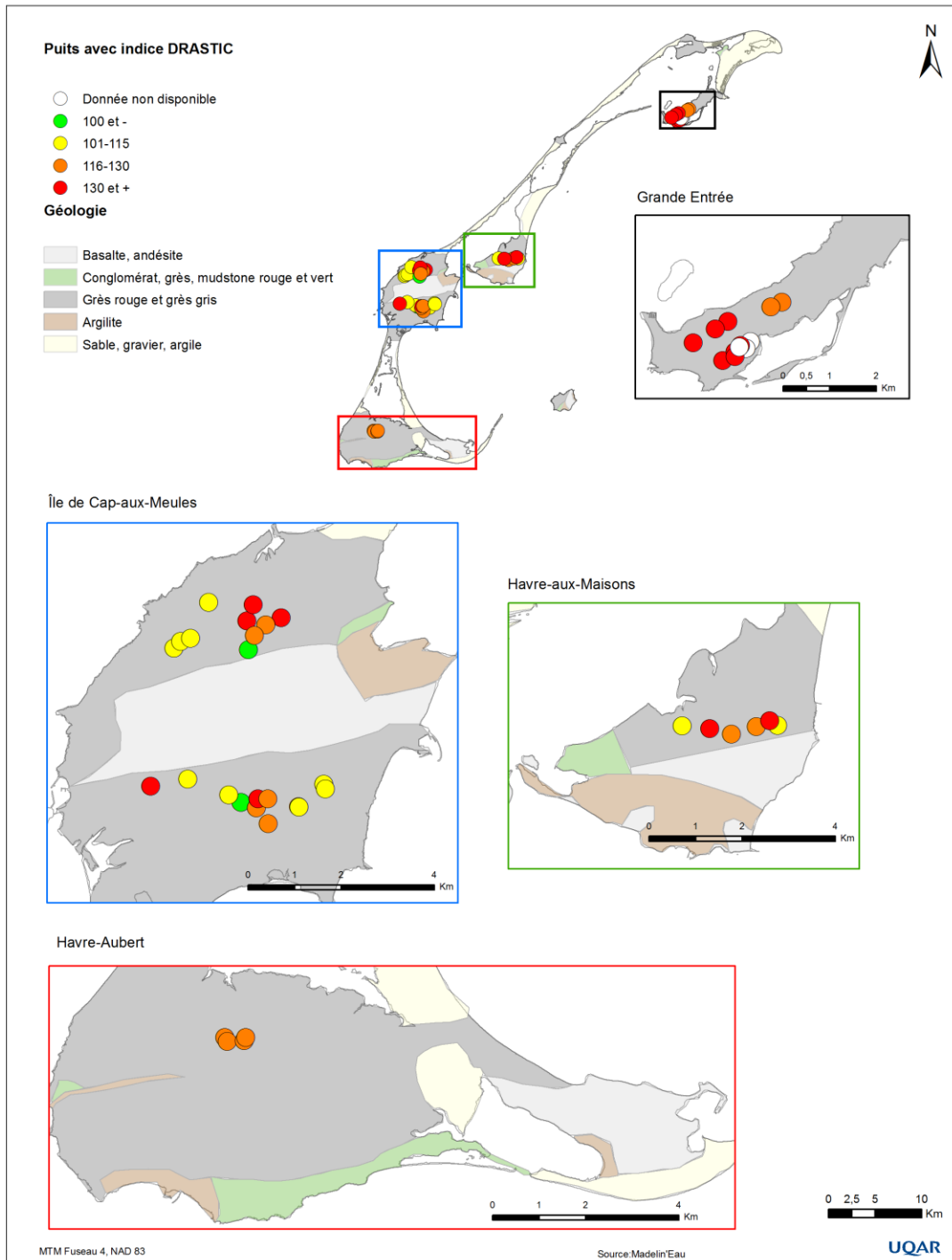


Figure 5. 6. Distribution des indices DRASTIC pour les puits municipaux sur l'ensemble des Îles-de-la-Madeleine (tirée et modifiée de Madelin'Eau 2004; 2007; 2009).

Pour conclure

Comme tout milieu insulaire, le territoire des Îles-de-la-Madeleine est soumis à de nombreux forçages externes (naturels) et internes (anthropiques) qui influencent directement ou indirectement les ressources en eaux souterraines. Les aquifères des Îles sont vulnérables aux pressions naturelles qui résultent de la variabilité et des changements climatiques, et aux pressions anthropiques. Les impacts potentiels associés à l'exploration et l'exploitation du gaz naturel sont principalement liés aux infrastructures développées pour de tels projets et se résument globalement à des impacts potentiels tant sur la quantité que sur la qualité de l'eau douce contenue dans les aquifères. La Figure 5. 7 résume ces impacts potentiels et souligne les enjeux de la conciliation du développement énergétique aux Îles-de-la-Madeleine et de l'approvisionnement en eau douce de bonne qualité. Il est important de mentionner que l'analyse du bilan hydrogéologique effectué par le groupe Madelin'Eau montre que la formation aquifère des grès rouges suffit aux besoins actuels en eau des habitants des Îles-de-la-Madeleine et que cette eau est d'excellente qualité. En projetant le développement actuel, Madelin'Eau montre que ces besoins seront aussi comblés dans le futur. Cependant, ces scénarios n'intègrent pas le développement de projets d'exploration et d'exploitation en gaz naturel et ne considèrent pas le développement d'activités qui utiliseraient cette ressource énergétique.

Enfin, sachant que les eaux souterraines requièrent une gestion des risques particulière et différente de celle des eaux de surfaces, qu'une altération d'origine naturelle ou anthropique des aquifères pourrait prendre plusieurs années, voire plusieurs décennies avant de se manifester; sachant que la gestion durable des eaux douces des aquifères insulaires est un enjeu majeur et s'appuie sur une bonne connaissance de la ressource en termes de comportement hydrodynamique, de recharge ou de renouvellement de la ressource et de vulnérabilité aux contaminations, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique; sachant que les changements climatiques vont altérer les aquifères côtiers en modifiant les cycles hydrogéologiques mais aussi la capacité de réserve des aquifères côtiers; il apparaît nécessaire d'avoir une réflexion commune et intégrative, ainsi que d'assimiler la notion de maillage entre les ressources dans le cadre d'une gestion durable et intégrée des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine.

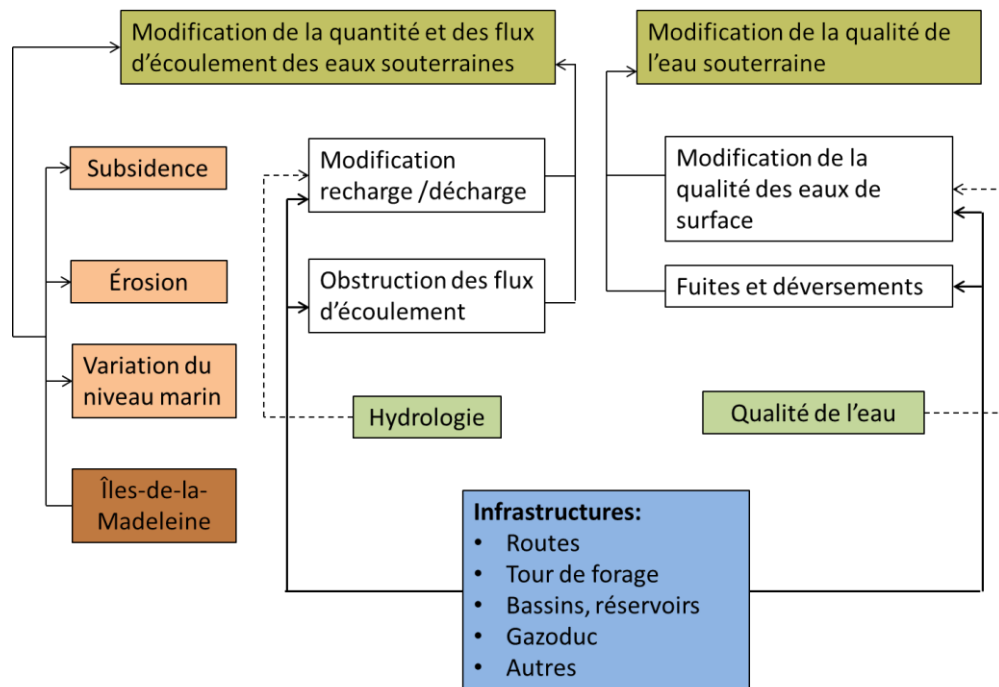


Figure 5. 7. Diagramme résumant les impacts potentiels environnementaux liés aux **aléas** naturels et aux infrastructures nécessaires aux phases d'exploration et d'exploitation du gaz naturel pouvant affectés les eaux souterraines (modifiée de Mackenzie Gas Project 2004).

5.3 RÉFÉRENCES

- Agglomération des Îles-de-la-Madeleine. (2010). *Schéma d'aménagement et de développement révisé*, 314 p.
- Assemblée des Régions d'Europe Commission Économie et Développement Régional. (2010). *Régions : des politiques énergétiques durables*. 59 p.
- Association professionnelle des géologues et des géophysiciens du Québec (APGCQ). (1999). *La gestion de l'eau au Québec. Mémoire présenté au Bureau d'audience publique sur l'environnement*. 54 p.
- Attention Frag'îles. (visité : 2012). *L'eau douce aux Îles-de-la-Madeleine*.
<http://www.attentionfragiles.org/fr/agir-au-quotidien/eau-douce.html>
- Barlow, P.M. & Reichard, E.G. (2010). Saltwater intrusion in coastal regions of North America. *Hydrogeology Journal*. 18. pp. 247-260.
- Baumont, S., Camand, J-P., Lefranc, A., Franconi, A. (2004). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire régional de santé d'île-de-France. 222p.
- Bear, J., Cheng, A., Sorek, S., Herrera, I. & Ouazar, D. (eds.). (1999). *Seawater intrusion in coastal aquifers: concept, methods and practices*. Kluwer Academic Publishers, London, 625 p.
- Bendelac, J. (2006). Israël : l'eau à la croisée des chemins. *Confluences Méditerranée*. pp. 63-76.
- Bocanegra, E., Cardoso Da Silva, G., Custodio, E., Manzano, M., Montenegro, S. (2010) State of knowledge of coastal aquifer management in South America. *Hydrogeology Journal*. 18. Pp. 261-267.
- Bouchard, C. (2009). Transition énergétique dans le contexte des petits États et territoires insulaire. In les Actes de la 15e Journée Sciences et Savoirs, sous la dir. de Julie Boissonneault, Renée Corbeil et Amélie Hien. p. 197-211. Sudbury, ON : Acfas-Sudbury. Pp. 197-211.
- Business News. (2010). Énergie solaire et dessalement d'eau de mer à Djederia.
http://www.businessnews.com.tn/details_article.php?t=520&a=22153&temp=1&lang=.
- Cardoso da Silva, G., Bocanegra, E., Custodio, E., Manzano, M., Montenegro, S. (2010). State of knowledge and management of Ibero-american coastal aquifers with different geo-hydrological settings. *Episodes*. Vol. 33. n° 2. pp. 91-101.
- Carius, A., Tanzler, D. et Maas, A. (2008). Climate change and security: Challenges for German development cooperation. Eschborn, GTZ, 69 P.
- Cheng, A.H.D. & Ouazar, D. (eds.). (2004). *Coastal aquifer management: monitoring, modeling & case studies*. Lewis Publishers, 280 p.
- Chiron, T. 2007. *Quelle gestion durable des ressources en eau et du risque de pénurie sur les petites îles? Application aux îles de Bretagne (France)*. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale. 412 p.
- Chouteau, M., Bouchedda, A. & Madani, A. (2011). Développement d'une méthodologie de suivi de l'impact des changements climatiques sur les eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine. Phase 2 : Caractérisation des sites : détermination des profils de références et de la méthodologie de suivi, 172 p.

- Commission Européenne – Eau Environnement. (2008). Protection des eaux souterraines en Europe – La nouvelle directive sur les eaux souterraines – Une consolidation du cadre réglementaire de l'UE. 36 p.
- Conseil des académies canadiennes. (2009). *La gestion durable des eaux souterraines au Canada*. Comité d'expert sur les eaux souterraines. 292 p.
- Cruz, V.J., Coutinho, R., Pacheco, D., Cymbron, R., Auntunes, P., Freire, P., Mendes, S., Fontiela, J., Anglade, J.(2010). Groundwater salinization in the Azores archipelago (Portugal): an overview. 21th Salt Water Intrusion Meeting (SWIM). pp. 109-112.
- Cruz, V.J., Coutinho, R. (2012). Adapting water-Framework Directive to the Azores context. 6th World Water Forum.
- Custodio, G. & Bruggeman, G.A. (1987). Groundwater problems in coastal areas. Studies and report in Hydrology, UNESCO. Paris, France. 596 p.
- Custodio, E. (2005). Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures. Bocanegra E.M., Hernández M.A. & Usunoff, E. (eds.): *Groundwater and human development*. Taylor & Francis, London, UK, pp. 15–38.
- Custodio, E. (2010). Coastal aquifers of Europe: an overview. *Hydrogeology Journal*. 18. pp. 269-280.
- Das, A., & Datta, B. (1999). Development of multiobjective management models for coastal aquifers. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(2): 76–87.
- Dessureault, R. et Simard G., (1970). *Hydrogéologie des Îles-de-la-Madeleine, rapport H.G.-1*, Québec, Ministère des richesses naturelles, Direction des eaux souterraines.
- Ellis, D. (2012) Avis technique portant sur la problématique potentielle de dessalement des eaux aux Îles-de-la-Madeleine (N/Réf. : SCW-761066). 9 p.
- Emmanuel-Rodriguez, G. (2007). Solving Trinidad and Tobago's water supply problems through the establishment of additional desalination plants - practical solution? 5th Annual OOCUR conference Georgetown, Guyana. 36 p.
- Fabregat, S. (2010). Irrigation : les eaux usées traitées pourront désormais être utilisées. Actu-Environnement. <http://www.actu-environnement.com/ae/news/eaux-usees-agriculture-10931.php4>.
- Fédération des collectivités concédantes et régies. Les collectivités locales au défi de l'efficacité énergétique – retours d'expérience en milieux insulaires. 124 p.
- Food and agriculture organisation (FAO). (2010 a). The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>. 142p.
- Food and agriculture organisation (FAO). (2010 b). *Trentième conférence régionale de la FAO pour le Proche-Orient. Dessalement de l'eau à des fins agricoles*. 36 p.
- Garcia Fragio, A. (2005). The European response to the challenges of water and sanitation in developing countries. *Géosciences*. P. 86-89.
- Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES). (2010). Mémoire présenté au Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement (BAPE) dans le cadre de l'audience publique sur le développement de l'industrie des gaz de schiste au Québec. *Considérations sur les eaux souterraines en lien avec l'industrie des gaz de shale*. 19 p.

- Hallegatte, S. et Ambrosi P.(Eds.), (2006), Environnement, Changement Climatique et Sécurité, Numéro spécial n°63 des Cahiers de la Sécurité, INHES.
- International Groundwater Resources Assessment Center (IGRAC). (2004). The world's groundwater resource- *contribution to chapter 4 of WWDR-2*. 12p.
- Konikow, L.F et Kendy, E. (2005) Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeology Journal*. 13: 317-320.
- Kristensen, P. (2004). The DPSIR Framework. Workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach. 5p.
- Lattermann, S. (2008). Le dessalement est-il écologique? *La Recherche* n° 421 ; 62 p.
- Lattermann, S. et Hopner, T. (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*. 220: pp.1-15.
- Machard de Gramont, H., Noel, C., Olivier, J-L., Pennequin, D., Rama, M., Stephan, R.M. (2010). Vers une gestion concertée des systèmes aquifères transfrontaliers. Guide méthodologique. *À savoir*. 122p
- Mackenzie Gas Project (2004) Volume 5: Biophysical Impact Assessment Part B, Aquatic resources: groundwater, hydrology and water quality. 63 p.
- Madelin'Eau. (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).
- Madelin'Eau. (2004). Gestion des eaux souterraines aux Îles-de-la-Madeleine – Un défi de développement durable – Rapport final – 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).
- Madelin'Eau. (2007). Secteur Sud-Est de l'île de la Grande-Entrée – Demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du règlement sur le captage des eaux souterraines. Forages FE-06-03, FE-06-04, FE-06-05 ET FP-06-06, 95 p.
- Madelin'Eau. (2009). Secteur de la Grande-Entrée - Flanc Nord Alimentation en eau potable, Demande d'autorisation en vertu de l'article 31 du règlement sur le captage des eaux souterraines, 449 p.
- Madelin'Eau. (2011). Projet de réalisation d'un forage gazier vertical 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, 84 p.
- Maurel, A. (2007). Dessalement de l'eau de mer, énergie nucléaire, énergies renouvelables. Atelier Plan Bleu / MEDITEP, Eau Énergie et Changement Climatique en Méditerranée.
- Malfeito, J.J., Diaz-Caneja, J., Farinas, M., Fernandez-Torrequemada, Y., Gonzalez-Correa, J-M., Carratala-Gimenez, A., Sanchez-Lizaso, J-L. (2005). Brine discharge from the Javea desalination plant. *Desalination*. 185: pp.87-94.

- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. (visité : 2012). Économiser l'eau : la récupération de l'eau de pluie in Eau et biodiversité. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Economiser-l-eau-la-recuperation.html>.
- Oude Essink, G.H.P. 2001. Salt Water Intrusion in a Three-dimensional Groundwater System in the Netherlands: A Numerical Study. *Transport in porous media*, 43:137-148
- Puil, C. (1998). La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. Eau et Environnement. D.E.P., Université de Picardie, Amiens, 62 p.
- Salomon, J. (2012). Le dessalement de l'eau de mer reste-il une voie d'avenir? *Revista de geografia e ordenamento do territorio*. n° 1. Pp. 237-262.
- Sylvestre, M. (1979). Étude par modèle mathématique des nappes souterraines de la Grosse-Île et de l'île de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, rapport H.G.-12, Québec, Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des eaux, Service des eaux souterraines.
- Tata-Ducru, F. (2009). Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques; analyses critiques en fonction des contextes. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement et Agence française de développement. 15 p.
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (VISITÉ : 2012) Countries <http://www.eia.gov/countries/>.
- VEOLIA Environnement. (2005). Le dessalement de l'eau de mer. *Le magazine de la chronique scientifique*. 4 : 4 p.
- VEOLIA Environnement. (2011). Le stockage d'eau en aquifère pour une gestion durable du cycle de l'eau. *SUCCESS*. n° 11. Pp. 9-13.
- Voutchkov, N. (2012). Overview of desalination status and future trends. WEX. Lisbonne, Portugal.
- White, I. & Falkland, T. (2010). Management of freshwater lenses on small Pacific island. *Hydrogeology Journal*. 18. Pp. 227-246.
- World Health Organisation (WHO). (2006 a). Protecting groundwater for health - Managing the quality of drinking water sources. Edited by O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton and I. Chorus. Published by IWA Publishing, London, UK. 678 p.
- World Health Organisation (WHO). (2006 b). Guidelines for the safe use of groundwater, excreta and greywater. Vol. II Wastewater use in agriculture. 222 p.