

Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de Martinique :

Synthèse et perspectives pour une mise en valeur et une gestion durable des eaux souterraines

Rapport final

BRGM/RP-56537-FR
Juillet 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 06EAUD20

JP Comte

Avec la collaboration de Y. Barthélémy

Vérificateur :

Nom : Benoît Vittecoq

Date :

Approbateur :

Nom : Th. Pointet

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Synthèse, SIGES, eaux souterraines, gestion, Martinique, DOM

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Comte JP., avec la collaboration de Barthélémy Y., (2009). Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de la Martinique : Synthèse et perspectives pour une mise en valeur et une gestion durable des eaux souterraines. Rapport BRGM/RP-56537-FR, 100 p., 21 ill. 3 ann.

Synthèse

Dans le cadre de l'élaboration du Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines de la Martinique (SIGESMAR) entrepris pour la Région avec le soutien de la DIREN, le présent rapport correspond à la phase finale (3.2.) du projet.

Il s'agit :

- d'une part d'un document de synthèse des travaux du SIGESMAR entrepris depuis 2005 qui ont permis d'enrichir et organiser l'information disponible sur les eaux souterraines, et de l'exploiter pour avoir une évaluation actualisée de la ressource en sous ses différents aspects, et de produire un outil d'aide à la décision.
- d'autre part de formuler en conséquence, et compte tenu du contexte actuel, un ensemble de recommandations et de pistes visant à assurer au mieux la mise en valeur de cette ressource, la programmation de son exploitation, et surtout en garantir une gestion durable, quantitative et qualitative, dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau de la Martinique.

Après avoir rappelé les résultats de l'évaluation réalisée, ceux-ci sont donc d'abord mis en perspective avec les besoins exprimés sous leurs diverses composantes : assurances de quantités, donc régularité, assurance de qualité ... Il s'agit d'une ressource renouvelable a priori d'importance non négligeable dans le cycle de l'eau martiniquais, voire stratégique et même vitale dès lors, par exemple, qu'elle est dédiée à l'alimentation en eau potable (AEP) ou au moins qu'elle y contribue. Cette analyse est confirmée :

- aussi bien par les propriétés inhérentes à ce type de ressource : régularisation naturelle du stock souterrain, bonne protection de la qualité des eaux en comparaison avec les ressources alternatives, très faible vulnérabilité aux risques naturels,...
- que par leurs caractéristiques qui ressortent des évaluations faites pour la Martinique : ressource encore peu exploitée avec un potentiel non négligeable au regard des besoins, mais géographiquement variable et toujours localement sujettes à « l'aléa géologique », généralement de bonne qualité, mais parfois vulnérable voire déjà localement contaminée. Ces éléments ont été largement exposés dans les précédents rapports de ce programme (voir ci-dessous).

Autant de raisons justifiant de se donner les moyens de gérer ce capital renouvelable en toute connaissance de cause, pour garantir son potentiel en quantité et qualité d'autant qu'il sera vraisemblablement de plus en plus exploité. Ce faisant, il s'agit donc également de préciser et se préparer à prévenir les risques minimiser les impacts d'inévitables situations de crise, notamment du fait de risques naturels, d'aléas climatiques, voire de défaillances locales du système actuel très centralisé de la distribution de l'AEP.

En matière d'identification des structures potentiellement aquifères, l'évaluation repose sur des informations disponibles telle la carte géologique au 1/50 000 et des données souvent anciennes parfois très fragmentaires et ponctuelles du fait du peu de forages en exploitation et de programmes récents de recherche en eau souterraine. Or seuls

des forages bien implantés, bien conçus, bien réalisés, avec toutes les observations et essais *in situ* qu'ils produisent, et avec les analyses d'eau découverte, permettent de certifier une ressource locale : ce document en rappelle les principes.

En matière de quantification théorique de la ressource par contre, l'évaluation repose sur une modélisation hydroclimatologique précise (1000 mailles de 1 km²) des conditions spatio-temporelles d'alimentation naturelle par infiltration. De même l'évaluation de la qualité des eaux est fondée aussi bien sur une analyse documentaire que sur les résultats du suivi détaillé de la qualité des eaux souterraines entrepris depuis 2004 en partenariat avec la DIREN et l'Office de l'Eau, complété par des analyses spécifiques réalisées pour ce projet.

L'exploitation du système d'information géographique ainsi élaboré a permis de visualiser la répartition du potentiel exploitable et de sa vulnérabilité. En croisant ces données avec les différentes pressions sur la qualité des eaux, il a pu être mis en évidence de mettre en évidence les secteurs les plus favorables à la recherche et l'exploitation des eaux souterraines conjuguant une échelle de productivités et le degré d'exposition des eaux aux risques sur leur qualité (à ce titre 15% du territoire serait soumis à des niveaux de risques anthropiques moyens à forts).

D'autres éléments de connaissances spécifiques doivent encore être acquis ou complétés, par exemple en ce qui concerne :

- l'analyse croisée de ces résultats sur la ressource avec la répartition et la nature des besoins, ainsi que, par exemple, les infrastructures existantes d'AEP pour optimiser leur mise en valeur,
- la problématique de transferts des produits phytosanitaires (et notamment, mais pas seulement, du chlordécone) depuis les sols vers les eaux souterraines,
- celle de la gestion des aquifères littoraux (en secteurs de forts besoins) vis-à-vis du risque de biseau salé, notamment dans le sud.
- la faisabilité de différentes techniques de gestion active, telle que la recharge artificielle des nappes à partir d'eau de surface, pour soutenir les aquifères les plus sensibles et par ailleurs jugés stratégiques.
- des éléments technico-économiques et des approches socio-économiques adaptées. Ainsi pour pouvoir choisir l'origine de l'eau en fonction du besoin en toute connaissance de cause, parmi les alternatives, en appréciant bien les avantages et inconvénients de chacune. On insiste, au stade des choix d'alternatives à l'amont des projets, sur la nécessité non seulement de bien en cerner les aspects techniques et économiques, mais aussi tous les impacts socio-environnementaux (fonciers, paysagers, écologiques, sociaux...).

Il se trouve que ce projet SIGESMAR a été mené à la même période que les premières réflexions sur la révision du SDAGE prévue pour être arrêté fin 2009, ainsi que l'élaboration de schémas d'AEP (départemental, intercommunaux) : des échanges ont naturellement eu lieu en vue d'harmoniser les objectifs de chacun avec les résultats obtenus. Ils pourront en outre apporter de l'information aux réflexions en cours pour l'aménagement du territoire (SAR) ainsi que pour d'autres schémas locaux (SCOT, PLU...), tout en contribuant à la politique régionale d'adaptation au risque de changement climatique et ses effets induits sur les ressources en eau, par exemple...

**Ensemble des références des rapports produits dans le cadre du projet
SIGESMAR (2005-2008)**

- BRGM / RP-55099-FR : Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Identification et de caractérisations quantitatives. Juin 2007.
- BRGM / RP-56283-FR : Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique. Aout 2008
- BRGM / RP-56266-FR : Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines. Septembre 2008.
- BRGM / RP-56242-FR : Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Synthèse cartographique. Aout 2008
- BRGM / RP-57345-FR : Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Description des masses d'eau souterraine. Mai 2009.
- BRGM / RP-56537-FR : Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de Martinique : Synthèse et perspectives pour une mise en valeur et une gestion durable des eaux souterraines. Juillet 2009.

Sommaire

1. Introduction	7
2. QUELLE EST LA RESSOURCE POTENTIELLE EN EAU SOUTERRAINE ?	9
2.1. IDENTIFICATION, LOCALISATION	9
2.2. QUANTITE POTENTIELLE	12
2.3. . LA REGULARISATION NATURELLE DE LA RESSOURCE	15
2.4. LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES	18
2.5. LES NIVEAUX DE VULNERABILITE DES SYSTEMES AQUIFERES	23
3. QUEL EST LE ROLE ACTUEL DES EAUX SOUTERRAINES ET QUELLES PERSPECTIVES ?	25
3.1. L'EXPRESSION DES BESOINS EN EAU EST MULTIFORME	25
3.2. COMMENT LES EAUX SOUTERRAINES REPONDENT-ELLES ACTUELLEMENT A L'EXPRESSION DES BESOINS ?	26
3.3. QUELLES SONT LES EVOLUTIONS PREVISIBLES DES BESOINS EN EAU ?	28
3.4. RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU SOUTERRAINE : DISPONIBILITES QUANTITATIVES	31
3.5. LIMITES ET PRESSIONS SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	32
3.5.1. Limites et pressions quantitatives	32
3.5.2. Limites et pressions sur la qualité de l'eau	33
4. POURQUOI ET QUAND RECOURIR AUX EAUX SOUTERRAINES ?	37
4.1. UNE RESSOURCE INVISIBLE	38
4.2. UNE RESSOURCE REGULARISEE	40
4.3. UNE RESSOURCE PRESUMEE DE PROXIMITE, NOTAMMENT POUR L'AEP	41
4.4. UNE RESSOURCE ENCORE TRES PEU EXPLOITEE	41
4.5. UNE RESSOURCE DE QUALITE, NOTAMMENT POUR L'AEP	42

4.6. UNE RESSOURCE SECURISEE, NOTAMMENT POUR L'AEP	43
4.7. UNE RESSOURCE DIVERSIFIEE	44
4.8. UNE RESSOURCE A MOBILISATION SANS IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	45
5. COMMENT RECOURIR AUX EAUX SOUTERRAINES?	47
5.1. CROISER LES EXPRESSIONS DE LA DEMANDE ET DES RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU	47
5.2. METHODES ET TECHNIQUES DE PROSPECTION.....	48
5.2.1. Elaboration d'un modèle hydrogéologique conceptuel.....	48
5.2.2. Implantation des forages de reconnaissance.....	50
5.2.3. La réalisation des forages de reconnaissances	51
5.2.4. La mise à jour du modèle hydrogéologique conceptuel	55
5.3. CADRE REGLEMENTAIRE	56
5.3.1. Déclaration / autorisation.....	56
5.3.2. Périmètres de protection pour les ouvrages AEP	58
5.4. LES EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION.....	59
6. PERSPECTIVES POUR UNE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES	61
6.1. LES PRINCIPES DE GESTION DURABLE ET LA GOUVERNANCE	64
6.1.1. Une contribution à la préservation des milieux aquatiques et ressources hydrauliques de surface.	64
6.1.2. Une contribution utile et prioritaire à l'AEP	64
6.1.3. Une bonne prise en compte de l'unicité de la ressource en eau pour une gestion intégrée.....	65
6.1.4. Conditions de mise en œuvre d'une gestion durable et efficace des eaux souterraines	68
6.1.5. Les outils de gestion.....	69
6.2. GESTION QUANTITATIVE	72
6.2.1. Les principes de la gestion active des réservoirs.....	72
6.2.2. Les relations quantitatives et qualitatives nappes / rivières	73
6.2.3. La faisabilité de recharge artificielle.....	74
6.2.4. Cas particuliers de la gestion des aquifères littoraux	76
6.2.5. Le suivi piézométrique.....	79
6.2.6. Le suivi des prélèvements	80

6.3. GESTION QUALITATIVE	81
6.3.1. La prévention des pollutions diffuses d'origine agricole	81
6.3.2. Le suivi de la qualité des eaux souterraines	83
7. CONCLUSION	85
7.1. LE SIGESMAR	85
7.2. LES POSSIBILITES DE VALORISATION GEOGRAPHIQUE DES RESULTATS	86
7.3. . SYNTHESE ET PERSPECTIVES DE MISE EN VALEUR ET DE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES	90
8. BIBLIOGRAPHIE.....	93

ANNEXES

Annexe 1 Les recommandations du SDAGE de Martinique en matière d'eau souterraine.....	97
Annexe 2 La surveillance des zones protégées d'après la DCE.....	101
Annexe 3 Exemples de ressources en eau alternatives non conventionnelles	103

1. Introduction

En contexte insulaire et tropical, avec une densité de population qui atteint désormais les 400 hab./km² sur un territoire restreint, à forts enjeux économiques, sociaux et environnementaux, la Martinique est et sera de plus en plus confrontée à **la nécessité d'une gestion extrêmement rigoureuse de ses ressources naturelles**. **L'eau en fait partie**. Elle est non seulement un élément indispensable à la qualité de son environnement et donc de notre cadre de vie (végétation naturelle, milieux aquatiques et faunes associées, loisirs divers), mais elle est aussi un produit de consommation vital à vocation aussi bien sociale et sanitaire qu'économique.

Or d'une part **il y a des besoins en eau** croissants à assurer, en quantité, qualité, pérennité et sécurité, alors même que d'autre part **des menaces** sont avérées aussi bien sur les quantités (risques de surexploitation des systèmes aquatiques, risques d'évolution des apports par changement climatique...), sur la qualité des eaux (pollutions anthropiques), sur la sécurité des approvisionnements (performances et capacités des équipements, risques naturels,...).

C'est pourquoi la Région Martinique a souhaité que soit évalué le potentiel en ressource en eau souterraine, et que cette évaluation soit élaboré sous forme d'un Système d'Information Régional constitué de toutes les informations brutes et élaborées sur les eaux souterraines.

Le Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines de Martinique (SIGESMAR) entrepris depuis 2006, a été présenté en deux phases :

- identification, localisation des formations géologiques potentiellement aquifères, et évaluation quantitative des ressources potentielles en eaux souterraines par unité (juin 2007),
- caractérisation de la qualité naturelle des eaux souterraines, et de la vulnérabilité intrinsèque (aux pollutions) des formations potentiellement aquifères (août 2008).

Il s'agit d'un système cartographique numérique global comprenant un ensemble d'informations structurées en « couches » individualisées, soit de données de base, soit de données élaborées pour la circonstance à partir des premières et de calculs et/ou déductions spécifiques. Toutes les démarches méthodologiques entreprises et les résultats obtenus ont été validés au fur et à mesure de l'avancement du programme par un comité de pilotage mis en place par la Région.

Ce système est donc en fait un outil de valorisation cartographique (sous SIG, ou Système d'Information Géographique compatible ©Arcview), toutes les données et résultats étant « géo-référencés », c'est-à-dire cartographiables. Les « couches » d'information correspondent donc à des fichiers numériques.

L'échelle de travail, et donc de restitution des résultats, est le 1/50 000, nécessaire et suffisante pour une représentation et une exploitation à l'échelle régionale. Au-delà de leur dimension régionale, les résultats ne se substituent pas aux études et investigations locales ponctuelles, mais ont vocation à les orienter efficacement dans un domaine où le risque géologique existe toujours.

A l'issue de ces deux phases de présentation des ressources sous tous leurs aspects, des recommandations doivent être formulées pour définir des principes de mise en valeur et de gestion durable de cette ressource, voire proposer des pistes d'actions concrètes visant ces objectifs.

Ce système a en effet pour objectif d'être non seulement un moyen de représenter toutes les facettes de l'évaluation et de la caractérisation des eaux souterraines, mais aussi et surtout un outil mis à disposition des maîtres d'ouvrage et techniciens pour l'aide à la mise en valeur et à la gestion durable et raisonnée de cette ressource naturelle que constituent les eaux souterraines : ressource a priori renouvelable, qui s'avère d'importance non négligeable dans le cycle de l'eau martiniquais, et qui peut être stratégique et même vitale dès lors, par exemple, qu'elle est dédiée à l'alimentation en eau potable (AEP) ou tout le moins à y contribuer.

Il se trouve que ce programme a été mené à la même période que les premières réflexions sur la révision du SDAGE prévue pour être arrêté en 2009, ainsi que l'élaboration de schémas d'AEP (départemental, intercommunaux) : des échanges ont naturellement eu lieu en vue d'harmoniser les objectifs de chacun avec les résultats obtenus. Ils pourront en outre apporter de l'information aux réflexions en cours ou à venir pour d'autres schémas locaux ou même pour le SAR.

2. Quelle est la ressource potentielle en eau souterraine ?

« ... (dans ce contexte) l'approche de l'hydrogéologie est plus complexe ». SDAGE-2002. Vol.II. § 2.1.2.1.

L'évaluation des ressources potentielles en eaux souterraines, comme cela doit être le cas pour toute ressource en eau, comporte plusieurs aspects : identification géographique, quantités renouvelables en année moyenne, variabilité et sensibilité dans le temps, qualité des eaux, vulnérabilités des formations aquifères aux risques de pollutions.

De 2005 à 2008, la Région Martinique, en partenariat avec le BRGM, a réalisé un programme d'évaluation des ressources potentielles en eaux souterraines. Sous la forme de système d'information géographique, le Système d'Information Régional sur les Eaux Souterraines de Martinique (SIRES-MAR, 2007) offre de manière exhaustive sur tout le territoire à l'échelle du 1/50 000^{ème}, l'ensemble des données relatives aux eaux souterraines. Elles doivent permettre d'identifier, de localiser (cartographie en pseudo 3D), et de caractériser toutes les informations nécessaires à la connaissance de ces ressources d'après les données documentaires existantes et une modélisation hydrologique globale.

On rappellera ci-dessous les principaux éléments de cette évaluation

2.1. IDENTIFICATION, LOCALISATION

Les grandes hétérogénéités et variabilités géologiques des formations volcaniques (récentes péléennes et plus anciennes sous-jacentes) n'ont pas facilité les connaissances car sans un référentiel géologique cohérent (carte géologique au 1/50 000 de 1992), et sans investigations adaptées à ce contexte, des extrapolations trop hardies seraient très aléatoires.

L'évaluation des ressources en eau souterraine d'un système aquifère dépend de la structure et de la nature géologique de ce système qui vont définir ses caractéristiques hydrauliques propres, de son extension, des modalités de son alimentation (qui peuvent différer en conditions naturelles et sous l'effet de pompages), de ses relations avec les eaux de surface, etc. Les aquifères de Martinique, essentiellement volcaniques (les formations sédimentaires sont très peu développées), sont ainsi de plusieurs types selon ces différents aspects.

L'identification géographique des formations géologiques dites aquifères, c'est-à-dire susceptibles de contenir de l'eau souterraine exploitable, a été réalisée par exploitation de la carte géologique au 1/50 000 de la Martinique et de l'abondante documentation hydrogéologique ponctuelle mais ancienne. Elle doit forcément intégrer la 3^{ème} dimension pour tenir compte de la superposition possible des formations : 5 niveaux ont été identifiés en Martinique (appelés d'ordre 1 pour le plus superficiel à ordre 5 pour le plus profond).

Au niveau documentaire, l'exploitation de la base de données des forages de en Martinique (extraite de la Banque du Sous-Sol) fait état de 176 forages réalisés depuis le début des années 70 ! Il n'en resterait que 78 sur le terrain : 10 à vocation AEP, 23 de reconnaissance et 45 piézomètres.

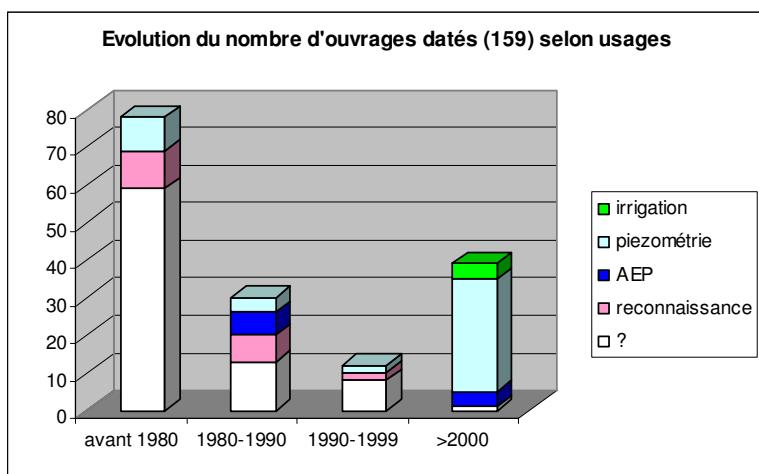


Illustration 1 : Evolution du nombre d'ouvrages datés (159) selon leur usage

L'illustration 1 montre l'évolution du nombre d'ouvrages datés (159) selon leur usage, par décennie, d'avant 1980 à après 2000.

On peut penser que les 59 forages antérieurs à 1980 à usage indéterminé devaient être des forages de reconnaissance. Malheureusement non seulement la plupart n'existe plus, mais les techniques d'investigation de l'époque étaient limitées (profondeurs, débits de pompages...), et les observations du sous-sol ne pouvaient se rattacher à la géologie telle que connue aujourd'hui puisque la carte géologique n'était pas encore établie.

Cette évolution montre également qu'il y a eu une première phase de mise en valeur des eaux souterraines en 1980-1990, avec notamment les premiers forages AEP, suite probablement à l'important volume de travaux de reconnaissance des années antérieures. La décennie 1990-2000 a plutôt «oublié» cette ressource, avant la récente reprise de conscience du début des années 2000 exprimée par la mise en place du réseau piézométrique et de nouvelles exploitations de dernière génération.

On notera également l'évolution croissante des profondeurs moyennes des forages passant d'environ 40m avant 1980 à plus de 60m depuis 2000 (40% d'augmentation). (Illustration 1).

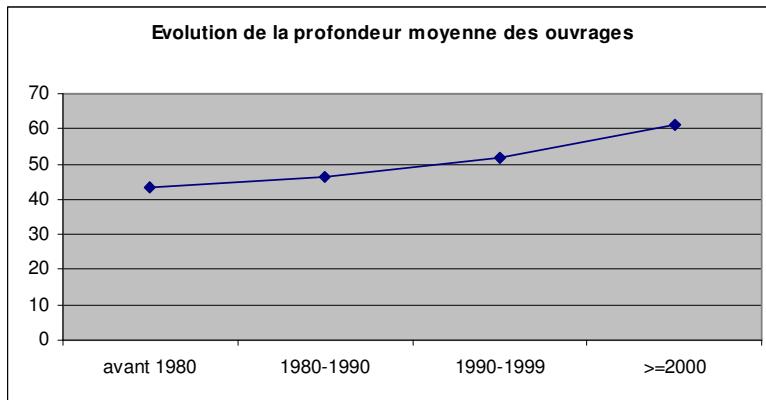


Illustration 1 : Evolution des profondeurs moyennes des forages réalisés

383 sources ont également été répertoriées et intégrées à l'analyse. Ces points singuliers sont en effet des indicateurs hydrogéologiques très intéressants de par leur position et leur débit et la qualité de leur eau.

123 formations hydrogéologiques ont ainsi été identifiées (appelées unités constitutives d'aquifères), la plupart d'ordre 1. Leur productivité est très variable, indépendamment de leurs conditions d'alimentation, du fait de la structure de leur perméabilité intrinsèque (porosité, fracturation ou les deux, avec des superpositions fréquentes). Elle a été caractérisée par le débit instantané continu (m³/h) qu'il est probable d'obtenir par forage captant la formation (*illustration 2*).

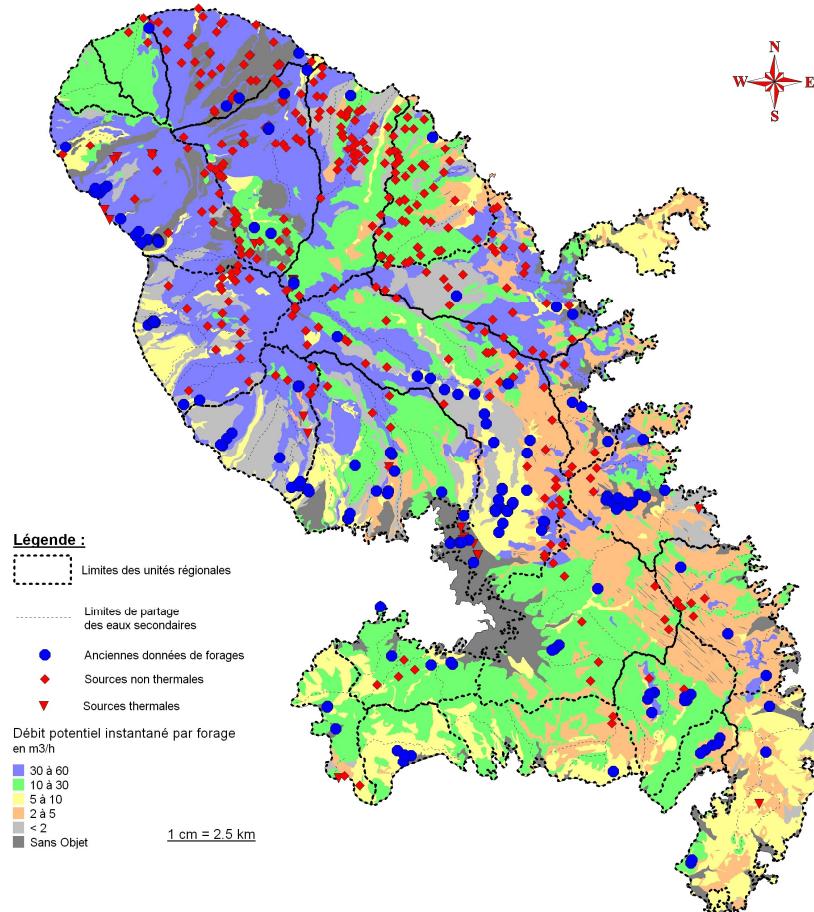


Illustration 2 : Débit potentiel instantané par forages, pour les unités d'ordre 1 (formations affleurantes). (Rapport BRGM RP-55099-FR)

2.2. QUANTITE POTENTIELLE

Les ressources potentielles en eaux souterraines sont évaluées à partir de la reconstitution du cycle de l'eau modélisé sur la base du maximum de données mesurables et disponibles valides et cohérentes, notamment climatologiques et hydrologiques (26 stations pluviométriques, 13 stations hydrométriques, 26 années d'observations de référence). La variabilité spatiale a été prise en compte en discrétilisant l'évaluation jusqu'à la traiter pour chacune de 24 unités régionales indépendantes.

La modélisation du bilan hydro-climatologique global de la Martinique réalisée dans le cadre du projet SIGESMAR (2007) a mis en évidence une infiltration totale moyenne de l'ordre de 327 Millions de m³/an, soit 25% de la pluie efficace.

Cette part fluctue énormément dans le temps du fait de la rapidité des écoulements (bassins relativement limités et à fortes pentes), et donc des conditions d'alimentation en eau du sous-sol par infiltration. Les vitesses d'écoulement jouent un rôle fondamental dans la disponibilité de la ressource en eau de surface, la recharge des aquifères.

La part directement ruisselée est 3 fois plus importante sur l'année. Mais le bilan montre aussi que les fortes interactions entre eaux de surface et eaux souterraines.

En effet, les résultats de la modélisation globale font état de 85% des écoulements souterrains (278 M m³/an) qui seraient drainées par les cours d'eau, contribuant ainsi à 22% du débit total des rivières avant exutoire (la mer), notamment par soutien d'étiage. En d'autre terme et très globalement, près du quart de la ressource en eau de surface provient du sous-sol...

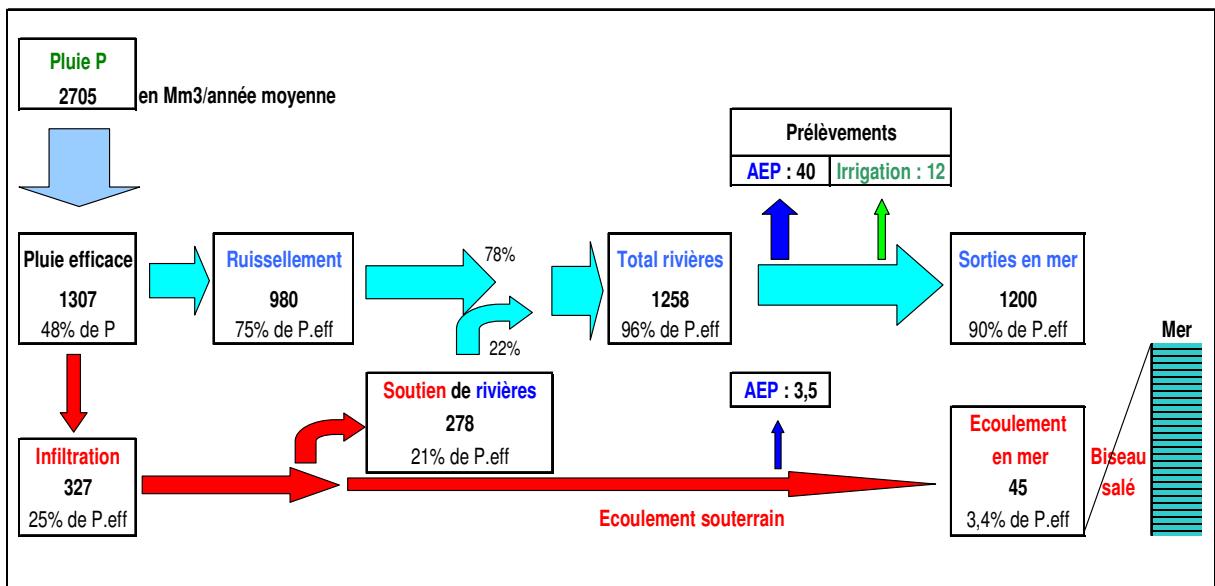


Illustration 3 : Représentation schématique du bilan hydrologique moyen global de la Martinique (ou Cycle de l'eau)

Il a été montré que les aquifères sont susceptibles de jouer un rôle significatif dans le fonctionnement hydrologique global (le cycle de l'eau), dès lors que la contribution de l'écoulement rapide (ruissellement) est peu importante (< 20 % du débit) alors que le temps de transit moyen de l'écoulement lent (recharge et vidange d'aquifère) est important (> 20 jours). C'est notamment le cas dans les bassins importants de la Capot et de la Lézarde.

Dans le détail la variabilité est grande selon l'importance des apports pluviométriques et la nature géologique du sous-sol (aptitude à l'infiltration, capacités de stockage /

relargage). Ainsi par exemple, ces apports s'étalent sur 80 jours pour le bassin de la Capot, contre une vingtaine de jours dans le sud ; en d'autres termes, s'il n'a pas plu pendant 20 jours, le cours d'eau peut s'assécher, alors qu'il faudrait 80 jours dans la Capot, ce qui est rarement le cas, d'où le débit permanent soutenu de la rivière.

Quoi qu'il en soit, il y a donc de fortes interactions possibles entre eau de surface et eau souterraine : en terme de gestion de la ressource et de cela signifie que tout aménagement sur l'une ou l'autre de cette ressource pourra avoir des impacts sur l'autre, qu'il conviendra de bien évaluer avant toute prise de décision, aussi bien sur le plan quantitatif que sur celui de la qualité des eaux et de sa protection.

Concernant les eaux de surface, si le ruissellement naturel moyen est de 980 Mm³/an (75% de la pluie efficace), il bénéficie d'un apport de 278 Mm³/an d'eau souterraine par drainage. Les prélèvements d'eau de surface s'élèvent à environ 40 Mm³/an pour l'AEP et 12 à 18 Mm³/an selon années pour agriculture (dont plus de 80% pour PISE), soit au total 52 à 58 Mm³/an. On en déduit que l'écoulement de surface résiduel en mer serait de 1200 Mm³/an, soit plus de 90% des apports moyens efficaces. Mais on observe surtout qu'un volume d'eau de surface équivalent à celui des apports par les nappes (278 Mm³/an) s'écoulerait en mer (1200-980 = 220 Mm³/an).

La ressource en eau souterraine renouvelable a été géographiquement précisée en calculant les bilans hydrologiques au niveau de 24 bassins appelés « unités régionales » présentant une homogénéité hydrogéologique.

La ressource potentielle en eau souterraine en a été déduite après avoir pris en compte des limites d'impacts à ne pas dépasser sur les écoulements de surface (préservation des débits réservés de 20%) et les écoulements souterrains en mer à réserver pour contenir le biseau salé). Cette ressource est exprimée en m³/jour. Elle varie de 300 à près de 9000 m³/jour selon les unités. Au total, les résultats issus de la simulation unité par unité ont été compilés au niveau de la Martinique afin de calculer le volume d'eau pouvant être prélevé sur l'ensemble de l'île. Il est estimé à 80 000 m³/j, soit 30 millions de mètre cubes par an, ce qui « ne représenterait que » environ 10% de l'infiltration totale.

Quels en serait l'impact sur les écoulements de surface ? En supposant la même répartition des écoulements souterrains vers le soutien aux écoulements de surface et vers la mer, cela reviendrait à une réduction possible de 8% seulement des apports aux eaux de surface, soit de 8% des 22% des écoulements, soit 1,76%, ce qui est minime.

Les pertes souterraines en mer seraient réduites de 16%, ainsi récupérées, et sans effet notable sur la position du biseau salé.

Il est rappelé que cette approche régionale (1/50 000^{ème}) ne dispense pas des études hydrogéologiques locales rigoureuses, associées à une méthodologie adaptée au contexte. Ceci vaut aussi bien pour les évaluations de ressource au niveau de chaque bassin hydrogéologique que pour définir avec précision l'implantation de futurs forages par exemple, et leur niveau d'exploitation en fonction des impacts locaux

2.3. . LA REGULARISATION NATURELLE DE LA RESSOURCE

Le premier suivi des niveaux de certaines nappes remonte au début des années 80. Il portait surtout sur la nappe du Lamentin n'était pas effectué régulièrement. Nous disposons malgré tout de longues séries intéressantes pour avoir une idée de l'évolution de cette ressource sur le long terme (*Illustrations 5 et 7*).

Depuis 2002, le réseau piézométrique a été mis progressivement en place : il compte actuellement 29 points dont 20 nouveaux ont été créés spécialement en 2004-2005, et tous sont équipés depuis 2005 pour des dispositifs d'enregistrements en continu avec télétransmission automatisées (*illustration 7*). Les observations sont régulièrement mises en banque de donnée nationale publique (<http://ades.rnde.tm.fr>), donnent lieu à des bulletins périodiques de situation et à un rapport annuel régional.

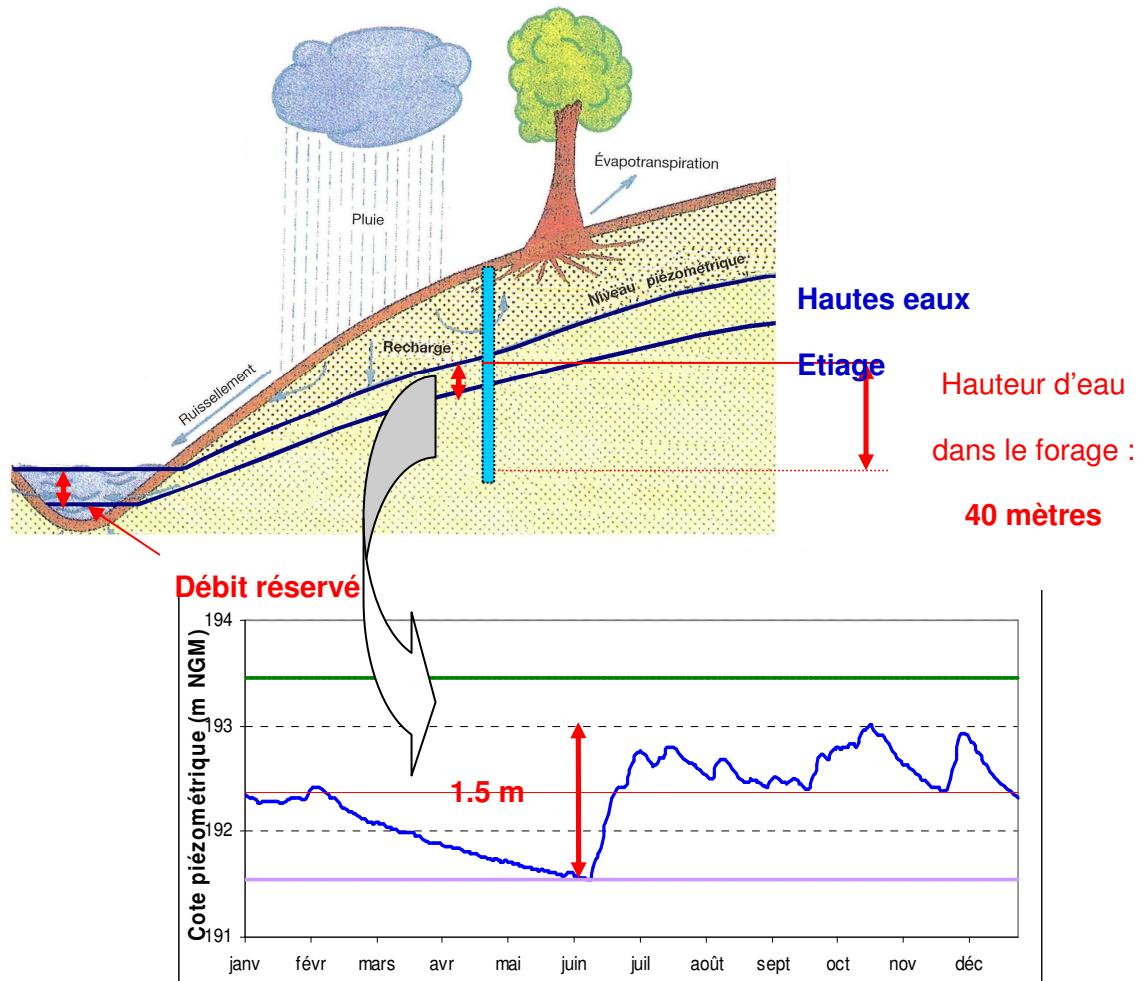


Illustration 4 : Schéma illustrant le principe de variation du niveau piézométrique



Illustration 5 : vues de piézomètres du réseau régional équipés de dispositifs de télétransmission intégrés

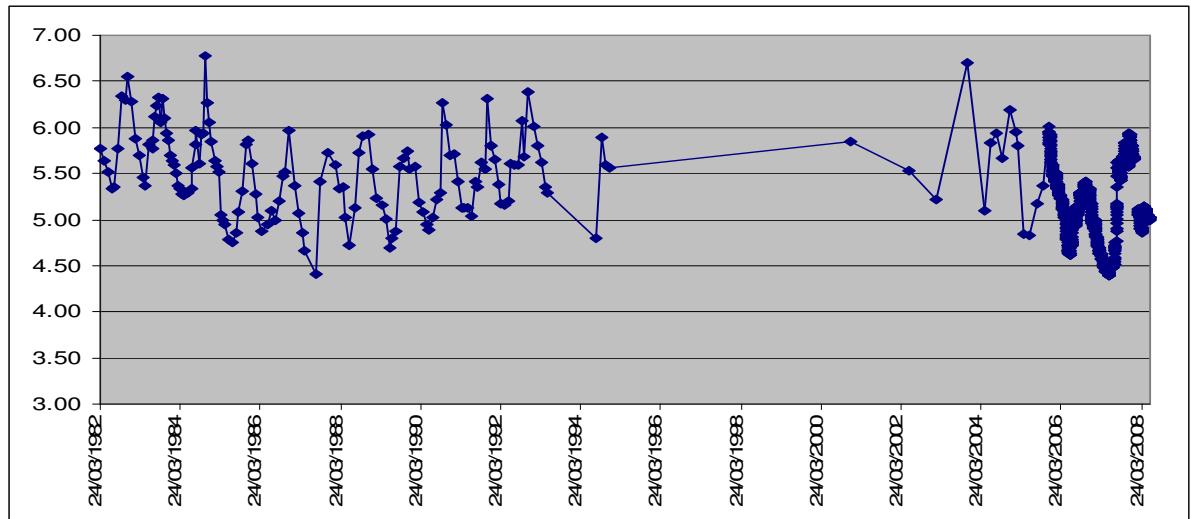


Illustration 6. Piézomètre 1179ZZ0039 (Habitation Ressource) de la nappe du Lamentin.
Relevés manuels jusqu'en 2005, puis automatisés

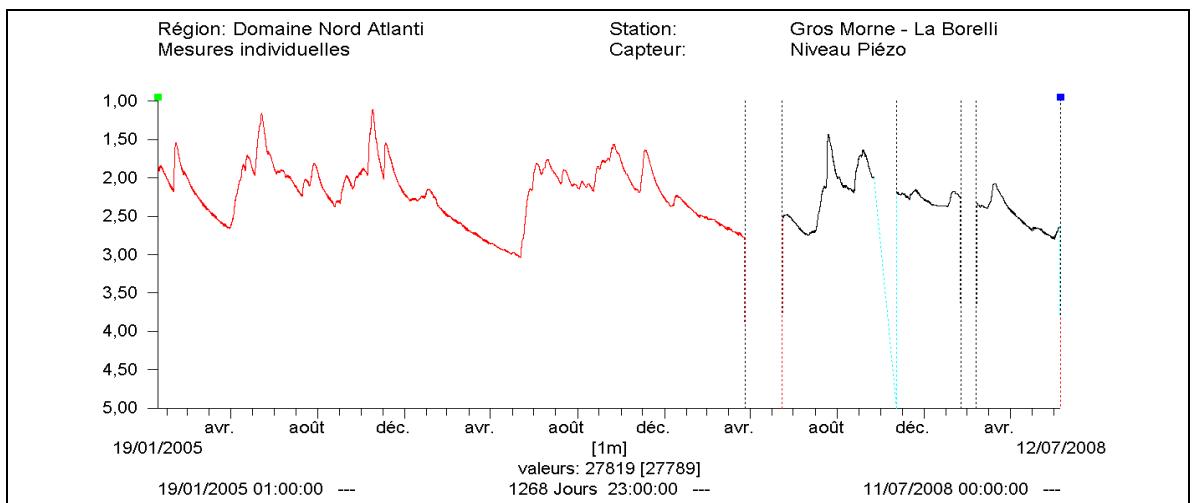


Illustration 7. Piézomètre 1174ZZ0088 (La Borelli) à Gros Morne.
Enregistrement en continu 2005-2008

L'analyse de ces chroniques historiques montre que les fluctuations saisonnières moyennes sont de l'ordre de 0,50 à 1 ou 2 mètres, exceptionnellement un peu plus. En tenant compte des années à forts déficits pluviométriques (carêmes sévères), les baisses de niveaux par rapport aux moyennes excèdent rarement 1 ou 2 mètres.

Rapportées aux épaisseurs courantes des formations aquifères concernées, les périodes de déficits saisonniers ou interannuels ne provoqueraient donc que des impacts de moins de 10% sur la ressource souterraine.

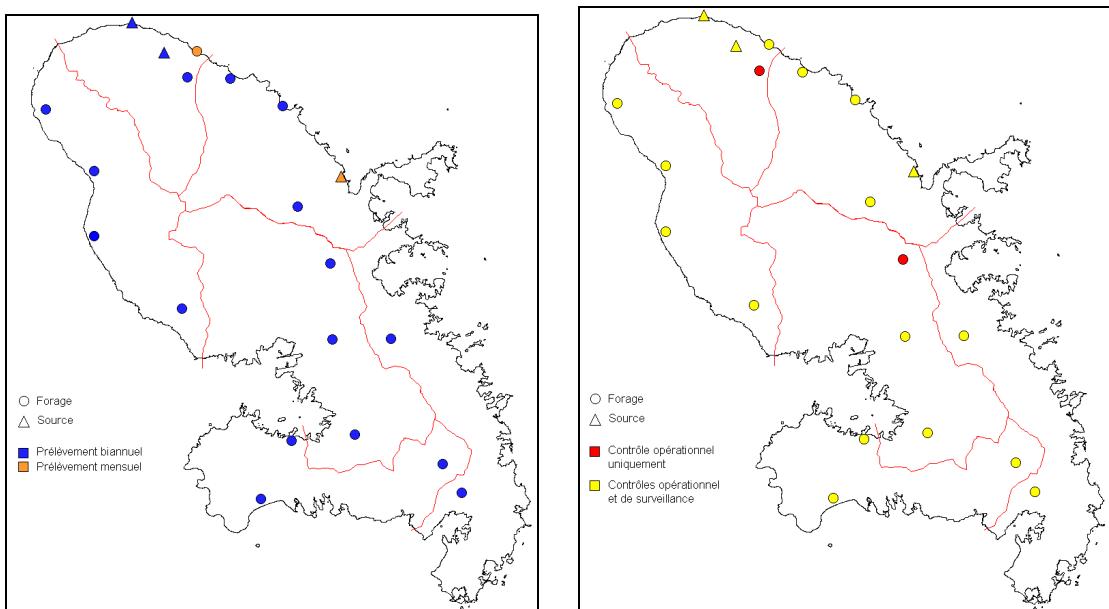
Les eaux souterraines constituent donc une ressource naturellement régularisée par effets de stockage en « réservoirs souterrains » bien à l'abri des fluctuations climatologiques. Cette capacité de régularisation dépendra localement du volume de ces réservoirs et de leurs propriétés hydrodynamiques intrinsèques (évaluées notamment par pompages d'essai de longues durées).

A noter cependant que ces baisses, si faibles soient-elles, peuvent par contre avoir de forts impacts sur les débits des rivières qui les drainent, en particulier dans le sud de l'île.

2.4. LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Depuis 2004, le BRGM est chargé par la DIREN Martinique, puis depuis 2007 par l'ODE, du suivi de la qualité des eaux souterraines. Ce suivi patrimonial a pour objectifs d'améliorer la connaissance de la qualité naturelle des eaux souterraines, d'évaluer leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions anthropiques et de suivre l'évolution de l'état qualitatif de l'eau souterraine dans le temps. Il est mis en œuvre au titre du réseau de surveillance arrêté dans le cadre de la DCE (rapport BRGM/RP-55098-FR). Il constitue les réseaux de surveillance et de contrôle opérationnel.

Ce réseau d'observation est composé de 20 stations dont 17 forages/piézomètres et 3 sources (différents du réseau de suivis de la DSDS) repartis sur l'ensemble de l'île. Les prélèvements sont réalisés deux fois par an, en saison des pluies et en saison sèche. Elles portent sur tous les éléments majeurs et traces imposés, ainsi que sur la recherche de 135 molécules phytosanitaires. En outre, depuis 2009, 2 points font l'objet d'un suivi mensuel annuel. Par ailleurs, les eaux des captages AEP sont régulièrement suivies par la DSDS.



Les analyses effectuées et le réseau :

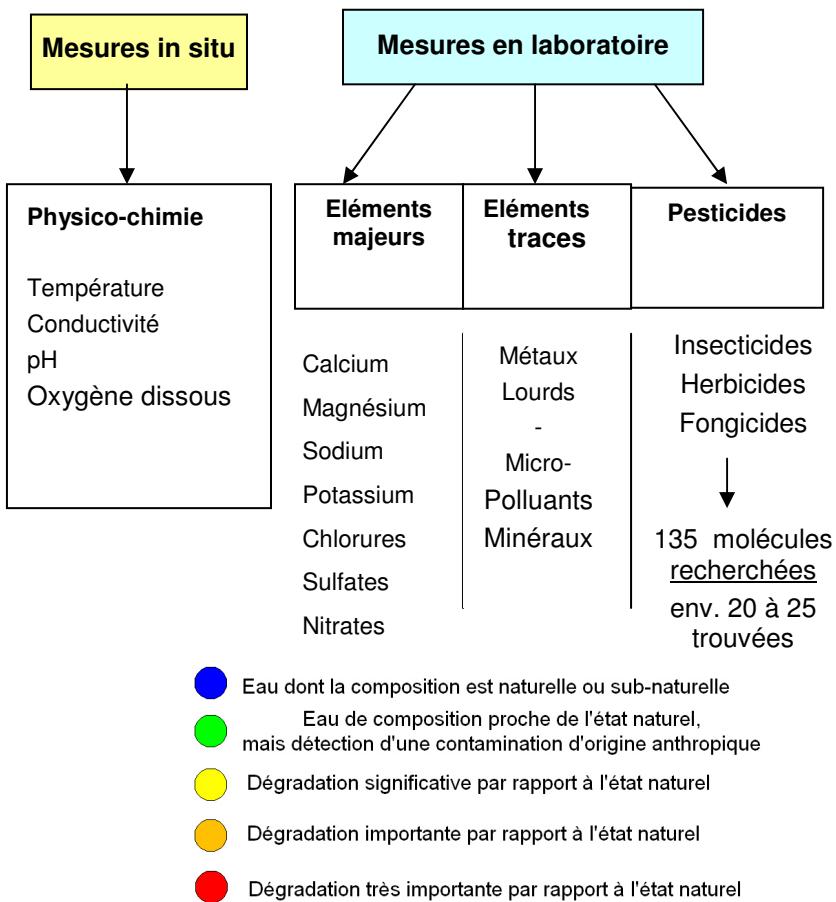


Illustration 22 : Réseau DCE de surveillance et de contrôle opérationnel

Quasiment toutes les masses d'eau présentent un risque de fond géochimique élevé en Fe et Mn : ces éléments, très courants, sont également très couramment et facilement éliminés par traitement. En outre, pour les masses d'eau «Sud Caraïbes» et «Sud Atlantique», des zones à risque de fond géochimique élevé en Ca, Mg, Na, Cl, K, ont été identifiées.

Enfin, le long du littoral de la Martinique, et principalement dans la moitié sud de l'île, le risque de fond géochimique est élevé en Na et Cl (et intermédiaire en B et F), lié à l'interaction possible des eaux souterraines avec le biseau salé.

Par ailleurs, des contaminations d'origine anthropique sont localement avérées : un tiers des sites d'observation présente des teneurs en nitrates révélatrices de contamination (supérieures à 20 mg/l), encore en deçà de la norme de potabilité (50mg/l), mais avec tendance à l'augmentation, surtout dans le nord de l'île.

Sur les 135 molécules phytosanitaires recherchées dans les eaux souterraines, une vingtaine sont détectées (*Illustration 8*).

Les molécules les plus fréquemment détectées sont le béta HCH et la chlordécone (détectées en moyenne sur près de 50% des stations). Le glyphosate, recherché uniquement depuis 2006 est présent en moyenne sur plus d'un tiers des stations analysées. L'AMPA, métabolite de dégradation du glyphosate est, quant à lui, détecté sur près de 15% des stations et les autres molécules sur moins de 10% des stations.

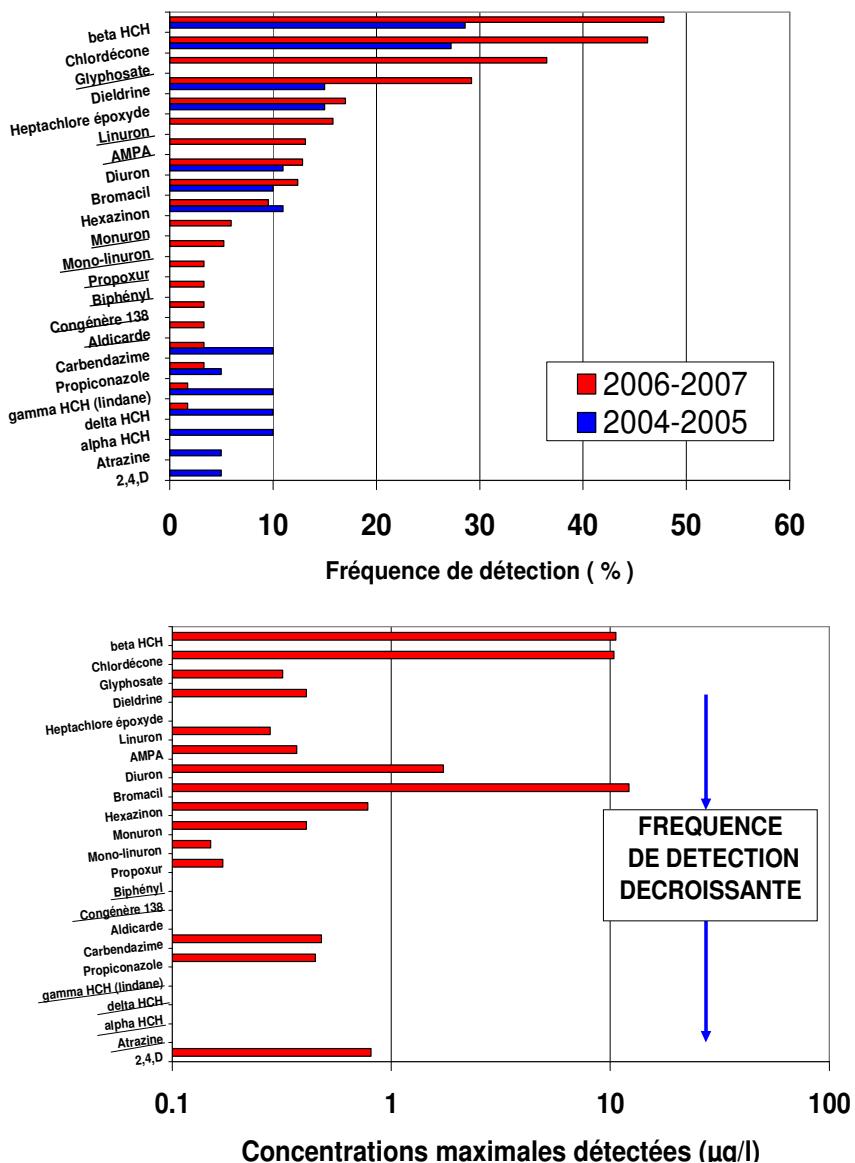


Illustration 8 : Produits phytosanitaires retrouvés dans les eaux souterraines

Les gammes de concentrations maximales varient de moins de 0,1 µg/l pour la plupart des molécules détectées à ponctuellement plus de 10 µg/l pour le chlordécone et le bêta HCH.

Les concentrations sont localement importantes (notamment pour des molécules les plus rémanentes : chlordécone, beta HCH et dieldrine). La zone la plus affectée est la côte atlantique, surtout le nord pour le chlordécone, mais on observe également des dégradations ponctuellement importantes dans le sud (surtout au glyphosate / AMPA). Le chlordécone, le bromacil, le bêta-HCH et le diuron ont les concentrations maximales les plus importantes observées sur 4 campagnes de 2005 à 2007. Le glyphosate semble être de plus en plus présent, indépendamment de la sole agricole, mais à moins de 0,3µg/l.

Pour comparer avec les eaux de surface, on notera que leur réseau de surveillance détecte également une vingtaine de molécules phytosanitaires. Il est fait état de contaminations au chlordécone et beta-HCH dans respectivement environ 100% et 80% des cas, contre respectivement 70% et 50% pour les eaux souterraines. Pour les autres produits phytosanitaires, ces fréquences vont de 20% à 70% selon les produits pour les eaux de surface, contre 10% à 30% pour les eaux souterraines, exception pour le glyphosate : 20% pour les eaux de surface, contre 50% pour eaux souterraines. Les concentrations maximales sont par contre du même ordre de grandeur : de 0,1 à 10µg/l.

Même si il est constaté que la plupart des points de mesures du réseau de contrôle de surveillance des eaux souterraines sont pollués par les produits phytosanitaires, cela ne veut pas dire que toutes ces eaux le sont. Les zones de montagne présentent des eaux de très bonne qualité.

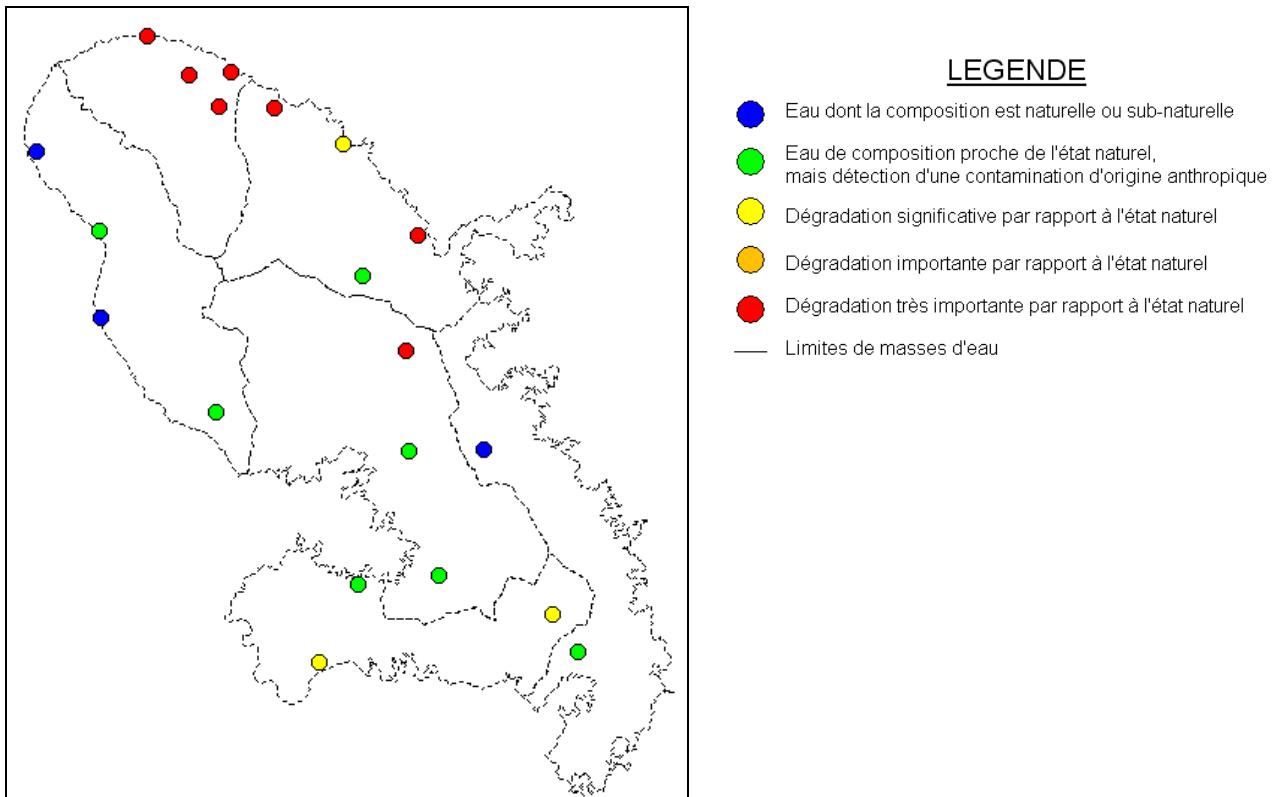


Illustration 9 : Carte récapitulative de l'état patrimonial de la ressource en eau souterraine en saison sèche 2008. Réseau DCE (Rapport BRGM RP-56638-FR)

Globalement et sur la base des analyses faites sur le réseau d'observation (Illustration 9), les eaux souterraines de Martinique présentent un état chimique souvent altéré par la présence de pesticides (75 % des points du réseau) et de nitrates (1/3 des points du réseau).

Il faut toutefois souligner que les informations issues des observations faites à partir de ce réseau ne sont que ponctuelles. D'une part les 20 points d'observation ne concernent que 20 formations aquifères sur les 123 identifiées, d'autre part, s'agissant de piézomètres ou de captages AEP, ils ne sont pas dédiés à la stricte observation de la qualité des eaux souterraines dans une optique environnementale (l'objectif des piézomètres est la mesure de niveaux d'eau, et les captages AEP ne doivent en principe pas être situés en zone à risque). Certains ouvrages ont été intégrés au réseau précisément parce qu'ils se situent en zone à risque. L'idéal serait de disposer d'un réseau beaucoup plus dense d'ouvrages spécialement dédiés, c'est-à-dire de « qualitomètres » (v. chapitre 6.3.2.).

Notons que le réseau de surveillance des eaux de surface ne comprend également que 29 stations pour 161 rivières et 70 cours d'eau principaux.

C'est pourquoi aussi, dans les circonstances actuelles, une approche plus intégratrice a été faite sur la base des connaissances des « pressions » susceptibles d'affecter la

qualité des $10\mu\text{g/l}$, croisée avec la vulnérabilité intrinsèque des formations aquifères, c'est-à-dire leur niveau de protection naturelle.

2.5. LES NIVEAUX DE VULNERABILITE DES SYSTEMES AQUIFERES

Compte tenu de leur nature, leur structure, et surtout de la nature et de l'épaisseur des formations sus-jacentes, les formations potentiellement aquifères présentent des degrés de vulnérabilités variables. Il est fondamental de pouvoir apprécier et tenir compte de ce paramètre pour une gestion efficace et durable de la qualité des eaux souterraines dans la mesure où il permet d'évaluer les niveaux de risques de contaminations d'origine anthropique qui, du fait de la plus grande inertie des eaux souterraines, sont plus difficiles à éliminer dès lors qu'elles se produisent.

La méthode originale utilisée pour cette évaluation a été développée dans le rapport BRGM/RP-56283-FR du Sires-MAR. Appliquée aux formations d'ordre 1 (les autres, plus profondes étant réputées moins vulnérables), le résultat cartographique présente un zonage relatif des niveaux de perméabilités intrinsèques (c'est-à-dire indépendamment des éventuelles pressions).

La carte de vulnérabilité ainsi établie (*illustration 10*) ne doit en effet pas être interprétée comme le reflet d'une vulnérabilité absolue mais comme une hiérarchie entre les unités aquifères, qui permettra de préciser les niveaux de risques encourus vis-à-vis des différentes pressions. Cela pourra contribuer, par exemple, à cibler les zones prioritaires en matière d'exploitation (ressource existante et peu vulnérables) ou encore de protection (ressource existante sans alternative, et vulnérable)

Globalement, on constate qu'environ la moitié des unités aquifères présente une vulnérabilité moyenne, un quart une vulnérabilité plus forte (notamment dans le nord), et un quart une vulnérabilité plus faible.

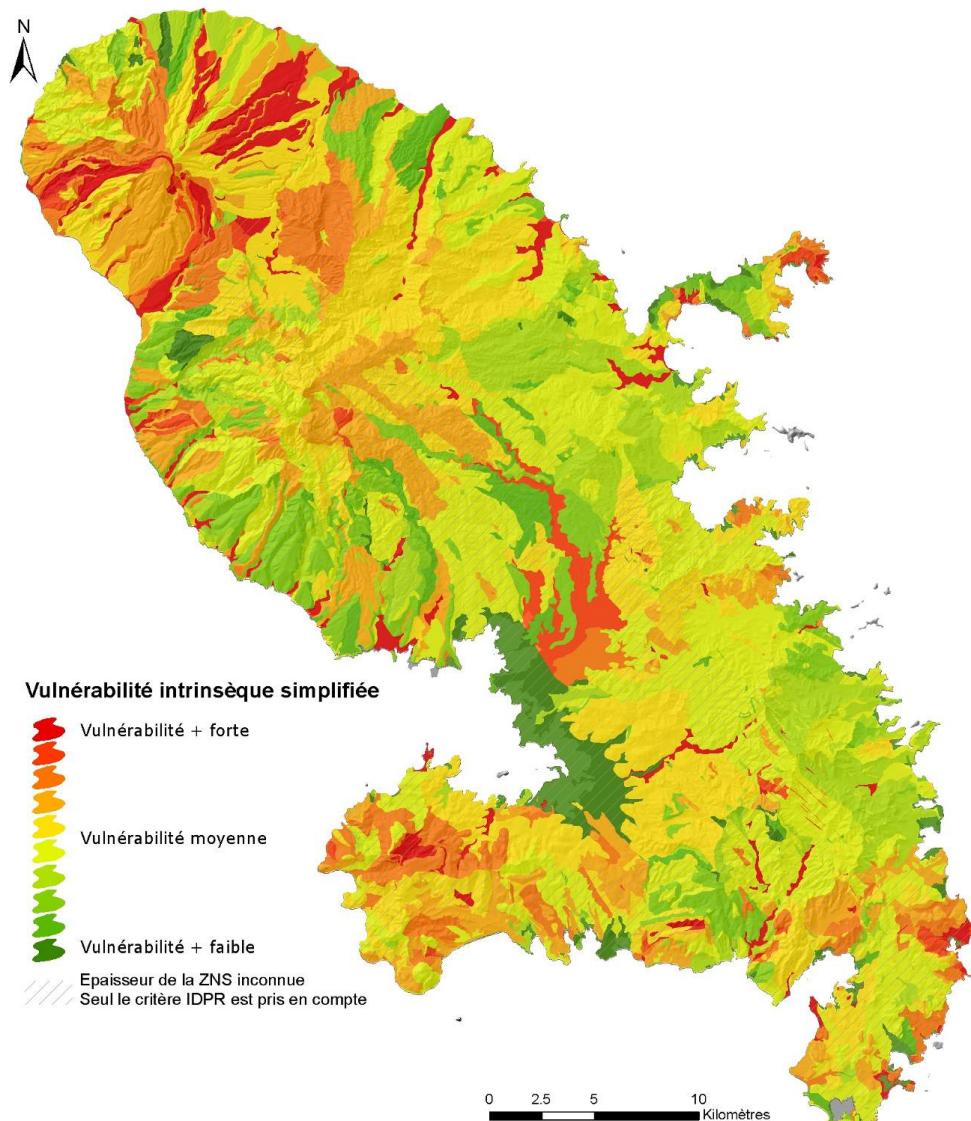


Illustration 10 : Carte des vulnérabilités intrinsèques des formations aquifères superficiels
(Rapport BRGM RP-56283-FR)

3. Quel est le rôle actuel des eaux souterraines et quelles perspectives ?

L'eau est une ressource naturelle qui ne peut répondre à des besoins que dans la mesure du respect d'équilibres environnementaux.

3.1. L'EXPRESSION DES BESOINS EN EAU EST MULTIFORME

Les besoins en eau s'évaluent dans le temps, à différents horizons, de l'immédiat et court terme à satisfaire, au moyen et plus long terme afin d'identifier et anticiper les actions à mener pour être en mesure de satisfaire ces futurs besoins, et les investissements correspondants. Les besoins en eau à satisfaire augmentent régulièrement avec l'évolution démographique et le développement économique, bien qu'ils soient tempérés et en partie compensés par l'amélioration attendue des efficiencies (performances) des dispositifs de distribution et d'usages plus économies.

Les besoins s'évaluent dans l'espace, en fonction des sites de consommations et de la localisation des milieux aquatiques. A ce titre, et compte tenu des pressions exercées sur une ressource limitée, le lien devra sans doute être envisagé de plus en plus directement entre gestion des ressources en aménagement du territoire. Il convient donc d'adapter les usages à la disponibilité (en quantité, qualité, sécurité...). Le corollaire est d'orienter l'aménagement de l'espace en fonction d'objectifs convenus de gestion durable de la ressource, de sorte qu'elle puisse au mieux assurer son rôle dans l'avenir.

Les besoins en eau s'expriment en outre par secteurs d'usages et selon les milieux aquatiques naturels.

Les principaux secteurs d'usages, c'est-à-dire utilisateurs et consommateurs d'eau sont l'AEP, l'agriculture, l'industrie, les loisirs, etc. L'irrigation avec essentiellement des besoins quantitatifs focalisés dans l'espace et dans le temps (régularisés pour assurer les fortes demandes saisonnières des cycles végétaux, risques de sécheresses...sur des zones agricoles cultivables). L'AEP avec nécessité d'un service de proximité (à l'habitant), de très fortes contraintes de continuité de ce service, et de fortes exigences de qualité de l'eau.

Plus précisément, ces besoins s'expriment en effet :

- **en objectifs de quantités**, selon les besoins unitaires par usage, et les performances des dispositifs de distribution. Si les besoins et consommations pour l'AEP sont relativement faciles à cerner, ceux pour l'irrigation sont encore difficiles à évaluer hors périmètres équipés : en outre ils dépendent des modes d'irrigation projetés,
- **en objectifs de qualité de l'eau**, selon les normes d'usages spécifiques,

- **en contraintes de sécurité :**

- sur le plan quantitatif : continuité des approvisionnements moyens à assurer quelles que soient les conditions naturelles d'apports : années pluvieuses ou sèches, périodes de pointe (saisonnieres), cumul des deux, fiabilité des équipements (prélèvements, traitement, distribution...), et quelles que soient les évolutions ou fluctuations de la demande.

La notion de sécurité est particulièrement fondamentale pour l'AEP dans la mesure où ce besoin sera toujours prioritaire sur tous les autres en cas de crise. En Martinique, la sécurisation des équipements de captages, traitement, stockage et distribution de l'eau vis-à-vis des risques naturels est en outre un objectif majeur à prendre en considération.

- sur le plan qualitatif : c'est aussi le secteur de l'AEP qui est le plus exigeant, toute défaillance (pollution), même ponctuelle, pouvant avoir des conséquences importantes (sanitaires, environnementales, économiques...).

Les milieux aquatiques : il ne faut pas occulter par ailleurs la demande environnementale en eau (usage « milieux » non consommateur), qui concerne essentiellement les eaux de surface : rivières, zones humides (quoique parfois dépendantes de nappes souterraines) et littorales et les milieux vivants associés (les milieux aquatiques, faune et flore). Elle s'exprime également en qualité des milieux (vie aquatique, baignades...), et en quantité : débits réservés (ou minimum biologique) pour les cours d'eau, le tout consolidé sous le terme générique de « bon état écologique ».

3.2. COMMENT LES EAUX SOUTERRAINES REPONDENT-ELLES ACTUELLEMENT A L'EXPRESSION DES BESOINS ?

Pour l'AEP, les besoins totaux sont actuellement satisfaits à hauteur d'environ 40 Mm³/an. 93% de l'eau mobilisée pour cet usage provient de captages de cours d'eau (40 Mm³/an). L'eau souterraine n'intervient que pour 7% (3 Mm³/an). A noter de plus que 70% de l'eau de surface mobilisée provient de 3 rivières seulement : Capot, Lorrain, Blanche et Lézarde, fournissant donc les deux tiers de l'AEP de Martinique.

Actuellement l'eau souterraine mobilisée pour l'AEP provient essentiellement (à plus de 80%) de sources (2,5 Mm³/an), le reste de quelques rares forages du nord, à St Pierre et Ajoupa-Bouillon (0,5 Mm³/an).

Pour l'irrigation on estime les besoins en année moyenne à plus de 12 Mm³/an, dont 85% pour le PISE, le reste par prise en rivières.

Il n'existe qu'un champ captant par forages pour l'irrigation (ASAPFRP de Rivière-Pilote pour 0,35 Mm³/an), mais un projet plus ambitieux pour la Région (Rivière-Salée, 1 Mm³/an ?). Le rôle des eaux souterraines est donc marginal.

La répartition actuelle moyenne de la satisfaction des besoins AEP et agricoles selon l'origine de l'eau est donc la suivante (en Mm³/an) :

Origine de l'eau	AEP	irrigation	Total
Eaux de surface	40 (93%)	12 (97%)	52 (93,9%)
Eaux souterraines	3 (7%)	0,35 (3%)	3,4 (6,1%)
Total Mm³/an	43 soit 77,6%	12,4 soit 22,4%	55,4 (100%) 100%

Pour les milieux, même s'il s'agit de milieux de surface, il a été montré que cette ressource est très liée à la ressource souterraine aussi bien en quantité (soutiens d'étiages) qu'en qualité. Contrairement à ce que l'on peut parfois penser, les eaux souterraines jouent en effet un rôle important :

- par soutien aux débits des rivières, notamment en étiage. On a vu que globalement 22% des débits des rivières étaient assurés par les eaux souterraines, et même beaucoup plus dans les bassins modestes et moins alimentés. Cette proportion est à rapprocher de la valeur actuelle réglementaire des débits réservés (ou minimum biologique) de 20% de l'écoulement moyen, destiné à garantir la bonne qualité de ces milieux.
- par soutien aux niveaux de certaines zones humides et donc à leurs biotope associés dès lors qu'il s'agit d'affleurements de nappes et non d'accumulations pluviales perchées sur un substrat imperméable (processus de « flaque »).

L'attention doit être portée sur les aspects qualitatifs de ces échanges : si une eau souterraine de bonne qualité peut contribuer à la qualité de la rivière, notamment en étiage, une nappe chimiquement contaminée pour aussi contaminer une rivière par exemple (si elle ne l'est déjà pas sur le plan bactériologique...)

Au total, la part des eaux souterraines directement mobilisée est marginale pour l'irrigation (3%), encore très faible pour l'AEP (7%). Mais, compte tenu de leur apport aux écoulements de surface, la part indirectement utilisée des eaux souterraines est bien plus importante. Pour un apport moyen de 22%, leur contribution directe et indirecte aux usages passerait globalement de 6% à **27%**, selon la répartition suivante (en : M m³/an) :

Origine de l'eau	AEP	irrigation	Total
Eaux de surface	31,2 (73%)	9,4 (76%)	40,6 (73%)
Eaux souterraines (directement et indirectement)	11,8 (27%)	3,0 (24%)	14,8 (27%)
Total Mm³/an	43,0	12,4	55,4

Ces valeurs doivent être en-deçà de la réalité, car les apports des eaux souterraines aux eaux de surface sont bien plus importants que la moyenne dans la moitié nord de l'île, là où précisément sont captées les eaux de surface.

Il est donc important de veiller à évaluer et gérer globalement la ressource en eau, c'est-à-dire sans occulter la part souterraine, même si elle n'est pas visible et encore (par conséquent !) très peu directement utilisée.

3.3. QUELLES SONT LES EVOLUTIONS PREVISIBLES DES BESOINS EN EAU ?

Par secteur d'usage et sous leurs différents aspects, les prévisions de besoins peuvent être résumées ainsi :

Pour l'AEP, la capacité des dispositifs actuels assure juste la satisfaction des besoins en situation normale. Le projet de Schéma Directeur Départemental d'AEP, dans sa version (provisoire) de 2006, a évalué les besoins supplémentaires à trouver à l'horizon 2020 selon des scénarii relatifs à la préservation des débits réservés des rivières mobilisées, et des situations moyennes ou critiques de carême à satisfaire (voir tableau illustration 11).

- **Scénario A.** En situation de carême moyen, et avec l'objectif de maintenir les débits réservés à 15%, le débit de pointe supplémentaire à trouver serait de 42 000 m³/jour. Pour ce faire, trois bassins d'eau de surface seraient mobilisés à hauteur de 13 200 à 34 500 m³/jour, et il faudrait rechercher en outre de 7 500 à 28 800 m³/jour (2,7 à 10,5 Mm³/an) d'eaux souterraines. Un scénario (A5) qui ferait appel exclusivement aux eaux souterraines supposerait qu'on en recherche 42 000 m³/jour (15,3 Mm³/an).
- **Scénario B.** En situation de carême moyen, et avec l'objectif de maintenir les débits réservés à 20%, le débit de pointe supplémentaire à trouver serait de 63 100 m³/jour. Pour ce faire, six bassins d'eau de surface seraient mobilisés à hauteur de 16 000 à 35 100 m³/jour, et il faudrait rechercher en outre de 27 900 à 47 000 m³/jour (10,2 à 17,2 Mm³/an) d'eaux souterraines. Un scénario (B3) qui ferait appel exclusivement aux eaux souterraines supposerait qu'on en recherche 63 100 m³/jour (23 Mm³/an).
- **Scénario C.** En situation extrême, il faut satisfaire le carême sévère de récurrence 5 ans, avec les mêmes objectifs de débits réservés de 20%. Le besoin de pointe serait alors de 97 000 m³/jour. Seules les eaux souterraines seraient alors mobilisées, à hauteur de 88 100 m³/jour (32,2 Mm³/an).

Origine de ressource	Actuel	Scenarii A (déficit de 42 000 m ³ /jour)					Scenarii B (déficit de 63 100 m ³ /jour)			Scenario C
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	
ESO actuel	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900	8 900
ESO supplém.		7 500	28 800	28 800	21 500	42 000	27 900	47 000	63 100	88 100
Total ESO	8 900	16 400	37 700	37 700	30 400	50 900	36 800	55 900	72 000	97 000
ESU actuel	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800	138 800
ESU supplém.		34 500	13 200	13 200	20 500	0	35 100	16 000	0	0
Total ESU	138 800	173 300	152 000	152 000	159 300	138 800	173 900	154 800	138 800	138 800
Total m3/j	147 700	189 700	189 700	189 700	189 700	189 700	210 700	210 700	210 800	235 800
Part ESO sur supplément		18%	69%	69%	51%	100%	44%	74%	100%	18%
Part ESO / total	6%	8.6%	20%	20%	16%	27%	18%	27%	34%	41%
Cout M€		46.5	64.3	63.9	59.0	41.4	68.6	82.0	59.0	77.0
€/m ³ équipé		245	339	337	311	218	326	389	280	327

ESO : eau souterraine : par scenario : En rouge : maxima ; En vert : minima

ESU : eau de surface

Illustration 11 : Scenarii du Schéma Départemental AEP (provisoire 2007). En m³/jour.

Les eaux souterraines sont donc susceptibles de représenter à minima 18% des ressources supplémentaires à trouver, voire 40% à 70%.

On notera donc qu'à minima, la part des eaux souterraines pour l'AEP pourrait passer de 6% à 8,6%, soit environ 40% d'augmentation, et qu'à maxima elle atteindrait 27% (scenario B) et même 41% (scenario C) soit respectivement 4,5 à près de 7 fois plus qu'actuellement : c'est dire l'enjeu qu'elles représentent.

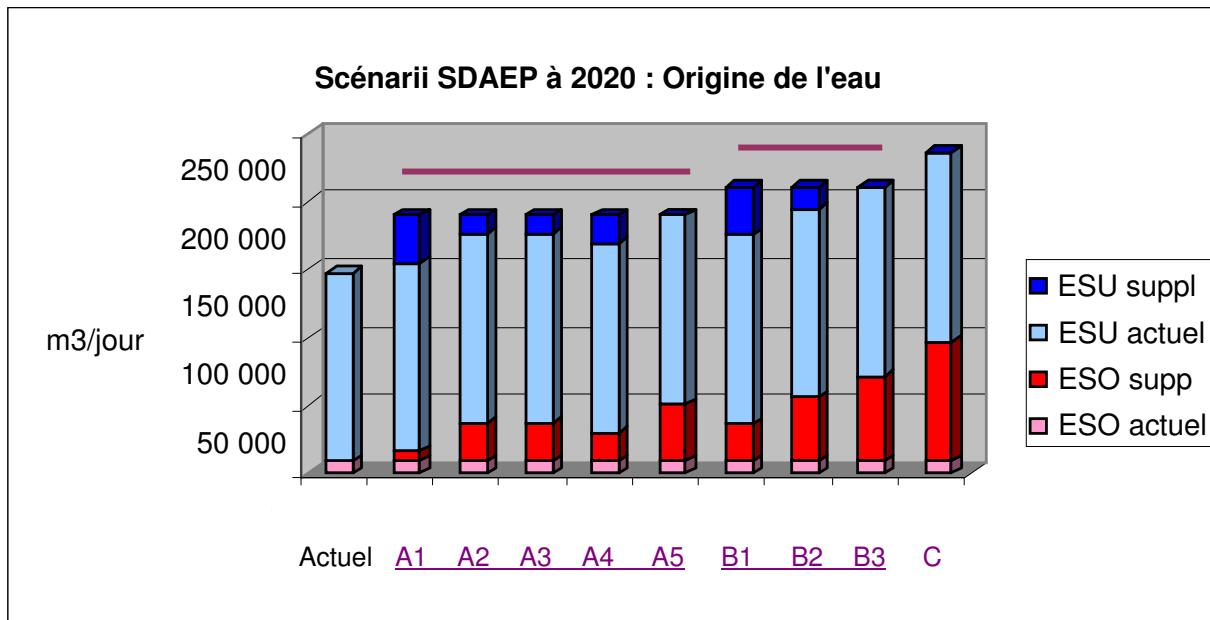


Illustration 12 : Scenarii du Schéma Directeur Départemental AEP : origine de l'eau

Pour n'évoquer que très succinctement un des aspects économiques liés à l'origine de la ressource en eau, on remarque en première approche des couts d'investissements des différents scenarii du SDDAEP, que ceux correspondant au recours maxima aux eaux souterraines (A5 et B3) seraient les plus économiques rapportés au m³ d'eau produit. Une telle analyse devrait toutefois être précisée et adjointe à une évaluation des coûts récurrents de fonctionnement.

Le critère économique fait partie des critères à prendre en compte, mais n'est pas le seul, comme cela ressortira du chapitre 4 ci-après.

1 forage de 10 m³/h peut donner environ 200 m³/jour, soit 182 500 m³/an, soit la satisfaction des besoins d'environ 1000 habitants.

1 forage de 45 m³/h peut donner environ 900 m³/jour, soit 328 500 m³/an, soit la satisfaction des besoins d'environ 4000 à 5000 habitants.

Pour l'agriculture, on observe que les besoins en irrigation semblent d'avantage intéressés par une offre plus régularisée de la ressource, notamment dans le sud de l'île où les eaux de surface n'offrent pas cette possibilité. Les projets concernent effectivement l'augmentation des ressources de surface régularisées : surélévation du barrage de La Manzo (augmentant de 0,75 Mm³ le réservoir de 7,9 Mm³, soit près de 10%), projet de barrage de Paquemar (4 Mm³). Au total, ces deux projets augmenteraient de 60% la ressource régularisée pour l'irrigation du sud.

Il n'y a pas de planification existante faisant appel aux eaux souterraines pour l'irrigation, hormis le projet de la Région à Rivière Salée, avec un objectif de 1 Mm³/an, soit l'équivalent de 2500 à 3000 m³/jour, à déduire des disponibilités pour l'AEP ci-dessus présentées.

3.4. RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU SOUTERRAINE : DISPOSIBILITÉS QUANTITATIVES

Dans quelle mesure les eaux souterraines pourront-elles effectivement répondre à l'évolution des besoins ?

Pour évaluer les dispositifs d'exploitation de ce potentiel en eau souterraine, il faut tenir compte de la productivité attendue des formations aquifères s'y trouvant (*v. illustration 2, ch.1*), et des possibilités géographiques d'implantations de zones de captages (approche macroscopique au 1/50 000. Il a été estimé par unité, le nombre maximum de forages, selon, leur classe de débits (de moins de 10 à 45 m³/h) permettant théoriquement de mobiliser cette ressource. On peut ainsi établir les bases de scénarii de mobilisation : par exemple, la disponibilité théorique totale (près de 80 000 m³/jour : *voir chapitre 2.2.*) pourrait être exploitée par 300 forages de tous débits.

L'illustration 13 visualise la dimension géographique de cet exercice.

En se limitant à des cibles de forages de 20 à 45 m³/h, une centaine d'ouvrages pourrait mobiliser jusqu'à 66 000 m³/jour, c'est-à-dire satisfaire aux hypothèses de 7 scénarii sur 9 (A1 à B2). A condition de ne pas exclure les forages de débits inférieurs à 10 m³/h, le 7^{ème} scénario (B3) serait accessible. Seul le scénario C nécessiterait un recours aux eaux de surface, à hauteur de ce qui est proposé par exemple pour les scénarii B2 ou A4.

On observe que les productivités (en débits ponctuels moyens par forage) des formations qui s'avéreront aquifères dans la moitié sud de l'île seront moindres que celles de la moitié nord. Ceci est dû à la nature et la structure géologique de ces formations. Les formations les plus productives du sud présentent donc a priori un intérêt plus fort en terme de cible (et donc de protection pour l'AEP). Dans un souci d'aménagement équilibré et équitable du territoire, il n'est donc pas à exclure de rechercher l'eau souterraine dans le sud, même avec des objectifs de productivités moindres.

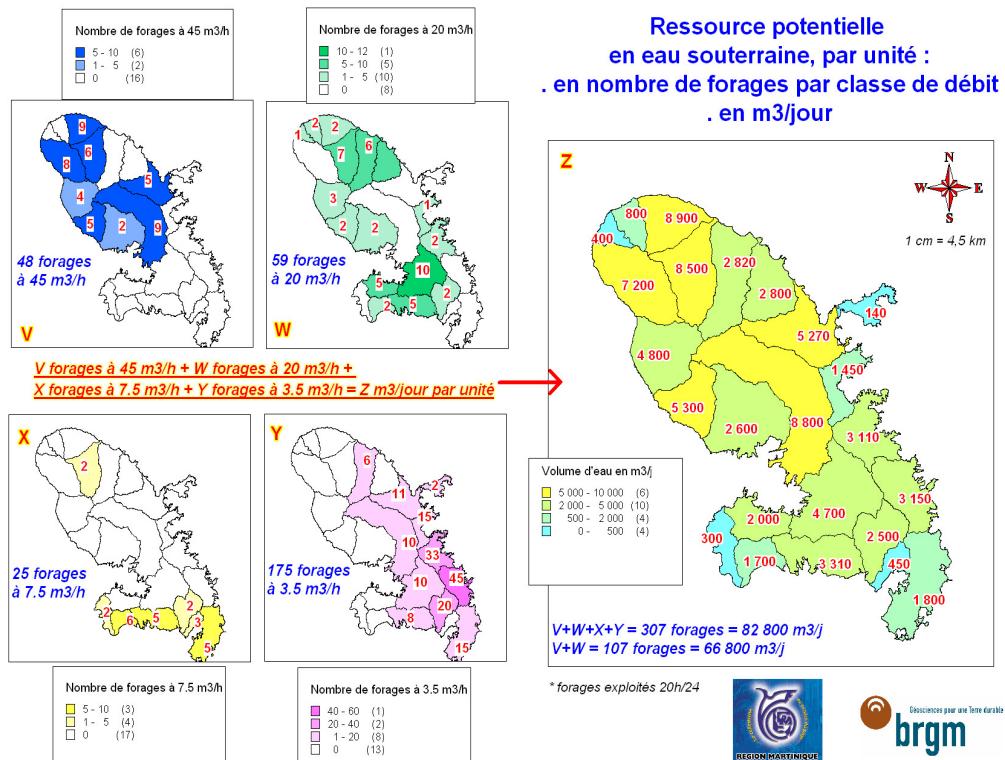


Illustration 13 : Répartition de la ressource en eau souterraine potentiellement exploitable par unité régionale hydrogéologique (Rapport BRGM RP-55099-FR)

3.5. LIMITES ET PRESSIONS SUR LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

Tout système de ressources a ses limites. En terme de gestion de cette ressource cela signifie que : tout aménagement (en l'occurrence sous forme de prélèvement pour les eaux souterraines et de prélèvement ou de régularisation artificielle pour les eaux de surface) aura inévitablement des impacts sur les milieux qu'il conviendra d'évaluer, pour les anticiper et maîtriser à bon escient.

Ces impacts sont d'ordre quantitatif (disponibilité renouvelable et régularité), qualitatif (qualité des eaux et vulnérabilité).

3.5.1. Limites et pressions quantitatives

Les disponibilités ci-dessus reposent sur des évaluations quantitatives faites dans le respect des équilibres (ressources renouvelables, impacts volontairement minimes sur les milieux). Les 80 000 m³/jour ne représentent que 9% de l'infiltration totale moyenne, c'est-à-dire de l'alimentation naturelle des eaux souterraines. Il n'y a donc

pas de risque de surexploitation globale des eaux souterraines si l'on s'en tient à ces disponibilités déjà ambitieuses (300 forages contre à peine une dizaine actuellement...).

Il faudra néanmoins veiller à éviter les surexplorations ponctuelle qui pourraient localement affecter soit des débits d'étiage de rivières, soit, plus gravement, l'équilibre du biseau salé en zone littorale, avec risque de salinisation des eaux difficilement réversible (voir ci-après chapitre 6.4.).

Rappelons qu'il n'en est pas de même pour les eaux de surface, soumises à une pression intense sur les systèmes de ressources (cours d'eau) exploités. Les eaux de surface mobilisées sont en effet proches du maximum de leur possibilités : les objectifs de 20% de débits réservés sont difficilement (voire rarement) respectés notamment en aval des prises d'eau importantes et en périodes critiques (saisons sèches).

Le débit réservé est le débit minimal à maintenir en permanence dans un cours d'eau au droit d'un ouvrage pour sauvegarder les équilibres biologiques et les usages de l'eau en aval.

Le débit réservé fixé pour l'instant à 10% du module inter annuel du cours d'eau (objectif 20% à l'horizon 2015), est globalement respecté sur les sites de prélèvements actuels ; bien qu'il n'y ait pas de système de régulation des débits au niveau des prises d'eau actuelles pour s'en assurer. Cependant, durant la période sèche, on constate de grandes difficultés à respecter ce débit dans les rivières, tout particulièrement lors de carême aigu où certaines rivières sont quasiment asséchées en aval immédiat des prises d'eau.

Il est à noter que le débit réservé pourra être remplacé par le débit minimum biologique (DMB) dans le but d'affiner les besoins des espèces aquatiques.

3.5.2. Limites et pressions sur la qualité de l'eau

La directive cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 impose aux Etats Membres de surveiller l'état de leurs masses d'eau (article 8).

Les niveaux de risque pour l'atteinte du bon état écologique à l'horizon 2015, des masses d'eau (ME) de Martinique telles qu'identifiées en 2004 a été évalué. L'illustration 14 en récapitule les résultats globaux.

	ME terrestres (eaux de surface)	ME souterraines	ME de transition (mangroves, salines)	ME côtières (littoral)
Non risques	17%	17%	0	0
Doutes	38%	50%	25%	63%
RNABE *	45%	33%	75%	37%

* RNABE : Risque de non atteinte du bon état écologique

Illustration 14 : RNABE 2015 global des masses d'eau de Martinique

Sans vouloir ici rentrer dans le détail, on constate que très peu de masses d'eau sont considérées comme à non risques.

Concernant les eaux de surface, on connaît le constat très sévère sur la qualité des eaux des rivières. Tous les types de pollutions (chroniques ponctuelles diffuses ou localisés) et tous types d'éléments (MO, azotées, phosphorées, toxiques, en suspension ou bactériologiques) étaient présents sur la quasi-totalité du territoire en 2002. (v. *Bilan du SDAGE, 2007*). Les eaux de baignade (littoral et rivières) étaient toutes en 2003 de bonne ou moyenne qualité, contre 81% seulement en 2007 (source DSDS). Le réseau d'observation de la DIREN observerait néanmoins une tendance à l'amélioration de certains paramètres depuis lors.

Masses d'eau souterraines		Etat chimique		Risque chimique 2015	Observations
		Nitrate	Pesticides		
9201	Nord			Fort	<i>Risque de pollution important aux phytosanitaires en raison d'utilisation ancienne de pesticides organochlorés.</i>
9202	Nord Atlantique			Fort	<i>Risque de pollution important aux phytosanitaires en raison d'utilisation ancienne de pesticides organochlorés.</i>
9203	Nord Caraïbes			Doute	<i>Zone de maraîchage sur la partie Sud de St Pierre</i>
9204	Centre			Doute	<i>Risque de pollution localement important aux phytosanitaires en raison d'utilisation ancienne de pesticides organochlorés.</i>
9205	Sud Atlantique			Doute	<i>Risque de pollutions locales aux phytosanitaires en raison d'utilisation ancienne de pesticides organochlorés.</i>
9206	Sud Caraïbes			Faible	<i>Faibles pressions anthropiques</i>

Illustration 15 : Risque de non atteinte du bon état chimique des masses d'eau souterraines en 2015, extrait de l'état des lieux du district.

Concernant les eaux souterraines, le tableau de l'illustration 15 précise les niveaux de risque pour chacune des 6 masses d'eau souterraines. Seules les 2 masses d'eau du nord et du nord-atlantique présentent un risque chimique élevé, essentiellement en raison des pollutions diffuses d'origine agricole (phytosanitaires). La cartographie en est représentée en illustration 16.

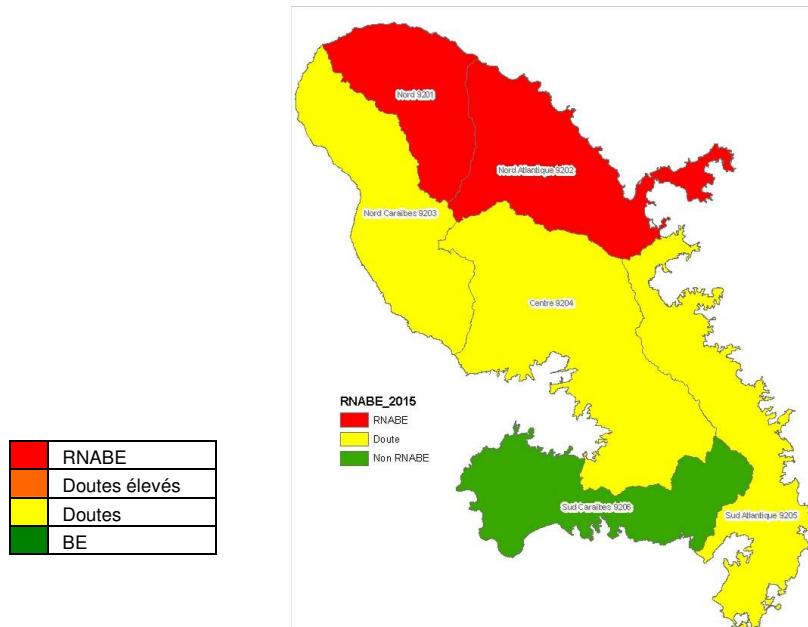


Illustration 16 : Masses d'eau souterraine identifiées en 2004 :
Respect des objectifs de qualité à l'horizon 2015

A l'horizon 2015, peu d'améliorations pourraient être attendues du fait des temps de réaction des milieux et de la rémanence de certains produits (dont le chlordécone). Ce premier constat est pessimiste, mais n'est cependant pas représentatif de la qualité de l'ensemble des eaux souterraines. On notera en effet que cette représentation est assez grossière, et peu opérationnelle au niveau régional, pour au moins deux raisons :

- Un doute persiste pour la plupart des masses d'eau souterraines comprenant des zones agricoles où il manque des points d'observation spécifiques analyser les eaux souterraines, et où les pratiques culturales anciennes ou récentes (bananes, cannes à sucre, maraîchage) sont susceptibles de contaminer directement ou indirectement les eaux.
- Le zonage est fondé sur l'identification des mases d'eau imposée en 2004 par la Directive cadre européenne, du moins pour les eaux souterraines. Depuis lors, l'élaboration du Système d'Information Régional sur les Eaux Souterraines de Martinique permet de préciser les choses, aussi bien géographiquement (en raisonnant par unité régionale, voire système aquifère lorsque les données existent), que vis-à-vis des différentes pressions sur la qualité des eaux, qui ne sont pas que d'origine agricole diffuses :
 - origines ponctuelles : agricoles (épandages de lisiers,...), industries, décharges mal contrôlées...
 - origines accidentelles : notamment sur les axes routiers,
 - origines domestiques : assainissement diffus largement déficient et non contrôlé,

- cas particulier du biseau salé : une surexploitation (au-delà de seuils à déterminer au cas par cas) des eaux souterraines peut entraîner une contamination saline des aquifères littoraux par remontée du biseau salé. Ce risque, avéré dans les systèmes insulaires, ne doit pas être négligé compte tenu de l'importance de la demande en eau potable sur la zone littorale.

C'est pourquoi a été privilégiée l'approche intégrée que permet l'exploitation du Système d'Information, en produisant des documents cartographiques croisés à partir de la répartition de la ressource, de son importance présumée, de sa vulnérabilité et des différents types de pressions l'affectant (voir Synthèse cartographique, rapport BRGM-RP 56242-FR, 2008).

La démarche employée a été en effet d'identifier le zonage et les niveaux des différentes pressions possibles, puis de le superposer au zonage de la vulnérabilité des systèmes de ressource pour produire des cartes de risques hiérarchisés. A ce stade on dispose donc déjà d'une vision intégrée des risques (différenciés ou globalisés, pondérés ou non...) sur la qualité des eaux souterraines, permettant, d'identifier les secteurs plus ou moins fragiles, et donc nécessitant plus ou moins de protection.

En croisant ce zonage de risques à celui de la ressource quantitative potentielle, les gestionnaires de la ressource disposeront d'éléments détaillés et objectifs pour définir et mettre en œuvre leur politique de préservation de cette ressource (v. ch. 6).

4. Pourquoi et quand recourir aux eaux souterraines ?

Le SDAGE de Martinique (2002) souligne l'intérêt de mettre en valeur les eaux souterraines et préconise 7 mesures à cet effet (mesures n° 17 à 23).

« ...l'exploitation des eaux souterraines permettrait (d'une part) de soulager le système (actuel) d'alimentation ...axé à plus de 90% sur les eaux de surface, et (d'autre part) de sécuriser la desserte sur les plans quantitatifs et qualitatifs en cas de problèmes techniques ou de catastrophes naturelles... » SDAGE, 2002, Vol.II. § 2.3.1.4.

L'eau souterraine n'est pas une ressource à part en soi : ce n'est que de l'eau qui, à un certain stade de son cycle et dans certaines conditions naturelles, se trouve dans le sous-sol, y circule et s'y accumule, plus ou moins vite, en plus ou moins grande quantité.

L'évaluation de la ressource en eau, et donc sa gestion relève donc d'une approche forcément globale, même si les milieux « contenants » sont totalement différents, et donc même si l'on doit faire appel à des méthodes très spécifiques. Ce principe d'unicité de la ressource avait déjà été souligné dès la première loi sur l'eau de 1992.

Les études d'évaluation menées dans le cadre du SIGESMAR l'ont bien montré. En conséquence, et bien qu'il s'agisse d'une ressource unique, selon les milieux où l'eau se trouve (surface ou sous-sol), les conditions d'accès, donc de connaissance à travers des mesures directes, et donc de mobilisation seront totalement différentes.

Il a été démontré que, globalement, il y a une ressource en eau souterraine, c'est-à-dire de l'eau dans le sous-sol, en quantité non négligeable, et mobilisée de façon encore très marginale. Donc le principe du recours à cette ressource semble inévitable, ne serait-ce que compte tenu de l'évolution des besoins, et des limites d'exploitabilité des eaux en surface qui sont de plus en plus fréquemment atteintes selon le bassins, aussi bien du point de vue quantitatif (débits réservés ou minima biologiques) que qualitatifs.

Si localement pourra encore se poser le choix d'alternatives des milieux à solliciter pour la mobilisation de la ressource en eau (surface ou sous-sol), il convient de bien rappeler au préalable les différents termes de ces contextes en termes d'atouts ou de contraintes, d'avantages ou d'inconvénients.

On rappellera ci-après les caractéristiques naturelles générales des eaux souterraines à prendre en compte dès lors que se pose la question de l'opportunité de faire appel à elles.

4.1. UNE RESSOURCE INVISIBLE

En surface, l'eau est visible ! Donc facilement accessible pour la caractériser (mesurer, analyser) et l'aménager via des travaux qui relèvent des techniques du génie civil et de l'hydraulique de surface. C'est pourquoi elle a très généralement et de tout temps été prioritairement mobilisée : l'homme s'est généralement installé à proximité, ou à défaut l'a amenée à lui (« adduction »). Sauf bien sûr en certains contextes d'aridité prononcée, où des techniques de mobilisation complexes et ingénieuses d'eau souterraine ont été développées (Chine ancienne, Moyen-Orient et bassin méditerranéen, même Sahara depuis un, peut-être deux millénaires...).

Invisible, l'eau du sous-sol doit donc être « recherchée », prospectée pour reprendre une terminologie minière, avec tout ce que cela représente comme approches spécifiques, fondées sur les connaissances géologiques et des méthodes d'investigations particulières, découlant également des méthodes et techniques de prospections pétrolières et minières (géologie, géophysique...), le but étant de minimiser le risque géologique inhérent à toute recherche en milieu invisible qui peut s'avérer couteuse si elle est menée de façon aléatoire ou hasardeuse. Ce sont notamment les techniques de forages développées pour la recherche pétrolière au début du XXème siècle, qui ont lancé et permis la recherche et le captage des eaux souterraines.

En Martinique, il s'avère que les eaux souterraines ont été explorées depuis plus de 30 ans ! (voir illustration 1, ch. 1). Mais ici aussi la priorité a été donnée à la mobilisation des eaux de surface visibles en s'affranchissant ainsi de tout risque, et en mettant en œuvre de gros moyens de génie civil (captages, voire barrage, traitements et adductions pour AEP). Il est vrai qu'il y a encore 20 ou 30 ans d'une part les connaissances hydrogéologiques de ces milieux volcaniques étaient faibles (la carte géologique n'a été publiée qu'en 1992), et d'autre part les moyens d'investigations n'étaient pas aussi performants. Les résultats n'ont donc pas été toujours jugés positifs eu égard aux besoins.

L'expérience montre que dans ce domaine du sous-sol, les études ne se faisant que dans le cadre de recherches pour exploitation, la connaissance n'augmente qu'avec le niveau d'exploitation.

Aujourd'hui la connaissance telle qu'elle est exprimée dans le SIGESMAR repose donc essentiellement sur une analyse documentaire d'investigations anciennes (années 70-80), sur la carte géologique des années 90, mais aussi sur des calculs par modélisation hydro-climatologique donnant *in fine* une estimation théorique de la ressource potentielle.

La recherche d'eau souterraine exige donc la mise en œuvre de méthodes et moyens spécifiques de prospection, d'identification en se donnant les moyens d'accéder directement aux couches ciblées comme potentiellement aquifères, permettant des évaluations quantifiées (en m³/an, ponctuellement en m³/h) et caractérisées (sensibilité, qualité des eaux, vulnérabilité...). Il en ressort fondamentalement que :

1. Toute certitude en la matière ne pourra résulter que de l'examen des résultats effectivement mesurés, et que s'agissant du milieu souterrain, cela ne pourra se faire **qu'à l'issue de travaux de prospections par forages**, avec interprétations et analyses de ce qu'ils mettent en évidence (nature et structure des terrains du sous-sol, essais de débits, analyses d'eau prélevée, etc.), et qui est totalement invisible et donc inaccessible sans ces investigations.

2. Or il existera toujours un « **risque géologique** », c'est-à-dire le risque de ne pas trouver ce que l'on espérait. Sachant que le stade de la prospection par forage a un coût non négligeable, il s'agit de minimiser ce risque. Un optimum doit donc être trouvé entre les moyens préalables que l'on se donne pour orienter au mieux ces prospections (voir ch. 5 ci-après), et ceux qui seront attribués à ces prospections. La prise en compte des enjeux sera déterminante (contexte de pénurie, voire de crise), mais aussi le contexte naturel (milieu aride, géologie complexe, ressource a priori profonde...).

Il faut souligner que cette notion de risque géologique, et donc d'échec possible des travaux de prospections exprimé en quantité d'eau découverte, est subjective. Elle est en effet relative ;

- d'une part aux moyens qui auront été mis en œuvre : volume et méthodes des études préalables, technologies, nombre et profondeurs des investigations...donc des budgets consacrés,
- d'autre part des objectifs eu égard aux enjeux : trouver 2 m³/h en contexte aride ou en milieu isolé à besoins limités est un succès alors que ce peut être considéré comme un échec s'il s'agit de rechercher un appont à des forts besoins déjà partiellement ou potentiellement pourvus par ailleurs.

Une stratégie de prospection devra donc intégrer cette notion de risque géologique, tout en le minimisant en se donnant des moyens cohérents avec les enjeux. Et en sachant que ce risque diminuera forcément au fur et à mesure que les prospections auront lieu (dans le Sahel, le taux moyen d'échec est passé de plus de 50% à moins de 20% en une décennie de travaux portant sur des centaines de forages).

3. Tout ceci nécessite donc de s'assurer de la mobilisation de **compétences très spécifiques** à tous les stades.

Les méthodes de prospection ainsi que les procédures et étapes jusqu'à la mise en exploitation de captages d'eau souterraines sont présentées et détaillées chapitre 5 ci-après.

4.2. UNE RESSOURCE REGULARISÉE

L'eau souterraine n'est que de l'eau stockée de façon naturelle dans des structures géologiques favorables (aquitaines) du sous-sol. Compte tenu des vitesses de circulation dans ces milieux (à l'échelle du mm/jour au cm/jour...), et des volumes de stockage, surtout en milieux poreux, elles offrent une régulation naturelle que ne connaissent pas les écoulements superficiels (vitesses du cm/seconde au m/seconde), sauf à les « aménager » au moyen de dispositifs particuliers (retenues, barrages...).

Cette régularisation naturelle souterraine est plus ou moins intense, dépendant des caractéristiques hydrodynamiques intrinsèques des formations (perméabilités,...), et des volumes en jeu (apports). Elle confère une inertie à ces volumes d'eau emmagasinés permettant de disposer d'une ressource protégée des rapides fluctuations d'apports (pluviométrie et écoulements de surface induits). Elle offre donc généralement un recours assuré en période de déficits d'apports par rapport aux besoins (voir ch. 2.3 ci-dessus).

A condition d'en bien connaître les fonctionnements hydrauliques, une gestion active de la ressource est même possible en jouant sur cette capacité naturelle : en intensifiant momentanément les prélèvements (emprunt sur le stock), et en tablant sur la reconstitution ultérieure (remboursement), soit naturelle, soit artificiellement encouragée (recharge artificielle).

Ces notions relatives à la gestion de la ressource seront développées au chapitre 6 ci-après.

On retiendra que les aquifères constituent donc des structures naturelles de stockage des eaux, permettant une gestion de la ressource complémentaire à celle des ressources en eau de surface, avantageuse notamment sur le plan sécuritaire. Car un objectif fort de gestion quantitative de la ressource en eau est de maximiser les disponibilités régularisées, aussi bien au niveau de la consommation instantanée pour la sécuriser (stockages...), qu'au niveau inter saisonnier pour prévenir les situations de crises et en minimiser les effets.

Rappel de quelques ordres de grandeur comparés de stocks disponibles en Martinique :

- *Rivières : aucune capacité sans aménagement avec stockage (barrage et retenue).*
- *Ensemble des dispositifs de stockages AEP : 0,17 Mm³ (soit 1,7 jour de consommation)*
- *Capacité de la retenue de la Manzo : plus de 8,5 Mm³ (et 4 Mm³ projetés à Paquemar)*
- *Volume d'eau infiltrée dans le sous sol (v. ch. 2.2.) : 327 Mm³/an, capacité théoriquement exploitabile sans impacts : 24 à 29 Mm³, avec possibilités de gestion active du stock.*

4.3. UNE RESSOURCE PRÉSUMÉE DE PROXIMITÉ, NOTAMMENT POUR L'AEP

En surface, l'eau circule linéairement, alors que dans le sous-sol elle peut « s'étaler », d'où la terminologie de « nappe » couramment utilisée, même si elle peut aussi circuler le long de discontinuités particulières (dans les fracturations, comme cela peut être fréquemment le cas en milieu volcanique – mais pas seulement).

L'eau s'infiltra sur la majorité des terrains (à des niveaux bien sûr variables selon les conditions locales (pentes, nature et occupation des sols, nature du sous-sol...)). A priori on est donc susceptible d'en trouver partout, bien qu'elle soit plus ou moins accessible (profondeurs, continuité / discontinuités...), que les terrains permettent plus ou moins facilement leur extraction (productivité), et qu'elle présente des conditions de stockage également variables (d'où la nécessité de rechercher « prospecter » les endroits les plus favorables). En tout état de cause elle offre des surfaces d'accès sans commune mesure avec les linéaires de rivières, et donc peut donc bénéficier d'une « présomption » de proximité.

Dès lors, si son exploitation locale est possible près des besoins, elle peut donner lieu à de substantielles économies en matière d'adduction. Par ailleurs, cela peut également minimiser les risques inhérents aux longues adductions (ruptures accidentelles, contaminations...), et les contraintes de maintenance. On pourra aussi avantageusement rechercher des implantations non seulement en fonction des besoins, mais aussi tenir compte des infrastructures d'adduction existantes pour pouvoir s'y greffer.

Si par contre les débits unitaires mis à jour sont faibles (compte tenu du contexte) au regard des besoins, ou encore à défaut d'alternatives économiques, les points de captages peuvent devoir être multipliés, et donc aussi les équipements de production, avec les sujétions économiques et de maintenance induites. Là encore un optimum devra être trouvé entre ces contraintes et les bénéfices escomptés eu égard aux enjeux. Cette problématique peut se poser notamment pour la moitié sud de la Martinique.

4.4. UNE RESSOURCE ENCORE TRÈS PEU EXPLOITÉE

Il n'y a pas de pression particulière sur la ressource en eau souterraine (*voir ch. 3.5.1 ci-dessus*).

Compte tenu des niveaux actuels de mobilisation, il n'y a donc pas de risque de surexploitation chronique à moyen terme : les prélèvements sont globalement bien inférieurs aux apports renouvelables (3,4 Mm³/an sur les 335 Mm³/an d'infiltration, soit 1%).

La ressource potentielle évaluée (30 Mm³/an) correspondrait à 9% seulement de la part d'eau infiltrée ou 2,3 % de la pluie efficace. Parmi ces 30 Mm³/an, la part d'eau

provenant de l'infiltration est de 14 Mm³/an ou 4,3% de la part d'eau infiltrée), et la part régularisable par gestion active est de 16 Mm³/an ; ces 16 Mm³ proviendraient d'une diminution de 1,6% du ruissellement rapide en période de saison des pluies

La Martinique n'est donc pas, vis-à-vis de cette ressource en situation de devoir gérer un risque de surexploitation (comme c'est localement et épisodiquement le cas pour les eaux de surface compte tenu des débits à réserver). Elle est par contre en situation favorable pour pouvoir anticiper les conditions et les limites d'une bonne gestion, c'est-à-dire de prévenir et non de guérir. Sur une perspective à moyen terme, il ne faut cependant pas négliger de se donner dès à présent les moyens de le faire, donc d'acquérir les connaissances nécessaires à l'établissement de cette stratégie de gestion. Ces aspects seront développés au chapitre 6 ci-après.

4.5. UNE RESSOURCE DE QUALITÉ, NOTAMMENT POUR L'AEP

La qualité des eaux souterraines, et surtout leurs conditions de vulnérabilité et les pressions susceptibles de les affecter ont été largement résumées ci-dessus aux chapitres 2.4, 2.5 et 3.5.2. Ces approches, détaillées dans des volets spécifiques du SIGESMAR, doivent être relativisées à la qualité des eaux de surface.

Précisons d'abord que cette prise en compte de la qualité s'entend essentiellement dans une perspective d'usage AEP de la ressource. Les technologies d'aujourd'hui permettent a priori de traiter, c'est-à-dire potabiliser n'importe quelle eau (même de l'eau de mer !) : ce n'est qu'une question de coûts, non seulement d'investissements, mais aussi et surtout de fonctionnement (énergie, maintenance, intrants chimiques, devenir des résidus...).

Il a été montré que du point de vue naturel, seuls le Fer et le Mn des eaux souterraines devront être réduits, ce qui est très couramment le cas pour les eaux souterraines, et très facilement réalisable. Localement, sur le littoral, le risque de contamination par le NaCl marin devra être contrôlé par les niveaux de pompages.

Quant aux contaminations potentielles d'origines anthropiques, les eaux souterraines sont a priori mieux protégées, et d'autant plus (mais pas seulement) qu'elles sont profondes (*voir ci-dessus ch. 2.5., et carte de l'illustration 10*).

- **Risques accidentels** : compte tenu de l'« étalement » des nappes, l'espace concerné par ces risques est a priori plus vaste que pour les rivières, qui, elles, ne sont menacées qu'au droit des lits (majeurs). Par ailleurs, on peut espérer qu'une rivière accidentellement polluée puisse retrouver sa qualité antérieure après au plus un cycle hydrologique, compte tenu des vitesses d'écoulement. Pour les eaux souterraines, il peut se créer un « panache » de pollution qui affectera beaucoup plus durablement le système. D'où l'impérieuse nécessité de respecter les prescriptions relatives aux périmètres de protection des captages par exemple.

Par contre, une pollution de rivière aura un impact sur les biotopes aquatiques et l'environnement de surface que n'aura pas directement une pollution souterraine.

- **Risques diffus** : les rivières sont le réceptacle de ruissellements contaminés, et peuvent donc concentrer ces contaminations, dès lors qu'elles ne sont pas chimiquement piégées. A ce titre, et dans les secteurs où ces deux ressources sont affectées, elles présentent des niveaux de contaminations pas moindres que ceux des eaux souterraines.

Du fait de leur « étalement », les eaux souterraines devraient être plus fréquemment touchées, mais les phénomènes de rétention (sorption) par les sols et les formations du sous-sol sont susceptibles de jouer un rôle protecteur ou au moins retardateur : les processus de transferts des molécules phytosanitaires vers les eaux souterraines sont encore mal connus dans le contexte martiniquais et doivent faire l'objet de recherches approfondies eu égard aux enjeux (v. chapitre 6.3.1).

Par contre, les contaminations bactériologiques (consécutives à des assainissements diffus non performants) doivent être a priori majoritairement filtrées par le sous-sol avant d'atteindre les nappes (sauf en cas de milieux très discontinus à circulations de fissures), contrairement aux cours d'eau qu'elles affectent souvent directement.

On voit qu'il n'y a pas de solution unique vis-à-vis de toutes les configurations de risques de contaminations des eaux, et que la gestion qualitative de cette ressource doit faire l'objet de mesures spécifiques, au-delà de la fixation plus ou moins arbitraire d'objectifs de qualité, fondés sur des connaissances de mécanismes encore incomplètes, devant permettre des études alternatives technico-économiques réalistes. Objectifs et réglementation « a priori » sont nécessaires mais insuffisants.

Rappels :

- 93% de l'eau mobilisée pour l'AEP provient de rivières
- 2 bassins (Capot et Lézarde / Rivière Blanche) assurent la moitié de la production d'AEP.

4.6. UNE RESSOURCE SECURISÉE, NOTAMMENT POUR L'AEP

Du double fait de l'accroissement naturelle de la demande en eau potable (évolution de la population, développement économique...) et de menaces sur la régularité de la ressource naturelle, les situations de crises ont tout lieu de s'amplifier dans les années à venir. Les Collectivités sont conscientes de devoir mettre en place des actions visant à la sécurisation de l'approvisionnement en eau des populations, pour des objectifs aussi bien sanitaires, sociaux et économiques qu'environnementaux. C'est d'ailleurs l'un des objectifs du SDAGE de Martinique révisé : « ...soulager le système (actuel) d'alimentation de sécuriser la desserte (AEP) sur les plans quantitatifs et qualitatifs, en cas de problèmes techniques ou de catastrophes naturelles... »

Or, de l'ensemble de leurs caractéristiques présentées ci-dessus, il ressort que les eaux souterraines constituent une ressource sécurisée à plusieurs titres :

- sur le plan quantitatif, du fait de leur régularisation naturelle, de stocks très importants, de leur inertie face aux variabilités climatologiques saisonnières et aux évènements extrêmes, de la possibilité qu'elles offrent de gérer activement ces stocks, quitte à d'avantage maîtriser les processus par des dispositifs appropriés, légers et déconcentrés.
- sur le plan qualitatif, du fait de leur bonne qualité naturelle et leur relativement bonne protection, même si elle est variable dans l'espace, et que leur inertie implique une remédiation naturelle difficile en cas de contamination (ce qui n'exclut pas alors les possibilités de traitement similaires à ceux des eaux surface contaminées de façon plus chroniques).
- Sur le plan des impacts environnementaux, du fait de leur emprise minimale au sol : foncier réduit, aucun rejet ni aucune nuisance dans l'environnement immédiat, et dès lors également que les niveaux d'exploitation auront été déterminés de façon à n'avoir aucun impact sur les débits d'éventuels cours d'eau de proximité.
- sur le plan des équipements, du fait de l'absence de travaux lourds de génie civil devant répondre à des normes parasismiques par exemple, ou à l'abri de risques liés aux écoulements rapides (crues, transports solides et sur-sédimentation, instabilités de sols...). Ceci aussi bien au niveau des dispositifs de captages (espaces très restreints, sans impacts fonciers majeurs, ni aucun impacts environnementaux) que des systèmes d'adduction qui, a priori moins longs, puisque plus proche des usagers, seront eux aussi moins sujets aux risques inhérents aux linéaires (ruptures, contaminations...).
- sur le plan du fonctionnement, du fait de la multiplicité (jusqu'à un certain point économique...) des captages qui dilue les risques de défaillances ponctuelles, dès lors que toutes les interconnexions ont été prévues.

4.7. UNE RESSOURCE DIVERSIFIÉE

Des lors que des besoins en eau ont été identifiés et exprimés (selon toutes les composantes rappelées au ch. 3.1. ci-dessus) doit se poser la question de la nature et l'origine de la ressource. Les alternatives possibles sont limitées : eau de surface, eau souterraine, eau de mer, voire réutilisation des eaux usées.

- Il a été évoqué les limites des ressources en eau de surface (même si localement il peut s'en trouver), et les contraintes, de leur mobilisation et mise à disposition. Certaines de ces contraintes sont techniquement maîtrisées (traitements...), d'autres non (débits réservés).
- Le dessalement de l'eau de mer est une technologie de mieux en mieux maîtrisée. Elle est cependant encore très exigeante en énergie, donc coûteuse. Dans nos

contextes elle est encore le dernier recours, et n'offre que des productions ponctuelles limitées (surtout s'il fait appel à de l'énergie renouvelable telle que solaire).

- La réutilisation des eaux usées peut offrir des avantages, mais reste également ponctuelle, et pour des usages non alimentaires.

- Quant aux eaux souterraines, du fait de leurs caractéristiques largement développées ci-avant (disponibilité et régularisation, qualité, bonne protection naturelle, proximité possible - souvent en amont - des zones de consommation...), elles devraient être prioritairement dédiées à sécuriser les dispositifs d'AEP, mais sans exclure, au besoin, les études de ressources alternatives. Cette contribution majoritaire des eaux souterraines pour l'AEP est d'ailleurs très courante dans le monde, notamment en milieux tempérés (voir les SDAGE) et arides.

Alors qu'en Martinique, on observe une mobilisation quasi-exclusive des eaux de surface, aussi bien pour l'irrigation (ce qui est normal) que pour l'AEP (ce qui l'est moins), les eaux souterraines devraient être une ressource complémentaire, mais qui contribuera, à la hauteur de sa mobilisation, à la sécurisation de la desserte sous tous ses aspects, en jouant sur la diversification, tout en minimisant les impacts environnementaux.

4.8. UNE RESSOURCE A MOBILISATION SANS IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La mobilisation des eaux souterraines par captages (forages) n'a quasiment pas d'impact sur l'environnement :

- l'emprise foncière est minime,
- l'impact paysager est nul,
- les disponibilités globales ont été évaluées pour ne pas impacter de manière significatives d'éventuels écoulements de surface de proximité, même les débits d'étiage
- les dispositions réglementaires de protection de la qualité des eaux et de la prévention des risques dans les périmètres définis vont dans le sens d'une bonne maîtrise environnementale (occupation des sols, activités polluantes,...).

Synthèse et perspectives pour une mise en valeur et une gestion durable des eaux souterraines
de Martinique

5. Comment recourir aux eaux souterraines ?

5.1. CROISER LES EXPRESSIONS DE LA DEMANDE ET DES RESSOURCES POTENTIELLES EN EAU

L'expression des besoins est multiforme (v. ch. 3.1). Ce n'est donc pas sa seule dimension géographique (localisation) qui, croisée avec la disponibilité spatiale des ressources, suffira à déterminer la ressource optimale à mobiliser. Le sujet n'est pas ici de préciser la démarche qui devrait prévaloir à ce choix, car il est multicritère. On ne retiendra donc que la nécessité de procéder de manière précise et objective à cette analyse, car les enjeux seront de plus en plus importants en contexte de pressions accrues sur des ressources limitées, voire menacées.

Il s'agit donc de se situer dorénavant au niveau local (bassin de besoin, périmètre administratif ou naturel...). Une fois les besoins exprimés, le choix de la ressource doit être objectivement fait parmi les différentes alternatives possibles, leurs avantages et contraintes. Des études technico-économiques peuvent s'avérer nécessaires selon les enjeux. Dès lors que le choix a été fait de recourir aux eaux souterraines, notamment sur la base d'éléments issus du Système d'Information sur les eaux souterraines, il s'agit de mettre en œuvre une démarche raisonnée visant à vérifier et caractériser l'existence d'une telle ressource, puis à définir les conditions de son exploitation optimale, c'est-à-dire raisonnable et durable. Car bien que renouvelable, la ressource en eau, aussi bien souterraine que superficielle, demeurera fragile, surtout en contexte insulaire limité et soumis à de forts aléas.

Comment identifier une ressource locale en eau souterraine ? Il convient dans un premier temps de déterminer le domaine naturel d'extension du ou des systèmes susceptibles d'être mobilisés, et donc devant être le cadre de la gestion de la ressource : aire d'alimentation jusqu'à l'exutoire naturel, a priori la mer, ou à défaut un système aval, incluant donc toutes les zones de besoins et d'impacts possibles liés à la continuité hydraulique des écoulements.

Dans un deuxième temps, seront identifiés les zones a priori favorables pour la recherche et la mise en valeur de ces ressources, tant sur le plan des quantités disponibles que sur celui de la qualité des eaux en fonction des usages prévus, tout en minimisant le risque d'échec géologique (ou en maximisant les chances de mettre en évidence une ressource exploitable significative). Cette étape pourra se faire sur la base d'une approche documentaire, notamment par exploitation du SIGESMAR, mais aussi avec tous les croisements possibles de paramètres devant être pris en considération par l'exploitant, selon les stratégies prédefinies (priorité à la quantité, à la qualité, à la proximité des usages, des réseaux existants, des voies de communication, etc...). Ne seront pas perdus de vue les différentes composantes de l'évaluation de la ressource : quantité et sensibilité, qualité des eaux, vulnérabilité et éventuellement risque lié au biseau salé.

L'AEP privilégiera la qualité, la régularité et la sécurité, la vulnérabilité aux risques éventuels liés au fond géochimique mais plus sûrement aux pressions anthropiques polluantes

(agriculture, domestiques, routiers) : cela peut conduire à devoir trouver des compromis entre le minimum de risque géologique (aspects quantitatifs) et le minimum de risque sur la qualité de l'eau. C'est notamment le cas lorsque les pressions identifiées sont fortes (zones agricoles du nord-atlantique par exemple) privilégier la proximité d'infrastructures existantes

Comme dit précédemment (v. § 4.3), c'est à ce stade que le maître d'ouvrage pourra aussi vouloir prendre en compte les infrastructures hydrauliques existantes (réservoirs, réseaux, ...).

L'irrigation par contre privilégiera la recherche de quantité plutôt que de qualité de l'eau. Mais aussi généralement la proximité de terres irrigables (voire même au cœur de celles-ci, ou même à l'amont...ce qui serait une contrainte d'implantation supplémentaire.

Ces zones seront réputées devoir être prospectées en vue d'identifier d'éventuels secteurs favorables pour des investigations locales détaillées.

5.2. MÉTHODES ET TECHNIQUES DE PROSPECTION

La phase de prospection doit aboutir à la décision ou non de réaliser les travaux définitifs d'exploitation. Elle doit comporter plusieurs étapes qui s'enchaînent en s'enrichissant.

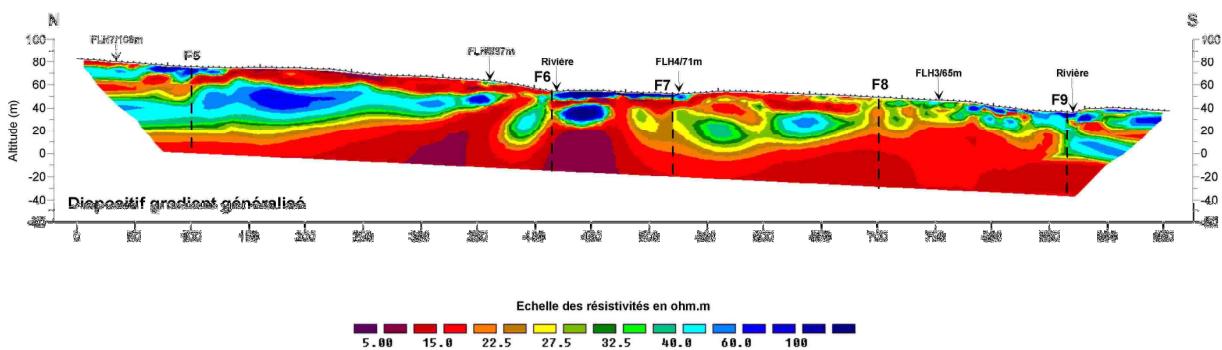
5.2.1. Elaboration d'un modèle hydrogéologique conceptuel

Pour chaque site identifié comme favorable, il est nécessaire d'élaborer un modèle hydrogéologique conceptuel, permettant de caractériser la structure et le fonctionnement de l'aquifère. Fondé sur le recueil et la synthèse de l'ensemble des données géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques disponibles au niveau du bassin, ce modèle précisera notamment la nature et la géométrie des réservoirs (limites, épaisseurs), les directions préférentielles d'écoulement, l'aire d'alimentation et éventuellement ses caractéristiques hydrodynamiques potentielles. Il servira d'une part à identifier les zones favorables ou planter les travaux de reconnaissances, et à dimensionner ceux-ci. En outre, il sera utile à l'hydrogéologue agréé pour la définition des périmètres de protection.

L'expérience montre que plusieurs étapes sont nécessaires :

- **Une synthèse documentaire** de l'ensemble des données disponibles (géologiques, hydrogéologiques...), notamment par exploitation du SIGESMAR.
- **Des investigations de terrain de type naturaliste**, à la fois géologiques et hydrogéologiques, ayant pour objectif principal l'observation et l'acquisition de toutes les données de détail possibles susceptibles de renseigner les objectifs dans le périmètre admis a priori d'alimentation du secteur (qu'il vaut mieux maximiser par précaution) : topographie et accès, occupation du sol, cartographie géologique, lithologie, sources, hydrologie, mesures in situ, pressions diverses...
- Des investigations indirectes de type géophysique : Le contexte géologique est très hétérogène dans les trois dimensions (en extension et en profondeur). Par ailleurs, les

connaissances disponibles sont encore imprécises à l'échelle locale (la carte géologique est au 1/50 000ème, et le SIGESMAR ne peut fournir les profondeurs absolues des formations identifiées). Tout ceci plaide pour la mise en œuvre de méthode d'investigations géophysiques préalables, du moins dès lors que les enjeux le justifient au regard des connaissances locales. La méthode des panneaux électriques est actuellement la méthode indirecte la plus efficace en milieu volcanique. Elle réalise à la fois une investigation en profondeur et une investigation en profil, comme représenté dans l'illustration 17 ci-dessous.



Le dispositif d'acquisition de données est composé de plusieurs câbles électriques et d'électrodes. Un dispositif complet mesure plusieurs centaines de mètres de long. Sa profondeur d'investigation est généralement comprise entre 60 et 80 m. La mise en œuvre est souvent contrainte, selon l'environnement, par des considérations d'accès, et parfois par des interférences électriques avec lignes électriques, poteaux métalliques, canalisations, etc., dont il faut savoir tenir compte au moment des interprétations.

- *Une synthèse de toutes ces investigations* est alors élaborée sur la base de données qui ont pour point commun de ne faire appel qu'à des informations documentaires et du recueil d'observations et de mesures de surface. Le modèle conceptuel hydrogéologique qui synthétise ces investigations a pour objet (entre autre) de proposer précisément les sites de reconnaissance par forages en minimisant l'inévitable risque géologique, donc le coût du projet de prospection. Au regard des budgets de prospection, et encore plus si l'on considère l'investissement total, le coût d'élaboration de ce modèle est relativement mineur, alors qu'il est d'une importance fondamentale.

Le modèle conceptuel doit produire à minima : des cartes et coupes géologiques interprétatives, avec identification des formations rencontrées (lithologie, origine, corrélation avec la géologie régionale telle que connue), géométrie supposée (extensions latérales, épaisseurs, géométrie), l'identification et la caractérisation de la

formation aquifère-cible, et du ou des imperméables, le fonctionnement hydraulique supposé de l'aquifère (extension et localisation des zones de recharge, ébauche piézométrique, relations éventuelles avec les eaux de surface ou d'autres systèmes). Des investigations locales spécifiques peuvent parfois s'avérer nécessaires (comme par exemple pour s'assurer de la réelle connexion d'un cours d'eau avec l'aquifère considéré).

Plusieurs hypothèses de modèles peuvent être établies à ce stade, compte tenu de la pertinence des informations recueillies et traitées. Sur la base de ce (ou de ces) modèle(s) sont alors proposées des implantations de sites de forages de reconnaissances. Les hypothèses inhérentes aux implantations devront être clairement explicitées, afin de bien comprendre, par la suite, les raisons du succès ou des échecs des forages.

5.2.2. Implantation des forages de reconnaissance

L'implantation des forages est une étape également délicate. La précision des implantations sur critères hydrogéologiques dépendra des moyens mis en œuvre pour élaborer le modèle conceptuel. Mais, outre ces critères et les critères environnementaux qui avaient déjà prévalu aux choix des sites (v. § 5.1.), elle devra aussi tenir compte d'autres critères locaux tels que l'accessibilité (aux machines de forage), la propriété foncière, etc., avec toutefois le risque d'augmenter le « risque géologique ».

En effet, toute prise en considération (inévitable mais à des degrés variables selon les configurations) de critères autres que purement hydrogéologiques a pour effet d'augmenter le « risque géologique » relatif aux quantités d'eau espérées. Inversement, il serait très inopportun d'envisager de faire les forages « uniquement là où on peut » : il faut se donner les moyens d'aller autant que possible là où il faut, ce lieu résultant d'un compromis accepté en toute connaissance de cause, et notamment de l'évaluation des risques (quantités, qualité) ou des couts induits. Ces moyens devront dépendre avant tout des enjeux.

La réalisation de forages de reconnaissances permet donc d'acquérir de nouvelles données sur le site étudié. Outre la validation de l'exploitabilité du site, ces données permettront d'améliorer la compréhension du fonctionnement du système et de préciser (confirmer, infirmer) le modèle conceptuel. Les forages de reconnaissances permettent également de caler les mesures géophysiques grâce à la coupe géologique acquise, et de permettre de tester la nappe rencontrée grâce à des essais de pompages.

Il est indispensable de prévoir plusieurs forages de reconnaissances avant de réaliser des forages d'exploitation, pour tenir compte du risque, et afin de pouvoir les dimensionner au mieux, selon les caractéristiques hydrodynamiques du site, et donc de garantir leur performance et pérennité.

5.2.3. La réalisation des forages de reconnaissances

La phase de réalisation de forages suppose que la maître d'ouvrage ait préalablement respecté les procédures administratives en vigueur (déclaration, autorisation,...v. *ci-après § 5.3*).

Là aussi les actions doivent s'enchaîner selon un processus logique et planifié.

- Après implantations, les spécifications techniques sont élaborées sur la base du modèle hydrogéologique conceptuel et d'objectifs de quantités. Le budget est évalué sur ces bases, en tenant compte de toutes les contraintes, y compris d'accès, de disponibilités locales ou non de matériel et de compétences, d'éventuels effets d'échelle. Après consultation où la compétence sera déterminante pour ce type de travaux « à risques », les contractualisations sont établies entre le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et le foreur.

Les forages devront absolument être réalisés selon les règles de l'art (certains foreurs adhèrent à une charte professionnelle de « bonnes pratiques »), et selon la réglementation en vigueur. Un contrôle minutieux par hydrogéologue compétent en techniques de forage sera assuré en conséquence : en effet ces techniques sont très particulières, et le travail se fait en grande partie « à l'aveugle » puisque souterrain.

- La réalisation de forages peut en effet se révéler difficile à gérer selon un contexte géologique qui n'est réellement découvert qu'à l'avancement, mais aussi selon les intempéries (saison des pluies pouvant compromettre les accès). Compétences humaines, fiabilité des équipements, réactivité, facultés d'adaptation, organisation... seront autant de facteurs déterminants pour le succès des opérations (il arrive que des forages soient déclarés infructueux alors que les véritables raisons de l'« échec » sont liées à une insuffisance de qualité du travail – et/ou de contrôle -, ou encore à un budget sous-estimé pouvant se traduire en l'arrêt prématuré de la foration à une profondeur insuffisante).

Un forage est une opération très délicate qui demande un savoir faire de la part de l'entreprise de forage et nécessite un cadrage technique et un contrôle rigoureux *in situ* de la part du maître d'œuvre. Un soin particulier sera à apporter au cahier des charges afin de prévenir le foreur des difficultés attendues et préconiser des solutions réfléchies et adaptées.

- Deux techniques de forages peuvent être utilisées pour les formations pyroclastiques :
 - Forage « au rotary à la boue »
 - Forage « à l'air au marteau-fond de trou » (MFT)

La technique du forage au rotary est la seule technique efficace pour forer des formations meubles saturées. En effet, l'usage d'une boue de forage permet, de part sa densité et sa viscosité, d'exercer une pression hydrostatique qui maintient les parois du trou et freine les arrivées d'eau. Le forage peut ainsi être équipé dans de bonnes conditions. Cette technique exige donc de pouvoir disposer d'eau durant le chantier. Les rejets d'eaux chargées devront respecter les contraintes de protection environnementale.

Ce type de forage nécessite une grande expérience du foreur, et du matériel spécifique adapté, notamment concernant le type de boue utilisée qui doit être tout particulièrement contrôlée tout au long du forage (viscosité et densité notamment). L'utilisation de boue biodégradable peut présenter des avantages dans ce domaine, à condition de prévoir une javellisation pour détruire l'activité bactérienne inhérente à ce type de boue.

L'utilisation d'une boue de forage trop épaisse (souvent utilisée par des foreurs craignant que le terrain ne tiennent pas ou, pour éviter les pertes d'eau dues à la bonne perméabilité des terrains), créé une couche épaisse (« cake ») sur la paroi du trou, d'une part difficile à nettoyer, et d'autre part masquant les venues d'eau et contribuant ainsi au colmatage prématué de l'ouvrage. Le colmatage semble avoir été un problème récurrent en Martinique.

La technique du forage à l'air au marteau fond de trou est d'autant plus performante que les terrains forés sont durs et résistants permettant une bonne tenue du trou. Cette technique utilise de l'air (grâce à un compresseur) comme fluide de forage, ce qui permet d'une part de récupérer et décrire facilement les débris remontés (« cuttings »), et d'autre part d'identifier avec précision les venues d'eau (débits et profondeurs). Il n'y a donc pas de risque de colmatage. Cette technique ne nécessite pas d'eau sur le chantier. L'inconvénient est qu'elle ne permet pas de traverser les terrains meubles.

Pour ce faire, il est alors indispensable de pouvoir mettre en place un « tubage à l'avancement », afin de compenser la faible tenue des terrains. Ceci nécessite néanmoins une machine relativement puissante dès que l'on dépasse les 50 mètres de profondeur. Un des inconvénients du tubage à l'avancement est le risque de bloquer le tubage, soit à l'avancement (ce qui limite la profondeur du forage) soit en le remontant (dans ce cas il est nécessaire d'utiliser des vérins hydrauliques pour tenter de « ressortir » le tubage).

Dans les faits, les terrains sont souvent de nature variable selon les profondeurs. L'idéal est donc de pouvoir disposer d'équipements mixtes utilisables en tant que de besoin.

Exemples de contextes locaux :

Les terrains volcaniques récents du massif de la Pelée se caractérisent par leur forte variabilité de faciès aussi bien en terme de tenue mécanique (durs, meubles, plastiques) que de propriétés hydrogéologiques (perméables, imperméables) : ils exigent donc de grandes facultés d'adaptation.

On rencontre souvent, côté est de la Martinique, d'importantes épaisseurs de terrains altérés en surface, aux propriétés mécaniques et hydrogéologiques défavorables. Des lors que la formation-cible est sous-jacente, il convient de prévoir la capacité de traverser, contenir ses terrains et de pouvoir atteindre de grandes profondeurs.

En cours de foration, c'est l'examen minutieux des cuttings par un géologue qui déterminera les caractéristiques optimales des crépines à mettre en place.

Après la foration, des mesures au micromoulinet peuvent permettre de localiser les venues d'eau avec précision et donc de terminer avec précision le plan d'équipement (notamment le positionnement optimal des crépines) du forage d'exploitation.

- L'équipement du forage est en effet déterminant pour sa réussite. Prévu « a priori » dans les spécifications, sa mise en œuvre doit pouvoir s'adapter aux réalités rencontrées. Il concerne le dimensionnement et la mise en place du massif de gravier filtrant, le dimensionnement et la mise en place des crépines, la mise en place du tubage, l'étanchéité en tête et la superstructure apparente.
- Une fois équipé et avant pompage, l'ouvrage doit être développé, c'est-à-dire nettoyé consciencieusement. Le développement des forages est en effet une étape cruciale qui conditionne souvent la durée de vie de l'ouvrage et ses caractéristiques intrinsèques (débit d'exploitation notamment).
- Les pompages d'essai ont pour objectifs de déterminer :
 - d'une part la capacité optimale de production de l'ouvrage tel que réalisé (diamètre, profondeur, crépinage...) correspondant au débit maximum exploitable sans craindre de surexploitation ni de détérioration du forage. A cet effet sont réalisés des premiers pompages par « paliers de débits » pour évaluer les pertes de charges linéaires et quadratiques propres à l'ouvrage.
 - d'autre part de calculer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère à cet endroit. Sous réserve de bonnes réalisation et interprétation de l'essai, il pourra être calculé le débit potentiellement exploitable à cet endroit moyennant un forage d'exploitation de plus gros diamètre. A cet effet sont réalisés des pompages « de longues durées » (72 heures minimum), calés sur les résultats des premiers : ils devront permettre (si bien réalisés) de calculer la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère (ce dernier paramètre ne pouvant être calculé que si deux forages ont été réalisés sur le même secteur, et à proximité), ainsi que d'autres caractéristiques particulières importantes (conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance...).

Les points clés du suivi de forages :

- des prises et identifications régulières d'échantillons recueillis en cours de foration
- le repérage des vitesses à l'avancement de la foration
- le repérage des volumes de boue injectés le cas échéant
- le repérage des arrivées d'eau (profondeurs, évaluations de débits, mesures de qualité *in situ* : conductivité...)
- une coordination parfaite et une grande disponibilité de chacun des intervenants : le foreur, le maître d'œuvre, l'hydrogéologue, l'assistant au maître d'ouvrage et le maître d'ouvrage, notamment concernant les prises de décision importantes, à des moments pas toujours prévisibles, et sous contraintes de délais.

- En cas de recherche d'eau pour AEP, mais si possible dans tous les cas, il sera effectué des prélèvements d'échantillons d'eau dans les règles, pour analyses de qualité :

A minima, il sera réalisé une analyse réglementaire de type « première adduction ».

Idéalement, et dans le but de capitaliser la connaissance sur la qualité naturelle des eaux, une approche hydrochimique complète, et isotopique devrait être conduite : voir rapport BRGM/RP-56266-FR « Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique :

Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines » qui en définit les paramètres.

Dimensionnement du massif de gravier

Le trou de forage doit être légèrement supérieur au diamètre extérieur du tubage qui sera mis en place afin de pouvoir cimenter le forage de manière efficace et/ou mettre en place un massif de gravier. L'équipement du forage doit être centré au moyen de dispositifs adaptés (centreurs).

Il est indispensable de connaître la granulométrie des terrains aquifères (à différentes profondeurs) afin de pouvoir dimensionner le massif de gravier, dont le but est de retenir la formation captée tout en augmentant la perméabilité dans la zone annulaire. Si des niveaux aquifères de granulométrie différente sont rencontrés, soit il sera nécessaire de se caler sur la formation la plus fine, soit on adaptera, en fonction de l'approvisionnement du chantier, plusieurs massifs et plusieurs ouvertures de crépines.

Dimensionnement des crépines

Le dimensionnement des crépines et notamment leur % d'ouverture, est dépendant de la granulométrie du massif de gravier qui elle-même sera déterminée en fonction de la granulométrie des terrains aquifères.

Un massif correctement dimensionné permet de sélectionner une ouverture de crépines plus grande, ce qui permet d'augmenter le débit de l'eau pompée en réduisant les pertes de charges, tout en évitant les risques de venues de sables.

Les crépines de type « fil enroulé » semblent les plus adaptées aux formations de type pyroclastites couramment rencontrées en Martinique, car elles permettent d'obtenir un fort % de vide pour de faibles fenêtres d'ouvertures de crépines (de 0.1 à 3 mm en acier).

Développement des forages

- Dans le cas de forage au rotary à la boue, il est nécessaire de très bien nettoyer le trou de la boue employée qui colmate les arrivées d'eau. Cela peut se faire par diverses méthodes mécaniques et/ou chimiques dont la scarification du cake, l'utilisation de produits déflocculants associée à un pistonnage. Certaines opérations se font avant équipement, d'autres lui sont postérieures.

- Dans le cas de forage à l'air, le développement se fait par la mise en place d'une double colonne d'air ("colonne air-lift", idéalement à plusieurs profondeurs) et pompages alternés (attention : un pompage trop fort peut dégrader le développement). On évitera également le soufflage et les pompages face aux crépines qui déstabilisent localement le massif de gravier, entraînant des venues de fines.

Ces méthodes de développement doivent être contrôlées par pompages courts de même durée après une période de repos et en observant le rabattement : s'il diminue après chaque pompage, l'ouvrage est encore en développement et il sera nécessaire de continuer les opérations de développement, sinon le développement du forage pourra être poursuivi et optimisé par une autre méthode.

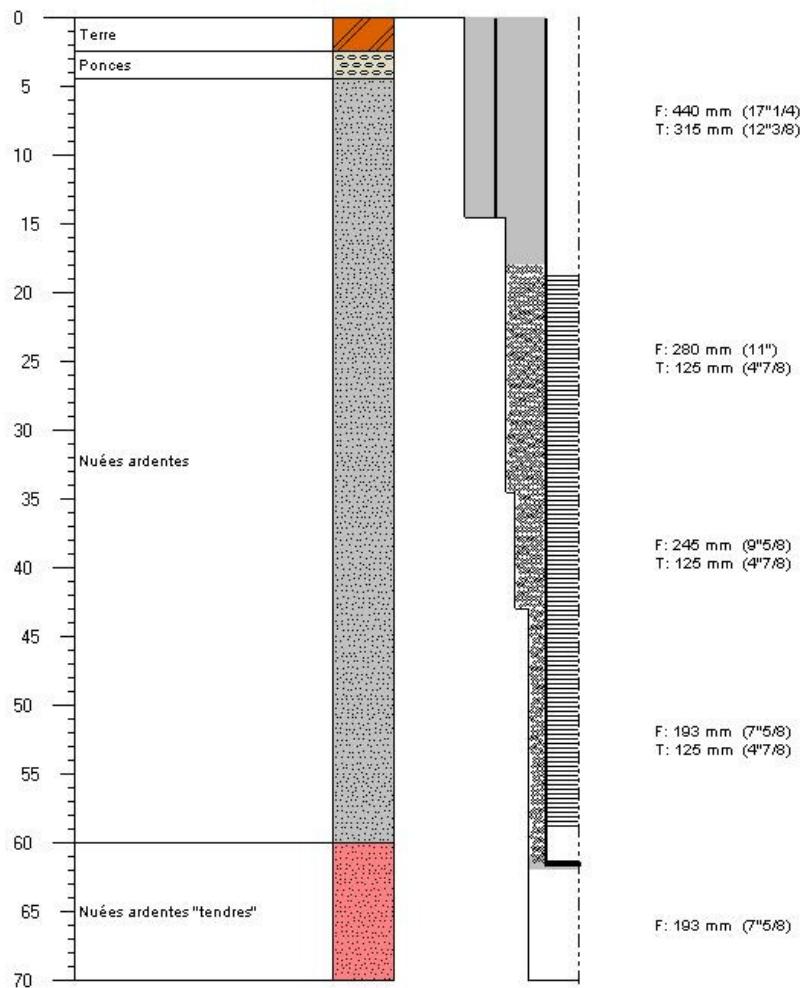


Illustration 18 : Exemple de coupe de forage de reconnaissance et de son plan d'équipement

5.2.4. La mise à jour du modèle hydrogéologique conceptuel

A l'issue de la phase de reconnaissance par forage, et compte tenu des résultats obtenus, il est indispensable de réexaminer le modèle hydrogéologique conceptuel afin de mettre en perspective les résultats obtenus avec les hypothèses de départ. Cela permettra d'avancer significativement dans la connaissance du contexte et des mécanismes hydrogéologiques du secteur, quels que soient ces résultats, que les objectifs de débits et qualité aient été atteints ou non.

Cette étape permettra de proposer la suite de la démarche :

- définition des modalités de création et spécifications du dispositif d'exploitation (nombre, implantations, caractéristiques de forages d'exploitation),
- programme de reconnaissance complémentaire, ajusté,

- révision des objectifs de débits,
- abandon du site et réorientation des prospections.

Il est à noter que la notion d'objectif de débit est relative. Elle ne doit pas se référer uniquement à l'expression des besoins, mais aussi tenir compte des potentialités du contexte concerné. Ainsi 1 m³/h en contexte de rareté de la ressource (pays arides) pourra être un objectif plus ambitieux que 30 m³/h sur un puissant aquifère sédimentaire bien alimenté. Le seuil de débit minimal admissible au-delà duquel un site de forage de reconnaissance peut être déclaré exploitable doit donc tenir compte de ces éléments. Techniquement et économiquement, avec les équipements existants et les sujétions énergétiques, et en fonction des profondeurs de l'eau, il est possible d'exploiter à partir de quelques m³/h.

On pourra admettre un seuil d'autant plus faible qu'il n'y a pas de ressource alternative.

A l'initiative du Maître d'Ouvrage après la phase de prospection, la phase d'équipement pour exploitation d'eau souterraine par forage comprend plusieurs étapes, aussi bien techniques que réglementaires.

5.3. CADRE REGLEMENTAIRE

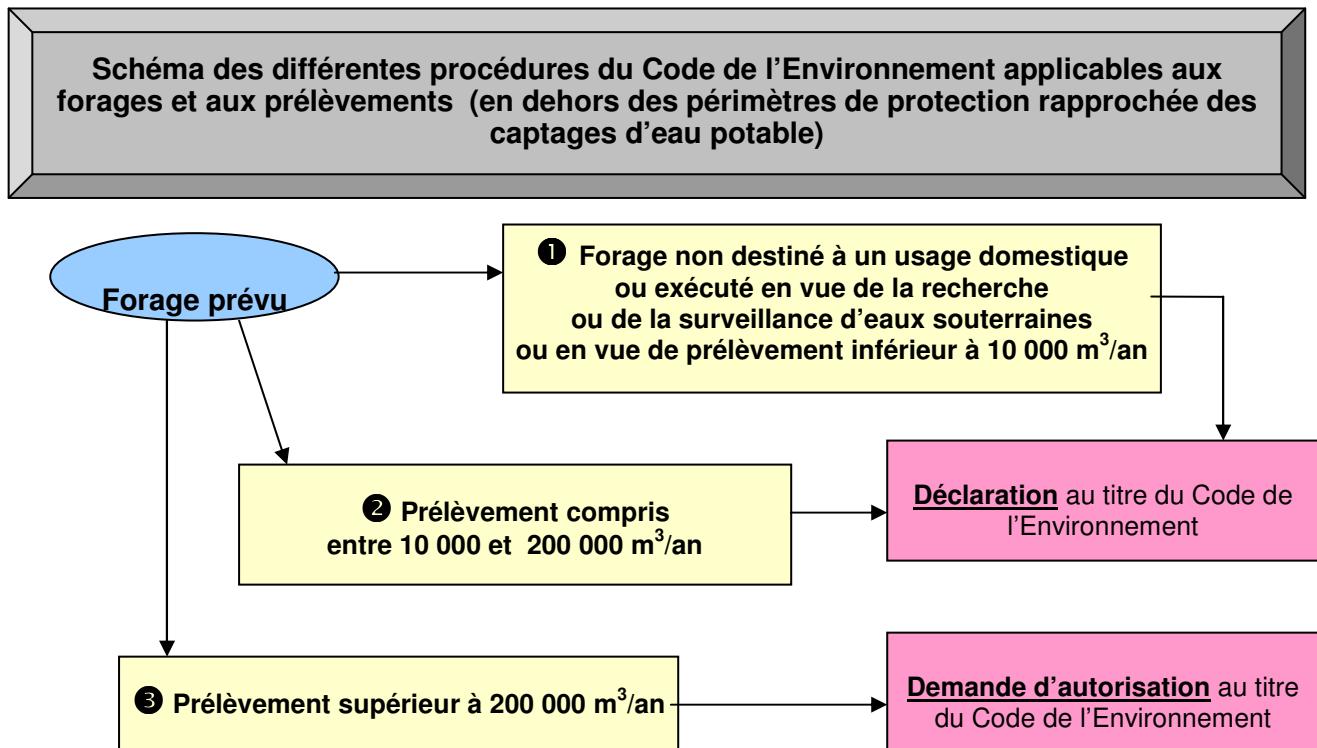
5.3.1. Déclaration / autorisation

Préalablement à tous travaux de forage quels qu'en soient les objectifs, le maître d'ouvrage est tenu de respecter une procédure réglementaire. Elle dépend de la finalité de l'ouvrage et du niveau d'exploitation prévisionnel, comme l'explicite le schéma ci-après.

Tout forage (ou excavation) de plus de 10m de profondeur doit être déclaré au titre du Code minier (Article 131).

Pour les forages à vocation AEP, cette déclaration est incluse dans la procédure spécifique à ces types de forages, à savoir une déclaration régie par le code de l'environnement (notamment R et L 214 et 216) ainsi que le nouveau décret n° 2008-652 du 2 juillet 2008 « relatif à la déclaration des dispositifs de prélèvement, puits ou forages réalisés à des fins d'usage domestique de l'eau et à leur contrôle ainsi qu'à celui des installations privatives de distribution d'eau potable ».

Le schéma ci-dessous illustre la démarche des différentes procédures réglementaires relatives aux prélèvements d'eau souterraine.



1 Article R.214-1, rubrique 1.1.1.0 : *Sondages, forages, y compris les essais de pompage, créations de puits ou d'ouvrages souterrains, non destinés à un usage domestique, exécutés en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines.*

2 & 3 Article R.214-1, rubrique 1.1.2.0 :

Si l'usage est alimentaire ou sanitaire, le prélèvement est soumis à autorisation au titre du Code de la Santé Publique, sauf en cas d'usage familial ou il est soumis à déclaration. Se rapprocher de la DSDS pour plus de détails.

En cas de forage réalisé dans le cadre d'une installation classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), et quel que soit le volume prélevé, il est nécessaire d'informer le service chargé du contrôle de l'installation (DRIRE). Selon le type d'installation il s'agira soit d'une déclaration soit d'une autorisation.

→ Cette déclaration ne vaut pas autorisation de prélèvement. Celle-ci fera l'objet d'une autre procédure particulière qui sera précisée par le service instructeur.

A noter en outre qu'afin de respecter le Code de l'Environnement (CE) et le SDAGE, le forage et ses prélèvements ultérieurs :

- Ne doivent entraîner aucune dégradation de la qualité d'une nappe utilisée pour l'alimentation en eau potable (Article L 216-16 du CE)

- Doivent être exécutés de telle sorte qu'il n'y a aucune mise en communication de plusieurs nappes différentes.
- Ne doivent pas entrer en concurrence avec l'alimentation en eau potable
- L'installation doit être munie, en cas de prélèvement, d'un compteur d'eau. (Article L 214-8 du CE)

D'autres prescriptions particulières peuvent être imposées par le Service instructeur.

5.3.2. Périmètres de protection pour les ouvrages AEP

La mise en place de périmètre de protection pour chaque forage d'exploitation est une obligation réglementaire qui incombe aux collectivités distributrices d'eau potable. Ces périmètres de protection ont pour but de prévenir la dégradation de la qualité de l'eau prélevée dans le milieu naturel à destination de la production d'eau potable. Ils permettent donc de préserver la qualité originelle de l'eau dans laquelle a lieu le captage, c'est-à-dire du système de ressource, et donc de le protéger.

Leur mise en place et les règles d'usage qui leur sont attachées sont notamment régies par les articles R et L 1321 du Code de la Santé Publique.

La procédure réglementaire comprend deux étapes pour la détermination et la mise en place des périmètres de protection :

1. La délimitation des périmètres de protection est établie selon une méthodologie adaptée :

- Délibération de la Collectivité : intention de mise en place du périmètre de protection
- Etudes environnementales et techniques préalables, à l'initiative du maître d'ouvrage
- Avis d'un hydrogéologue agréé par la DSDS (qui peut éventuellement demander des études complémentaires). L'appréciation des mécanismes des risques de transferts des produits phytosanitaires sera particulièrement étudiée.
- Dossier d'instruction et parcellaire (DSDS)
- Délibération de la Collectivité : demande de mise à l'enquête publique du périmètre de protection

2. L'arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique des périmètres de protection :

- Consultations administratives (Etat, collectivités, chambres consulaires)
- Enquêtes publique et parcellaire
- Avis du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques
- Arrêté préfectoral : Autorisation administrative d'exploiter dans des conditions précisées.

5.4. LES EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION

La réalisation des équipements d'exploitation comprend :

- la réalisation du (des) forage(s) d'exploitation dans le strict respect des spécifications résultant des reconnaissances (forages et essais)
- La mise en place des équipements hydrauliques : pompes, refoulement, traitement (adapté) et connexions réseaux
- La connexion au réseau principal et les interconnexions de sécurité
- L'installation de l'énergie de pompage choisie (réseau électrique ou autre)

En phase d'exploitation, l'exploitant devra assurer les opérations de maintenance et de contrôles appropriées, bien décrites par ailleurs, notamment :

- ne pas dépasser les débits indiqués suite aux essais de pompages,
- procéder à un nettoyage régulier du forage,
- vérifier l'état du forage grâce à des essais par paliers (tous les 5 ou 10 ans par exemple),
- vérifier l'état du forage par auscultations périodique et notamment par vidéo-inspection (équipements, état du tubage et des crépines).

Rappelons que la pérennité d'un forage d'exploitation dépend :

- de la façon dont il a été conçu (spécifications adaptées au contexte, compte tenu des reconnaissances)
- de la façon dont il a été réalisé (conformément aux spécifications et dans les règles de l'art)
- de la façon dont il est exploité (conformément aux spécifications issues des essais)
- de son entretien et sa maintenance (voir ci-dessus)

Les principaux risques encourus par un forage mal réalisé affectant ses performances et sa longévité concernent son colmatage et/ou son ensablement et donc sa productivité, et l'usure prématuée de la pompe qu'un régime de pompage inadapté à la pompe peut finir par détériorer.

L'exploitant devra également entretenir les équipements de surface (hydraulique et génie civil, dispositifs de protection immédiate,...)

L'exploitant devra en outre assurer l'autocontrôle des paramètres de son exploitation (régimes de pompages, piézométrie, analyses d'eau brute...) et les transmettre aux autorités compétentes selon les procédures en vigueur (Police de l'Eau / DAF, Observatoire de l'eau de l'ODE).

Le suivi de la mise en exploitation de la nappe est particulièrement important : le suivi des niveaux d'eau et des débits pompés dans les forages en exploitation, ainsi que le suivi piézométrique dans les piézomètres situés à proximité pourront permettre d'étudier a posteriori l'impact des pompages sur la nappe, et d'optimiser ces derniers afin de pouvoir disposer du débit optimal, notamment durant la période de carême par exemple. Ce suivi

permettra également de vérifier si la nappe est surexploitée ou non, et le cas échéant de proposer des scénarios correctifs de gestion active et raisonnée de la nappe.

Les points clés d'un bon équipement de forage d'exploitation AEP

- *Bien dimensionner les crépines (ouverture, % de vides) en fonction de la formation géologique et des résultats obtenus sur les forages de reconnaissances*
- *Bien dimensionner le gravier (ni trop fin, ni trop gros...)*
- *Equiper de préférence de crépines en acier Inox*
- *Faire un bon développement, afin de limiter les pertes de charges*
- *Réaliser des pompages d'essai performants de façon à pouvoir calculer précisément le débit d'exploitation et les prévisions de rabattement selon différents débits pompés, ceci pour assurer la longévité de l'exploitation.*

6. Perspectives pour une gestion durable des eaux souterraines

Alors que la Martinique présente une pluviométrie globalement et relativement abondante (il pleut en une année moyenne environ quatre fois plus à Fort-de-France qu'à Paris...), et outre le fait que ces apports naturels soient irrégulièrement répartis dans le temps et dans l'espace, l'expérience montre qu'elle est et sera soumise à des problématiques de gestion, protection et utilisation rationnelle de ses ressources en eau de plus en plus aigües. Le diagnostic établi à l'occasion du SDAGE approuvé en 2002, confirmé et étayé dans sa phase de révision en 2008, explicite parfaitement cette apparente contradiction. L'eau « utile », disponible, mal répartie dans le temps et dans l'espace, sera de plus en plus précieuse, donc coûteuse, surtout dans un contexte d'exigüité de territoire, de densité de population et d'insularité interdisant toute alternative « exogène ».

Il est également possible qu'avec le changement climatique pressenti, la Martinique, comme tout son environnement caribéen, soit confronté à des situations de crises aussi bien avec des carêmes de plus en plus sévères que des épisodes pluvieux violents avec les risques et dysfonctionnements induits.

Cela exigera de :

- pouvoir garantir la pérennité de la ressource mobilisée en contexte d'évolution croissante de la demande, et de risque d'évolution peut-être décroissante, en tout cas plus aléatoire, de la ressource naturelle (changement climatique).
- pouvoir assurer la continuité de la desserte en eau potable, usage prioritaire de l'eau, en adéquation avec les modalités d'usages quels qu'ils soient (variations saisonnières, variabilité spatiale...), sans exclure d'agir sur les composantes de la demande (réduire les usages inconsidérés et dégradant, tenir compte de la ressource dans l'aménagement de l'espace, du territoire...), et l'efficacité de la distribution (performance des réseaux, des traitements, ...)
- rapprocher autant que possible l'exploitation des usages pour des raisons de couts d'investissements, de maintenance et de sécurité des équipements, notamment vis-à-vis des nombreux risques naturels de notre environnement,
- tout ceci en veillant à l'intégrité des milieux aquatiques, générateurs de ressources en eau, mais aussi et surtout de vie (animale, végétale : biodiversité) et donc de qualité de vie pour l'homme.

Il n'est pas question ici de revenir et développer ces objectifs déjà largement détaillés dans le SDAGE et son projet de révision. On s'attachera seulement à mettre en perspectives les eaux souterraines dans ce contexte.

En Martinique en effet, les eaux souterraines, ou plutôt les eaux dès qu'elles se sont infiltrées dans le sous-sol, apparaissent comme une réelle opportunité dans la mesure où, comme cela a été démontré tout au cours des études ayant prévalu au SIGESMAR, elles offrent des caractéristiques susceptibles de répondre largement à ces objectifs.

- **encore sous-exploitées** : l'exploitation actuelle ne représente environ que 1% de l'infiltration totale (bien que la récupération de toute l'infiltration ne soit pas techniquement ni économiquement possible ni souhaitable) Il y a donc une marge très importante de disponibilité globale.
- **ressources de proximité** : il existe des formations géologiques aquifères presque partout. Ce sont leur accessibilité, leurs caractéristiques hydrauliques, l'hétérogénéité du contexte géologique profond encore peu reconnu, qui en limitent les potentiels ponctuels.
- **sécurisées sur le plan de la qualité des eaux** : généralement et a priori les eaux infiltrées ont bénéficié des capacités biologiquement épuratrices de la plupart des sols, et sont naturellement protégées par les couches sus-jacentes. Restent les aspects chimiques, naturels ou anthropiques.
- **sécurisée vis-à-vis des aléas climatiques et risques naturels**: les dispositifs de captages, dès lors qu'ils auront été bien implantés, conçus et réalisés dans les simples règles de l'art (c'est-à-dire sans plus-values), sont à l'abri des évènements extrêmes de surface (cyclones, inondations...) et très peu vulnérables aux mouvements de terrain et à la sismicité ambiante.

Il ne s'agit toutefois pas d'occulter certains risques ou difficultés inhérents à la recherche et la gestion des eaux souterraines. Il s'agit essentiellement :

- **de « l'aléa géologique »** en matière de prospection (absence avérée de ressource exploitable sur un site de recherche) du fait de l'insuffisance de connaissance du contexte géologique, notamment en profondeur. A ne pas confondre avec l'échec technique dû à l'insuffisance ou l'inadéquation des moyens mis en œuvre (cible non reconnue faute de moyens d'accès, ou de profondeurs atteintes, ou d'ouvrages mal réalisés...) qu'on peut interpréter à tort comme « absence d'eau souterraine »...
- **de la très difficile remédiation de la qualité des eaux** en cas de contaminations chimiques avérées, soit directement par pollution diffuse ou ponctuelle, soit indirectement par surexploitation en zone côtière par exemple.
- de l'implication pour les exploitants d'avoir à gérer beaucoup plus de points de prélèvements modestes, plutôt que quelques « gros » permettant de concentrer plus facilement les moyens.

***Principaux avantages et inconvénients comparés des eaux souterraines
par rapport aux eaux de surface***

Avantages :

- *Diversification de la ressource*
- *Ressource de proximité des lieux de consommation*
- *Régularisation naturelle : quasiment pas de contraintes saisonnières (carêmes...)*
- *Pas de contraintes sur les débits réservés de rivières*
- *Qualité de l'eau brute pas pire que les eaux de surface,*
- *Qualité bactériologique*
- *Absence de turbidité quel que soit la pluviométrie*
- *Protection naturelle contre les pollutions de surface (plus ou moins selon contextes)*
- *Sécurité des captages vis-à-vis des risques naturels (glissements de terrain, inondations, risque sismique, volcanisme ...)*
- *Impacts environnementaux, fonciers, paysagers minimes*

Inconvénients :

- *Invisibilité d'où risque géologique en phase de prospection*
- *Invisibilité d'où nécessités d'approches indirectes et ponctuelles des contrôles des états quantitatifs et qualitatifs*
- *Impacts de leur aménagement parfois lents et différés sur les milieux*
- *Difficile remédiation aux contaminations chroniques, lente remédiation aux pollutions ponctuelles*
- *Nécessité de multiplier les captages, et donc leurs dispositifs de gestion*

De ces considérations brièvement rappelées, il découle logiquement des opportunités en matière de perspectives de valorisation et de gestion durable des eaux souterraines en Martinique.

Les recommandations précises sont indiquées en bleu souligné dans la suite du texte.

6.1. LES PRINCIPES DE GESTION DURABLE ET LA GOUVERNANCE

La sécurisation de la mobilisation de l'eau face à la demande, et celle de l'intégrité des milieux aquatiques sont au centre des objectifs de gestion durable. A ce titre, la diversification par recours aux eaux souterraines devra s'attacher à mobiliser mieux et davantage cette ressource renouvelable et peu vulnérable.

Des principes d'utilisation et de modalités de gestion des eaux souterraines pourraient d'ores et déjà être envisagés :

6.1.1. Une contribution à la préservation des milieux aquatiques et ressources hydrauliques de surface.

Ces milieux très sensibles aux aléas climatiques et risques de pollutions anthropiques sont déjà très sollicités : ainsi les débits biologiques minima des cours d'eau sont difficilement respectés en étiage, voire déjà outrepassés. La mobilisation alternative des eaux souterraines contribuerait à la préservation de l'intégrité et des fonctions écologiques des eaux de surface.

6.1.2. Une contribution utile et prioritaire à l'AEP

L'AEP est le secteur prioritaire de l'alimentation en eau. Or comme c'est le cas partout dans le monde, dès lors que des ressources en eaux souterraines sont avérées, leur mobilisation devrait être prioritairement envisagée pour ce secteur. Cela est d'autant plus approprié en Martinique compte tenu du contexte naturel (hydrogéologie, reliefs), et de l'habitat dispersé, pour les secteurs excentrés et dès lors qu'une ressource de propriétés équivalentes (proximité, régularité, qualité, sécurité) n'est pas mobilisable de façon plus économique. Cela ne veut pas dire que les eaux souterraines constitueront l'essentiel de l'AEP.

Cf. SDAGE 2002. Orientation Fondamentale 1: Rôle primordial des eaux souterraines dans les secteurs excentrés à faible demande [AEP].

La contribution des eaux souterraines ne s'exprimerait en effet pas tant en terme de quantité, mais surtout en terme de diversification et sécurisation d'une ressource vitale : sécurisation de l'approvisionnement aussi bien dans l'espace (captages de proximité, bien répartis, avec des réseaux interconnectés), que dans le temps (ressource régularisée).

Les alternatives sont effet soit de récupérer une partie des écoulements de surface perdus en mer en saison des pluies par des dispositifs de régularisation / stockages (barrages / retenues sur rivières), soit encore, par exemple, de dessalement d'eau de mer, mais à un coût énergétique très élevé, à forts impacts sur l'environnement (milieux aquatiques, foncier, ...), et distants des lieux d'usages dans la mesure où ils ne peuvent économiquement pas être multipliés et rapprochés des usages.

Il va sans dire que dans la mesure où une ressource complémentaire doit être trouvée, l'opportunité d'une diversification de la ressource en eau mobilisée à partir d'eaux souterraines doit être précisément évaluée sous tous ses aspects par rapport à ces ressources alternatives. Des critères devront alors être établis (et pondérés ?) tels que sociaux, sanitaires, techniques, fonciers, économiques (investissements et fonctionnements), sécuritaires, mais aussi environnementaux...

Concernant les milieux aquatiques, le SDAGE préconise de... « *Répondre aux besoins en eau du développement en respectant les milieux* » : la mobilisation des eaux souterraines a un impact insignifiant sur cet environnement.

On observe depuis peu une nette tendance de certaines collectivités à vouloir d'avantage mobiliser de façon significative les eaux souterraines et entreprendre des actions en ce sens (SCCNO sur St-Pierre, CACEM sur Lamentin et Schœlcher, SICSM sur Rivière Blanche, SCNA sur tout son territoire).

Le Schéma Directeur d'AEP de la CACEM propose ainsi un recours significatif aux eaux souterraines, tant par transferts de plus de 15 000 m³/j depuis le nord Caraïbe que par recherche de nouvelles ressources sur son territoire.

Les projets à court terme de la CACEM sur la commune de Schœlcher visent en effet à mobiliser par forages une ressource supplémentaire de 1800 m³/j (0,7 Mm³/an). En y ajoutant les projets sur la nappe du Lamentin et ceux du SICSM à Rivière Blanche, le total prélevé par forages atteindrait près de 9700 m³/j (3,5 Mm³/an), soit 6,2% des prélèvements AEP de la collectivité contre 0,9% actuellement. La part des eaux souterraines (y compris sources) passant ainsi de 6% à 11%, soit un quasi doublement possible à court terme.

Dès lors, et en terme d'aménagement du territoire, il conviendrait d'identifier, selon des critères à convenir consensuellement et à hiérarchiser, les aquifères stratégiques pour l'AEP nécessitant la mise en place de mesures préventives de préservation et protection quantitatives, mais prioritairement qualitatives.

Cf. SDAGE 2002. : « Mieux inscrire les eaux souterraines dans les Schémas de desserte... »

6.1.3. Une bonne prise en compte de l'unicité de la ressource en eau pour une gestion intégrée

L'unicité du cycle de l'eau a été démontré, ne serait-ce qu'avec les calculs et reconstitutions des bilans hydrologiques par bassins (*voir chapitre 2*): l'eau est un élément qui sur terre, ruiselle, s'écoule, s'infiltra de façon diffuse dans le sous sol, peut ré-émerger (sources), se faire drainer par les cours d'eau et ainsi les réalimenter, peut également s'infiltrer dans le lit de cours d'eau, etc. Bref, l'eau est unique, tout passant d'un milieu à l'autre, et acquérant de ce fait des propriétés que sont susceptibles de lui conférer ces milieux (accessibilité, vitesses d'écoulements, chimie, vulnérabilité, taux de renouvellement, ...).

Les études par modélisation hydrologiques faites dans le cadre du SIGESMAR ont mis en évidence les fortes interactions probables nappes / rivières : en moyenne 25% des eaux de surface proviendraient du drainage de nappes, ce ratio variant de 5% à 75% selon les bassins.

Cet état de fait impose donc le concept de la nécessaire gestion intégrée, tant une action sur un milieu (cours d'eau et autres milieux aquatiques de surface ou sous-sol) peut avoir des impacts sur l'autre, aussi bien quantitatifs que qualitatifs.

Cela confirme [la nécessité d'une approche globale de la gestion des eaux \(y compris souterraines\) par bassins \(évaluation, exploitation, protection, suivi...\).](#) Leurs potentialités et caractéristiques qualitatives ont pu être appréciées (par approche documentaire, théorique et localement expérimentale) au niveau de 24 « unités régionales » naturelles qui sont autant de sous-bassins qu'il est désormais possible de consolider par bassins.

Restera à préciser pour ces unités et bassins, les caractéristiques des écoulements de surface, encore trop imprécis faute de suivi systématique suffisamment organisé et performant : les évaluations les plus récentes actuellement disponibles ressortent des modélisations réalisées dans le cadre du SIGESMAR, insuffisamment étayées par des mesures in situ.

En l'état actuel des connaissances hydrogéologiques, il peut être considéré dans le contexte martiniquais, que les bassins hydrogéologiques correspondent aux bassins hydrologiques, du moins jusqu'à une certaine échelle : ponctuellement, sur des petits secteurs, il est possible qu'il n'y ait pas parfaite concordance. Mais cela ne compromet pas les modalités de gestion patrimoniales jusqu'à l'échelle de quelques dizaines de bassins hydrauliquement indépendants.

Cette gestion intégrée par bassin reste encore à mettre en œuvre, [notamment pour des bassins « stratégiques » en terme de ressources en eau mobilisées](#) (Capot, Lézarde,...) ainsi que pour des bassins faisant déjà l'objet d'étude dites intégrées, mais sans que la composante souterraine de la ressource en eau ait été pleinement et suffisamment prise en compte (Galion, Baie du Robert,...). Les contrats de gestion territoriaux offrent pourtant le cadre adéquat pour une telle approche.

Le SIGESMAR constitue un outil, certes perfectible, mais opportun pour ce faire, quitte à le préciser à des échelles locales grâce à des investigations locales spécifiques dont il permet les orientations.

Il faut noter que le concept de « masse d'eau » au sens de la Directive Cadre sur l'Eau de 2000, est censé pouvoir représenter de telles unités de gestion.

Or s'il est significatif quant aux eaux de surface, voire littorales, ce concept ne l'est pas quant aux eaux souterraines : les masses d'eau souterraines qu'il avait fallu définir en 2003 en nombre (6) à ordre de grandeur quasi imposé, s'avèrent encore trop vastes et hétérogènes, notamment sur le plan de la qualité des eaux, au vu des résultats du SIGESMAR qui n'a été entrepris qu'à partir de 2005. Et ceci bien que les limites des masses d'eau souterraines ainsi définies correspondent à des limites de bassins

versants hydrologiques. Elles ne se prêtent donc pas à la gestion locale. Ceci étant, il est toutefois possible d'en définir des parties plus homogènes adaptées à cette gestion locale intégrée.

Mettre en œuvre une gestion locale intégrée suppose donc au préalable de définir le périmètre de l'unité de gestion de façon raisonnée, sur des critères naturels homogènes non seulement hydrologiques mais aussi hydrogéologiques, et bien sûr des critères d'enjeux et de pressions sur les ressources en eau. Il s'agit donc, pour organiser la gestion locale et intégrée de l'eau, de définir des unités de gestion, sous-ensemble des masses d'eau.

Puis en conséquence devront être identifiés les acteurs parties prenantes de ces périmètres, et enfin, après diagnostics détaillés, établis consensuellement des objectifs à différents termes (cohérents avec le SAR, le SDAGE, et autres documents imposables), ainsi que la définition des actions nécessaires pour les atteindre, leur planification, et la mobilisation des moyens nécessaires à leur mise en œuvre.

6.1.4. L'intégration des eaux souterraines dans la problématique de gestion de crise

En gestion de crise, essentiellement de déficit hydrique (sécheresse), mais aussi parfois d'excès (inondations par remontées de nappes), la connaissance de l'état, de l'évolution et du rôle des eaux souterraines peut être très utile. Dans le premier cas ces dernières peuvent être un recours, dans tous les cas, elles peuvent jouer le rôle d'alerte et contribuer aux prévisions d'évolutions.

Pour être un recours, encore faut-il que des dispositifs existent, comme par exemple la surexploitation temporaire d'ouvrages existants, voire la mise en service d'ouvrages « de réserve ». Il faut aussi que les connaissances soient acquises sur ces potentialités, leurs limites, leurs impacts. Ces connaissances devront par exemple avoir permis de définir des seuils d'alerte en terme de prévision (à la hausse ou à la baisse) susceptibles de déclencher la prise de mesures graduées, visant à retarder la crise majeure, voire à minimiser ses effets et la gérer au mieux.

De tels seuils existent pour la qualité de l'eau : ce sont les normes (par exemple de potabilité) auxquelles se réfèrent les mesures périodiques de contrôle. Il est possible d'en concevoir de similaires pour les aspects quantitatifs à travers la détermination de seuils d'alerte piézométriques. La plus grande inertie des eaux souterraines leur confère en effet un pouvoir anticipateur.

A contrario, cette inertie peut être cause de crise durable si des dispositifs de suivi par indicateurs ne sont pas mis en place et régulièrement assurés : c'est ainsi que peuvent être, dans certains cas, prévenus des étiages sévères voire assèchements de cours d'eau, ou encore des contaminations, ou encore avant que ne soient « découverts » des pollutions difficilement remédiées (produits phytosanitaires...).

La prise en compte avantageuse des eaux souterraines, à la fois comme indicateur intégrateur, et comme ressource d'appoint, peut donc permettre d'anticiper les crises sous réserve d'un ensemble d'actions préalables de connaissance qui relèvent de la prévention telles celles prévalant pour les catastrophes naturelles.

Toutes ces considérations sont bien sûr à moduler et adapter selon l'importance, la sensibilité, la vulnérabilité, l'intérêt stratégique, l'état des connaissances du système de ressource considéré.

6.1.5. Conditions de mise en œuvre d'une gestion durable et efficace des eaux souterraines

Pouvoir mettre en œuvre une gestion durable des eaux souterraines suppose des pré-requis de différents ordres.

- Dans un premier temps, le recueil, l'organisation et la capitalisation des données disponibles sont fondamentaux. A cet effet, le SIGESMAR est le cadre indiqué pour les eaux souterraines à l'échelle régionale. Il doit cependant être complété d'une part par une base documentaire exhaustive et d'autre part par l'identification et l'organisation des données ponctuellement recueillies. L'Observatoire de l'Eau devrait être la structure d'accueil mutualisée de cette information. Dans la mesure où a minima l'adressage toutes les données sur l'eau y seraient disponibles (métadonnées), les conditions de mise en œuvre de l'indispensable gestion intégrée de l'eau s'en trouveraient réunies.
- Dans un second temps, il s'agira d'assurer l'élaboration et l'utilisation d'outils (modèles) de simulations de scénarii d'exploitation et de leurs impacts non seulement sur les systèmes de ressource (en quantité et qualité), mais aussi sur l'environnement au sens large (les milieux), sur le contexte socio-économique (usages de l'eau, coûts d'investissements et de fonctionnement, etc.). Ces outils requièrent un niveau de connaissances suffisamment précis des composantes des systèmes de ressources, en l'occurrence aquifères, et leurs relations avec les eaux de surface. Il n'y a pas encore en Martinique de systèmes qui atteignent ce niveau de connaissance prérequis pour donner lieu à modèle de gestion performant. Le plus élaboré à ce jour (ou le moins méconnu...) est sans doute le système aquifère du Lamentin : des aspects fondamentaux de sa structure et de son fonctionnement hydraulique (relations avec eaux de surface, biseau salé,...) bien que récemment abordés (par la CACEM) sont encore à préciser.

L'expérience a toutefois montré que ce niveau de connaissance était acquis non seulement par d'indispensables études et travaux spécialement dédiés, mais aussi par les études et travaux de prospections locales et de mises en exploitation, qui contribuent à améliorer les modèles conceptuels existants, ainsi que par les observations dans la durée des exploitations. Ces deux types d'actions, en s'enrichissant mutuellement, concourent à une meilleure connaissance globale, et donc à minimiser les échecs et améliorer la gestion durable. *Plus on cherche et on*

exploite, plus on sait, et plus on sait, mieux on pourra chercher et mieux on exploitera... Encore faut-il que l'information circule, soit capitalisée et valorisée...

- Il est également recommandé de mobiliser à cet effet et d'activer différents leviers : institutionnels (compétences en matière de gouvernance et de gestion), politiques (orientations), réglementaires (cadrage), techniques et scientifiques (méthodes, innovations).
- Plus précisément sur le plan institutionnel, il est souhaitable de mobiliser ensemble et de façon concertée les acteurs de la gestion, responsables à différents niveaux : gestion opérationnelle de l'exploitant, gestion patrimoniale dans le cadre de la mise en œuvre du SDAGE, des programmes de soutien de l'ODE, de l'ONEMA, de la politique régionale d'aménagement du territoire, et de la politique de préservation, mise en valeur et gestion de l'Environnement au sens large, car il s'agit bien là du bon usage d'une ressource naturelle d'intérêt patrimonial.

Par commodité bien que tout soit lié dans le cadre de la nécessaire gestion intégrée, seront présentés successivement différents aspects de gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines. Seuls les principaux aspects de ces problématiques seront développés, tant le sujet est vaste... Il s'agit d'aspects qui devraient pouvoir faire l'objet d'actions prioritaires à ce stade de connaissance des ressources en eau souterraine au niveau régional, au moment où commencent à se développer le recours plus fréquent à cette ressource.

En effet, il importe d'approfondir dès à présent certains contextes, processus, conditions naturelles et socioéconomiques pour être en mesure de définir en conséquence les modalités de gestion durable de la ressource qui seront d'autant plus nécessaires que se développera son exploitation. L'objectif est de bien dimensionner et implanter ces exploitations, d'anticiper leur limites et impacts, de disposer d'outils de prévisions d'impacts possibles, afin, sinon de prévenir, du moins de se donner les moyens de gérer au mieux d'inévitables situations de crise (climatiques, risques naturels, accidents,...). *Voir ch. 6.5. ci-après.*

6.1.6. Les outils de gestion

La bonne gestion d'une ressource en eau fragile, de plus en plus sollicitée et limitée doit pouvoir disposer d'outils et méthodes adaptés et performants. Cela va du recueil, de la capitalisation et de la gestion des données, jusqu'à la prospective et la prévision de situations particulières, et donc les prises de décision appropriées, avec *in fine* l'information.

En matière de gestion, l'anticipation des impacts de telle ou telle condition d'exploitation est un élément décisif. Dès lors qu'ils ont pu être établis et étalonnés (ou « calés »), les modèles de comportements hydrodynamiques les plus élaborés peuvent permettre ce genre de simulations, et donc contribuer à fonder des décisions de gestion raisonnée.

L'unicité de la ressource largement évoquée précédemment impose de ne pas dissocier les eaux de surface et les eaux souterraines.

L'élaboration de tels modèles suppose cependant un bon degré de connaissance du milieu considéré, et des paramètres qui le caractérisent. Les modèles sont donc plus ou moins élaborés en conséquence. Ils ont chacun leurs objectifs et leurs limites. Avec l'évolution des connaissances (et aussi des outils développés et mis à disposition), ils gagnent à être régulièrement actualisés.

a. Typologie des outils de gestion des eaux souterraines

Les outils de gestion des eaux souterraines, et donc plus généralement de gestion combinée des eaux de surface, des eaux souterraines et de leurs interfaces, recouvrent des réalités et des niveaux de complexité très différents. Globalement, on peut les classer en quatre catégories :

1. Ceux dont l'objectif est d'aider à **connaître l'état du système à gérer**. Ils visent à organiser une information complexe (en la hiérarchisant, en l'agrégant, en la spatialisant, etc.) pour fournir au décideur un état des lieux actualisé, préalable indispensable aux prises de décision. En revanche, ces outils ne donnent aucune indication sur la ou les actions à mettre en œuvre et ils ne permettent pas de hiérarchiser différentes actions possibles : le corps de règles d'action est externe et relève du décideur.
À cette catégorie se rattachent les « tableaux de bord » par unité de gestion (bassins) pour fournir en temps réel (dès lors que le recueil et la capitalisation des données est organisé) des indications sur les débits et la qualité de l'eau des rivières, les niveaux piézométriques dans les aquifères, etc.
2. Ceux dont l'objectif est d'aider le décideur à **choisir une action parmi un ensemble prédéterminé d'actions sur la base de la connaissance de l'état présent du système**. Cette catégorie englobe les outils qui associent (*i*) un système de gestion de l'information et (*ii*) un corps de règles d'action internes à l'outil (ce qui signifie que les règles de fonctionnement sont imposées – par les gestionnaire de la ressource - à l'utilisateur).
3. Ceux dont l'objectif est d'aider le décideur à **prévoir les conséquences de plusieurs actions possibles**. Il s'agit de tous les outils de simulation qui permettent de prédire l'état futur d'un système complexe à gérer. Ce type de démarche peut permettre au décideur de hiérarchiser différents scénarios ou d'identifier (avec un module d'optimisation) un scénario optimal selon des critères spécifiés. Dans le premier cas, l'outil aide le décideur à identifier la meilleure des solutions parmi l'ensemble de celles qui sont testées ; dans le second, l'outil détermine la meilleure solution en fonction de critères spécifiés.
4. Ceux enfin dont l'objectif est d'aider les acteurs associés à la décision à **construire une représentation commune** du système à gérer. Ce type d'outil est utile lorsque plusieurs acteurs participent de manière concertée aux décisions de gestion de la ressource en eau et lorsque le système à gérer est un système rendu complexe par la nature des interactions entre les acteurs

eux-mêmes, et entre les acteurs et la ressource en eau sous diverses composantes.

Dans le cas de la gestion des bassins versants, par exemple, tous les acteurs associés à la gestion d'un système complexe eau de surface / eau souterraine n'ont pas la même perception des liens qui existent entre les différentes variables physiques, donc *a fortiori* des liens entre leurs actions et l'état de la ressource, voire des liens entre les acteurs eux-mêmes. Une représentation dynamique de ces liens constitue donc un outil de gestion qui permet à tous les acteurs de percevoir de la même manière l'impact d'une action/décision envisagée. On s'approche ici d'outils d'aide à la négociation.

En résumé, les outils de gestion des eaux souterraines se rattachent à l'une des quatre familles suivantes :

1. Bases de données et Systèmes d'Information Géographiques (SIG).
2. Bases de données relationnelles associées à des fonctionnalités d'analyse multicritère.
3. Modèles numériques de simulation, dont les performances et la complexité sont très variables selon les connaissances des milieux et les possibilités de couplage et d'optimisation proposées.
4. Représentations de systèmes complexes allant de simples croquis (modèles conceptuels) à des modèles numériques très sophistiqués pouvant faire appel à la logique floue, aux réseaux neuronaux, etc.

Le SIGESMAR élaboré dans le cadre du présent programme relève typiquement de la première famille. Etape indispensable, il demeure toutefois insuffisant dès lors que doit être considérée la problématique globale de gestion future de la ressource en eau, surtout dans des perspectives d'évolutions prononcées aussi bien des conditions naturelles (climat, risques, environnement,...) que socio-économiques (développement de la demande, pressions sur les ressources, coûts induits, impacts,...).

b. Recommandations en matière d'outils de gestion des eaux souterraines

Compte tenu de la faible exploitation d'ensemble des aquifères de Martinique et des inconnues encore très nombreuses attachées aux systèmes hydrogéologiques de l'île, il semble raisonnable, au moins dans un premier temps, de préconiser des outils de gestion simples et robustes.

Des « tableaux de bord » périodiques fournissant un état des lieux actualisé de la ressource en eau souterraine, associés à des règles de gestion mettant en œuvre un nombre restreint de seuils de déclenchement d'actions, constituerait selon toute vraisemblance des réponses bien adaptées au contexte. Ce type d'outil de gestion est en outre de plus en plus utilisé parce qu'il est simple, efficace et aisément compréhensible par les différents acteurs.

Le principe de base repose sur la double idée qu'une gestion équilibrée de la ressource en eau souterraine implique le respect de contraintes sur la piézométrie des

nappes, et que ces contraintes peuvent s'exprimer par des indicateurs piézométriques simples, éventuellement complétés par des historiques de débit des cours d'eau drainant la nappe. En pratique, ce sont les mesures et analyses effectuées dans des piézomètres (et cours d'eau) de référence ainsi que les forages exploités qui permettent de dresser un constat périodique de l'état des nappes - à l'aide d'indicateurs dimensionnels et adimensionnels - puis de décider et hiérarchiser les actions à entreprendre en fonction de la situation observée et des enjeux et objectifs (politiques) de gestion convenus.

La méthodologie d'ensemble se décline en un grand nombre de variantes selon le contexte naturel, y compris hydrogéologique, et la nature des conflits d'usage potentiels à arbitrer.

En matière de gestion des eaux souterraines, de telles procédures sont déjà mises en œuvre pour des ressources importantes (nappes profondes d'Aquitaine et notamment de Gironde pour l'AEP de Bordeaux, nappe de Beauce, nappes du Bassin parisien, nappe d'Alsace...)

La dimension socio-économique devra en outre tôt ou tard être prise en compte.

Comme pour tout projet, un projet d'exploitation d'eau souterraine devrait exiger une étude socio-économique préalable pour définir les conditions de rentabilité non seulement économique mais sociale (pour l'AEP, le foncier...) et environnementale (impacts) du projet par rapport à la solution de ne rien faire (statu quo) ou à d'autres alternatives possibles.

Il faut en effet tenir compte de paramètres indirects voire subjectifs, peu aisés à quantifier précisément, tels l'impact sur l'environnement ou les revenus à long terme découlant d'une bonne gestion des aquifères. Dans ce cadre, la gestion rationnelle d'une ressource patrimoniale revêt un aspect politique et social, voire philosophique, auquel il est délicat d'associer une notion de coût. Si la faisabilité financière est fonction des seules possibilités de retour sur investissement, la justification économique est approchée par un bilan "coût-avantages" plus complexe devant permettre de comparer divers projets afin de choisir le plus adapté. Ce genre de démarche est à concevoir spécifiquement pour le contexte concerné, en l'occurrence la Martinique.

6.2. GESTION QUANTITATIVE

6.2.1. Les principes de la gestion active des réservoirs

L'objectif de la gestion active des ressources, ou plus précisément des réservoirs, est de mettre en œuvre des méthodes de gestion, et des techniques d'équipements visant à adapter l'offre à la demande, en vue d'accroître la disponibilité à ressource égale. C'est-à-dire qu'au lieu de jouer uniquement sur la demande en la maîtrisant (chose indispensable par ailleurs), on cherchera également à amplifier certaines fonctions naturelles ou semi artificialisées des milieux aquatiques sollicités (cours d'eau,

nappes,...) pour leur permettre de satisfaire une demande qui apparemment et temporairement excède l'offre.

Techniquement il s'agit de concevoir, réaliser et gérer durablement des équipements favorisant la préservation et la régularisation de la ressource (stockage) pour pouvoir la surexplorier temporairement en fonction des besoins.

La gestion active est particulièrement indiquée en contexte de risque de stress quantitatif ou qualitatif. C'est typiquement de la gestion intégrée dans laquelle, donc, toutes les ressources et toutes les consommations sont prises en compte au niveau d'une unité naturelle de gestion.

Pour les eaux de surface, ce principe conduit notamment à réaliser des ouvrages de régularisation / stockage des écoulements (barrages et retenues). Pour la distribution de l'eau potable, cela conduit à multiplier les réservoirs.

L'image de rivières en basses eaux puis s'asséchant, a fait oublier que les eaux souterraines restent présentes en stocks considérables, abondamment renouvelés, en partie mobilisables sous certaines conditions : respect des conditions périphériques, respect du fonctionnement des autres composantes de l'hydrosystème. Le fait reste encore mal connu que les eaux souterraines réagissent avec une inertie très variable d'une nappe à l'autre, souvent importante, d'où un facteur temps qu'il faut apprendre à utiliser pour trouver des solutions palliatives inter-saisonnieres.

Pour les eaux souterraines, il s'agit concrètement de favoriser la recharge d'aquifères capacitifs en mobilisant et faisant infiltrer de l'eau de surface temporairement en excès, pour pouvoir les surexplorier également temporairement, dans la limite de la suralimentation réalisée, ou « recharge artificielle » (voir § 6.2.3. ci-après).

La mise en œuvre de principes de gestion active relève donc de la gestion intégrée de la ressource, et suppose une bonne connaissance des interactions entre les différents milieux où circule l'eau (en surface et dans le sous-sol).

De nombreux projets de recharge artificielle des nappes sont opérationnels dans les pays à climat aride ou semi-aride : Etats Unis, Australie, Maghreb, Moyen Orient, etc. Mais même dans les régions tempérées, compte tenu des fortes évolutions de pressions sur les ressources, les problématiques de gestion active de la ressource en eau ou de stockage tampon en aquifère sont en plein essor.

6.2.2. Les relations quantitatives et qualitatives nappes / rivières

Les études par modélisation hydrologique faites dans le cadre du projet d'évaluation régionale des eaux souterraines de Martinique (SIGESMAR, aspects quantitatifs) ont mis en évidence de façon théorique les fortes interactions entre nappes et rivières : en moyenne 25% des eaux de surface proviendraient du drainage de nappes, ce ratio variant de 5% à 75% selon les bassins (voir schéma illustration 4).

En terme de gestion intégrée des eaux, il importe de bien connaître et prévoir ces interactions afin d'optimiser les actions (suivi, aménagements...) sur les eaux d'un milieu et éviter les impacts dommageables aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif sur les eaux de l'autre milieu. En termes d'aménagements, de gestion durable de la ressource, ces connaissances contribueront notamment et à terme à la réflexion sur les faisabilités locales de recharges artificielles de certaines nappes.

Il est donc recommandé d'évaluer et quantifier les relations nappes / rivières sur quelques bassins types représentatifs :

- Quantifier les apports d'eau souterraine au soutien d'étiage de la rivière
- Identifier les impacts qualitatifs et quantitatifs
- Chercher les relations entre variations de niveaux et de débits, et concentrations observées dans la nappe et la rivière, mises en évidence de tendances à la hausse ou la baisse en fonction du cycle hydrologique.

6.2.3. La faisabilité de recharge artificielle

Le terme générique de "recharge artificielle" regroupe toutes les actions anthropiques qui visent à intervenir positivement dans le cycle naturel d'alimentation des eaux souterraines. En favorisant ainsi le stockage puis la mobilisation de volumes d'eau non disponibles en raison de cycles hydro-climatiques déphasés par rapport aux cycles d'utilisation de l'eau, la recharge artificielle apparaît comme **un outil privilégié de gestion intégrée** des eaux, à la fois superficielles et souterraines.

Les techniques permettant une gestion saisonnière de l'eau présentent un intérêt tout spécifique du point de vue socio-économique. L'objectif est de lisser, du pas de temps journalier au pas de temps pluriannuel, les irrégularités entre les ressources disponibles, surtout en cas de fortes irrégularités saisonnières en eau de surface, et les besoins. En effet, les besoins les plus importants s'expriment en carême, qui correspond à la période d'étiage, alors que les ressources en eau de surface sont d'avantage disponibles en saison des pluies, caractérisée par l'absence de besoins de pointe.

Outre le recours direct aux eaux de surface, d'autres recours contrôlés au soutien des eaux souterraines peuvent également être envisagés, tel celui des eaux usées épurées par exemple, au lieu de leur rejet en milieu naturel.

Il est aussi envisageable, par ces techniques, de valoriser les aquifères côtiers d'eau douce, salée ou saumâtre, soit en limitant le risque d'intrusion saline par la réalisation de barrages souterrains, soit en y créant, au moyen de la recharge artificielle, des "bulles d'eau douce" protectrices (v. § 6.2.4 ci-après).

Les projets de recharge artificielle sont en effet pluridisciplinaires car ils présentent une multiplicité d'aspects qui peuvent refléter des objectifs et des contextes très variés. Les

principaux objectifs qui peuvent être associés à la réalisation de recharge artificielle sont ainsi :

- le stockage d'eau en période excédentaire, afin de pouvoir utiliser cette ressource de manière différée, lorsque les besoins sont supérieurs à la ressource disponible,
- le maintien des niveaux piézométriques, pour lutter contre des processus d'intrusion saline par exemple,
- ou la combinaison de plusieurs de ces objectifs : l'amélioration de la qualité des eaux, le rejet d'eau excédentaire, . . .

Il existe de nombreux dispositifs qu'il convient d'adapter au contexte. A noter qu'outre les dispositifs ponctuels, l'aménagement des bassins contribue également grandement à l'objectif de régularisation par infiltration, soit par occupation du sol : maintien / développement des forêts, techniques appropriées de travail de la sole agricole, aménagement des cours d'eau par petits seuils visant à freiner les écoulements.

Ces dispositifs de réduction des écoulements excédentaires au profit de l'infiltration par aménagements de bassins peuvent également contribuer à réduire les risques d'écoulement torrentiels, de crues, voire d'inondations à l'aval.

Le choix d'une filière ou d'une conjugaison de filières résulte en fait d'une étude complète du contexte, et s'effectue au cas par cas. Il doit intégrer de nombreux paramètres : climat, ressources et besoins, objectif(s) à atteindre, possibilités techniques, état de l'art appliqué au contexte local, politique locale de gestion de l'eau, conditions économiques, réglementation.

Les différents contextes dans lesquels les projets de recharge artificielle s'inscrivent incluent donc :

- les ressources disponibles pour la recharge : climat et hydrologie, autres ressources...
- la géologie et l'hydrogéologie,
- le contexte socio-économique : besoins, coûts/ avantages par rapport aux alternatives, foncier,...
- le contexte environnemental, y compris la prévention des risques,
- le contexte pédologique local et d'utilisation des sols du bassin...

Il conviendra d'étudier la faisabilité de tels dispositifs en Martinique. Elle doit être évaluée au regard de nombreux facteurs : besoins en eau, disponibilité et régimes des écoulements de surface, liaisons naturelles par infiltration ou drainance, disponibilités et caractéristiques hydrogéologiques, nature des sols, . . . Sa gestion suppose aussi d'être convenablement assurée en cohérence avec la gestion globale du bassin.

On pourra également prendre en compte le niveau de « pertes en mer », au-delà des débits réservés, des écoulements de surface, afin de le minimiser tout en maximisant l'infiltration.

6.2.4. Cas particuliers de la gestion des aquifères littoraux

En contexte insulaire, la prise en compte de l'interface terre / mer dans la gestion des ressources en eau est incontournable eu égard aux enjeux, en particulier :

- une majorité de la population et des activités sont situés sur le littoral,
- des enjeux environnementaux forts et sensibles,
- des risques de contaminations par les eaux salées marines difficilement réversibles.

Qui plus est, la petite île de Martinique si densément peuplée ne peut faire l'économie de ressources d'eau douce exploitables avant leur perte en mer, ce qui suppose que les niveaux d'équilibre durables à respecter soient précisément et préalablement évalués.

Les ressources en eau souterraines proches des zones littorales risquent en effet d'être de plus en plus sollicitées, notamment pour les besoins AEP liés au tourisme saisonnier en pointe lors des périodes de déficits pluviométriques, en appui aux dispositifs existant d'alimentation par eau de surface sur de longs transferts, notamment dans le sud.

Afin d'optimiser le recours possible aux eaux souterraines en zone littorale il convient d'abord de connaître les conditions hydrodynamiques naturelles des formations aquifères de ce milieu. Il risque d'y avoir grande variabilité du fait de l'hétérogénéité géologique qui prévaut.

Or le caractère salé de la masse d'eau marine a d'importantes conséquences hydrodynamiques dans les milieux poreux : c'est le phénomène de « biseau salé », avec impacts possibles (et, si avérés, souvent irrémédiables) sur la qualité des eaux selon sa position : avancée du biseau salé à l'intérieur des terres par attraction d'eau de mer dans la nappe, ou remontée verticale d'eau salée souterraine sous les captages par suite de la diminution des charges hydrauliques d'eau douce.

Ce qui est souvent qualifié de surexploitation des aquifères littoraux au vu d'une eau qui se salinise, résulte en fait d'une exploitation pas nécessairement considérable ni supérieure au flux de réalimentation annuel, mais dont la localisation et le régime favorisent l'intrusion d'eau de mer.

Le caractère salé de la masse d'eau marine, qui s'accompagne d'une densité supérieure à celle de l'eau douce (1,03 pour des eaux de salinité moyenne), a d'importantes conséquences hydrodynamiques : compte tenu de cette différence de densités, l'eau souterraine douce « flotte » sur l'eau souterraine salée en prenant un profil en lentille et l'interface souterraine forme un « biseau salé » (*illustration 19*).

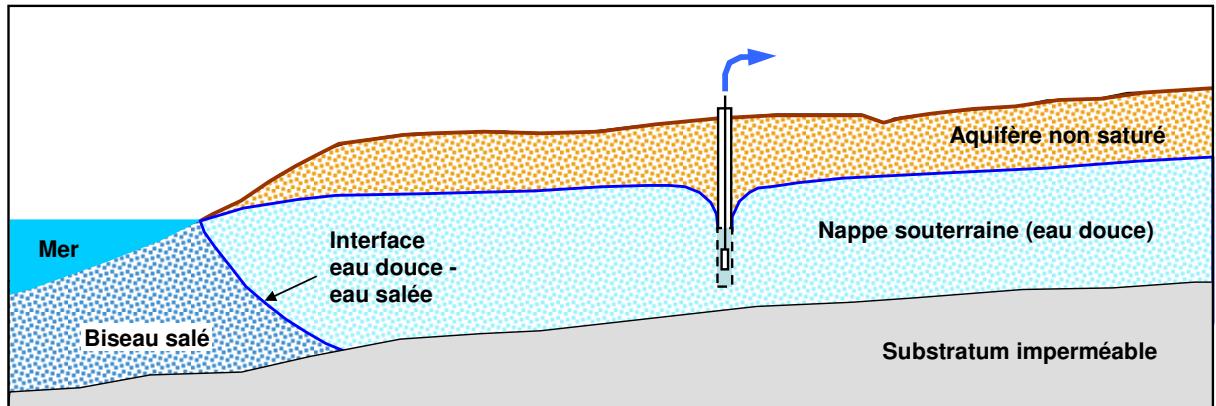


Illustration 19 : Représentation schématique du phénomène de biseau salé

Les pompages littoraux, selon leur localisation et leur débit, peuvent avoir un impact plus ou moins fort sur la forme et la position du biseau salé, donc sur la qualité des eaux du fait qu'ils sont susceptibles de provoquer (*illustration 20*) :

- une avancée du biseau salé à l'intérieur des terres par attraction d'eau de mer dans la nappe ;
- une remontée verticale d'eau salée souterraine sous les captages par suite de la diminution des charges hydrauliques dans les cônes de rabattement des pompages.

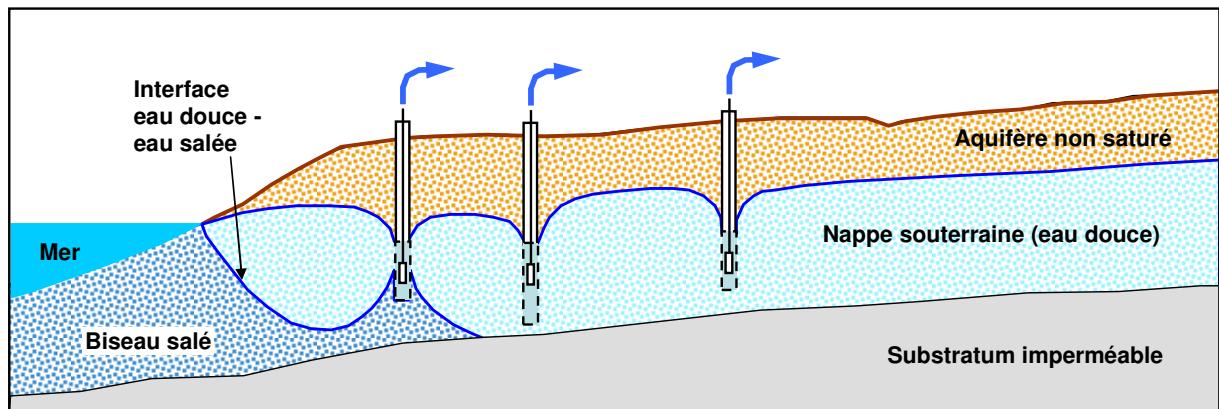


Illustration 20 : Avancée du biseau salé sous l'effet de pompages excessifs

La prévention de ce risque suppose donc de déterminer avec grande précision les modalités de l'exploitation des nappes côtières : localisation des forages et débits maxima. Ce exige une parfaite connaissance du milieu et la possibilité de simuler des scénarios d'exploitation et leurs impacts.

Il est aussi envisageable, par certaines techniques, de valoriser les aquifères côtiers soit en limitant le risque d'intrusion saline par la réalisation de barrages souterrains, soit en y créant, au moyen de la recharge artificielle, des "bulles d'eau douce" protectrices.

En créant une surcharge hydraulique (par « recharge artificielle » : voir ci-dessus § 6.2.3.) on peut en effet contenir le biseau salé et limiter sa pénétration à l'intérieur des terres. Ce dispositif peut être couplé à une réinjection d'eaux usées épurées, comme c'est déjà le cas dans quelques communes littorales (Aquitaine, Languedoc) dont le sous-sol s'y prête.

Par ailleurs, l'interface entre eau salée et eau douce n'est pas brutal : il existe une zone de mélange due à la diffusion du sel de l'eau salée vers l'eau douce (eau saumâtre). Cette propriété, associée à la possibilité de détecter des teneurs de quelques dizaines de milligrammes de sel par litre, signe avant-coureur d'une prochaine contamination, permet de disposer de moyens de surveillance efficaces pour anticiper les désordres quasi irréversibles résultant de l'avancée du biseau salé et de la contamination de forages d'exploitation.

Outre la prise en compte des besoins et des contextes hydrogéologiques locaux, un critère de choix de secteurs favorables doit aussi être l'importance du flux d'eau souterraine en mer qui constraint la position du biseau salé : plus il est faible, plus grand sera le risque. La modélisation réalisée dans le SIGESMAR (volet quantitatif) a mis en évidence la répartition théorique de ces flux (*illustration 21*).

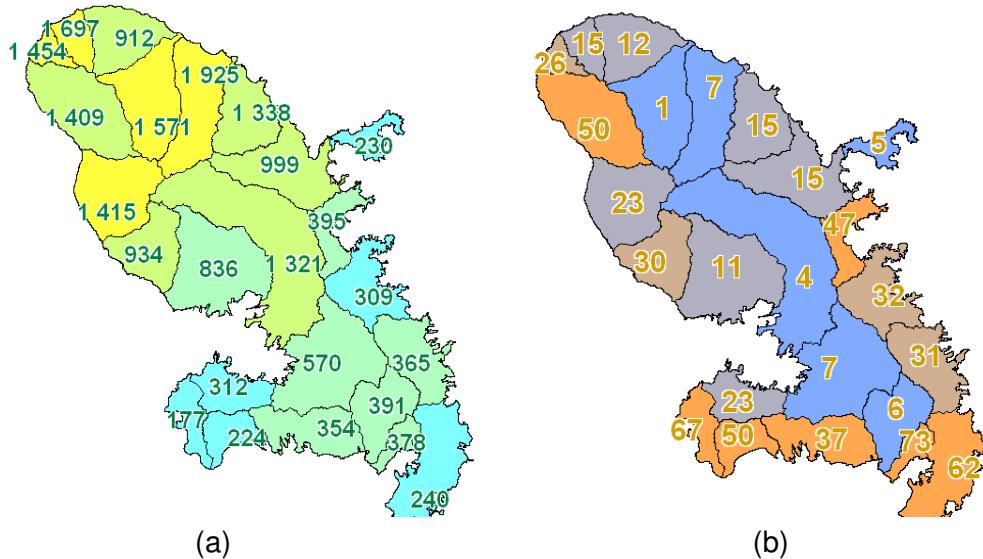


Illustration 21 : Eau souterraine s'écoulant en mer par unité régionale

(a) *En mm*

(b) *En % de l'infiltration*

Dans la perspective d'une remontée du niveau moyen des mers résultant du réchauffement climatique, il est prudent de rechercher de futures zones de captage des eaux souterraines situées de telle manière que la cote piézométrique y demeure largement et pour longtemps au-dessus du futur zéro maritime.

L'identification des secteurs de Martinique à enjeux vis-à-vis du risque d'intrusion du biseau salé doit donc être faite, avec en conséquence la définition des modalités de surveillance et de prévention.

Des préconisations précises doivent être établies en terme de gestion durable de la ressource dans ces milieux sensibles : dispositifs et régimes d'exploitation, dispositifs de suivi, dispositifs de prévention (surcharges artificielles...). Toute exploitation d'eau souterraine littorale est en effet délicate et doit impérativement faire l'objet d'un dispositif spécifique de contrôle selon des règles et procédures spécifiques. Ce suivi piézométrique associé au suivi de la salinité des eaux (a minima par conductimétrie) relève donc à la fois du suivi quantitatif et du suivi qualitatif de la ressource.

6.2.5. Le suivi piézométrique

Outre le cas particulier des aquifères littoraux, la surveillance de la piézométrie, c'est-à-dire des niveaux des nappes, est le principal indicateur quantitatif de la ressource dans la mesure où, convenablement situés et dimensionnés, les piézomètres offrent une résultante intégratrice de l'état des nappes en tant que réservoirs. La piézométrie doit donc s'exercer à partir de points choisis de façon à fournir, à une date donnée, une information aussi complète que possible et non redondante sur l'état des nappes. Cela suppose un réseau opérationnel de mesure, au-delà du réseau DCE actuel, adapté à l'exploitation, aux enjeux, pressions et aux différents contextes hydrogéologiques (suppression des redondances, adjonction de points supplémentaires dans les zones lacunaires à enjeux,...).

La fréquence des mesures doit être fonction :

- de l'importance stratégique actuelle et potentielle des usages dans chaque secteur ;
- de l'ampleur des prélèvements et de l'évolution constatée ou pressentie des pressions ;
- de la sensibilité (réactivité) intrinsèque de la nappe ;

Dans une zone à forte exploitation, les interférences sont possibles et, suivant les régimes d'exploitation des différents forages (débits, succession d'arrêts et de reprises) il peut y avoir tout au long de l'année une variabilité des niveaux mesurés risquant d'occulter les tendances piézométriques générales. D'où la nécessité sur de tels points d'avoir une fréquence de mesure assez serrée pour pouvoir déterminer une valeur moyenne lissée permettant une comparaison fiable des niveaux d'une année à l'autre. En règle générale, les points de contrôle sélectionnés doivent être si possible peu ou pas influencés par un forage proche. L'idéal est l'enregistrement automatisé en continu, à pas de temps réglables, comme c'est le cas pour les réseaux patrimoniaux DCE, y compris en Martinique.

On peut imaginer se fixer comme objectif à terme, sur un réseau opérationnel adapté aux prélèvements, de pouvoir disposer d'une Piézométrie à Objectif d'étiage (POE), d'une Piézométrie de Seuil d'Alerte (PSA), d'une Piézométrie de Crise (sécheresse, inondation : PCR).

Indicateurs piézométriques

Des indicateurs piézométriques peuvent être définis pour caractériser l'évolution des niveaux de nappe sur des secteurs homogènes plus ou moins étendus. Pour remplir efficacement leur rôle, ces indicateurs doivent être :

- 1. synthétiques, pour couvrir toute la plage de fonctionnement entre régimes « normal », « d'alerte », « de crise ».*
- 2. globaux, pour représenter la situation piézométrique et son évolution dans l'ensemble du secteur concerné.*
- 3. lisibles, c'est-à-dire sans ambiguïtés, et incontestables comme déclencheur de décision.*

L'important étant de suivre l'évolution globale d'un secteur sous l'influence des prélèvements, et non l'évolution locale des niveaux piézométriques dans chaque point d'eau particulier (qui ne représente une tendance d'ensemble), un indicateur agrégé est souvent préférable à un simple piézomètre de référence.

Compte tenu du niveau actuel de prélèvement d'eau souterraine en Martinique, cette approche est prématuée. Mais il convient de pouvoir l'envisager et la mettre en œuvre dans le futur, dès lors que les prélèvements s'intensifiaient, notamment sur certains aquifères. Les interprétations en terme de tendances et de seuils d'alerte restera encore à valider en contexte volcanique hétérogène comme en Martinique, mais n'étant a priori envisageable que pour des systèmes particuliers bien identifiables (exemple : nappe du Lamentin...) et sous réserve que leur état de connaissance en permette une modélisation fiable.

6.2.6. Le suivi des prélèvements

La comptabilisation des prélèvements d'eau souterraine est l'autre indicateur fondamental de gestion quantitative. Elle suppose la mise à jour d'un recensement exhaustif des points de captages (forages et sources) et de leur prélèvement sur la ressource, référencés par système global de ressource (aquifères, bassin). Ce registre doit comprendre, outre la localisation et les caractéristiques administratives et techniques du point, son débit instantané et ses fluctuations périodiques, notamment les régimes de pompage afin de pouvoir estimer les prélèvements globaux moyens annuels sur la ressource.

En comparaison avec l'évolution piézométrique observée du système, il sera dès lors possible d'établir des modalités de gestion durable du système, de lui fixer des limites, et de prévenir tout déséquilibre dommageable.

Lorsque l'on pourra disposer de modèles de gestion (intégrée) de la ressource, ces données (piézométrie et prélèvements) seront fondamentales pour en assurer la performance.

6.3. GESTION QUALITATIVE

En Martinique, les principaux risques sur la qualité des eaux souterraines sont les suivants :

- pollutions diffuses par produits phytosanitaires essentiellement d'origine agricole, mais aussi pour certains usages domestiques (jardins) ainsi que dans le BTP pour des usages spécifiques, l'entretien des routes, etc.
- pollutions ponctuelles aux dérivés azotés (nitrates, ammonium) dues à des manques ou défauts d'assainissements, ou des dépôts ou épandages localisés (décharges, lisiers,...),
- pollutions accidentelles sur un tracé routier souvent sinueux et très fréquenté,
- contaminations par eau salée marine en cas de surexploitation en zone littorale.

Seul le premier risque est avéré. Les deux suivants sont localement possibles (nitrates dans le nord). Le dernier dépend du respect de modalités d'exploitation à définir (*voir ci-dessus § 6.2.4*).

6.3.1. La prévention des pollutions diffuses d'origine agricole

En matière de gestion qualitative, les actions de prévention vis-à-vis du risque de contamination des eaux par les produits phytosanitaires est prioritaire en Martinique. Elles supposent en préalable toute une série de connaissances sur :

- les usages de ces produits (quantités, localisation) et les pratiques culturales, afin de les maîtriser,
- les propriétés intrinsèques des milieux concernés : sols, eaux de surface, sous-sol,
- les phénomènes et processus de devenir des produits dans ces milieux, sachant qu'il y en a beaucoup (une trentaine de produits sont retrouvés dans les analyses d'eau), et que chacun peut avoir des comportements différents dans chaque type de milieux (eau, différents types de sols, de sous-sols...).

L'approche intégrée eaux de surface / eaux souterraines est là aussi indispensable, les unes pouvant contaminer les autres. L'évaluation (la quantification) de ce risque

doit se faire par caractérisation de la variabilité spatiale et temporelle de la contamination.

Les produits phytosanitaires pesticides appliqués sur les sols subissent un lessivage par l'eau de pluie, s'infiltraent dans les sols vers la zone non saturée et sont ainsi transférés vers les nappes en profondeur. De nombreux phénomènes tels que la dilution, l'adsorption (« piégeage » de la molécule), désorption (« relargage » de la molécule) et dégradation naturelle se produisent dans le sol. L'ensemble de ces phénomènes rend très complexe l'étude du comportement *in situ* de ces molécules.

Dans le temps, il s'agit de savoir si les eaux souterraines sont exposées à un risque de contamination différée (compte tenu des temps d'infiltration) en relation avec des stocks de produits phytosanitaires aussi bien d'usage abandonné (interdits) mais accumulés jusqu'à interdiction (tel le chlordécone et le beta HCH), qu'actuellement toujours utilisés. Il s'agit donc de pouvoir évaluer des stocks et des flux dans les sols et la zone non saturée.

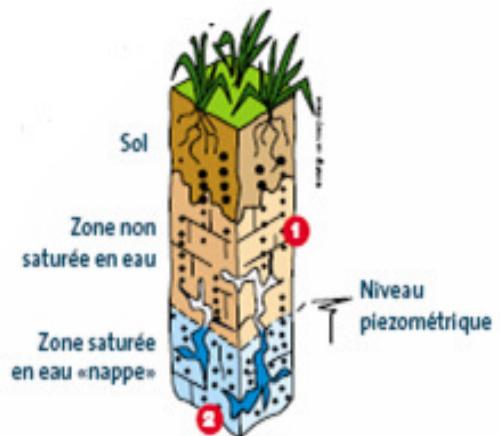
Ou si, concernant les produits qui ne sont plus en usage, la contamination est « en voie de résorption », mais avec encore présence prévisible dans les eaux pour un temps inconnu à déterminer.

Dans l'espace Il s'agit de savoir si cette contamination est circonscrite, voire de prévoir son extension pour prendre les mesures préventives adéquat aux bons endroits.

Dans tous les cas, il convient d'identifier les facteurs explicatifs de cette variabilité et les mécanismes de fixation, de remobilisation et de transfert depuis le sol jusqu'à et dans les nappes, à travers la zone non saturée du sous-sol. Cela exige des investigations en laboratoire (lentes car fonction des durées effectives des processus naturels), et leur validation sur le terrain en conditions naturelles.

Concernant les nitrates dont la valeur limite pour l'AEP de 50 mg/litre commence à être atteinte voire dépassée ponctuellement dans le nord de l'île, des mesures de correction s'imposent avant que la situation ne dégénère et afin que la situation soit rétablie pour 2015.

A noter que la prévention des captages AEP contre les pollutions diffuses est une exigence de la directive cadre sur l'eau traduite dans la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30/12/2006 et sa circulaire d'application du décret « article 21 » de la loi sur l'eau (article L.211-3 point 5° du code de l'environnement introduit par l'article 21 de la loi sur l'eau et instaurant les zones de protection des « aires d'alimentation des captages » ou AAC). Sa mise en œuvre suppose d'une part la délimitation préalable de ces AAC, équivalents aux Bassins d'Alimentation des Captages (qui sont donc plus larges que les périmètres de protection réglementaires prévus), et d'autre part une



méthodologie spécifique adaptée au contexte local, à l'instar de celle établie au niveau national pour le contexte de Seine-Normandie (cf. rapport BRGM / RP-55874-FR).

6.3.2. Le suivi de la qualité des eaux souterraines

La surveillance de la qualité des eaux doit s'exercer à partir de points choisis de façon à fournir périodiquement et en tant que de besoin, une information aussi complète que possible et non redondante sur l'état des nappes. Cela suppose le déploiement et la gestion d'un réseau de mesure adapté aux objectifs de gestion qualitative établis pour le système de ressource (ou la masse d'eau), fonction des usages, enjeux et pressions.

La fréquence des mesures doit également être fonction :

- de l'importance stratégique actuelle et potentielle des usages dans chaque secteur ;
- de l'évolution constatée ou pressentie des risques et pressions polluantes sur la qualité des eaux (ex. : avancée d'un panache de pollution ou d'un biseau salé)
- de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe.

Or le réseau actuel dit « de surveillance et opérationnel » quasi confondus établi en 2006 au titre de la DCE n'a pas vocation à répondre à tous ces objectifs de contrôle de l'exploitation. C'est en effet un réseau :

- patrimonial, destiné en principe à fournir une image réaliste de l'état chimique du milieu aquatique « eau souterraine », consolidé et représentatif au niveau de chacune des 6 masses d'eau souterraine identifiées en 2004 dans le cadre de la procédure et du calendrier DCE,
- qui à cet effet doit faire l'objet d'un nombre restreint de points par masses d'eau,
- qui en Martinique, vu le très petit nombre de « points d'accès » aux eaux souterraines, utilise essentiellement les piézomètres du réseau piézométrique, implantés sur des critères indépendants des pressions sur la qualité des eaux. De surcroit, ces ouvrages sont équipés d'appareillages fixes de mesures, d'enregistrements et de télétransmission qu'il faut déposer, réinstaller et recalibrer lors de chaque prélèvements d'eau par pompage pour analyses dans le cadre de cette surveillance de qualité des eaux,
- qui se trouve être souvent localisés, du fait des critères d'implantations piézométriques, sur des secteurs à fortes pressions sur la qualité des eaux : au centre, voire à l'aval de zones agricoles intensives, notamment dans le nord atlantique.

La DCE établi par ailleurs les modalités de surveillance des zones dites protégées ainsi que les conditions de surveillance des masses d'eau exploitées pour l'AEP. Or Si pour les eaux de surface des contrôles additionnels sont requis (annexe V.1.3.5), il

n'en est pas de même pour les eaux souterraines : rien n'est demandé à ce sujet dans l'annexe V.2. Aucun contrôle additionnel dans les masses d'eau souterraine n'est donc exigé pour la surveillance des zones protégées (*voir annexe 2*). Dans notre contexte insulaire et dans la perspective de mise en exploitation croissante des eaux souterraines pour l'AEP, cette disposition devrait impliquer la prise de mesures locales spécifiques pour étendre aux eaux souterraines les dispositions prévues pour les eaux de surface.

Nécessaire mais insuffisant, ce réseau de surveillance n'offre donc pas une image objective de l'état des masses d'eau. Il doit être complété par un réseau local de contrôle opérationnel, idéalement doté de qualitomètres spécialement dédiés et implantés en fonction d'objectifs de qualité. Un tel réseau est d'ailleurs également préconisé par la DCE, mais pas encore mis en œuvre en Martinique.

La DCE stipule que le contrôle opérationnel s'applique à « *toutes les masses d'eau ou tous les groupes de masses d'eau souterraine qui, sur la base de l'étude d'incidence et d'un contrôle de surveillance, sont identifiées comme risquant de ne pas répondre aux objectifs visés à l'article 4* ». Le réseau opérationnel sera donc approximativement un réseau d'impact. Il devra être constitué des sites du réseau de surveillance complétés par d'autres sites judicieusement sélectionnés pour suivre les pollutions identifiées (en aval des sources de pollution).

Il ne s'agit donc pas de déterminer une densité de points pour ce réseau (même si celle-ci sera nécessairement plus grande que pour le contrôle de surveillance). Il convient d'avantage de sélectionner des points en fonction des conditions hydrogéologiques locales et de la nature de la pollution identifiée. En outre, dans la perspective de mieux caractériser la tendance d'évolution d'un polluant, le contrôle opérationnel consistera pour certains points appartenant déjà au réseau de contrôle de surveillance à augmenter la fréquence de prélèvement. Pour de nombreux paramètres et pour les pollutions diffuses en particulier (nitrates et pesticides), les variations saisonnières sont telles que deux prélèvements par an ne suffisent pas à apprécier leur tendance d'évolution.

Des recommandations spécifiques ont déjà été formulées pour la Martinique (par le BRGM sous l'égide de la DIREN), concernant la localisation des points, les paramètres à analyser, les fréquences des analyses, le contrôle des pollutions diffuses et ponctuelles, la directive Nitrates,...

En outre, il conviendrait d'identifier des unités de gestion plus précises que les masses d'eau et mieux adaptées à la gestion locale (intégrée), pour notamment mieux prendre en compte les pressions anthropiques et principalement la pression agricole. Cet exercice pourra utilement s'appuyer sur la cartographie de l'identification des formations aquifères et de leurs potentialités telle qu'établie dans le SIGESMAR.

7. Conclusion

L'objectif de la Collectivité régionale de Martinique est de contribuer à assurer le plus rapidement possible l'adéquation des ressources en eau mobilisées à l'évolution de la demande, la sécurisation et la pérennisation de ces mobilisations, ainsi que la qualité de l'eau produite dès lors qu'elle est destinée à la consommation. Cet objectif relève de ses responsabilités en matière d'aménagement du territoire, d'équipements sociaux, de connaissance, de valorisation et de protection des ressources naturelles et de l'environnement de la Martinique.

Si actuellement les eaux souterraines ne contribuent qu'à environ 7% de la production pour l'AEP (majoritairement par captages de sources), la Région souhaite que soit progressivement portée cette contribution jusqu'à au moins 20% en 2020 (majoritairement par forages).

Un tel objectif ne peut qu'être fondé sur une évaluation réaliste de la ressource potentielle. C'est à cet effet qu'a été élaboré de 2005 à 2008 le « Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines de Martinique » (SIGESMAR) en partenariat avec la Région Martinique et la DIREN.

7.1. LE SIGESMAR

Ce projet a permis de capitaliser, actualiser et organiser toute l'information hydrogéologique de la Martinique sous Système d'information Géographique, et d'établir une évaluation à l'échelle régionale de la ressource en eau souterraine sous tous ses aspects. Il aura été mis en évidence l'importance d'organiser une gestion intégrée des ressources en eau d'un territoire insulaire aussi restreint et contraint que la Martinique.

Ce faisant a été produit un outil d'aide à la décision à l'attention des maîtres d'ouvrage et un guide pour les techniciens en matière de programmation, prospection, exploitation et gestion durable des eaux souterraines de Martinique.

Les aspects traités auront fait l'objet de plusieurs phases :

1. Identification et localisation des formations aquifères, avec leurs potentialités quantitatives, au niveau de 24 unités régionales (ou bassins hydrogéologiques) et en mettant en évidence un maximum de 5 niveaux possibles de formations aquifères superposées.
2. Evaluation de la ressource potentielle en eau souterraine issue d'une modélisation hydroclimatologique précise, consolidée au niveau des 24 unités régionales et au niveau régional.
3. Caractérisation de la qualité naturelle des eaux souterraines en relation avec le fond géochimique, en valorisant et complétant (analyses isotopiques) les cam-

pages d'analyses périodiques effectuées depuis 2004 sur le réseau de surveillance mis en place dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau de 2000.

4. Evaluation et zonage de la vulnérabilité intrinsèque des systèmes superficiels : les plus nombreux et directement sujets aux pressions sur la qualité de leurs eaux, par une méthode discriminante adaptée au contexte (IDPR).
5. Synthèse cartographique, avec exemples d'exploitation de l'information géographique obtenue, pour mettre en évidence des zonages utiles à l'orientation des prospections, de l'exploitation, de la gestion, de la prévention contre les risques de dégradations de la qualité des eaux, ou de tout autre objectif
6. Recommandations pour se doter des connaissances nécessaires à une mise en valeur, une exploitation raisonnée et une gestion durable de la ressource souterraine sur les plans quantitatifs et qualitatifs.

Ces résultats ont d'abord mis en perspective les besoins en eau exprimés sous leurs diverses composantes : quantités, régularité, qualité, sécurité. Certaines caractéristiques des eaux souterraines de Martinique sont intrinsèques à ce type de ressource : régularisation naturelle du stock souterrain, bonne protection par rapport aux ressources alternatives. D'autres ressortent des évaluations faites spécifiquement pour la Martinique : ressource encore peu exploitée avec un potentiel non négligeable au regard des besoins, mais milieu souterrain complexe. Il s'agit donc d'une ressource renouvelable a priori d'importance non négligeable dans le cycle de l'eau martiniquais, et qui peut être stratégique et même vitale dès lors, par exemple, qu'elle est dédiée à l'alimentation en eau potable (AEP) ou au moins qu'elle est en mesure d'y contribuer significativement.

7.2. LES POSSIBILITES DE VALORISATIONS GEOGRAPHIQUES DES RESULTATS

Le travail de synthèse, de compilation et de croisement des données géoréférencées sous système d'information géographique réalisé dans le cadre du projet SIGESMAR permet de dresser des cartes « sur mesure » c'est-à-dire à partir de données de base choisies parmi celles mises à disposition, en fonction d'objectifs spécifiques.

Trois avertissements doivent cependant être pris en compte :

- Le système d'information a été élaboré au niveau régional, sur une base de précision des entités au 1/ 50 000. Toute utilisation doit donc être faite en connaissance de cause : les documents produits ne peuvent avoir une précision artificiellement recherchée à une échelle supérieure par effet de zoom par exemple. Les agrandissements au 1/25 000 sont un maximum tolérable.
- La ressource en eau souterraine se répartit dans le sous-sol, en profondeur, sur plusieurs niveaux. En l'occurrence, 5 niveaux ont été identifiés en Martinique. Seul le niveau le plus superficiel est renseigné en matière de

vulnérabilité, et c'est également celui qui est majoritairement atteint par les ouvrages contrôlés pour la qualité des eaux.

- La démarche du SIGESMAR en exploitation géographique n'a traité que des critères hydrogéologiques et de qualité des eaux. Il reste à prendre en compte l'évaluation des besoins (actuels et prospectifs) avec leur répartition spatiale, ainsi que l'implantation des équipements hydrauliques structurant existants, les caractéristiques quantitatives et qualitatives des eaux de surface alternatives : ce sont des données indispensables à considérer pour mettre en adéquation et optimiser la recherche et l'exploitation de la ressource en eau telle qu'évaluée avec les besoins à venir tels que pressentis.

Le rapport BRGM / RP-56242-FR (2008) présente ainsi des exemples d'exploitations cartographiques synthétiques des seules données hydrogéologiques sur la ressource en eau souterraine.

Pour préciser les politiques de prévention contre les risques sur la qualité des eaux, des croisements ont été faits entre cette cartographie des productivités espérées des aquifères superficiels et leur vulnérabilité, avec les différentes pressions sur la qualité des eaux: les intrants agricoles (pollutions diffuses de nitrates et produits phytosanitaires dont le chlordécone), l'urbanisation (assainissement diffus incontrôlé), le réseau routier (risques accidentels). La prévention peut ainsi être traitée géographiquement en fonction des risques (les risques de pollutions diffuses étant les plus problématiques). A titre d'exemple de valorisation géographique, si on voulait s'affranchir de tous risques, une carte synthétique des productivités a été élaborée ne laissant apparaître que les secteurs les moins vulnérables, et occultant les autres (en rouge sur la carte en illustration 23 ci-dessous).

On constate ainsi que seul 15% du territoire est soumis à un risque anthropique fort (essentiellement agricole) mais que ce taux varie de 27% (masse d'eau nord) à 1% (masse d'eau sud caraïbes).

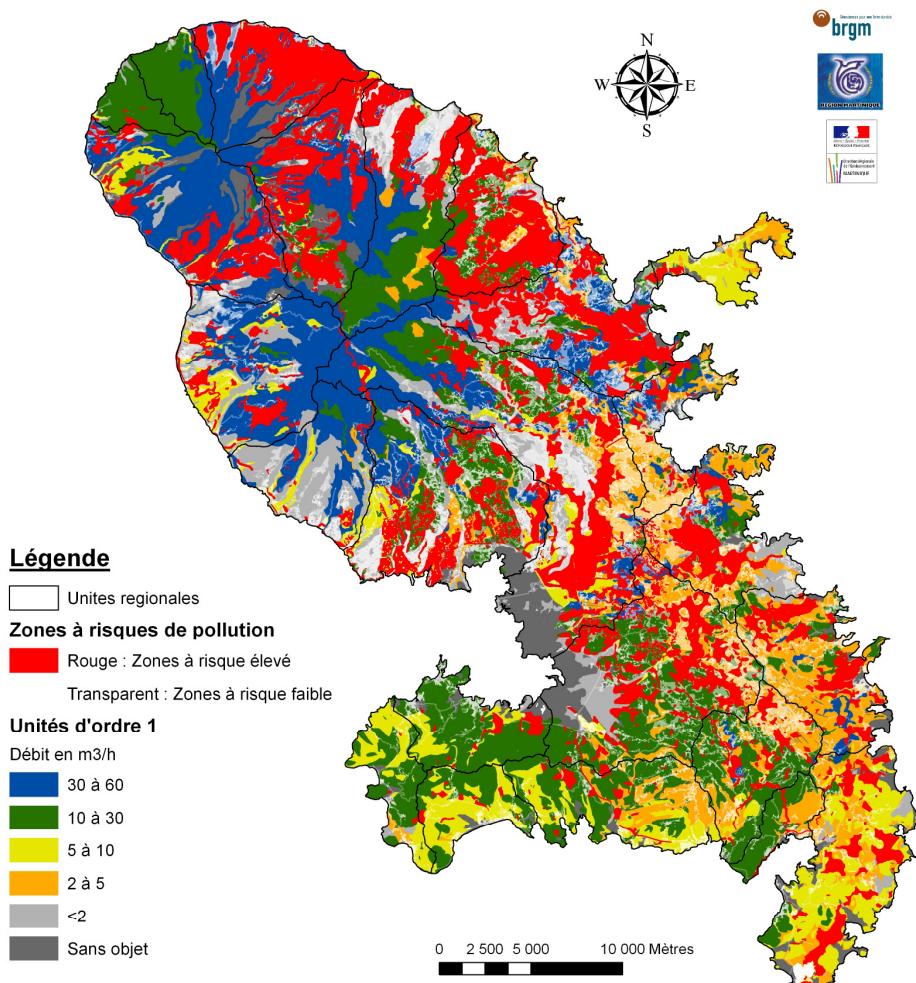


Illustration 23 : Croisement des productivités espérées et des risques sur la qualité des eaux

Plus précisément, il est donc théoriquement possible d'identifier par traitements géographiques, une typologie de secteurs fonction d'objectifs spécifiques de politiques de mise en valeur et/ou de protection :

- les secteurs (a) a priori productifs et peu vulnérables : d'intérêt majeur si on privilégie l'exploitation par recherche de quantités d'eau de bonne qualité,
- les secteurs (b) a priori productifs mais vulnérables : à protéger prioritairement pour préserver le maximum de ressources dans le cadre de la gestion préventive de la qualité des eaux, si on veut privilégier la quantité pour l'AEP,
- les secteurs qui s'avéreront stratégiques pour l'AEP au vu de leur localisation vis-à-vis de besoins localisés et / ou d'infrastructures existantes (réseaux d'adduction ou de distribution, réservoirs), et parmi ceux-ci et notamment :

- ceux qui seraient de type (a) ci-dessus apparaîtraient comme prioritaires pour l'exploitation AEP,
- ceux qui seraient de type (b) ci-dessus, exigeraient des dispositifs de protection prioritaires,
- ceux qui seraient de moindre productivité, mais peu vulnérables, permettant une exploitation peu risquée dès lors que leur localisation serait stratégique au regard de la localisation des besoins, mais sous réserve de prospections plus étendues et plus précises,
- ceux qui seraient de moindre productivité et en outre vulnérables, et qui ne seraient pas prioritairement à mettre en valeur,
- etc...

On peut donc ainsi mettre en évidence, par exemple, une hiérarchisation des secteurs (ou bassins) à protéger, en ciblant les actions en fonction de la répartition de risques avérés, ou selon tout autre critère d'aménagement.

De tels traitements sont a priori illimités, selon les objectifs et priorités de gestion que l'on se donne. Ils contribuent ainsi objectivement à l'aide à la décision en matière de gestion de l'eau, dans la mesure où ces caractérisations des eaux souterraines pourront être comparées avec les caractérisations équivalentes des ressources alternatives (eaux de surface notamment).

D'autres traitements sont possibles, notamment en introduisant la répartition géographique des besoins, des équipements de distribution existants, etc. contribuant ainsi objectivement à l'aide à la décision en matière de gestion et d'aménagements des eaux et du territoire (politiques sectorielles, aide à la programmation, aide à la mise en œuvre...). Des mises à jour sont bien évidemment envisageables et souhaitables, notamment pour la prise en compte d'autres pressions, de la répartition et de l'expression des besoins, la modification des pondérations, ou la réalisation d'autres croisements thématiques spécifiques « à la demande ».

On pourrait ainsi, compte tenu de leur localisation, productivité, vulnérabilités, des pressions encourues mais aussi des besoins et infrastructures existantes, identifier les aquifères stratégiques pour l'AEP en évaluant les niveaux des objectifs et mesures de prévention et préservation quantitatives, mais surtout qualitatives

Mesure 87 du SDAGE de 2002 : «Identifier, protéger et définir les modalités de gestion des espaces de référence...notamment les « têtes de bassin ». Identification à poursuivre, mesures à définir... »

7.3. SYNTHESE ET PERSPECTIVES DE MISE EN VALEUR ET DE GESTION DURABLE DES EAUX SOUTERRAINES

En matière de mise en valeur de ses ressources naturelles en eau souterraine, la Martinique se situe dorénavant à un point d'étape : un bilan des connaissances vient d'être établi, des actions de prospections et d'exploitation sont en cours depuis peu, mais, mis à part une surveillance à grand échelle (dans le cadre de la DCE), il n'y a pas encore de gestion locale organisée pour une exploitation raisonnée, intégrée et durable de cette ressource.

Cette phase du programme régional de connaissance des eaux souterraines de Martinique se termine donc par un ensemble de recommandations et de pistes pour assurer au mieux la mise en valeur de cette ressource, et surtout sa gestion durable, quantitative et qualitative, dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau de la Martinique. Autrement dit pour se donner les moyens de gérer ce capital (renouvelable) en toute connaissance de cause, pour garantir ce potentiel en quantité et qualité dès lors qu'il sera de plus en plus exploité, afin de minimiser et prévenir les risques et donc faire face aux inévitables situations de crise, mêmes aléatoires.

En matière d'identification des structures potentiellement aquifères, l'évaluation repose sur des informations disponibles telle la carte géologique au 1/50 000 et des données souvent anciennes parfois très fragmentaires et ponctuelles du fait du peu de forages en exploitation et de programmes récents de recherche en eau souterraine. Or seuls des forages bien implantés, bien conçus, bien réalisés, avec toutes les observations et essais *in situ* qu'ils produisent, et avec les analyses d'eau découverte, permettent de certifier une ressource locale : ce document en rappel les principes.

En matière de quantification théorique de la ressource par contre, l'évaluation repose sur une modélisation hydroclimatologique précise (1000 mailles de 1 km²) des conditions spatio-temporelles d'alimentation naturelle par infiltration. De même l'évaluation de la qualité des eaux est fondée aussi bien sur une analyse documentaire que sur les résultats concrets du suivi détaillé de la qualité des eaux souterraines entrepris depuis 2004 et complété par des analyses spécifiques.

D'autres éléments de connaissances spécifiques doivent encore être acquis ou complétés : par exemple en ce qui concerne la problématique de transferts des produits phytosanitaires depuis les sols, celle de la gestion des aquifères littoraux (en secteurs de forts besoins) vis-à-vis du risque de biseau salé. La faisabilité de différentes techniques de gestion active devra également être envisagée, telle que la recharge artificielle pour soutenir les aquifères les plus sensibles et en même temps jugés stratégiques.

Mené parallèlement aux réflexions sur la révision du SDAGE (prévue pour être arrêté fin 2009), ainsi que l'élaboration de schémas d'AEP (départemental, intercommunaux), les résultats du programme SIGESMAR et l'outil élaboré devrait contribuer utilement non seulement à la mise en œuvre du SDAGE révisé et des schémas d'AEP, mais aussi aux réflexions en cours pour l'aménagement du territoire (SAR) ainsi que pour d'autres schémas territoriaux.

Des croisements pourraient ainsi être utilement réalisés entre les résultats du SIGESMAR et les informations et données en matière d'occupation et de gestion de l'espace pour identifier et argumenter des objectifs d'aménagement et de gestion intégrés du territoire.

Au niveau de la gouvernance du secteur de l'eau, il conviendrait donc d'intégrer la composante souterraine :

- au titre d'une indispensable gestion intégrée des eaux (surface, souterraine, littorale), parce que naturellement interdépendantes, par unités naturelles de gestion adaptées, avec des acteurs responsables identifiés dans une démarche coordonnée entre les nombreux intervenants,
- selon des modalités techniques adaptées au contexte et aux objectifs, en privilégiant la sécurité des approvisionnements par régularisations, et la préservation de la qualité naturelle des eaux,
- avec une approche économique au sens large, c'est-à-dire qui ne se limite pas aux indicateurs économiques stricts (investissements, fonctionnements, coûts et prix), mais incluant les coûts, bénéfices et impacts sociaux et environnementaux.

Des éléments technico-économiques manquent en effet encore, de même que des approches socio-économiques adaptées. Ainsi pour ce qui est du choix de l'origine de l'eau à mobiliser en fonction du besoin, parmi les alternatives, en appréciant bien les avantages et inconvénients de chacune. L'eau souterraine peut aussi présenter des inconvénients en matière d'aléa géologique en phase de prospection, ou d'inertie des contaminations par exemple. On insiste, au stade des choix d'alternatives à l'amont des projets, sur la nécessité de bien en cerner tous les aspects :

- techniques : guides et méthodes de prospections, exploitation, maintenance, gestion, etc.,
- économiques : coûts d'investissements et de fonctionnement comparés aux alternatives,
- sociaux : dans le domaine de l'AEP, en matière de proximité, de sécurisation qualitative et quantitative,
- environnementaux : impacts sur les autres milieux aquatiques, impacts fonciers, paysagers, écologiques, vulnérabilité aux risques naturels...

Outre leur mise en perspective par rapports aux eaux de surface, ou à défaut de cette ressource, la mobilisation d'eaux souterraines pourra également être comparée à des alternatives non conventionnelles telles que le dessalement d'eau de mer ou la réutilisation d'eau usée épurée par exemple (voir annexe 3).

Au-delà de l'organisation de l'information et de sa diffusion, ce Système apparaît donc comme un véritable outil d'aide à une bonne gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau. En effet, il offre de manière exhaustive sur tout le territoire (à l'échelle régionale du 1/50 000^{ème}) une évaluation actualisée de la ressource en eau souterraine sous ses différents aspects.

En outre, dès lors qu'il sera validé et affiné au fur et à mesure que se feront des travaux sur le terrain, mais aussi et surtout, qu'il intégrera d'autres paramètres (ressources alternatives, socio-économie,...), il constituera un outil à disposition des politiques, décideurs, maîtres d'ouvrage et techniciens en matière de programmation pour l'exploitation, la mise en valeur, la gestion durable et raisonnée non seulement de cette ressource souterraine, mais de la ressource en eau dans son ensemble.

Des solutions pourront alors être développées, au besoin innovantes, visant à assurer une bonne complémentarité de l'utilisation de toutes les ressources en eau, quelle que soit leur origine, et intégrées aux politiques et schémas de mobilisation et d'approvisionnement sectoriels appropriés à une desserte efficiente des différents usages, contribuant donc au développement social et économique tout en respectant l'intégrité des milieux naturels.

8. Bibliographie

Gouvernance, gestion et aménagement des eaux de Martinique

Le SDAGE de Martinique (2002). Comité de Bassin.

SDAGE 2002 : Bilan 2007. Comité de Bassin. ODE. SCPid/Caraïbe Environnement

Avant-projet de SDAGE. District hydrographique de la Martinique Comité de Bassin. ODE. SCPid/Caraïbe Environnement. Version 5. (juin 2008). 77p.

Avant-projet du Programme de mesures 2010-2015. District hydrographique de la Martinique. Comité de Bassin. ODE. Version provisoire (juin 2008). 68p.

Secteur AEP

Schéma Directeur Départemental d'Alimentation en Eau Potable de la Martinique. Projet (2007). Conseil Général / SAFEGE Caraïbe.

Le système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique

Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Ladouche B., Maréchal J.C., Petit V, (2007). Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : Identification et caractérisations quantitatives. BRGM/RP-55099-FR, 221 p., 87 ill., 8 ann.

Allier D, Vittecoq B. Mardhel V. (2008) Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique. BRGM/RP-56283-FR, 53 p., 4 ann.

Brenot A., Vittecoq B., Négrel P., Mardhel V., (2008). Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : Caractérisation et différenciation géochimique des eaux souterraines de la Martinique. BRGM/RP-56266-FR. 109 p., 3 ann.

Pinson S, Vittecoq B, Allier D, Mardhel V, (2008) Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Synthèse cartographique. BRGM/RP-56242-FR. 71p., 36 ill., 1 ann.

Leclerc B., Chevrier C., (2009). Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : Description des masses d'eau souterraines. BRGM/RP-57345-FR. 103p., 80 ill., 6 ann.

Surveillance des eaux souterraines de Martinique

Comte JP., P. La Fata (2001) – Inventaire historique des ouvrages de suivi piézométrique de Martinique. Rapport R-51497, 12 pages, 1 fig., 2 tabl., 4 ann.

Vittecoq B. (2006) – Définition des réseaux de suivi de l'état quantitatif et du contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique, conforme aux prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. BRGM/RP-55098-FR. 55 pages, 6 illustrations, 4 ann.

Ollagnier. S., (2007) – Contrôle de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la Martinique relatif aux prescriptions de la Directive Cadre européenne sur l'Eau : Campagne de saison sèche 2007. BRGM/RP-55812-FR. 70 p., 50 ill., 2 ann.

Ollagnier. S. (2008) – Réseau piézométrique de Martinique – Année 2007. BRGM/RP-56114-FR. 109p., 7ill., 5ann.

Ollagnier. S., Brugeron A. Vittecoq B. (2008) – Contrôle de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la Martinique : Saison des pluies 2007. BRGM/RP-56278-FR. 110 p., 61 ill., 2 ann.

Brugeron A. Vittecoq B. (2009) – Contrôle de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la Martinique : Saison sèche 2008 – Analyse des évolutions observées BRGM/RP-56638-FR. 105 p., 66 ill., 2 ann.

Leclerc B. (2009) – Réseau piézométrique de Martinique – Année 2008. BRGM/RP-57178-FR. 58p.,12 ill., 6 ann.

Hydrogéologie de la Martinique : Etudes particulières

Comte J-P. Charguérion C., Lachassagne P. (2003) – Domaines hydrogéologiques et pré-délimitation des masses d'eau souterraine de la Martinique. BRGM/RP-52688-FR, 13 p., 5 ann.

Desprats J.F., Comte J.P. et al. (2004) – Cartographie du risque de pollution des sols de Martinique par les organochlorés. Rapport Phase 3. BRGM/RP-53262-FR, 23 p, 10 ill., 6 cartes hors texte.

Vittecoq B, Gourcy L, Baran N, (2007). Datation des eaux souterraines de Martinique par l'analyse conjointe des CFC, SF6 et tritium et relation avec les concentrations en nitrates et produits phytosanitaires. BRGM/RP-55844-FR, 50 pages, 29 ill.

Vittecoq B, Lachassagne P, Trainau H, (2008). Hydrogéologie du flanc est de la Montagne Pelée, BRGM/RP-55936-FR. 101 p., 2 ann.

Vittecoq B, Brugeron A, (2008). Recherches de nouveaux sites favorables à la prospection d'eau souterraine sur le territoire de la CACEM, BRGM/RP-56468-FR. 154 p., 28 ill., 4 ann.

Gestion des périmètres de captages AEP par forages

Vernoux.J.F., Wuilleumier.A., Dorfliger.N., (2007) - Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique. Rapport. BRGM/RP-55874-FR, 75 p, 14 ill.

Vernoux. J-F., Wuilleumier. A., Seguin. J-J., Dorfliger. N., Martin. A., (2007) - Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages (BAC) et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Seine-Normandie. BRGM/RP-55332-FR

Gestion active

Noyer M.L., 2000 – Systèmes d'aide à la décision pour la gestion des hydro-systèmes. Analyse bibliographique de l'état de l'art. Rap. BRGM/RP 50353-FR

Seguin J-J., 2002 – Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux « Nappes profondes de Gironde ». Orientations de gestion et propositions d'indicateurs piézométriques pour le tableau de bord du SAGE. Rap. BRGM/RP 51777-FR.

Wuilleumier A., Seguin J-J. (2008). Réalimentation artificielle des nappes en France. Bilan de l'existant et conditions hydrogéologiques requises. BRGM/RP-55063-FR, 76 p, 5 ann.

Gestion des aquifères littoraux

DAUM J-R. avec la collaboration de BAKALOWICZ M., CHERY L., LONGIN G. (1996). Méthode et moyens de contrôle des biseaux salés dans les aquifères littoraux. Rapport BRGM R-38847, 77 p., 27 fig., 5 tabl.

COLLIN J-J, 2004 – Les eaux souterraines. Connaissance et gestion. BRGM Editions-Hermann.

Dessalement

Le Guern C., Lachassagne P., Noël Y., Persin F., De Buysscher (2003). Dessalement et recharge artificielle : synthèse technico-économique, Rapport BRGM/RP-52262-FR, 80 p., 12 Fig., 7 Tab., 8 ann.

Annexe 1

Les recommandations du SDAGE de Martinique en matière d'eau souterraine

Le SDAGE de Martinique, élaboré sous l'égide du Comité de Bassin, approuvé par arrêté préfectoral du 07 août 2002, et au travers les propositions en cours pour sa révision en 2009, dresse un bilan complet de la situation, de son évolution récente, et des principes d'action (orientations fondamentales) et règles de gestion (ou dispositions) qu'il convient de mettre en œuvre au moins à l'horizon 2015, première étape d'objectif de la Directive Cadre Européenne sur l'eau de 2000.

Les propositions de recommandations du SDAGE révisé concernent directement ou indirectement les eaux souterraines sont rappelées ci-dessous :

II.1 ORIENTATION 1 : Prendre en compte la sécurisation, la régulation et la diversification de la ressource pour répondre aux besoins sans porter atteinte aux milieux, avec le souci d'un développement durable.

OBJECTIF 4 : IDENTIFIER, VALORISER ET PROTEGER LES RESSOURCES SOUTERRAINES EN VUE D'UNE EXPLOITATION DURABLE

1.4.1. Développer la connaissance en matière d'eaux souterraines

Mesure 17. Prospecter les eaux souterraines sur l'ensemble de l'île en hiérarchisant les secteurs d'intérêts, en insistant sur les secteurs les plus fragiles, et en déterminer les potentiels de production des eaux souterraines dans le respect des limites qualitatives.

1.4.2. Mieux inscrire les eaux souterraines dans les Schémas de desserte

Mesure 18. Définir des objectifs de qualité et de quantité en fonction des connaissances acquises et des usages.

Mesure 19. Organiser la maîtrise d'ouvrage de la mobilisation des eaux souterraines en cohérence avec le schéma général de desserte.

Mesure 20. Programmer la mise en service de captage en rapport avec les objectifs de sécurisation quantitative des besoins courants et de pointe, en temps normal et en période de crise.

Compte tenu de la sensibilité de certaines zones aquifères aux problèmes potentiels de biseau salé ou de risque de contamination en zone dense, et de leur nécessaire insertion au sein d'un schéma de desserte, définir des niveaux de qualité et de quantité de référence des nappes est

essentiel, ce afin de disposer de témoins de leur usage et de leur sensibilité à un risque qualitatif ou quantitatif.

Cependant, sa faisabilité technique nécessite de disposer d'un contexte institutionnel favorable à sa mise en œuvre opérationnelle qui se traduit par la production d'un schéma général de desserte, soit le Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de la Martinique (SDAEP) qui doit se terminer en 2008 (voir mesure 28).

Ainsi, compte tenu des potentialités de ressource souterraines évaluées dans le cadre des études Régions/BRGM (voir mesure 17) le projet de Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable préconise l'exploitation de cette ressource avec le souci de la préserver.

La mise en service de captage des eaux souterraines doit permettre une sécurisation quantitative des besoins courants et de pointe, en temps normal et en période de crise, ce qui s'inscrit dans ce même SDAEP. Par ailleurs, des forages devront être mis en service pour l'étiage 2008 notamment sur le territoire de la CACEM et du SICSM.

1.4.3. Gérer le patrimoine souterrain

Mesure 21. Organiser et mettre en place un réseau de suivi piézométrique et de qualité des eaux souterraines adapté au suivi des prélèvements et à la compréhension des dynamiques.

Mesure 22. Suivre et analyser les impacts des prélèvements sur les potentiels de qualité et quantité de la ressource souterraine.

L'exploitation des ressources souterraines de la Martinique pour la production d'eau potable est encore faible mais elle est amenée à se renforcer avec en parallèle, le suivi quantitatif des aquifères exploités.

Le suivi quantitatif, initié en 2003, doit permettre une gestion durable de la ressource dont l'exploitation est amenée à se développer. Il s'agit de vérifier l'équilibre entre les prélèvements pour la production d'eau potable et la recharge naturelle des nappes. Pour cela, le niveau des nappes, appelé niveau piézométrique, est relevé automatiquement toutes les heures, sur 33 points d'observation. Les données brutes validées se trouvent sur le site www.ades.eaufrance.fr et plusieurs fois par an des bulletins de situations piézométriques sont édités par le BRGM.

Le suivi qualitatif, initié en 2004, poursuit deux objectifs :

- Une meilleure connaissance de la qualité naturelle des eaux souterraines et leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions,
- Le suivi des contaminations liées aux activités humaines.

Pour cela, les ions majeurs et certains métaux sont analysés sur 29 stations et la présence de produits phytosanitaires est recherchée sur environ 10 d'entre elles, deux fois par an. (www.martinique.ecologie.gouv.fr).

Mesure 23. Développer la compréhension des mécanismes de transfert des eaux et des flux polluants via les eaux souterraines.

**OBJECTIF 5 : DEVELOPPER UNE GESTION DES ESPACES ET DES ACTIVITES
DES BASSINS VERSANTS DANS LA PERSPECTIVE D'UNE REGULATION DE LA
RESSOURCE**

**1.5.1. Comprendre les mécanismes de transfert en relation avec les modes
d'utilisation des sols**

Mesure 24. Lancer des études de compréhension des mécanismes de transfert sur 2 à 3 bassins versant test.

Annexe 2

La surveillance des zones protégées d'après la DCE

D'après la Directive cadre européenne sur l'eau de 2000 (DCE, article 6) le registre des zones protégées peut inclure pour les eaux souterraines :

- « les masses d'eau utilisées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine fournissant en moyenne plus de 10 m³ par jour ou desservant plus de 50 personnes, et les masses d'eau destinées dans le futur à un tel usage » (article 7),
- les zones vulnérables aux nitrates établies conformément à la Directive Nitrates (91/676/EEC),
- les sites Natura 2000 établis conformément à la Directive Habitats (92/43/EEC) ou à la Directive Oiseaux (79/409/EEC),

L'article 7 précise par ailleurs les conditions de surveillance des masses d'eau exploitées pour l'AEP. Il est demandé aux Etats membres :

- d'identifier les masses d'eau exploitées pour l'AEP fournissant plus de 10 m³/jour, ainsi que les masses d'eau destinées à un tel usage dans l'avenir
- de surveiller les masses d'eau fournissant plus de 10 m³/jour en s'assurant qu'elles respectent les normes de qualité définies par la Directive 98/83/CE,
- de surveiller les masses d'eau fournissant plus de 100 m³/jour non seulement en s'assurant qu'elles respectent les normes de qualité définies par la Directive 98/83/CE, mais aussi en les incluant au réseau de surveillance décrit précédemment (annexe V).

En pratique, lors de la sélection des sites de surveillance, il conviendra de faire attention au fait que les données acquises par les DSDS ne seront pas toujours suffisantes en terme de fréquence notamment. Ainsi, soit ces points ne peuvent pas être sélectionnés, soit des analyses complémentaires sont à prévoir.

Si pour les eaux de surface des contrôles additionnels sont requis (annexe V.1.3.5), il n'en est pas de même pour les eaux souterraines. Rien n'est demandé à ce sujet dans l'annexe V.2. **Aucun contrôle additionnel dans les masses d'eau souterraine n'est donc demandé pour la surveillance des zones protégées.**

Annexe 3

Exemples de ressources en eau alternatives non conventionnelles

Dans le cadre d'une gestion intégrée et équilibrée des ressources en eau, afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient d'examiner autant que possible les différentes sources d'approvisionnements alternatifs aux ressources conventionnelles que sont les eaux de surface et les eaux souterraines.

La réutilisation des eaux usées épurées (REUE)

La REUE recouvre deux notions complémentaires : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées. Les eaux usées sont les eaux rejetées par les collectivités et les industries et qui sont acheminées par les égouts en station d'épuration afin d'être traitées. Après traitement, on les appelle des **eaux usées épurées**. Dans le cycle d'assainissement de l'eau « classique », et sous réserve d'objectifs de qualité à respecter, celles-ci sont rejetées dans le milieu naturel.

La REUE propose de récupérer directement ces eaux usées épurées, de les traiter éventuellement une nouvelle fois et de s'en servir pour toutes sortes d'usages. La REUE agit à deux niveaux :

- premièrement elle évite les rejets d'eaux issues de stations d'épuration dans le milieu naturel,
- deuxièmement, elle constitue un approvisionnement supplémentaire. En quelque sorte, le cycle d'assainissement de l'eau est « court-circuité ».

Les eaux usées brutes étant fortement chargées en polluants et en contaminants divers, cela pose le problème des risques sanitaires liés à une REUE directe, donc des traitements et contrôles nécessaires.

Toutefois la REUE peut également avoir pour objectif le maintien de la charge hydraulique d'aquifère sous-jacent, par injection sans utilisation directe, ce qui minimise les risques.

Le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre

Le dessalement permet la production d'eau pour des usages variés (alimentation en eau potable, industrie, agriculture, etc.) à partir d'eau salée ou d'eau saumâtre. Le coût de traitement dépendant principalement de la salinité de l'eau, le dessalement d'eau saumâtre est beaucoup moins coûteux que celui d'eau salée (eau de mer).

La mise en œuvre de techniques de dessalement nécessite cependant des traitements préliminaires de l'eau et, dans la plupart des cas, des traitements complémentaires par les méthodes classiques, afin d'ajuster la qualité de l'eau.

En outre, le dessalement convient plus à une politique de production régulière d'eau - donc de pénurie chronique - qu'a un contexte de fortes variations des besoins et des ressources disponibles (besoins de pointe, périodes de crise...).

Il existe actuellement trois principales filières : la distillation, les procédés membranaires, et l'osmose inverse. Le choix d'une filière ou d'une conjugaison de filières résulte d'une étude complète du contexte, et s'effectue au cas par cas. Il doit intégrer de nombreux paramètres : objectif(s) à atteindre, possibilités techniques, contexte local (ressources alternatives, climat, besoins,...), conditions économiques, législation . . .

Avant toute chose, il est important de disposer d'un état de l'art sur les techniques disponibles et adaptables au contexte local. Les problèmes rencontrés dans les différents procédés de dessalement sont en effet principalement liés :

- à la production et au devenir dans l'environnement des solutions salines concentrées (concentrants),
- à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre). Il y a alors risques de corrosion, d'entartrage et de colmatage des équipements qu'il convient de gérer.

Le développement du marché du dessalement a toujours été lié à l'abaissement du prix de revient de l'eau produite qui dépend pour une bonne part de la consommation énergétique du procédé : on estime que le prix de l'énergie représente de 25 à 40% du coût total. De fait, l'évolution des techniques a toujours été guidée par l'objectif "d'abaisser la consommation énergétique". A cet égard, l'opportunité de faire appel à de l'énergie renouvelable peut intégrer la réflexion. Si la démarche est envisageable pour de petites unités (notamment privées, l'AEP publique suppose des quantités de production et donc une telle énergie qu'il n'est pas certain que les énergies renouvelables conventionnelles (notamment solaire) puissent satisfaire.

Synthèse et perspectives pour une mise en valeur et une gestion durable des eaux souterraines
de Martinique

(4^{ème} de couv. pour rapport SGR)



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional “région”
Adresse
Adresse
Code postal – Ville - France
Tél. :