Aqua Renova, la restauration de la ressource en eau de la ville d'Hyères-les-Palmiers

■ A. AUSSIBAL[1], C. CHARBONNIER[1], A. DUZAN[1]

Mots-clés : ressource en eau, réalimentation de nappe, préservation de la biodiversité, performance réseau, sobriété technique

Keywords: water resources, water resources replenishment, preserving biodiversity, technical sobriety, water distribution network efficiency

Introduction

Le territoire de la ville d'Hyères-les-Palmiers se caractérise par une diversité et une richesse remarquables : trois îles, une presqu'île, 40 kilomètres de côtes et 23 kilomètres de plages, de grands ensembles agricoles et forestiers et un cœur de ville ancien. Ces richesses naturelles et culturelles constituent un attrait important pour les touristes qui multiplient la population par quatre en période estivale. La commune doit donc s'adapter à cet afflux tout en conservant un cadre de vie agréable et un haut niveau de service pour la population hyéroise.

Le caractère limité des nappes des îles et l'exploitation surabondante de la nappe alluviale du bas Gapeau[2] ont considérablement réduit la disponibilité de la ressource en eau douce. Cela a conduit à d'importants achats d'eau et à l'acheminement d'eau potable par bateau sur les îles. En 2011, la ville a développé la démarche « Archipel exemplaire » qui a pour objectif de faire d'Hyères un territoire « référence » d'une gestion globale de la problématique environnementale. Les trois priorités de ce plan concernent la gestion de l'eau (utilisation optimisée de la ressource locale en eau), les transports et la gestion durable de la présence humaine.

[1] Suez – Eau France – BP 20008 – 13791 Aix-en-Provence cedex 3.

[2] Gapeau, fleuve côtier du Var qui se jette dans la Méditerranée à Hyères (Q_{50} = 1 100 L/s en amont de la prise d'eau).

1. Agir sur les causes plutôt que sur les conséquences

Dans ce cadre, la ville et son délégataire, Suez, développent Aqua Renova, un important programme de maîtrise des consommations et de restauration de la ressource naturelle permettant un développement économique sobre.

Pour cette collectivité à haute valeur touristique, les investissements sont destinés à mieux répondre à l'accroissement de la demande en eau en période estivale. Hyères a souhaité que ce projet soit financé de manière équitable entre habitants permanents et habitants saisonniers tout en garantissant le droit à l'eau pour tous.

Aqua Renova s'appuie sur des solutions innovantes et une technologie maîtrisée. Il se construit autour de trois axes techniques complémentaires qui introduisent une vision transversale et intégrée de la ressource.

L'axe 1 – Aqua Renova Réseau – consiste à limiter la sollicitation des nappes phréatiques en augmentant le potentiel du patrimoine réseau.

L'axe 2 – Aqua Renova Continent – consiste à gérer la nappe du bas Gapeau de manière optimisée et à restaurer la nappe alluviale du bas Gapeau sur le continent en repoussant l'eau salée par réalimentation et une meilleure gestion des prélèvements.

L'axe 3 – Aqua Renova Porquerolles – vise à restaurer et à préserver les nappes alluviales de l'île de Porquerolles afin d'assurer son autonomie en eau

2. Limiter la sollicitation des nappes phréatiques en augmentant le potentiel du patrimoine réseau

Économiser la ressource, c'est commencer par améliorer le rendement du réseau et limiter les pertes.

C'est une des réponses aux défis lancés par les évolutions climatiques et les stress hydriques, qui pourraient se généraliser à l'avenir.

Une goutte prélevée dans l'écosystème doit donc être une goutte utile. La performance du réseau est d'autant plus fondamentale pour la commune d'Hyères-les-Palmiers, qui dépend encore d'achats d'eau extérieurs, coûteux économiquement et écologiquement.

La ville et Suez se sont accordées sur un objectif ambitieux de 90 % de rendement du réseau à l'horizon 2020 *(figure 1)*. Pour atteindre cet objectif commun, plusieurs outils modernes de gestion d'un réseau d'eau sont déployés conjointement.

2.1. Le déploiement de débitmètres de sectorisation

Le réseau de distribution d'Hyères est composé de multiples étages de pression alimentés par un (ou plusieurs) réservoir(s) (partie « haute » de la ville) et d'un sous-réseau unique (partie « basse »).

Ce schéma de distribution offre aux abonnés des pressions raisonnables de distribution de l'eau. En revanche, la structure de réseau reste très étendue tout particulièrement sur le sous-réseau « Bas Ville » et ne permet pas une détection rapide des fuites.

La mise en place de 17 débitmètres de sectorisation permet de suivre le fonctionnement du réseau en temps réel en enregistrant en permanence les débits transitant sur chacun des sous-secteurs par l'intermédiaire du logiciel de supervision. Ce suivi quotidien permet de détecter rapidement une anomalie, pour ainsi prendre sur le terrain les mesures d'urgence nécessaires afin d'identifier l'origine de la dérive. Les 17 secteurs sont ainsi suivis de manière individuelle. Chaque secteur totalise entre 4 et 25 km de linéaire de réseau.

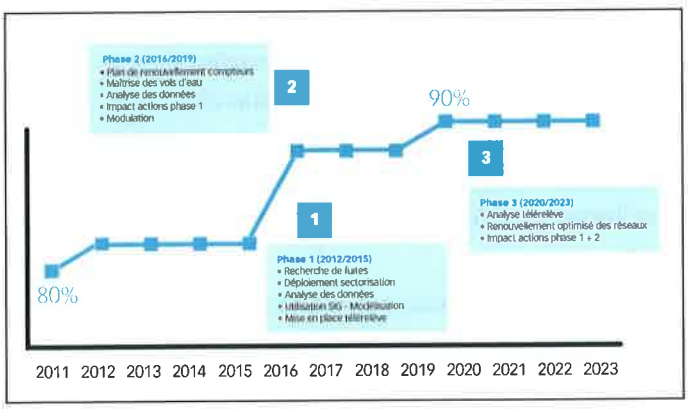


Figure 1. Chemin de performance prévisionnel du rendement de réseau

Le schéma de sectorisation a pour avantage d'être cohérent avec les différentes typologies de réseaux existants sur la commune d'Hyères telles que l'âge des réseaux (phases d'urbanisation), la nature des canalisations (matériau, pose…) et l'environnement du réseau (type de sols, présence de nappes…).

L'importante différence entre le débit de pointe estival et hivernal, proche d'un rapport 4, implique également d'organiser la sectorisation en deux configurations afin de ne pas créer de survitesses ou bien de réduire la capacité hydraulique d'alimentation d'un secteur par rapport à un autre.

2.2. Le déploiement d'enregistreurs de bruits fixes et d'hydrophones

Pour réduire plus efficacement encore les pertes en eau, il est nécessaire d'optimiser le processus de détection des fuites.

La mise en place d'un réseau de 140 enregistreurs de bruits fixes et 10 hydrophones permet de détecter l'apparition d'une fuite de branchement, de canalisation ou d'accessoires au travers des conduites du réseau en temps réel et 24 h/24, et de diminuer les délais de détection de la fuite, et ainsi réduire les volumes d'eau perdus par la réduction de la durée d'écoulement des fuites.

L'implantation des postes d'écoute fixe fait appel à une méthodologie multicritère prenant en compte la nature des matériaux en place, le diamètre des conduites, la date de pose, la pression nominale, mais aussi la nature du sol, la profondeur des canalisations et plusieurs autres critères liés à la l'analyse de l'historique des fuites enregistrées par le passé.

2.3. La modélisation hydraulique du réseau

La modélisation du réseau est essentielle pour mieux comprendre et optimiser le fonctionnement du

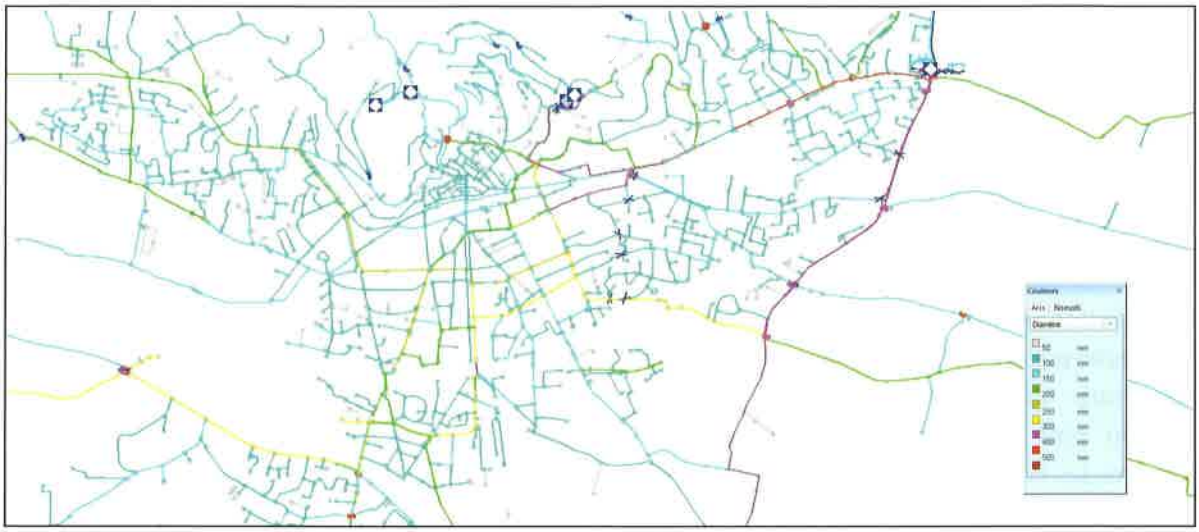


Figure 2. Modélisation du réseau dans le logiciel Piccolo

réseau de distribution, particulièrement pour la gestion des pressions (*figure 2*).

Plus de 80 mètres, c'est le dénivelé qui peut être observé sur le réseau de la ville d'Hyères-les-Palmiers qui présente 12 étages de pression. Le réseau « Bas Ville » subit une pression maximale de plus de 9 bars et en moyenne supérieure à 5 bars.

Les changements permanents de conditions hydrauliques (présence de fortes variations de pression jour/nuit ou de fortes pressions) engendrent un grand nombre de fuites, mais aussi une fatigue mécanique des canalisations, qui se traduit par une réduction de leur durée de vie. Une réduction des débits de fuite et une économie de 5 à 20 % des volumes distribués selon les secteurs sont attendues avec une diminution de la fréquence des casses pouvant aller jusqu'à 35 % sur un réseau soumis à ces pressions actuelles.

2.4. Le déploiement de la télérelève

La télérelève des compteurs permet d'offrir de nouveaux services aux clients mais constitue également un outil puissant de gestion du service public de l'eau : les pertes de comptage et clientèle (compteurs bloqués, fraude, compteurs anciens, etc.) représentent un dysfonctionnement récurrent des services publics de l'eau. Le déploiement de la télérelève répond à un triple objectif : savoir ce qui est consommé en temps réel sur le périmètre, être informé des anomalies de comptage instantanément, et responsabiliser la population en lui donnant la possibilité de connaître sa consommation *via* un service en ligne. Plus de 23 000 compteurs ont été équipés en 2014, soit 99 % du parc de la commune.

Le calcul du rendement de réseau quotidien réel et sectoriel est ainsi possible sur le réseau d'eau d'Hyères-les-Palmiers.

2.5. La réhabilitation des canalisations

L'estimation du besoin et la gestion des priorités constituent pour la collectivité deux étapes importantes dans la définition de la politique de renouvellement des réseaux d'eau potable. La gestion des priorités s'attache à faire le choix des canalisations à renouveler dans la limite de l'enveloppe annuelle disponible. La définition des besoins est basée sur un principe d'analyse multicritère prenant en compte pour chaque canalisation existante plusieurs critères structurels, ainsi que l'environnement de la conduite.

Avec une enveloppe annuelle disponible de plus d'un million d'euros, la réhabilitation de canalisations a été engagée sur un rythme trois fois plus élevé que le standard pratiqué en général afin de répondre en moins de 5 ans aux urgences principales avec un taux linéaire de renouvellement dépassant les 1,5 % par an.

Le panel d'outils de gestion, l'instrumentation et la méthodologie déployés sur le réseau d'alimentation en eau de la ville d'Hyères et décrits ci-avant, permettent d'apprécier un chemin de performance progressif au

fil des années et donc de limiter à son maximum la sollicitation de la nappe phréatique.

Le déploiement des outils techniques depuis fin 2011, date de démarrage du contrat de délégation du service, s'est achevé en 2014 maintenant le niveau de rendement à hauteur de 81 % en ligne avec le chemin de performance.

3. Restaurer la nappe alluviale du bas Gapeau sur le continent en repoussant l'eau salée

La nappe alluviale du bas Gapeau constitue la principale ressource en eau potable de la ville d'Hyères. La commune exploite habituellement cette ressource par l'intermédiaire de deux champs captant dits « du Père Éternel » et du « Golf Hôtel » qui livrent en moyenne 4 Mm^3/an à la commune. Cet apport est complété par l'achat de 2 Mm^3/an au Syndicat d'alimentation en eau de l'est toulonnais.

Le département du Var a connu dans les années 2003 à 2011 de forts déficits hydriques qui ont mené à la mise en place de comités sécheresse et de restrictions d'usage. Dans ces conditions, l'exploitation des volumes autorisés sur les champs existants (20 000 m^3/jour au total et 15 000 m^3/jour en conditions sèches, déterminées par le non-déversement au niveau du barrage anti-sel sur le fleuve Gapeau) a mené à l'intrusion du biseau salé jusqu'aux forages du Père Éternel. À partir de 2006, ce phénomène d'intrusion d'eau saline a été identifié jusqu'à 2 km de la côte.

L'explication tient à la surexploitation de la nappe pour l'eau potable et pour les prélèvements agricoles. En certains points, le niveau de la nappe phréatique se trouve alors plus bas que celui de la mer. Lorsque ce phénomène perdure, l'eau de mer progresse jusqu'à atteindre les captages d'eau potable. Cela a eu pour conséquence une augmentation forte de la salinité de l'eau prélevée jusqu'à atteindre le seuil de référence. C'est ce phénomène qui a été observé sur le site de production dit du « Père Éternel » et qui est à l'origine de son arrêt pendant 4 ans entre 2006 et 2010 (*figures 3* et *4*).

Le graphique de la *figure 3* indique la répartition entre mètres cubes produits et mètres cubes achetés dans le total mis en distribution de 1991 et 2023 (projection). Trois phénomènes peuvent être observés :

– entre 2006 et 2009, la production des forages du Père Éternel est stoppée en raison de la progression du biseau salé. On observe la progression très nette des achats d'eau sur la période ;

– de 2012 à 2014, la mise en place de la gestion intégrée de la nappe par la méthode des gradients donne ses premiers résultats en optimisant la production, ce qui permet une meilleure autonomie dans l'approvisionnement (réduction des achats d'eau) ;

– à partir de 2015 et les années suivantes, la mise en œuvre de la totalité des composantes du projet Aqua Renova (modélisation hydraulique, gestion intégrée et réalimentation de la ressource) conduit à une autonomie en eau quasi totale, y compris en cas de nouvelle sécheresse.

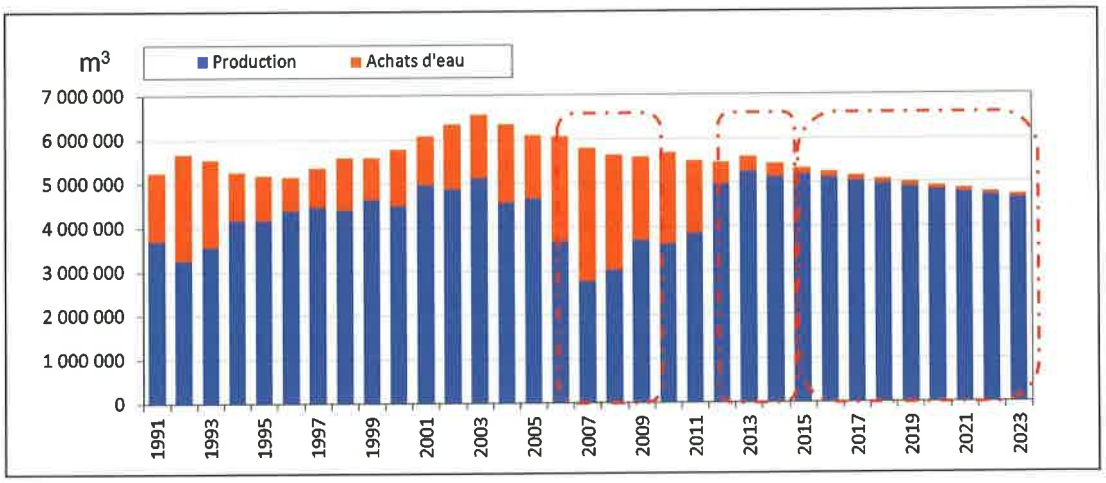


Figure 3. Historique de la production d'eau potable et des achats d'eau

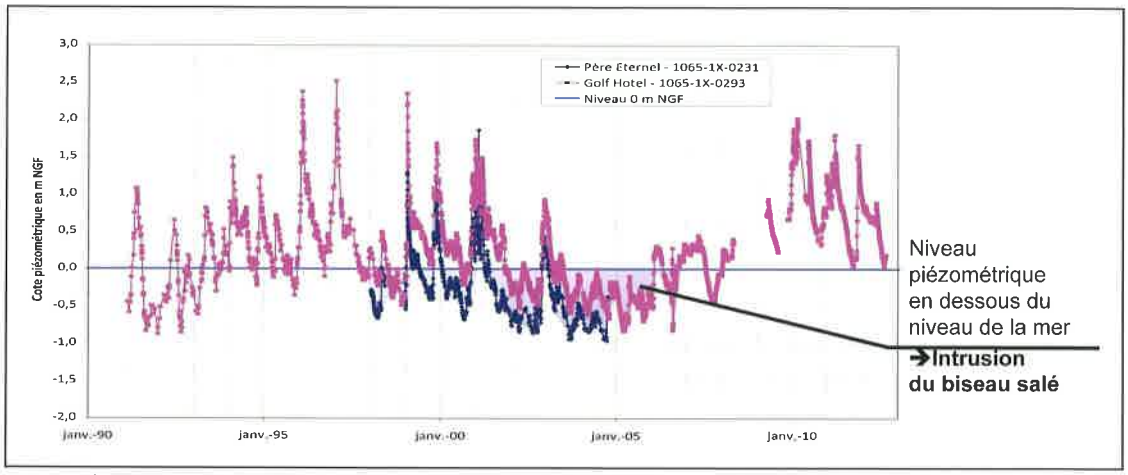


Figure 4. Évolution du niveau de la nappe phréatique sur les deux sites de production de la commune

Pour protéger la nappe contre l'intrusion d'eau saline et maîtriser le volume d'approvisionnement en eau extérieure, le délégataire a mis en place une gestion optimisée de la nappe alluviale du bas Gapeau par la méthode des gradients, et entreprend la réalimentation de cette nappe pour garantir l'autonomie même en période de sécheresse.

3.1. Modélisation hydrogéologique de la nappe du bas Gapeau

La modélisation hydrogéologique est indispensable pour mieux comprendre et quantifier les écoulements souterrains. C'est également un outil essentiel au dimensionnement d'un projet de réalimentation de nappe en permettant la simulation de l'impact de l'infiltration sur la dynamique du biseau salé.

Dans le cadre du projet Aqua Renova Continent, la nappe du bas Gapeau a été ainsi modélisée. Deux modèles ont été réalisés en régime transitoire. Un premier modèle est calé sur l'année 2010, pour laquelle on dispose de chroniques piézométriques sur plusieurs piézomètres de la nappe et qui a été utilisé pour simuler l'impact d'une pollution de la nappe par l'intermédiaire des bassins d'infiltration. Un deuxième modèle est calé sur la période 2000-2010 pour laquelle on dispose de moins de chroniques piézométriques pour le calage, mais qui permet d'évaluer l'impact du rechargement de nappe sur le biseau salé sur une période de fort déficit pluviométrique.

3.2. Gestion intégrée de la ressource

L'enjeu d'exploitation de la nappe est l'optimisation des débits prélevés (produire le maximum) tout en gérant correctement le risque d'intrusion saline (ne pas reproduire la situation de fin 2006 ayant obligé un arrêt prolongé de la ressource « Père Éternel »). Pour cela, la métrologie mise en place comporte quatre volets : le suivi piézométrique, le suivi de la salinité (*via* la conductivité), le suivi des débits prélevés et le suivi hydrologique.

Le suivi piézométrique s'effectue en temps réel et fournit les critères opérationnels de gestion. La piézométrie réagit rapidement aux événements extérieurs et gouverne les flux gravitaires (avancée ou recul du biseau salé notamment). La piézométrie constitue donc l'outil privilégié pour le pilotage. L'échelle du suivi est à ce titre quotidienne (moyenne journalière) pour les piézomètres. À noter que la piézométrie des forages d'exploitation n'est pas utilisable pour le pilotage du fait de l'influence forte des régimes de pompage et des pertes de charge induits par l'ouvrage, elle relève d'une autre démarche (diagnostic permanent des ouvrages) déconnectée de la gestion du réservoir souterrain.

Ce suivi piézométrique a permis la mise en place de la méthode dite des gradients. Cette méthode consiste à s'assurer par les mesures piézométriques que la nappe du bas Gapeau s'écoule en permanence vers la mer empêchant de fait l'eau de mer de pénétrer dans les terres.

Pour ce faire, un réseau spécifique de piézomètres d'alerte a été mis en place entre les champs captants à protéger et le bord de mer.

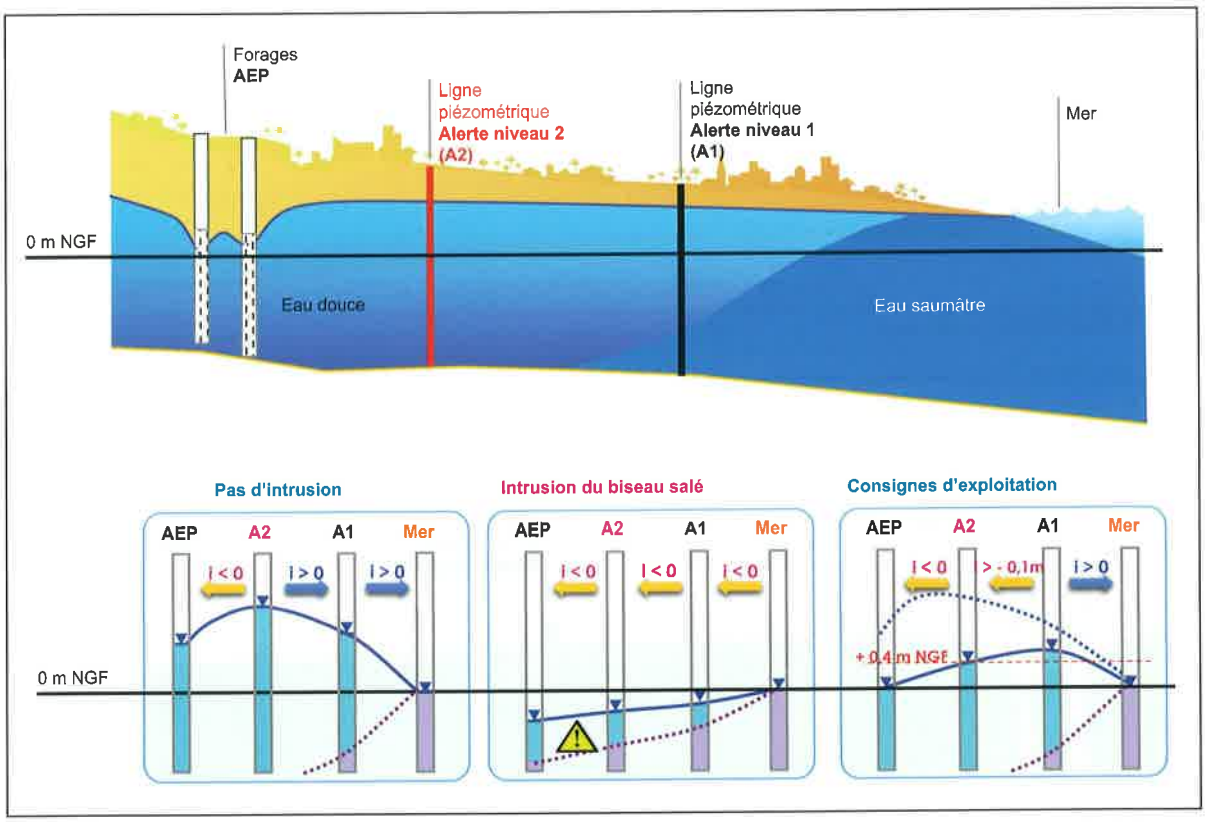
Sur la base des mesures enregistrées, il est possible à tout moment de connaître le sens d'écoulement de la nappe par le calcul de son gradient *i* (*figure 5*) et donc d'évaluer le risque de pénétration d'eau de mer dans les terres. En fonction de critères stricts définis au stade de la mise en place du dispositif, l'exploitant peut alors augmenter ou baisser la production d'eau potable à partir de la nappe dans des limites qui évitent tout risque d'intrusion du biseau salé. La *figure 5* présente le dispositif type mis en place dans le cadre du projet Aqua Renova Continent.

La surveillance et le pilotage des niveaux de nappe en temps réel par la « méthode des gradients » permettent de géolocaliser en temps réel le biseau salé grâce au réseau de mesures en continu mis en place spécifiquement pour le projet, de maximiser en toute sécurité les prélèvements dans l'aquifère du bas Gapeau (débits de pompage sur les forages) tout en garantissant le maintien à distance du biseau salé, d'ajuster le volume d'eau à réalimenter dans la nappe en fonction de l'état de recharge réelle de la nappe et, enfin, d'adapter en temps réel les conditions de gestion dynamique de l'aquifère du bas Gapeau.

La *figure 3* montre que, sur la période 2012-2014, qui ont été des années plutôt pluvieuses, la méthode des gradients a déjà permis de reconquérir une autonomie en eau de 94 % en 2014.

Le suivi de la salinité est un contrôle *a posteriori* du résultat (effet de la stratégie de pompage sur l'évolution du biseau salé). Il doit s'effectuer à une périodicité mensuelle, et on peut éventuellement tirer parti de quelques points de mesure en continu qui donnent des tendances dynamiques. Le pilotage de l'exploitation par la salinité uniquement conduirait à une réaction trop tardive.

Le suivi des débits prélevés est nécessaire pour comprendre *a posteriori* les causes des variations de la nappe et prévoir les conséquences d'un régime



Le gradient i est la différence de niveau d'eau en mètres entre deux points de mesure du niveau d'eau (puits ou piézomètres). Ce gradient est négatif (< 0) si la pente de la nappe entre deux points du dispositif est dirigée vers les terres et positif (> 0) si la pente de la nappe entre deux points est dirigée en direction de la mer.
AEP : alimentation en eau potable.

Figure 5. Évolution du niveau de la nappe phréatique sur les deux sites de production de la commune

d'exploitation donné. Il est réalisé à partir des outils de supervision avec un cumul journalier des débits prélevés.

Le suivi hydrologique, de même que celui des débits prélevés, est un facteur explicatif *a posteriori* et également une donnée d'entrée de la modélisation hydrogéologique. Il s'agit de relevés de niveau sur le Gapeau, notamment au niveau du barrage anti-sel.

3.3. Réalimentation de la nappe du bas Gapeau

Le projet Aqua Renova Continent consiste à protéger la nappe de l'intrusion d'eau saline par la mise en œuvre d'une installation de réalimentation artificielle comprenant une prise d'eau, une canalisation et un bassin d'infiltration afin de repousser le biseau salé et de rétablir la capacité de la ressource en dépit d'épisodes de sécheresse pouvant survenir à l'avenir. Il s'agit de reconstituer le réservoir naturel que constitue la nappe pour en permettre une exploitation optimale à l'aide de la méthode des gradients présentée ci-dessus. Ce projet a été préféré à d'autres options telles que la mobilisation de nouvelles ressources (forages en amont sur la plaine du Gapeau) ou la mise en place d'un barrage anti-sel sur le Roubaud[3] en raison d'une plus faible emprise foncière et d'un moindre impact sur les milieux naturels et les usages.

Les *figures 6, 7 et 8* présentent l'évolution de la situation de la nappe du bas Gapeau et le principe de la réalimentation en projet.

[3] Autre fleuve côtier du Var qui se jette dans la Méditerranée à Hyères (Q_{50} = 30 L/s en amont de la prise d'eau).

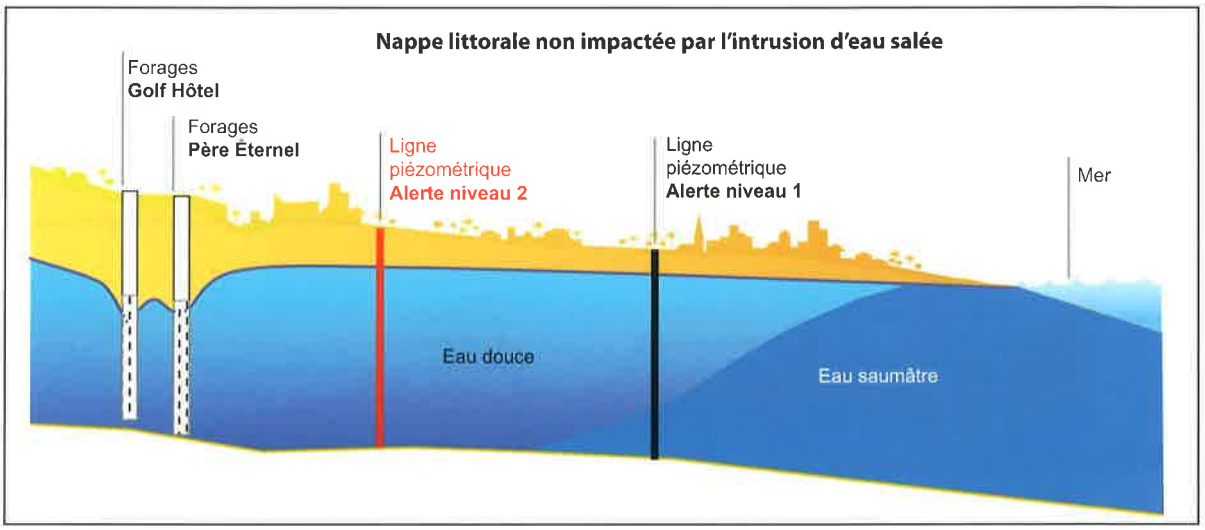


Figure 6. Pluviométrie excédentaire

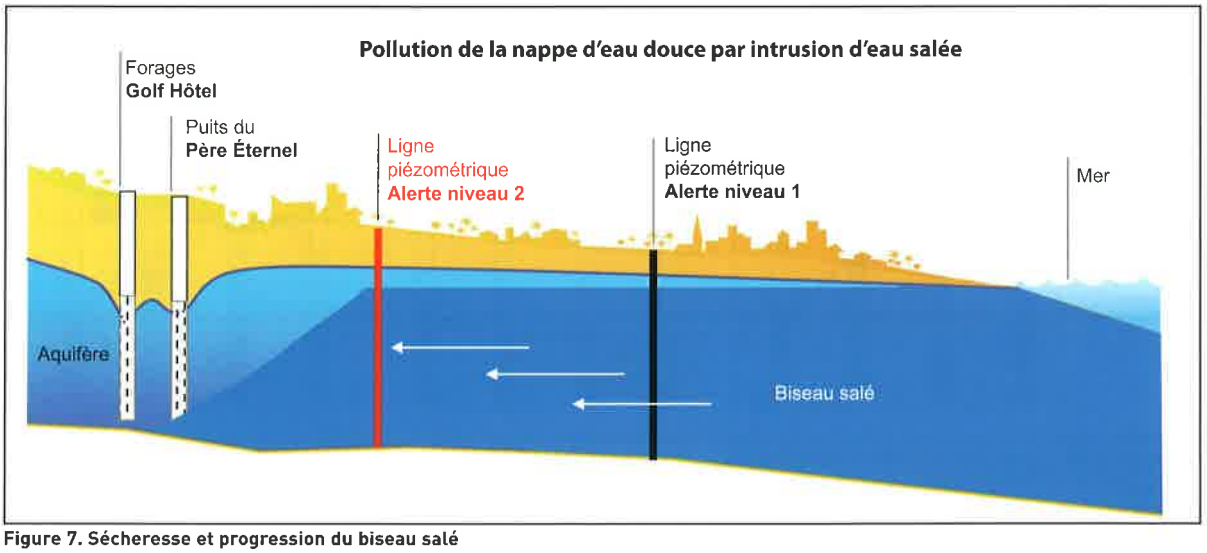


Figure 7. Sécheresse et progression du biseau salé

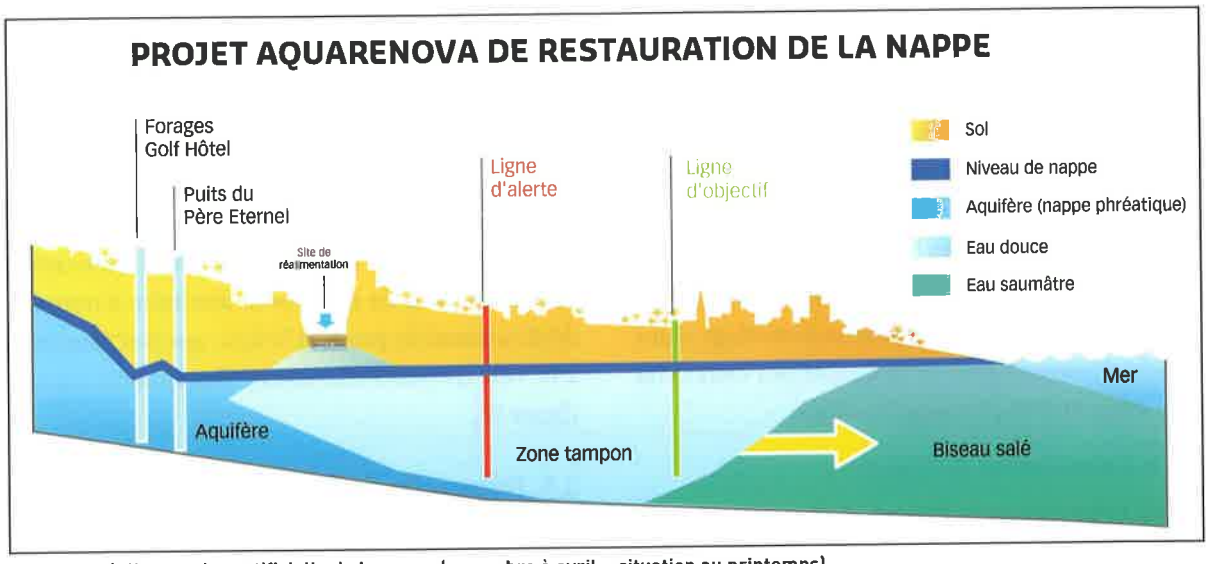


Figure 8. Réalimentation artificielle de la nappe (novembre à avril – situation au printemps)

La *figure 6* correspond à l'état de la nappe du bas Gapeau avant le début des années 2000. Dans cette situation, la pluviométrie, excédentaire, est suffisante pour permettre l'exploitation normale des captages de la nappe du bas Gapeau et un équilibre entre la masse d'eau douce en amont et la masse d'eau salée à l'aval.
Par la suite *(figure 7)*, au début des années 2000, la situation climatique change et Hyères connaît alors plusieurs années de sécheresse, diminuant ainsi l'alimentation naturelle de la nappe. L'exploitation des captages est restée identique à celle de la période précédente. La conjugaison des deux phénomènes entraîne alors un abaissement important de la piézométrie de la nappe et une intrusion massive d'eau salée dans la nappe, conduisant à un mélange d'eau saumâtre qui atteint les forages du Père Éternel en amont. C'est ce phénomène qui a conduit à l'arrêt de l'exploitation de ces forages.

Le principe du projet consiste à augmenter l'alimentation de la nappe du bas Gapeau, par l'intermédiaire d'un bassin d'infiltration destiné à infiltrer de l'eau douce entre la mer et les ouvrages de captage *(figure 8)*. Le projet permettra ainsi de stocker de l'eau douce en période hivernale dans la nappe, période pendant laquelle la ressource est en excédent. Cela permettra de protéger l'aquifère contre les intrusions par déstockage en période estivale du volume infiltré grâce à l'inertie du système. L'infiltration sera effective entre les mois de novembre et avril (période de stockage dans la nappe).
Cette réalimentation permettra, d'une part, de rehausser la piézométrie de la nappe du bas Gapeau, avec pour effet le maintien à distance du biseau salé et, d'autre part, de recouvrer la qualité de l'eau de la nappe par la création d'une zone tampon d'eau douce à l'aval des ouvrages de production d'eau potable (déstockage estival).
L'eau brute utilisée pour la réalimentation de nappe provient essentiellement du fleuve Gapeau (dérivé à la prise d'eau de la Castille en amont de la confluence avec le Réal Martin) avec un peu d'eau du Roubaud, petit fleuve côtier dans lequel est effectué le prélèvement pour alimenter les bassins d'infiltration.
Aujourd'hui, les captages du Golf Hôtel et du Père Éternel sont déjà quasi exclusivement alimentés par l'eau du Gapeau filtrée au travers de ses berges. Par ailleurs les forages se situent plus près des berges du Gapeau que du bassin d'infiltration. La filtration naturelle par le sol sera donc augmentée.
Le projet Aqua Renova ne vient donc pas modifier l'origine des eaux alimentant les captages d'eau potable. Il apporte même un degré de sécurisation sanitaire supplémentaire par le suivi en continu de la qualité des eaux réalimentées.

3.4. Caractéristiques des équipements

3.4.1. Prise d'eau et station de pompage

La prise d'eau est située dans le Roubaud, en aval de la restitution des eaux du canal Jean Natte[4]. Elle a été conçue pour pouvoir fonctionner avec une hauteur d'eau faible, sans toutefois modifier les conditions

[4] Canal d'irrigation dit « béal de Jean Natte », mis en place sous l'impulsion de l'ingénieur Jean Natte dans la deuxième moitié du XV[e] siècle. La convention de 1459, toujours valable aujourd'hui, qui régit ses droits d'eau, reste une jurisprudence majeure des droits d'eau en Provence.

d'écoulement des crues, afin de maintenir le débit réservé et la possibilité de franchir des ouvrages, notamment pour l'anguille européenne, espèce protégée présente dans le Roubaud et le canal Jean Natte. La prise d'eau permet de ne pas avoir d'impact sur les usages existants de l'eau du canal Jean Natte (principalement estivaux).

La station de pompage, située à proximité immédiate de la prise d'eau, est composée d'un dessablage, d'une station de surveillance de la qualité des eaux (voir plus loin), et d'un pompage classique.

3.4.2. Canalisation de transfert

D'une longueur de 2 150 ml et d'un diamètre de 350 mm, la canalisation de transfert en polyéthylène haute densité (PEHD) permet l'acheminement de l'eau pompée dans le Roubaud jusqu'au bassin d'infiltration.

3.4.3. Bassins d'infiltration

L'ouvrage de 1 000 m² est implanté sur un bassin d'écrêtement, d'une surface d'un hectare, destiné aux crues du ruisseau qui passe à proximité (la Ritorte). La mise en place du projet ne perturbera pas le fonctionnement du bassin en cas d'orage. En effet, la partie utilisée pour les bassins d'infiltration sera mobilisable pour l'expansion des crues au-dessus d'un certain niveau. Dans ces cas, la réalimentation sera interrompue.

Ce bassin d'infiltration dit permettre d'infiltrer environ 50 L/s. En fonction des essais d'infiltration et des retours d'expérience acquis dans les premières années d'exploitation, un deuxième bassin d'infiltration pourra être mis en place pour atteindre à terme le débit nominal du projet (150 L/s), qui doit permettre à la ville d'Hyères d'atteindre l'autonomie en eau *(figure 9)*.

3.5. Dispositifs de suivi et de contrôle

Plusieurs dispositifs de surveillance et de contrôle de type Sirène sont prévus pour garantir un fonctionnement optimal et sans risque du projet. Il s'agit :

– de dispositifs destinés à la surveillance quantitative (débits entrants, débits réservés, piézométrie) afin de maintenir les débits réservés dans le Roubaud, et de maîtriser les impacts sur la nappe du bas Gapeau ;

– de dispositifs destinés à la surveillance qualitative (qualité des eaux de surface, qualité des eaux souterraines), dans le but de prévenir une éventuelle pollution de l'eau prélevée et donc d'éviter une propagation de la pollution aux bassins *via* le projet et

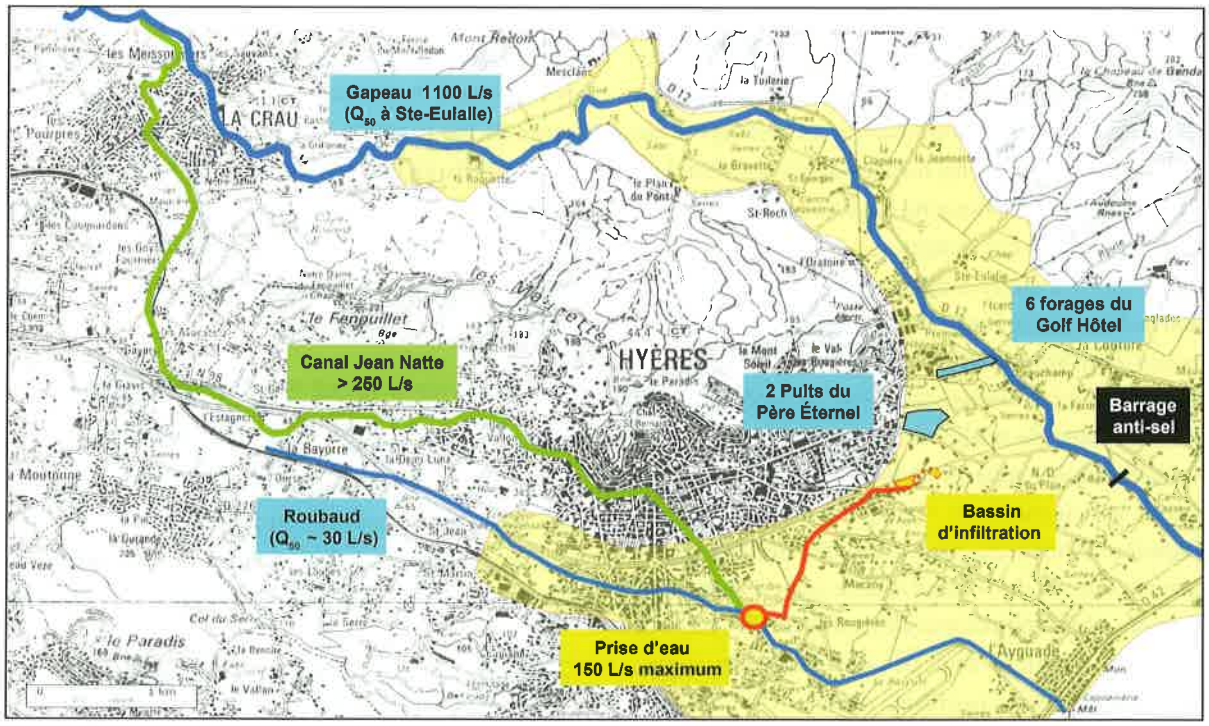


Figure 9. Hydrographie et implantation des ouvrages

de garantir la non-contamination des captages dits du « Père Éternel ». La station Sirène Roubaud analyse en permanence 11 paramètres au niveau de la prise d'eau (hydrocarbures, turbidité, pH, conductivité, absorbance UV, oxygène dissous, ammonium, température, potentiel RedOx), et coupera la réalimentation en cas d'anomalie.

3.6. Objectifs

L'objectif de la réalimentation est d'atteindre un pourcentage d'autonomie en eau de 97 % pour la ville d'Hyères un an après le terme des travaux, en dehors des achats d'eau incompressibles (usages techniques, quartiers isolés…).

Le dispositif de réalimentation est caractérisé par une capacité d'infiltration (50 L/s dans un premier temps ; 150 L/s si nécessaire dans un deuxième temps). Toutefois, ce débit ne constitue pas un objectif. En effet, la capacité réelle d'infiltration dépend du niveau réel de nappe, qui dépend lui-même des conditions climatiques. Le dispositif pourra donc être très peu utilisé une année bien arrosée et prendre tout son sens une année de sécheresse où la nappe aura « soif ».

3.7. Réalisation des travaux

Les études préalables ont fait apparaître la présence de la plante *Phalaris aquatica,* espèce figurant sur l'arrêté ministériel de 1994 fixant la liste des espèces végétales protégées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Suez a fait appel au CBN Med – Conservatoire botanique national méditerranéen, rattaché au Parc national de Port-Cros – et à Agricampus, organisme de formation à l'environnement et à l'agriculture agréé par le ministère de l'Environnement, la région PACA et la ville d'Hyères-les-Palmiers, pour mettre en œuvre les mesures compensatoires définies. Récolte de graines, débroussaillage sélectif de la parcelle, récupération des pieds à la main et mise en jauge de 240 pieds, replantation : ce sont les actions réalisées par les apprentis d'Agricampus encadrés par le CBN Méditerranée *(figure 10)*.

Le préfet du Var ayant autorisé le projet au titre de la loi sur l'eau en juin 2014, les travaux ont été entrepris à partir de juillet 2014. L'automne 2014 a été exceptionnellement pluvieux (390 mm pour le seul mois de novembre, faisant de l'année 2014 la plus pluvieuse connue à Hyères avec 1 242 mm), ce qui a ralenti la progression des travaux.

Le bassin d'infiltration est conçu pour permettre la bonne infiltration des eaux *(figure 11)*. Il s'agit, sur une profondeur de 3 à 4 m selon les zones, de remplacer la couche argileuse imperméable par un matériau siliceux perméable. Pour cela on superpose les trois couches de Terzaghi (ballast 20/40 sur une épaisseur de 2 à 3 mètres, gravier 6/14 sur une épaisseur de 50 centimètres, sable 0/4 sur une épaisseur de 50 centimètres).

Les travaux se sont terminés fin 2015 et le système est opérationnel depuis novembre 2015.

Figure 10. Transplantation de *Phalaris aquatica* avec Agricampus (photo de B.Huynh-Tan)

Figure 11. Bassin d'infiltration

4. Rétablir l'autonomie de l'île de Porquerolles en restaurant ses nappes alluviales

Dans la logique impulsée par la démarche « archipel exemplaire » et le travail du Parc national Port-Cros, Suez s'engage aux côtés de la commune d'Hyères pour trouver une solution au problème de l'eau sur

Porquerolles. L'objectif est d'arrêter les livraisons d'eau par bateau tout en reconstituant une réserve naturelle d'eau douce.

4.1. Un contexte environnemental exceptionnel

L'île de Porquerolles constitue un milieu unique, siège d'un patrimoine écologique remarquable. Protégée des glaciations par la douceur du climat, la végétation du littoral offre une richesse floristique exceptionnelle, renforcée par l'endémisme insulaire. On y trouve les dernières forêts méditerranéennes littorales âgées de chênes et de pins, celles qui ont échappé aux feux de forêt.

Sous la mer, le fonctionnement des écosystèmes marins a produit des ressources importantes et une biodiversité exceptionnelle : vastes herbiers de posidonies, sables, petits fonds rocheux, coralligène… Ces milieux naturels accueillent une faune terrestre et marine d'un grand intérêt.

Par ailleurs, Porquerolles, l'une des trois îles d'Or (avec Port-Cros et le Levant), constitue un haut lieu du tourisme et du patrimoine de la ville d'Hyères.

Ainsi, l'île de Porquerolles concentre de forts enjeux écologiques et patrimoniaux qu'il convient de prendre en compte en amont pour assurer l'intégration de tout projet d'aménagement dans ce contexte exceptionnel.

4.2. Contexte de l'eau à Porquerolles

L'exploitation passée des ressources en eau de l'île de Porquerolles a eu pour conséquence la progression de l'eau salée dans les principales nappes de l'île, jusqu'aux captages existants. La carte de la *figure 12* présente l'évolution de la salinité des différentes nappes entre 2004 et 2006.

Passant de 350 habitants l'hiver à 8 000 visiteurs par jour l'été, l'île dispose de ressources en eau insuffisantes pour répondre au besoin de pointe. L'eau douce est donc à ce jour rare, et la situation des ressources de l'île oblige la collectivité à recourir à des livraisons d'eau potable par bateau pour assurer l'alimentation de la population. Le volume annuel actuellement nécessaire sur l'île de Porquerolles avoisine les 110 000 m^3 ; dont près de 70 000 m^3 apportés par bateau.

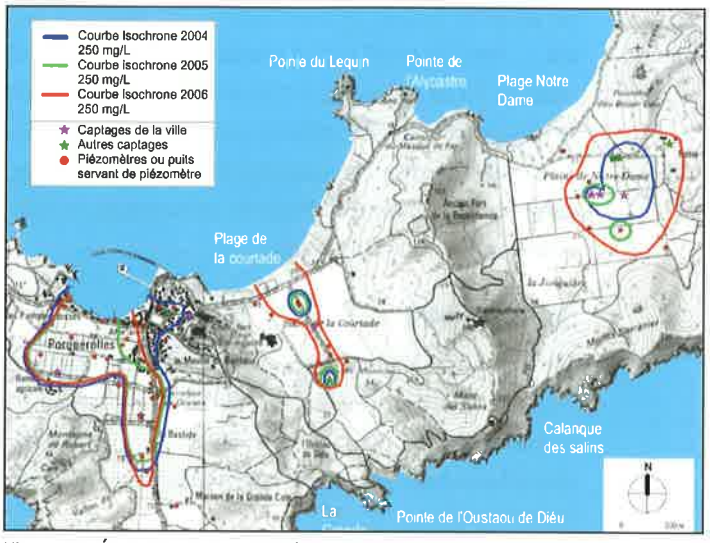


Figure 12. Évolution de la salinité des différentes nappes entre 2004 et 2006

4.3. La maîtrise des volumes sur Porquerolles

L'instrumentation des piézomètres et autres points d'accès à la nappe principale de la Ferme et celle de la Courtade a été réalisée au cours de l'exercice 2014. Ce suivi permettra, en attente de la mise en œuvre d'une solution pérenne d'alimentation de Porquerolles en eau potable, d'appliquer la méthode des gradients à Porquerolles comme sur la nappe du bas Gapeau. Cela afin de répondre aux besoins de production d'eau potable, mais également aux besoins liés à l'activité agricole sur l'île en maîtrisant complètement les risques d'intrusion saline.

De la même manière que sur la partie continentale d'Hyères, les 19 km de réseau d'eau potable de l'île ont été mis sous écoute. 20 enregistreurs de bruits et 435 émetteurs de télérelève ont ainsi été déployés dès 2013. Ces équipements associés à une recherche de fuite efficace ont permis d'améliorer significativement le rendement de réseau de l'île qui se situe actuellement à hauteur de 70 %.

Une démarche efficace de limitation des consommations d'eau potable a été également entreprise au niveau du port de plaisance, principal gros consommateur de l'île. En accord avec le gestionnaire du port, un dispositif de limitation automatique des volumes journaliers de consommation a ainsi été émis en place sur les trois points de livraisons.

4.4. Les démarches et les études en cours pour une solution pérenne

La mise en place de toute solution pour l'eau à Porquerolles nécessite des études environnementales très poussées. Le délégataire a d'abord mené des études d'aide à la décision, à savoir une étude de comparaison des solutions possibles pour l'eau potable et une analyse multicritère des sites envisageables pour l'implantation d'ouvrages techniques.

Deux approches sont envisageables : la mobilisation d'une ressource capable de couvrir les besoins de pointe estivale (700 m^3/jour), d'une part, et la restauration de la ressource locale en eau (nappe phréatique) de manière analogue à ce qui est mis en œuvre sur le continent : stockage en nappe en période hivernale pour une utilisation surtout concentrée sur la période estivale.

Deux ressources sont mobilisables : l'eau du continent, qui pourrait être acheminée *via* une canalisation sous-marine et l'eau de mer, qui pourrait être dessalée sur site.

Des études environnementales approfondies ont été menées par le délégataire sur les volets terrestre et marin. Le volet terrestre comporte des études hydrogéologiques et essais d'infiltration, une étude faune/flore en zone protégée, une étude foncière et une étude paysagère et architecturale pour l'intégration de futurs ouvrages. Le volet marin comprend la cartographie des biocénoses dont les herbiers de posidonie, la cartographie et l'étude des peuplements marins, la caractérisation des sédiments marins et de la qualité d'eau, des mesures océanographiques, bathymétriques et sonar-latéral, l'étude des conditions océanographiques, le potentiel dispersif des masses d'eau, et la modélisation de la dispersion d'éventuels rejets salins.

Une des solutions proposées par le délégataire est la mise en place d'une petite unité de dessalement d'eau de mer dimensionnée sur le besoin moyen annuel de 274 m^3/jour à des fins de réalimentation de la nappe de la Ferme, située au centre de l'île, de manière à permettre la restauration de la ressource pendant l'hiver en vue de son autonomie pendant l'été. Dans cette solution, l'eau osmosée est injectée en nappe telle quelle (donc déminéralisée), et elle se recharge naturellement en minéraux au contact du sous-sol et des autres eaux souterraines.

Conclusion

En abordant la gestion de la ressource en eau de façon globale et cohérente avec le développement économique de la cité d'une part, et l'intégration forte de la dimension environnementale, d'autre part, Suez a apporté une solution nouvelle. Le projet Aqua Renova s'inscrit dans l'optique d'un développement urbain sobre et durable.

Bibliographie

BOUWER H. (2005) : « Artificial recharge of groundwater : Hydrogeology and engineering ». *Hydrogeology journal* ; 10 : 121-42.

DETAY M., HAEFFNER H. (1996) : « The role of artificial recharge in active groundwater management ». *Water Supply* ; 15 (2) : 1-13.

DETAY M. (1997) : *La gestion active des aquifères.* Paris : Masson, 404 p.

GALE I., DILLON P. (2005) : *Strategies for managed aquifer recharge (MAR) in semi-arid areas,* UNESCO IAH-MAR.

HAEFFNER H. (1999) : *De la gestion active des aquifères alluviaux – Application à la maîtrise de l'azote en conditions de transfert rivière-nappe et de réalimentation artificielle* [thèse]. Paris : École des Mines, 200 p.

WENDELL D., GLANZMAN D. (1998) : « Well recharge in California: Water quantity and quality considerations ». In : J.H. Peters *et al.*, eds. *Proceedings of the Third International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater* ; 1998 21-25 Sept. ; Amsterdam, Netherlands : Rotterdam : A.A. Balkema, p. 293-7.

WUILLEUMIER A., SEGUIN J.J. (2008) : *Réalimentation artificielle des aquifères en France. Une synthèse,* BRGM/RP-55063-FR.

Résumé

A. AUSSIBAL, C. CHARBONNIER, A. DUZAN

Aqua Renova, la restauration de la ressource en eau de la ville d'Hyères-les-Palmiers

Suez, délégataire du service d'eau potable de la ville d'Hyères-les-Palmiers depuis 2012, développe Aqua Renova, programme de maîtrise des consommations et de restauration de la ressource naturelle permettant un développement économique sobre, décliné en trois axes. Le premier axe concerne la reconquête du rendement de réseau, dans un contexte de très forte augmentation des consommations l'été (x 4). Le deuxième axe concerne la restauration de la nappe du bas Gapeau, principale ressource de la ville. Il s'agit d'abord d'un pilotage en temps réel des niveaux de nappe, basé sur un suivi en continu du niveau et de la conductivité de l'eau sur quelques piézomètres repères. La méthode des gradients permet d'optimiser les prélèvements sur la nappe sans risquer l'intrusion saline constatée au début des années 2000. Les résultats mesurés depuis 2012 sont très significatifs. Par ailleurs, Suez mène des travaux de réalimentation de la nappe par prélèvement hivernal dans le Roubaud, fleuve côtier, pour constituer un réservoir aquifère qui sera utilisé en période estivale. Cette réalimentation, opérationnelle depuis novembre 2015, garantira à la ville l'autonomie en eau, en protégeant la ressource contre l'intrusion saline, même en cas de sécheresse sévère. Enfin, le troisième axe concerne l'île de Porquerolles, actuellement alimentée en eau par bateau-citerne pendant toute la saison touristique. Dans un contexte environnemental très contraint et protégé, Suez accompagne la ville d'Hyères dans la détermination de la meilleure solution technique, économique et environnementale pour restaurer la ressource en eau insulaire.

Abstract

A. AUSSIBAL, C. CHARBONNIER, A. DUZAN

Aqua Renova, restoring the water resources in the city of Hyères-les-Palmiers

Suez, operating the drinking water service since 2012 in the city of Hyeres-les-Palmiers, develops Aqua Renova, a program of abstraction control and restoration of natural resource, leading to a sober economic development. Aqua Renova is declined in three axes. The first one aims to reconquer network performance in a context of sharp increases in the summer consumption (x4). The second axis is the restoration of the main water resource of the city, the Bas Gapeau aquifer. It is first of all a real-time abstraction control, based on a continuous monitoring of water level and conductivity on some piezometers. The gradients method shall optimize abstraction without risking saline intrusion (detected early 2000). The results measured since 2012 are very significant. Suez also conducts aquifer recharge works by winter abstraction into the coastal river Roubaud, in order to form a piezometric dome to be used in summer. This replenishment is operational from November 2015 to ensure the city water autonomy and to protect the water resource against saline intrusion even under severe drought. Finally, the third area concerns the Porquerolles Island, currently supplied with water by tanker ship during the touristic season. In a highly constrained and protected environmental context, Suez supports the town of Hyères in determining the best technical, economic and environmental solution to restore the island groundwater resource.

La collection est maintenant complète!

La nature et les causes des risques sanitaires liés à la consommation d'eau contaminée sont multiples et le rôle joué par le réseau de distribution est loin d'être négligeable. Retrouvez dans les tomes 2 et 3 de cet ouvrage, **le manuel du parfait opérateur** qui aborde l'exploitation et la maintenance du réseau et les aspects liés à la surveillance permanente de la qualité de l'eau mise en distribution.
Ils complètent le tome 1 qui traite de la nature et des origines des problèmes de qualité.

Ces ouvrages s'adressent à l'ensemble des acteurs opérationnels : autorités organisatrices, opérateurs et gestionnaires des services d'eau, responsables institutionnels, maîtres d'œuvre, chercheurs, enseignants et étudiants.

Bon de commande sur le site www.astee.org