



CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ACTIVITES ANTHROPIQUES: IMPACTS SUR LES AQUIFERES COTIERS EN ALGERIE

HAOUCHINE A.¹, HAOUCHINE F.Z.¹, LABADI A.²

¹ Laboratoire de Géo-Environnement, Faculté des Sciences de la Terre,
FSTGAT/USTHB

² Laboratoire d'Aménagements Hydrauliques et Environnement,
Université de Biskra

ahaouchine@gmail.com

ablabadi@gmail.com

RESUME

Après un bref aperçu et un diagnostic de l'état actuel des aquifères côtiers algériens, un tableau des diverses contraintes, pressions et sollicitations de ces aquifères est dressé. Il en ressort que dans l'ensemble, les aquifères côtiers algériens sont fortement sollicités par des usages concurrentiels (population, agriculture et tourisme) en plus des changements climatiques qui se font sentir de manière sensible où le déficit pluviométrique est évalué à près de 30%.

L'état des aquifères côtiers algériens et les évolutions récentes les affectant montrent que les déficits importants observés (sur la base de la confrontation besoins-ressources) vont se creuser davantage. Aux risques d'épuisement, se superpose la dégradation qualitative de la ressource, essentiellement les risques d'intrusion marine (où certains aquifères sont déjà abandonnés) et les pollutions anthropiques liées aux activités agricoles (92% des échantillons analysés sur l'aquifère de la Mitidja dépassent la concentration maximale en NO₃ admissible pour l'AEP) et industrielles (où 250 000m³ d'eau usée sont rejetées quotidiennement dans le cours d'eau de Oued El Harrach).

L'ambitieuse stratégie élaborée par les institutions compétentes est concrétisée sur le terrain par un ensemble de projets et d'actions, notamment la mobilisation des ressources non conventionnelles telles que le dessalement de l'eau de mer (950 hm³/an à l'horizon 2030) et la réutilisation des eaux usées (où 251 stations produiront 1 200 hm³/an en 2030).

Enfin, même si à moyen terme, la demande semble satisfaite, il n'en demeure pas moins qu'une politique rigoureuse de gestion de la demande est nécessaire, ceci à travers : (i) un développement scientifique (monitoring, modélisation, système d'information et d'aide à la décision), (ii) une gestion adéquate fondée sur des mécanismes financiers afin d'éviter le gaspillage, (iii) une politique de sensibilisation et de communication.

Mots clés : Aquifères côtiers, diagnostic, pressions, tendances, stratégie.

ABSTRACT

The status of Algerian coastal aquifers and recent developments affecting them, show that the large deficits observed (on the basis of the confrontation-resource needs) will widen increasingly; in addition to the effects of climate changes which are significantly felt with a rainfall deficit estimated at around 30%. Moreover, to the risk of exhaustion is superimposed a qualitative resource degradation, mainly the risk of seawater intrusion and anthropogenic pollution related to agricultural and industrial activities.

To overcome this, an ambitious strategy was developed. It materialized by a set of projects and actions, especially the mobilization of non-conventional resources such as desalination of sea water (950 hm³ / year by 2030) and reuse of wastewater (where 251 stations will produce 1200 hm³ / year in 2030).

It nevertheless remains that a rigorous policy of demand management is needed, this through: (i) scientific development (monitoring, modeling, information systems and decision support), (ii) adequate management based on financial mechanisms in order to avoid waste, (iii) sensitization and communication policy.

Keywords: Coastal aquifers, diagnosis, pressures, trends, strategy.

INTRODUCTION

L'inégale répartition de la ressource en eau autour de la Méditerranée, sa rareté relative ainsi que sa fragilité créent un risque majeur de pénurie qui augmente continuellement face à l'accroissement démographique et aux besoins sans cesse croissants du développement socio-économique. Ce constat général prend toute son importance en Algérie, pays considéré en situation de "pénurie hydrique" avec un ratio de 530 m³/hab/an (situation de 2010), bien inférieur au seuil de rareté de 1000m³/hab/an retenu par la Banque Mondiale et le FMI (Falkenmark, 1986).

CADRE PHYSIQUE

Avec une superficie de plus de 300 000 km², l'Algérie du Nord se situe entre - 2,23° et +8,67° en latitude nord et 32,74° et 37,12° en longitude est. Elle est limitée au Nord par la Mer Méditerranée, à l'Est par la Tunisie, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par l'Atlas saharien algérien (Figure 1). Au-delà de l'Atlas saharien, l'Algérie s'enfonce sur plus de 2400 km dans le continent africain, au cœur du Sahara.

Sur le plan hydrographique, cette zone se décompose en quinze grands bassins versants hydrologiques (Figure 1) qui présentent un exutoire vers la Mer Méditerranée et déterminent ainsi un linéaire côtier de 1622 km.

Le réseau hydrographique est assez dense, conséquence d'une lithologie à forte fraction argileuse des terrains constituant les bassins versants (ANRH, 1993). Les plaines côtières, sièges des principaux aquifères alluvionnaires, se succèdent d'Ouest en Est, en unités isolées les unes des autres par les massifs maritimes. Elles sont dues, principalement, à des subsidences et remplies d'importants dépôts alluviaux, arrosées à la fois par les précipitations et par les rivières qui les traversent. Elles correspondent aux débouchés de ces cours d'eau qui présentent un apport moyen annuel de 10,6 Gm³/an (MRE/SOFRECO, 2010).

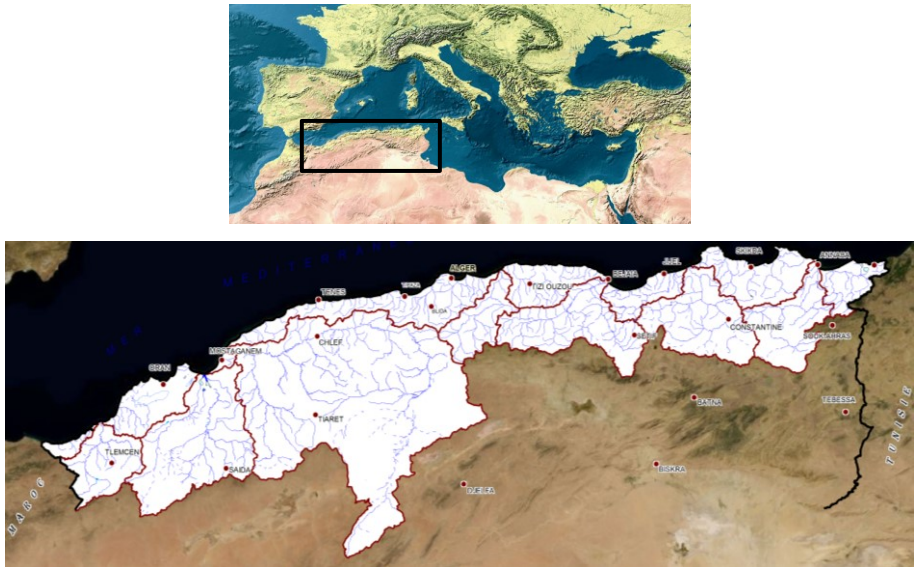


Figure 1: Carte de situation et bassins versants côtiers de l'Algérie du nord.

Le climat de l'Algérie, connu pour sa grande diversité spatiale et sa grande variabilité interannuelle, se distingue par (Figure 2) : (i) Une variabilité spatiale et temporelle marquée : s'il pleut uniquement 400 mm en moyenne dans la région Ouest, cette moyenne peut dépasser les 1200 mm à l'Est et atteindre, certaines années, les 2000 mm sur les reliefs élevés. (ii) Une pluviométrie qui décroît rapidement vers le Sud: à la lisière du Sahara, la moyenne devient inférieure à 100 mm. (iii) Une concentration des précipitations en un nombre réduit de mois durant l'année (de décembre à avril).

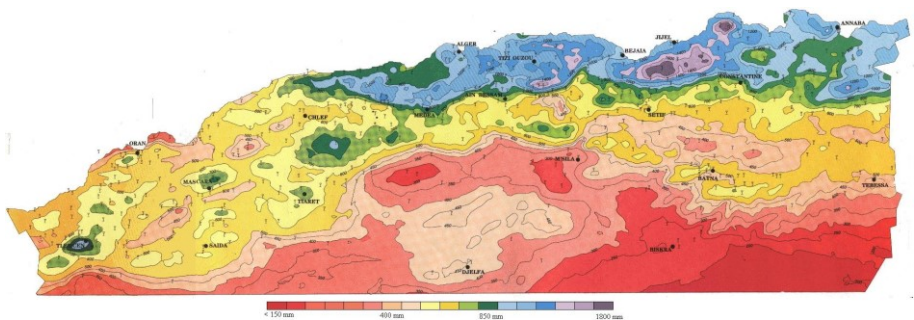


Figure 2: Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Algérie (extrait) (ANRH, 2008).

Cette variété physiographique et climatique explique, en partie, la fragilité de la ressource hydrique sur l'ensemble du territoire.

IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES AQUIFÈRES CÔTIERS

Cinquante-neuf aquifères ont été recensés sur le littoral (Figure 3), permettant une ressource exploitable globale de $914,5 \text{ hm}^3/\text{an}$ en année moyenne (ANRH / ENERGOPROJECT, 2009). Leur importance et disposition sont très variables. Cette importance reste conditionnée par la nature lithologique des formations qui les constituent. Ce sont en général des nappes alluviales à dominante sableuse, argilo sableuse et argilo graveleuse. Deux types de nappes se distinguent : (i) Les nappes alluviales étroites situées le long des cours d'eau et en liaison hydraulique avec eux. (ii) Les nappes situées dans les remplissages alluviaux des grandes plaines de subsidence (exemple : la plaine de la Mitidja, la plaine d'Annaba, la plaine de l'Oued El Kebir) et qui constituent les aquifères les plus importants.

L'ouest algérien, représenté par les bassins versants des côtiers oranais, comprend 17 aquifères avec un potentiel de $102,87 \text{ hm}^3/\text{an}$. La partie centrale de l'Algérie, délimitée par les bassins versants des côtiers algérois est composée de 26 aquifères et un potentiel exploitable de $398,25 \text{ hm}^3/\text{an}$. Enfin, la partie est, circonscrite dans les bassins versants des côtiers constantinois, est formée de 16 aquifères et présente un potentiel exploitable de $413,38 \text{ hm}^3/\text{an}$.

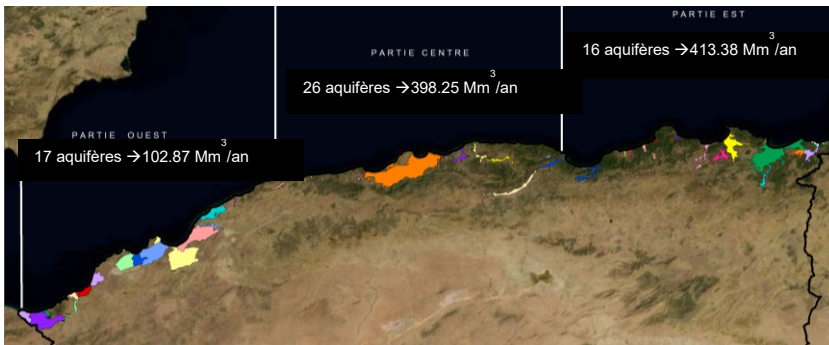


Figure 3: Localisation des aquifères côtiers de l'Algérie.

Tableau 1: Caractéristiques de certains aquifères côtiers (Djabri et al., 2003).

Aquifères	Oran	Mosta	Tipaza	Alger	Béjaïa	Jijel	Skikda	Annaba	Bouteldja
K moy. (m/s)	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	4.10 ⁻⁴
Profondeurs (m)	5 à 80	80	10 à 65	5 à 50	10 à 130	10 à 100	5 à 120	5 à 100	120
Epais. Moy. (m)	15-30	30	5-10	3-30	15-30	20-70	20-60	15-80	10-150
Nbre d'ouvrages	13	30	30	202	56	75	118	87	81
Q extrait (L/s)	230	350	400	1000	1287	1721	1560	1311	1264
	Partie Ouest				Partie Est				

Les chiffres portés sur le Tableau 1 ne donnent qu'un aperçu très exhaustif de l'état des sollicitations des nappes. Nous notons néanmoins que ces formations alluviales sont plus importantes à l'est qu'à l'ouest. Nous remarquons aussi que les débits extraits dans la zone est sont nettement supérieurs à ceux de la zone ouest. Cette situation est encore exacerbée par la variation des précipitations entre les deux zones. Par conséquent, les contraintes se font sentir plus à l'ouest qu'à l'est.

PRESSIONS, SOLLICITATIONS ET VULNERABILITE DES AQUIFERES

La zone littorale est un milieu très sensible. Elle est soumise à diverses pressions anthropiques (croissance urbaine, agriculture intensive, développement industriel et tourisme) et à divers phénomènes naturels (changement climatique) provoquant de fortes dégradations.

Dans l'ensemble, les aquifères côtiers sont fortement sollicités par des usages concurrentiels:

POPULATION

Avec une population de 35,7 millions d'habitants du RGPH 2008 (ONS, 2012), 63% des Algériens vivent dans le Nord, soit sur 4 % du territoire national.

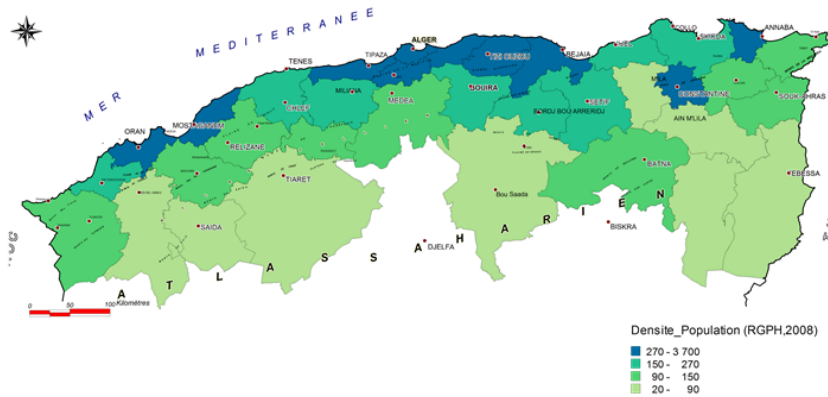


Figure 4: Carte de la densité de population en Algérie du Nord (ONS, 2012).

Sur le littoral, la densité est donc de 281 hab/km² contre 12 hab/km² au niveau national. Cette concentration de la population sur la frange littorale conduit donc à de fortes tensions dans l'usage de la ressource hydrique. En outre, la population rejette plus de 8684 tonnes de déchets solides urbains, évacués vers 380 décharges sauvages implantées sur la bande littorale.

AGRICULTURE

Même si elle ne représente que 3,54% de la surface totale du territoire national, la majeure partie de la surface agricole utile se concentre essentiellement sur le littoral où les conditions climatiques y sont plus favorables et le sol de bonne qualité (Figure 5). L'augmentation démographique généralisée en zone littorale s'accompagne du développement des activités agricoles intensives, ce qui entraîne très certainement une surexploitation des nappes côtières.

De plus, l'urbanisation anarchique sur les terres à vocation agricole participe fortement à l'imperméabilisation des sols ce qui entraîne une réduction drastique de la recharge des nappes par infiltration des précipitations qui constituent dans la plupart des cas le mode d'alimentation essentiel.

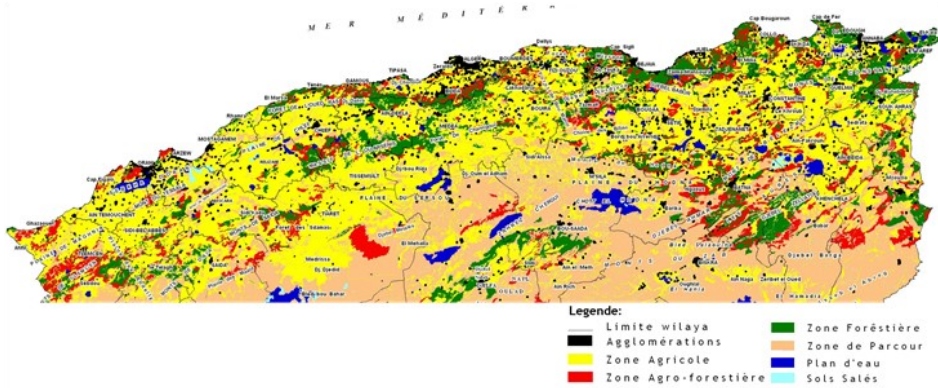


Figure 5: Carte d'occupation du sol de l'Algérie (INSID, 2013).

TOURISME ET INDUSTRIE

Outre la forte concentration de la population permanente, le littoral algérien constitue la destination privilégiée d'une population supplémentaire d'estivants. Nous ne disposons pas actuellement de chiffres précis pour toute la côte, mais, pour la wilaya côtière de Tipaza (située dans la partie centrale de l'Algérie), ce nombre a été estimé à 17 millions pour l'année 2011, et la corniche oranaise (partie occidentale) a affiché à elle seule le nombre 9 millions en 2009 (Bouroumi, 2014).

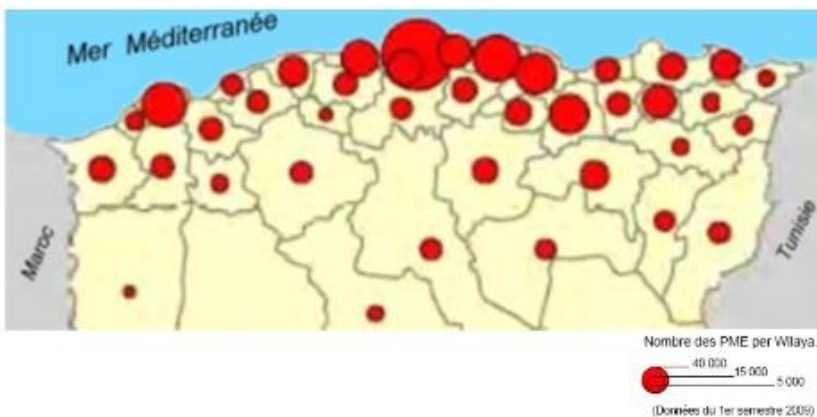


Figure 6: Carte de répartition des unités industrielles en Algérie (Kacemi, 2006).

Par ailleurs, le littoral algérien est caractérisé par une concentration des activités industrielles (Figure 7). Ainsi pas moins de 5242 unités industrielles y sont implantées soit 51% du parc national (Kacemi, 2006).

CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'Algérie a connu depuis les années 70, une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important, évalué à près de 30%, sur l'ensemble du pays (MRE, 2008). Dans le cas de l'ouest algérien, les températures ont augmenté de 1° à 2°C sur la période allant de 1926 à 2006, soit le double de la hausse moyenne planétaire (0,74°C) et pour la même période, la quantité moyenne annuelle des précipitations (Figure 7) a chuté de 15% (Bessaoud, 2008). En outre, il est fait mention que dans les zones côtières une élévation du niveau de la mer est constatée. Ceci entrainera à coup sûr une forte pression sur la ressource en eau et un grand risque de contamination des nappes côtières par intrusion marine.

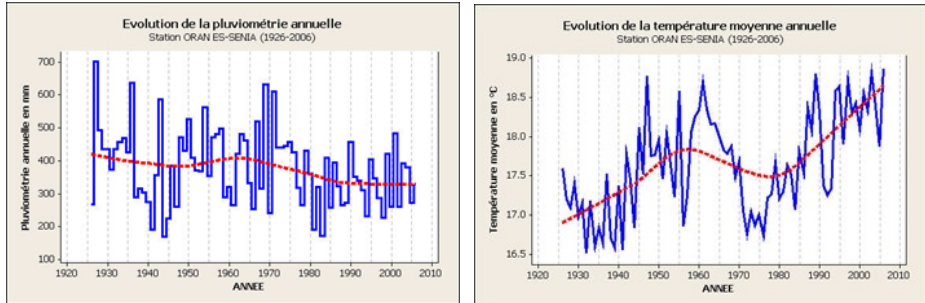


Figure 7: Evolution des moyennes annuelles de la température et de la pluviométrie à la station d'Oran (- - - : moyenne glissante).

CONFRONTATIONS BESOINS - RESSOURCES, TENDANCES

Toutes ces pressions entrainent à coup sûr un déséquilibre entre la ressource disponible et les besoins. En effet, les tableaux qui suivent (Tableau 2) montrent qu'avec une ressource souterraine de 914 hm³/an (MRE, 2008) et un volume

régularisable des eaux superficielles de 445 hm³/an [MRE, 2008], la ressource mobilisable totale était de 1359 hm³/an; soit un déficit de 212 hm³/an par rapport aux besoins de la zone côtière toutes activités confondues (agriculture, industrie et AEP) qui s'élèvent à 1571 hm³/an. Nous constatons en outre que les déficits importants observés sur la zone côtière vont se creuser davantage à l'horizon 2020 pour atteindre des déficits de 886 hm³/an, d'où la nécessité de développer une stratégie à même de s'assurer les ressources en eau nécessaires.

Ces projections proviennent de l'analyse tendancielle élaborée par les services du ministère des ressources en eau (MRE, 2008). Ce scénario tendanciel s'est attaché à prendre en compte un grand nombre de facteurs influant à différentes échelles. Il s'est basé principalement sur la consultation des plans et programmes des principaux secteurs, notamment l'agriculture, la population et l'industrie.

Tableau 2: Confrontation besoins - ressources et tendances.

□ Besoins				□ Ressources		
Type de besoins		Besoins 2008 (Hm ³ /an)	Besoins 2020 (Hm ³ /an)	Type de ressources	Situation 2008 (Hm ³ /an)	Horizon 2020 (Hm ³ /an)
Agriculture	G.P.I.	310/ (47 800 ha)	1 055/ (162 300 ha)	Capacité de stockage (Hm ³)	1 371	3 000
	P.M.H.	500/ (150 000 ha)	500/ (150 000 ha)	Volume régularisable (Hm ³ /an)	445	1 169
A.E.P.		698	1 050	Ressources souterraines (Hm ³ /an)	914	670
Industrie		63	120	Total ressources (Hm ³ /an)	1359	1 839
Total besoins		1 571	2 725			

Horizons	Ressources (Hm ³ /an)	Besoins (Hm ³ /an)	Bilan	Observations.
Situation 2008	1 359	1 571	-212	Déficit
Horizon 2020	1 839	2 725	-886	Déficit

SUREXPLOITATION, INTRUSION MARINE, DEGRADATION QUALITATIVE

La diminution drastique des précipitations suite à la sécheresse qui sévit depuis le début des années 70 conjuguée à une exploitation intensive, a entraîné une nette diminution des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines, le niveau des nappes a déjà chuté dans des proportions alarmantes, à l'image de la plaine de la Mitidja où les rabattements ont atteint des valeurs supérieures à 20m (Figure 8)

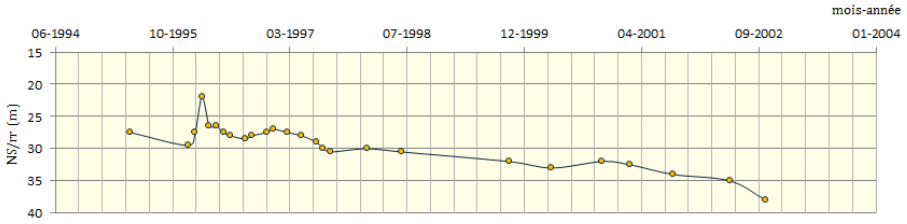


Figure 8: Evolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Piézomètre n°PZ1 (Moustiri, 2011).

Aux risques d'épuisement de la ressource, se superpose le risque d'intrusion marine. Il en est ainsi des plus importantes nappes côtières de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba. L'exemple de l'aquifère de la plaine de Oued Nador à Tipaza est édifiant à plus d'un titre: tous les forages captant cet aquifère (seize au total) sont à présent abandonnés en raison de l'intrusion marine qui a affecté totalement l'aquifère sur une distance de plus de 1,5 km par rapport à la côte (Figure 9).

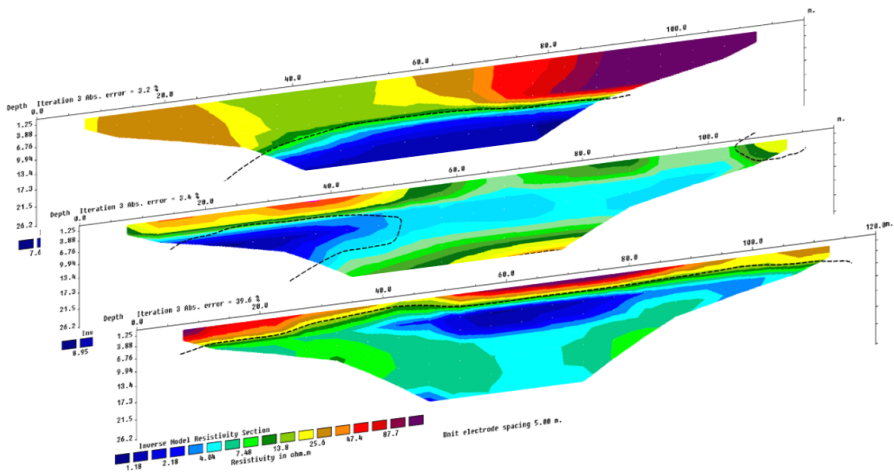


Figure 9: Coupes géo-électriques localisant l'intrusion marine dans l'aquifère de Oued Nador (Haouchine, 1993).

Les pollutions anthropiques sont liées en particulier aux activités d'origine agricole (fertilisants et produits phytosanitaires) (ANRH / SOGREA, 2010). S'ajoutent à cela les activités industrielles polluantes (plus de 250 000 m³ d'eaux usées d'origine industrielle rejetées quotidiennement dans l'oued El-Harrach) ainsi que les rejets urbains.

L'analyse de 860 échantillons dans la plaine de la Mitidja (Figure 10) a montré que, pour ce qui est des nitrates (NO_3), 92% des échantillons analysés dépassent la concentration maximale admissible pour l'AEP. 45% d'entre eux sont supérieurs à 100 mg/L et atteignent dans certaines zones (zone est) des valeurs de 285 mg/L, soit 5 fois plus que les normes arrêtées par l'OMS.

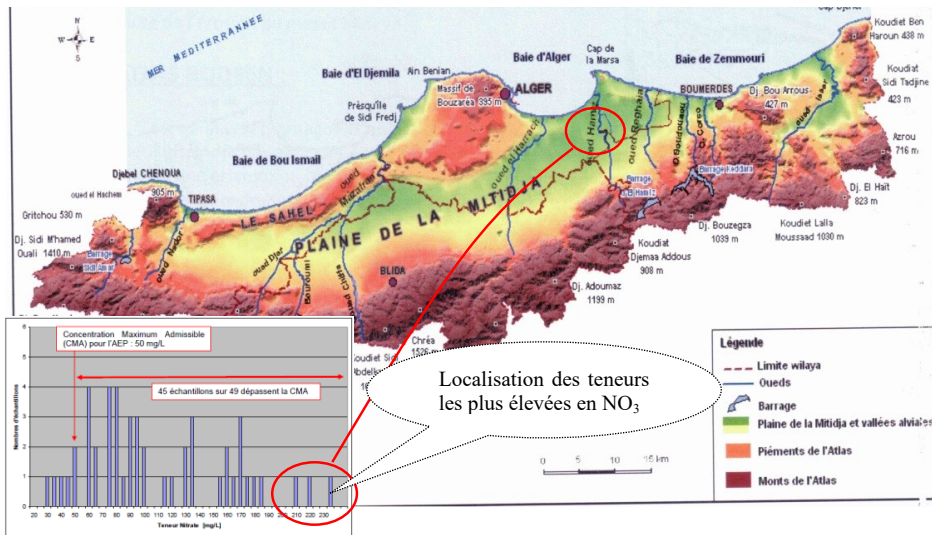


Figure 10: Les teneurs en Nitrates dans la plaine de la Mitidja.

STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU

Compte tenu de ces situations dramatiques, la stratégie nationale (PDARE 2010-2030) vise quatre objectifs : **(i)** Accroître et sécuriser la mobilisation des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles. **(ii)** Assurer l'accès à l'eau et d'améliorer la qualité des services. **(iii)** Assurer l'accès à l'assainissement et la protection des écosystèmes. **(iv)** Soutenir la stratégie de sécurité alimentaire avec l'extension des zones irriguées.

Cette stratégie se traduit sur le terrain par un ensemble d'actions et de projets concernant notamment la mobilisation et la gestion de la ressource non conventionnelle tels que :

Le dessalement de l'eau de mer

Plusieurs projets sont déjà réalisés (Figure 11) : 30 stations de dessalement sont fonctionnelles actuellement avec une capacité totale de 1500000 m³/j, en attendant la finalisation très proche de 08 autres de grande capacité, variant entre 200000 m³/j et 500000 m³/j. Ce qui permettrait de produire un total de 2567260 m³/j à l'horizon 2030 (MRE/SOFRECO, 2010).

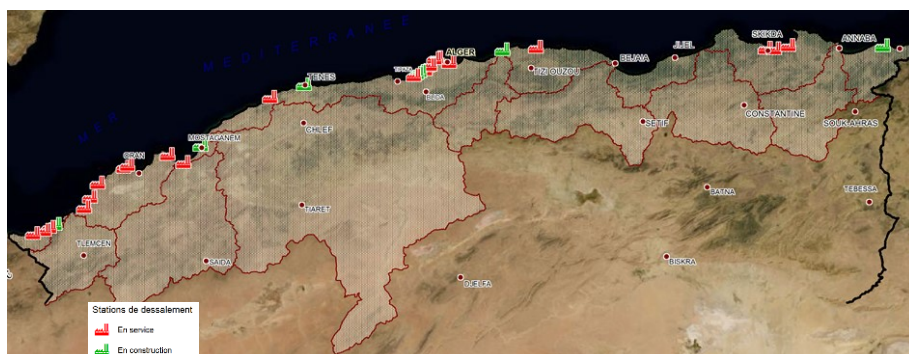


Figure 11: Localisation des stations de dessalement d'eau de mer les plus importantes.

La réutilisation des eaux usées:

Moins coûteuse, cette option repose sur les 850 hm³ d'eau rejetés tous les ans; récupérer 40% de ces rejets équivaldrait à produire l'équivalent de cinq barrages d'une capacité de 70 hm³. Jusqu'en 2013, 145 stations d'épuration ont été réalisées avec une capacité de traitement de 12 millions EqH et un volume de 800 hm³/an, dont une grande partie est exploitée dans l'agriculture et 106 sont en cours de réalisation. Au total, 251 stations d'épuration avec un volume de plus de 1 200 hm³/an, formeront le parc des STEP à l'horizon 2030 (MRE, 2015).

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Enfin, bien que la demande en eau semble être satisfaite à moyen terme, la mise en œuvre d'une politique rigoureuse de gestion de la demande est nécessaire. Dans cette optique, nous préconisons les recommandations suivantes:

Scientifiques : (i) Mise en place des réseaux de surveillance systématique des aquifères côtiers (niveau, température et salinité) et encourager la mise en œuvre de la modélisation des aquifères côtiers. (ii) Acquisition de données supplémentaires pour réaliser des cartes détaillées de la vulnérabilité des aquifères. (iii) Application des techniques telles que la recharge artificielle des eaux souterraines pour lutter contre l'intrusion d'eau de mer. (iv) Mettre sur pied un système rationnel de collecte, de structuration, de gestion et de valorisation de l'information relative aux aquifères côtiers (systèmes d'informations géographiques et système d'aide à la décision).

Politique : L'Algérie a entrepris des actions de grande envergure, tant sur le plan des investissements engagés que sur le plan de réforme et de gestion intégrée. Ces efforts ont permis d'enregistrer des améliorations remarquables dans le domaine de la mobilisation et de la distribution de la ressource hydrique. Toutefois, les actions engagées, et celles à engager ultérieurement, doivent s'intégrer dans une approche systémique, et non des éléments fragmentés afin que les résultats soient significatifs à l'échelle de l'ensemble du système.

Enfin, et en parallèle à une politique de sensibilisation et de communication, il serait judicieux de mettre en place une politique rigoureuse de gestion de la demande fondée sur des mécanismes financiers et réglementaires afin d'éviter les gaspillages et les déperditions de cette ressource vitale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANRH (2008): Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Algérie au 1/500.000^{ème}
- ANRH / ENERGOPROJECT (2009): Carte des ressources en eau souterraine du nord de l'Algérie
- ANRH / SOGREA (2010): Etude de vulnérabilité de la nappe de la Mitidja. Rapport des sous-missions 1-2 et 1-3. mars 2010; n°1741002.

- ANRH / GIRE / SOGREAHA (2010): Lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger. Rapport final. octobre 2010; n°174 1274-R6.
- Bessaoud, O. (2008): Changement climatique et activités humaines. Séminaire régional changement climatique en Méditerranée. PNUE/PAM, Plan Bleu, CAR; octobre 2008.
- Bouroumi, M.T. (2014): Le littoral Algérien entre la dégradation et protection du patrimoine, cas de la commune d'Aïn El Türk. Colloque Francophone International Cultures, Territoires et Développement Durable. ESPE Clermont Auvergne, 14-15 Avril 2014. Clermont Ferrand.
- Djabri, L. et al. (2003): L'Algérie, un pays en voie de développement, a-t-elle développé un biseau salé? Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos ©IGME. Madrid 2003 ISBN. 84-7840-470-8.
- Falkenmark, M. (1986): Fresh water - Time for a modified approach. *Ambio*, vol. 15, no 4. pp192-200, URL: <http://www.jstor.org/stable/4313251>
- Haouchine, A. (1993): Modélisation des transferts de masse en milieu poreux, exemple de la plaine alluviale de Oued Nador (Tipaza). Thèse Magister. IST / USTHB ; juillet 1993, pp162.
- INSID (2013): Carte d'occupation du sol du Nord de l'Algérie. Réalisée par le BNEDER, Juin 2013. URL:<http://www.bneder.dz/?rel=accueil&cle=440>
- Kacemi, M (2006): « Protection du littoral en Algérie entre politiques et pouvoirs locaux : Le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran- Algérie) »,
- Moustiri, A. (2011): Stratégie et indicateurs du secteur de l'eau en Algérie. Le Caire, Novembre 2011
- MRE (2008): Ressources en eau disponibles superficielles et souterraines. (URL: <http://www.mre.gov.dz>)
- MRE (2015): Ressources en eau non conventionnelles. La réutilisation des eaux usées épurées. (URL : http://www.mre.dz/baoff/fichiers/Non_conventionnelles.pdf).
- MRE / SOFRECO (2010): Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau PNE 2010. Mission 2; Volet2; Tome2. Version finale août 2010.
- ONS (2012): Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2008). Office National des Statistiques. Alger.