

LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES : ALTERNATIVE EN ALGERIE

LAGHA-BOUZID Souad

Institut de Génie Civil, Département Hydraulique, Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediène USTHB Algérie, Tel : (213-2) 51.55.75, Fax : (213-2) 51.50.79 .

RESUME

Actuellement en Algérie de grands projets d'aménagements et de constructions agricoles et industrielles, d'agrandissements des agglomérations, de créations de nouvelles zones d'habitations... sont en cours de réalisation notamment au nord du pays.

L'utilisation rationnelle et effective des ressources en eaux, aussi bien souterraines que superficielles, constitue à court et à long terme l'élément fondamental pour la réussite et le bon fonctionnement de ces réalisations.

La rapidité de la mise en exploitation des ressources en eaux, principalement souterraines, pendant de longues périodes, a provoqué des disharmonies quantitatives (surexploitation des nappes ...) et parfois une dégradation de la qualité des eaux particulièrement le long du littoral (intrusion marine au niveau de Tipaza , Est-Alger , Bas-sébaou ...) .

La mobilisation des eaux souterraines est plus facile et moins onéreuse que celle des eaux superficielles, qui restent jusqu'à présent sous-exploitées. Du ruissellement annuel évalué à 12,8 Milliards de m³, seulement près de 2 Milliards de m³ (15%) sont mobilisés au moyen de barrages et de retenues collinaires.

La recharge artificielle des nappes d'eaux souterraines s'impose comme moyen incontournable. Elle consiste à récupérer les eaux superficielles non mobilisées et les introduire dans les formations perméables du sous-sol. Elle présente un grand intérêt en raison des objectifs qu'elle permet d'atteindre : stockage des eaux de surface, épuration naturelle des eaux, augmentation du rendement des champs de captage, lutte contre l'intrusion marine... .

L'accroissement des réserves d'eaux souterraines et l'optimisation du régime d'exploitation permettent une gestion rationnelle et durable des ressources en eaux souterraine et superficielles .

I. LA RECHARGE ARTIFICIELLE (RA) DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES : SES CONDITIONS ET APPLICATIONS

1. Définition et objectifs de la Recharge artificielle

Le concept de la recharge artificielle n'est pas récent, il est apparu au moment où commençait à s'imposer la nécessité de gérer l'ensemble des ressources en eaux superficielles et souterraines dans le cadre des grands bassins naturels.

Cette technique consiste à introduire de l'eau dans des formations perméables du sous-sol par l'intermédiaire d'aménagements appropriés (les pertes des retenues, canaux, réseaux d'irrigation en sont exclues). Elle intègre en effet l'idée de ressources supplémentaires apportées à la nappe et évoque implicitement la réutilisation de ce supplément dans des conditions de régime et de qualité différentes.

Dans le monde, la recharge artificielle a connu, dans sa pratique moderne, des résultats spectaculaires depuis déjà fort longtemps. Elle est en voie de passer, dans plusieurs pays, du domaine des réalisations isolées à celui de l'usage courant, au fur et à mesure que le problème de l'eau s'aggrave et que les objectifs et les perspectives d'une politique des ressources se précisent.

Cette méthode présente un grand intérêt et un large spectre d'application en raison des objectifs qu'elle permet d'atteindre :

- Restauration d'un équilibre perturbé et protection contre des perturbations diverses:
 - Surexploitation d'une nappe.
 - Déviation d'un cours d'eau.
 - Intrusion d'eaux salées ou polluées dans la nappe, etc...
- Amélioration de la qualité des eaux :
 - Epuration naturelle des eaux infiltrées (dans les dispositifs superficiels de la recharge artificielle et à travers la zone non saturée)
 - Diminution de la minéralisation des eaux souterraines en réinjectant des eaux douces.
 - Régularisation thermique des eaux réinjectées (pour le refroidissement industriel), etc...
- Accroissement de la ressource en eau et optimisation du régime d'exploitation pour une gestion rationnelle et durable des eaux superficielles et souterraines (d'un bassin ou d'un groupe de bassins naturels) afin d'atténuer ou de régler les problèmes de pénuries saisonnières, d'alimenter une région déficitaire par une autre, etc... .

2. LES DISPOSITIFS DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

Malgré la diversité des ouvrages destinés à la recharge artificielle, ceux-ci se divisent en deux grands groupes :

- Les dispositifs d'infiltration provoquée dont les principaux types sont : les bassins d'infiltration, les fosses, les canaux, les galeries, les lits des cours d'eau aménagés,... Ils sont aménagés à la surface du sol et largement utilisés en nappe libre.

L'infiltration des eaux se fait depuis la surface du sol vers la nappe à travers la zone non saturée (zone d'aération).

- Les dispositifs d'injection dont les principaux types sont, les forages d'injection et les galeries souterraines. Ils sont utilisés principalement pour la recharge des nappes captives.

3. CONDITIONS NATURELLES DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

Le choix du site et du dispositif de la recharge artificielle dans une région donnée doit se faire au fur et à mesure des travaux d'études géologiques, hydrogéologiques, hydrologiques,... . A leur tour le dispositif choisi et son schéma d'aménagement déterminent les caractéristiques des principaux travaux et études de terrain et hydrotechniques à entreprendre.

Les conditions fondamentales pour l'application de la recharge artificielle sont:

- L'existence d'un problème à surmonter (surexploitation d'une nappe, intrusion marine, pollution, pénuries saisonnières ou régionales,...) ou stockage d'eau pour les générations futures.
- L'existence de formations perméables dans le sous sol permettant le stockage d'eaux réinjectées.
- La disponibilité d'une source d'alimentation des ouvrages de la recharge artificielle (oueds, barrages...) de qualité et de quantité désirables.

4. QUELQUES EXEMPLES DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DANS LE MONDE

La recharge artificielle est pratiquée dans plusieurs pays. On cite quelques exemples :

- Au U.S.A - La Californie apparaît comme le "géant" de la recharge artificielle dans le monde. Elle s'impose comme un exemple particulièrement intéressant.

Les premiers aménagements de la recharge artificielle remontent à 1895 (plus d'un siècle). Actuellement on en compte plus de 300. Dans cet état, la disharmonie est grande entre besoins et ressources :

- les 2/3 sud de l'état reçoivent en moyenne 150 mm de précipitations, alors que l'évapotranspiration potentielle dépasse 1600 mm. La consommation atteint 70% du total d'eau de toute la Californie.

- Le 1/3 Nord de l'état dispose de 70 % des ressources en eau et consomme 30 % du total d'eau -

Malgré le recours à la recharge artificielle depuis déjà fort longtemps; jusqu'aux années 60, la quasi-totalité des nappes du Sud restaient surexploitées avec des rabattements atteignant 60 m de profondeur (le niveau initial se trouvait à 2,5 m sous le sol). Le biseau salé continuait à avancer dans la plaine côtière de Los Angeles jusqu'à plus de 1000 m. Il est à signaler que l'objectif principal de la recharge artificielle était de ramener et maintenir les nappes à une cote suffisante et d'éviter l'intrusion marine, avec un débit de 30 m³/s.

Pour pallier à cette situation, aux fluctuations saisonnières et interannuelles; il a été décidé vers les années 70, la mise en oeuvre progressive et la gestion rationnelle des ressources en eau de toute la Californie, sans recourir aux disponibilités des états voisins ni au dessalement de l'eau de mer.

Le projet "California Water plan" consiste à transférer l'eau du Nord vers le Sud sur un réseau de 700 Km de long, desservant ainsi la totalité de l'état avec un débit en tête fixé à 850 m³/s. Au niveau de la plaine côtière de Los Angeles (au Sud) le débit prévu est de 175 m³/s.

Ainsi la recharge artificielle passe progressivement de la dimension locale (pour régler un problème particulier d'eau) au stade régional où elle pourra jouer pleinement son rôle d'instrument de gestion de l'ensemble des ressources en eau de tout l'état Californien.

On rappelle que la Californie et l'Algérie du Nord ont le même climat.

- En Europe, aux Pays-Bas, la ville d'Amsterdam est alimentée en eau potable grâce à des lacs artificiels d'infiltration aménagés dans des dunes littorales et recevant de l'eau du Rhin à raison de 1,5 m³/s, après un transfert par conduite de 53 Km. Les eaux très polluées du Rhin subissent un prétraitement et continuent de s'épurer naturellement à travers les sables des dunes (2 mois) avant de se mélanger à l'eau du gisement.

Outre le supplément d'eau apporté, cette opération a permis de lutter contre l'intrusion marine.

- Au Maghreb, la recharge artificielle est utilisée au Maroc (Tanger, nappe de Haouz...) et en Tunisie (Sousse, Nabeul).

L'exemple de Tanger remonte à 1956. Il a été conçu pour repousser l'intrusion marine qui commençait à se faire ressentir, et assurer une réserve annuelle ou pluriannuelle pour la consommation en eau de la région de Tanger.

La solution de stockage souterrain était préférable à celle d'une retenue sur l'oued M'Harhar (qui ne coule que 3 à 4 mois par an) qui aurait été soumise à une forte évaporation. L'eau est infiltrée dans des bassins à un volume en moyenne de 1 Million de m³ par an.

La réinjection des eaux usées épurées est en expérimentation depuis quelques années en Tunisie. (Région de Nabeul) pour une éventuelle réutilisation en agriculture.

Les résultats obtenus dans les différents aménagements de la recharge artificielle dans les deux pays sont jugés appréciables et encourageants.

5. ASPECTS ECONOMIQUES

Les dépenses d'investissements et d'exploitation de la recharge artificielle comprennent les frais d'aménage et de traitement de l'eau, des aménagements des bassins ou des forages d'injection et de reprise de l'eau.

Les données économiques varient fortement d'un pays à l'autre, elles dépendent de plusieurs facteurs. Chaque aménagement est un cas d'espèce. Cependant, la recharge

artificielle est une technique largement utilisée dans beaucoup de pays en raison de la diversité des objectifs qu'elle permet d'atteindre et des coûts qui sont généralement inférieurs à ceux des autres techniques (dessalement des eaux de mer, barrages, traitement des eaux...)

II . ETUDES QUALITATIVE DES POSSIBILITES DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DANS LA NAPPE ALLUVIALE DE LA MITIDJA: REGION D'ALGER

De 1970 à 1998 la population de la région d'Alger a presque triplé et le volume d'eau utilisé a beaucoup augmenté.

La nappe alluviale de la Mitidja (principale source d'eau de la région) a été fortement surexploitée notamment au voisinage des grands centres urbains, elle est de plus en plus menacée par les intrusions des eaux de mer au niveau de sa partie littorale. Le débit extrait de cette nappe est passé de 250 Millions de m³ par an en 1969 à 300 Millions de m³ par an en 1980, selon les prévisions il atteindra plus de 400 Millions de M³ par an en l'an 2001.

Disposer d'eau en abondance est un impératif vital pour la région d'Alger. Pour atteindre cet objectif, nous proposons une mise en œuvre des ressources en eaux superficielles et souterraines disponibles par l'intermédiaire du processus de la recharge artificielle.

Le choix de la nappe alluviale de la Mitidja pour l'étude des possibilités d'utilisation de cette technique et l'expérimentation du schéma d'aménagement proposé a été fait pour les raisons suivantes :

- Cette nappe est fortement surexploitée. Les rabattements ont dépassé les 10 - 15 m dans plusieurs endroits. L'intrusion marine s'accroît.
- Les besoins en eau de la région d'Alger ne cessent d'augmenter.
- Les ressources en eau superficielles non mobilisées existent en quantité et qualité désirables.
- L'existence de superficie importante et d'une zone non saturée, de propriétés géologiques et hydrogéologiques appréciables, permettant respectivement l'implantation des dispositifs de la recharge artificielle, et l'infiltration et le stockage des eaux réinjectées.
- La disponibilité d'une importante masse de données sur les conditions naturelles et d'exploitation des eaux de la région.

1. PRESENTATION DE LA REGION

La plaine de la Mitidja se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Elle s'étend le long de la côte sur une superficie de 1300 Km² et limitée au Nord-Est par la Méditerranée, au Nord-Ouest par le massif du Sahel, au Sud par l'Atlas Blidéen et le massif de Tablat, à l'Ouest par le massif du Chenoua.

De l'Est à l'Ouest, cette plaine est traversée par cinq artères : Reghaïa, Hamiz, El-Harrach, Mazafran et Nador avec leurs principaux affluents : Djemâa, Chiffa, Djar, Bouroumi, etc... . L'écoulement de ces cours d'eau se fait principalement du Sud vers le Nord (vers la mer).(voir fig1) .

La Mitidja est caractérisée par un climat chaud et sec en été et relativement froid et humide en hiver. La température moyenne est de + 18°C, et la moyenne annuelle des précipitations varie entre 600 et 1000 mm dont 50 % tombent de Novembre à Janvier - Février. De Juin à Septembre les précipitations sont presque nulles. Le module d'écoulement au niveau des stations hydrométriques varie de 3,4 à 16,2 l/s/Km², quant au transport solide il varie de 1500 à 3500 T/Km²/an.

Du point de vue hydrogéologique, le bassin de la Mitidja comprend deux étages séparés par le substratum régional d'âge plaisancien. Seul l'étage supérieur sera brièvement présenté dans cette étude. Il est formé par deux aquifères séparés par des terrains très peu perméables constitués par des marnes jaunes d'âge Villafranchien.

- L'aquifère supérieur d'âge quaternaire est constitué par des grès et graviers d'épaisseur comprise entre 80-150 m. Il est libre sur la plus grande partie de son étendue sauf à l'Ouest au niveau du Bas Mazafran où il devient captif sous la couche de limons. La profondeur du niveau piézométrique varie de 0,5 à 40 m. La transmissivité est instable, elle va de 10^{-3} à $40.10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}$.

L'aquifère sous-jacent d'âge Astien est constitué par des formations grésocalcaires d'épaisseur de 15 à 150 m. Il est généralement captif et n'est pas concerné directement par la recharge artificielle.

2 - CHOIX DU SITE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE :

Le site choisi pour l'implantation du dispositif proposé se situe au Sud-Ouest de la plaine de la Mitidja au niveau de la vallée de l'Oued Chiffa (voir fig 1).

Dans ce site les conditions naturelles sont favorables :

$10^{-3} < \text{Transmissivité} < 40.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

$0,5 < \text{prof.niveau piezo} < 40 \text{ m}$. d'où l'existence d'une couche importante de zone non saturée à travers laquelle l'infiltration pourra se faire.

L'oued Chiffa a été choisi pour servir de source d'alimentation des dispositifs de la recharge artificielle. Ses eaux présentent des caractéristiques qualitatives et quantitatives favorables :

$0,5 < \text{minéralisation} < 1 \text{ g/l}$. ou légèrement supérieure.

$7,5 < \text{PH} < 8,5$. il atteint rarement 9.

$1500 < \text{Transport solide} < 3500 \text{ T/Km}^2.\text{an}$.

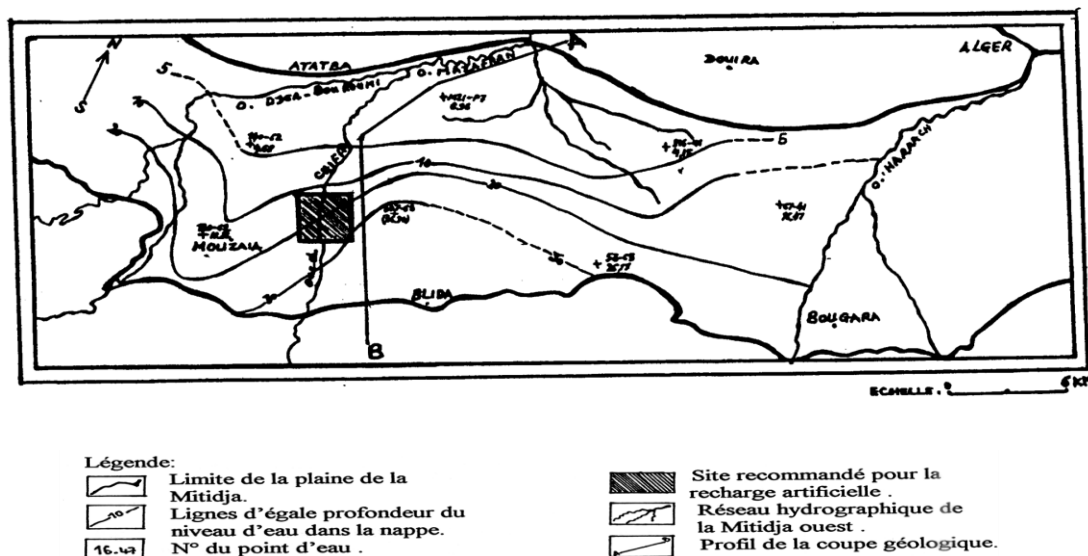


Fig. 1 Implantation du site

L'analyse des débits mensuels mesurés dans cet oued sur une période de 10 à 15 ans montre que 50 % de l'écoulement total annuel se produit entre Décembre et Mars. Il diminue d'Avril à Juin, de Juillet à Septembre il est insignifiant à nul.

Les débits varient de quelques l/s à $100 \text{ m}^3/\text{s}$ et plus pendant les crues.

Vu le caractère libre de la nappe concernée par la recharge artificielle (la nappe alluviale). La technique recommandée est l'infiltration provoquée par bassin du type capital.

Le dispositif comprend :

- Un contour d'infiltration constitué de 10 bassins, disposé côte à côte suivant un alignement parallèle à l'oued Chiffa à une distance comprise entre 700 et 1000 m à l'Est de

celui-ci. Le débit d'infiltration est estimé à 40 m³/jour par mètre linéaire.

- Un contour de captage constitué de 10 à 15 forages situés entre l'oued et les bassins. le débit total de captage est estimé à 1 m³/s (86400 m³/jour).

- Deux stations de pompage : une pour pomper l'eau dans l'oued et alimenter les bassins . La deuxième pour le captage des eaux dans les forages.

- Des ouvrages d'amélioration de la qualité des eaux pompées dans l'oued situés entre la 1ère station de pompage et les bassins d'infiltration (voir fig 2).

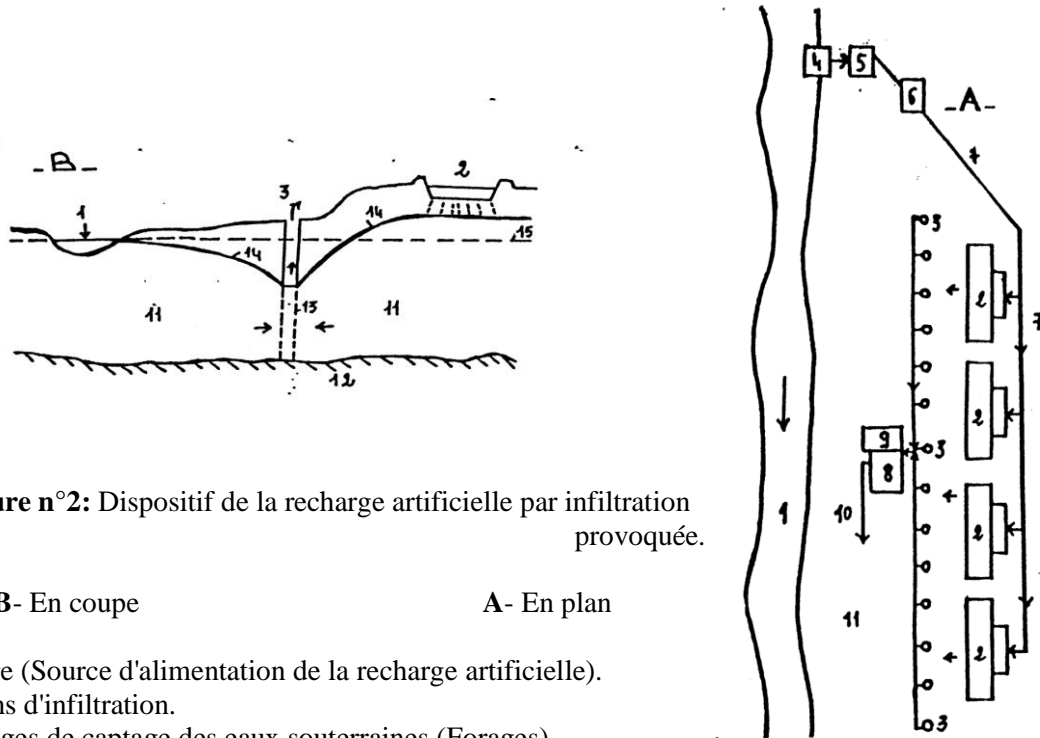


Figure n°2: Dispositif de la recharge artificielle par infiltration provoquée.

B- En coupe

A- En plan

1. Rivière (Source d'alimentation de la recharge artificielle).
2. Bassins d'infiltration.
3. Ouvrages de captage des eaux souterraines (Forages).
4. Prise d'eau dans l'oued (les eaux superficielles).
5. Station de refoulement des eaux.
6. Station d'amélioration de la qualité des eaux.
7. Conduite d'amenée des eaux de la recharge artificielle.
8. Station de pompage II.
9. Station de rectification des eaux.
10. Adduction.
11. Aquifère libre.
12. Substratum de nappe.
13. Forage de captage d'eaux souterraines.
14. Niveau dynamique avec (recharge artificielle).

CONCLUSION

Les résultats spectaculaires que la recharge artificielle des nappes d'eaux souterraines a connus à travers le monde montrent que cette technique convient aux différentes conditions naturelles et d'exploitation. Elle est pratiquée dans les régions les plus froides (Suède, Russie,...) jusqu'aux plus chaudes, (arides et semi-arides (Californie, Israël,...) en passant par tous les climats intermédiaires.

En Algérie, la recharge artificielle s'impose comme alternative permettant de tirer parti au maximum des eaux superficielles non mobilisées au lieu de les laisser se perdre dans la mer.

Les objectifs immédiats pouvant être envisagés sont :

- Apporter un supplément d'eau aux nappes souterraines surexploitées afin de rétablir l'équilibre rompu et satisfaire les besoins croissants.
- Lutter contre l'intrusion marine, connue comme un phénomène des plus irréversibles, qui menace continuellement notre littoral en particulier :
 - A l'Est d'Alger le long de la frange littorale de la Mitidja orientale où l'extension du biseau salé à l'intérieur de la nappe a dépassé 1 Km (1993).
 - Au niveau des vallées des oueds Nador et Mazafran où la contamination des eaux douces par les eaux de mer est particulièrement visible.
 - Au niveau de la nappe alluviale du bas Sébaou où l'extension du biseau salé dépasse 1 Km, (constatations à partir des résultats d'analyses chimiques des eaux prélevées dans 40 puits et forages).

A long terme, la recharge artificielle pourra être utilisée comme moyen de gestion de la totalité des ressources souterraines et superficielles disponibles en vue d'éviter les pénuries saisonnières, interannuelles et régionales.

Malgré les résultats acquis, au cours des années passées dans le sens d'une promotion de la recharge artificielle en Algérie (échanges de point de vue entre spécialistes, communications dans des séminaires scientifiques,...), il est apparu que la diffusion de mes recherches restait beaucoup trop limitée en l'absence de la concrétisation du schéma d'aménagement présenté ci-dessus. Les résultats de l'étude quantitative du rendement de ce schéma font l'objet d'une publication en cours.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. J. Bize , L. Bourguet, J. Lemoine : L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Paris. 1972.
2. Lagha-Bouزيد Souad : Etude hydrogéologique pour la recharge artificielle de la nappe alluviale de la Mitidja. Algérie. Thèse de PhD . Moscou.1983.