

COURS L6. HYDRAULIQUE
GEST. DES RES.HYD.
(1^{ère} Partie)

CHAPITRE I : LE PROBLEME DE L'EAU DANS LE MONDE

1) - CYCLE DE L'EAU (Voir cours S1 :Hydrogéologie)

2) - L'INVENTAIRE DES EAUX DANS LE MONDE

L'eau couvre environ 70% de la planète, c'est-à-dire environ 1,4 milliards de km³.

C'est pour cela qu'on donne souvent à la Terre le nom de **planète bleue**.

Dans toute cette eau, 97.2% représente de l'eau salée

2.8% représente de l'eau douce.

Les 2.8 % d'eau douce se répartissent de la façon suivante :

- 2.15% correspondent à la glace polaire
- 0.63% correspondent aux eaux souterraines
- 0.02% e correspondent aux eaux de surface (lacs, fleuves, rivières...)
- 0.001% e correspondent à l'eau atmosphérique

3) - BILAN DES RESSOURCES ET DES BESOINS DANS LE MONDE

L'utilisation des ressources en eaux douces se répartit comme suit:

Agriculture (Irrigation) : 70 %

L'agriculture est la grande utilisatrice de la ressource surtout dans les régions arides que tempérées. Pour faire face à l'évolution démographique, les besoins pour l'irrigation ont été multipliés par cinq (5) au cours du 20^è siècle (60% d'augmentation depuis 1960). L'irrigation représente 90% de la ressource dans les pays en voie de développement contre 40 % dans les pays industrialisés .

La généralisation des techniques modernes d'irrigation participe à la réduction de ces besoins d'irrigation ,

Industries : 20 %

Les industries utilisent 20 % de l'eau douce pour toutes leurs activités. Cela représente quand même une grande fraction et elles pourraient la diminuer en essayant de développer des technologies utilisant moins d'eau ou en utilisant une eau de qualité moindre pour les usages ne nécessitant pas de l'eau potable.

Consommation domestique : 10 %

La consommation domestique ne comprend que 10 % de l'utilisation mondiale en eau douce mais elle est très inégalement répartie.

Exemple

- USA : 300 litres par jour et par habitant
- Europe : 100 à 200 litres par jour et par habitant
- Pays du tiers-Monde : quelques litres à une dizaine de litres par jour et par habitant

RÉPARTITION INÉGALE DE L'EAU DANS LE MONDE

A l'échelle du globe, l'eau est très inégalement répartie. Actuellement, 1.1 milliards de personnes n'ont toujours pas accès à l'eau salubre (= eau propre) et un tiers de la population mondiale est privée d'eau potable

Neuf pays détiennent **60 %** des ressources naturelles renouvelables d'eau douce du monde: le Canada, la Chine, la Colombie, le Pérou, le Brésil, la Russie, les Etats-Unis, l'Indonésie et l'Inde.

Environ 80 pays, c'est-à-dire **40 %** de la population souffrent de pénurie d'eau. Parmi eux, certains pays n'ont quasi pas de ressources en eau : le Koweït, Bahrein, Malte, Gaza, les Emirats Arabes Unis, Singapour, la Jordanie, la Lybie.

Le climat est un élément clé du point de vue des ressources en eau. En effet, plus le climat est sec, moins les ressources en eau seront abondantes et plus l'irrigation sera importante. De plus, des précipitations assez régulières sont plus faciles à gérer que des précipitations irrégulières avec de fortes variations saisonnières.

L'EAU À L'ORIGINE DES CONFLITS.

L'eau se fait de plus en plus rare et est, dès lors, de plus en plus convoitée. Elle constitue un enjeu politique et économique important.

A l'analyse de la répartition de la ressource on constate que des conflits pour l'eau à la frontière entre deux pays risquent de devenir problématiques. Dans ce cadre l'ONU estime que 300 rivières transfrontalières peuvent constituer un enjeu conflictuel dans un avenir proche.

Exemple, Le Nil peut être source de discorde entre l'Egypte, le Soudan et l'Ethiopie ,car cette région aride ne peut développer l'agriculture sans ce fleuve

4) - L'EAU DANS LES PAYS PAUVRES

Plus, de **40 %** de la population mondiale n'a pas un accès suffisant à de l'eau propre.

En 2025, d'après l'ONU-Eau, **1,8 milliard** de personnes vivront dans des pays ou des régions où la pénurie d'eau sera totale. Le manque d'eau représente une grave menace pour de nombreux secteurs, notamment la sécurité alimentaire.

L'agriculture consomme environ **70 %** de l'eau douce accessible dans le monde.

Les pays en développement sont les plus touchés par les pénuries et la mauvaise qualité de l'eau

Les pays touchés par le stress hydrique sont , ceux du bassin Méditerranéen, du moyen orient et de l'Asie dans une moindre mesure.

En Afrique Subsaharienne on se contente de 30 L/j d'eau de mauvaise qualité ,alors qu'au USA on peut en consommer 600l/j d'eau potable.

CHAPITRE II. PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE

LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

Introduction

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à **1000 m³/hab./an.** Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de **1500 m³,** elle n'était plus que de **720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, 500 m³ en 2009.** elle n'est que de **430 m³ en 2020**

La disponibilité en eau potable en Algérie en **m³/Habitant/An** dépasse légèrement le seuil des **400 m³/hab/an.**(norme OMS).

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant (Fig.1) les 17 bassins versants. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

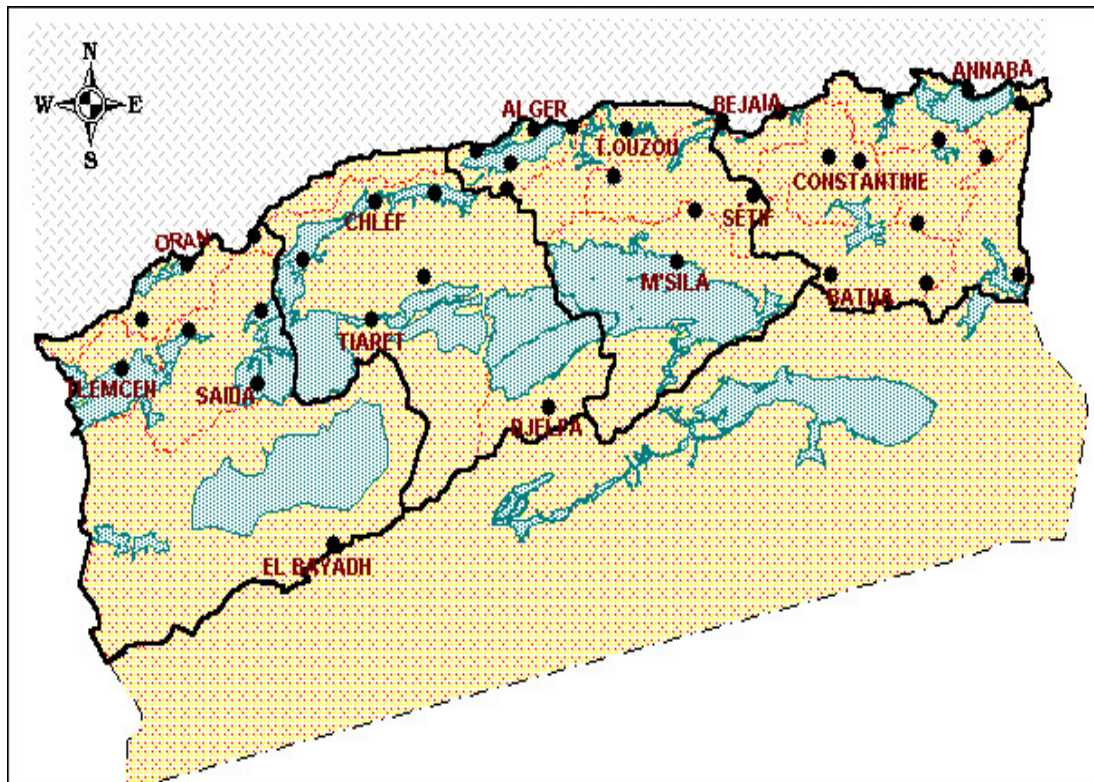


Fig . 1. Carte des 5 régions de planification hydraulique

**Les potentialités globales en eau: Diverses estimations

1)-Les potentialités en eau sont estimées à **18 milliards de m³/an** répartis comme suit.

****12,5** milliards de m³/an dans les régions Nord dont **10** milliards en écoulements superficiels et **2,5** milliards en ressources souterraines (renouvelables).

****5,5** milliards de m³/an dans les régions sahariennes dont **0,5** milliard en écoulements superficiels et **5** milliards en ressources souterraines (fossils)

2)-Les potentialités globales en eau sont évaluées à **19.4 milliards de m³/an**.

Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de **2 Milliards de m³/an.

Les ressources superficielles y sont estimées à **12 milliards de m³/an. Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (**CI**) et du Complexe Terminal (**CT**). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de **60 000 milliards de m³ dont 40 000 milliards** sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable.



*Fig.2 . Localisation et extension du complexe terminal(Continental tertiaire)
Et du continental intercalaire*

Capacités de mobilisation

Les capacités totales de mobilisation sont de 12 milliards de m³/an dont:

- Un volume de **6,8** Milliards au Nord (**5** Milliards de m³/an pour les eaux de surface, **1,8** Milliards de m³/an pour les eaux souterraines, **5,2** Milliards de m³/an dans les régions Sahariennes qui équivaut aux réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique. Ces ressources sont principalement mobilisées par:

- **Les barrages**: La capacité totale des **59 barrages des 5 bassins hydrographiques** est de 6 milliards de m³ en 2008 et un volume régularisable de 3 Milliards de m³. Sur la base des projets en cours, l'Algérie dispose en 2010, d'un parc de grands ouvrages de mobilisation de la ressource, composé de **72 barrages** faisant passer la capacité de mobilisation à **7,40 milliards de m³**

****Les eaux conventionnelles Ressources suprficielles.**

Jusqu'en 2000, L'Algérie dispose de 44 barrages en exploitation avec une capacité théorique de mobilisation des eaux superficielles, avoisinant les 4,5 milliards de m³. La capacité réellement mobilisable n'excède guère 2.5 milliards de m³ pour des raisons liées principalement à une sécheresse accrue et une irrégularité spatiale et temporelle des précipitations. De plus, l'envasement est estimé à $20 \cdot 10^6$ m³/an.

Ressources souterraines

Les eaux souterraines, présentent une capacité mobilisable de 3.4 milliards de m³.

Remarque.

les potentialités de mobilisation totales du pays atteignent 5.9 milliards de m³, celles-ci sont inférieures aux besoins réels estimés à 6.85 milliards de m³.

Cependant, la situation s'est améliorée entre 2000 et 2009 avec 15 nouveaux barrages qui sont mis en exploitation en particulier ceux de Beni Haroun et de Taksebt en 2007. Avec les 13 barrages en fin de réalisation, ce nombre sera porté à 72 barrages et les réceptions attendues porteront les capacités de mobilisation de l'eau des barrages à 7,8 milliards de m³/an.

Conclusion .

Au final, les potentialités seront de 7,8 milliards de m³/an en eau des barrages auxquels on ajoute $89,7 \text{ hm}^3 (89,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3)$ (eau des 718 retenue collinaires) et 3,5 milliards d'eaux souterraines, soit un volume de l'ordre de 11,4 milliards de m³.

****Les eaux non conventionnelles sont issues de :**

- Stations de dessalement de l'eau de mer avec $2,823 \cdot 10^6$ m³

Stations de déssalement	Volume m3/jour Eau potable	Wilaya
Ténès	200000	W.Chlef
Béjaia	100.000	W Béjaia
Souk tléta	200.000	W Tlemcen
Honaine	200.000	
Tigzirt	2500	W.Tizi-Ouzou
Hamma	200.000	W.Alger
Jijel	200.000	W.Jijel
Skikda	100.000	W Skikda
Annaba	50.000	W.Annaba
Mostaganem	200.000	W.Mostaganem
Arzew	90.000	W.Oran
Bousfer	5500	
Ain Turk	5000	
Catt El-Hillal	200.000	
Mactaa	500.000	
Djinet	100.000	W.Boumerdes
El-Tarf	50.000	W.El-Tarf
Oued Sebt	100.000	W.Tipaza
Douaouda	120.000	
Beni Saf	200.000	W.Ain Timouchent

-Stations de traitement des eaux usées dont les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

- **Utilisations agricoles (irrigation)** : la plus répandue, permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ces eaux réalisant ainsi une économie d'engrais.
- **Utilisations Municipales** : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, lutte contre les incendies, l'arrosage des chantiers de travaux publics, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes.
- **Utilisations industrielles** : refroidissement.
- **Amélioration des ressources** : recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer.

En matière d'assainissement et d'épuration des eaux, l'Algérie disposait jusqu'en 2000, de 48 stations d'épuration pour un volume épuré de 200 millions de m³. Le volume rejeté, à l'époque était de 600 millions de m³. Il passera en 2020 à 1,15 milliards de m³.

Tableau 1 : Evolution des volumes d'eaux usées rejetées en Algérie

Type d'agglomération	Volume d'eaux usées rejeté (Hm3)			
	1995	Taux %	2020	Taux %
Cotières	169	31	282	25
Amont Barrage	48	09	122	11
Proximité de Péri-mètres	62	11	143	12
Autres	149	27	352	30
20.000> P <50.000 hab.	122	22	251	22
Total	550	100	1150	100

Malgré le nombre important des stations d'épuration, la moitié étaient à l'arrêt ou fonctionnaient avec des rendements trop faibles générant ainsi de multiples sources de nuisance quant à l'environnement et aux infrastructures à l'aval

CHAPITRE III : MOBILISATION ET RENFORCEMENT DES RESSOURCES EN EAU

MOBILISATION ET RENFORCEMENT DE DES RESSOURCES EN EAU

La capacités de mobilisation de l'eau des barrages est de l'ordre de 7,8 milliards de m³/an à la fin de l'année 2009, contre 2,5 milliards de m³ en 2000.

Des sites de barrages (28) sont lancés et accusent des avancements appréciables. Par ailleurs, ces nouveaux barrages sont intégrés dans de véritables grands systèmes de transfert permettant de résoudre la contrainte liée au caractère éparse de la ressource mobilisée.

A titre indicatif, pour le Constantinois, l'aménagement de **Beni Haroun** est le principal système de la région. Il permettra d'assurer à l'horizon 2009 un volume annuel de 504 millions de m³:

- 242 millions de m³ pour l'A.E.P de Jijel, Mila, Oum El Bouaghi, Batna, Constantine, Ain M'lila et Khenchela.

- 262 millions de m³ pour l'irrigation de 30 000 Ha

Pour le transfert de Setif - Hodna - El Eulma, l'aménagement est constitué de deux systèmes

-Système Ouest:

**avec un volume annuel de 122 millions de m³ dont 31 millions de m³ pour l'A.E.P de la ville de Sétif et des agglomérations avoisinantes et 91 millions de m³ pour l'irrigation des hautes plaines sétifiennes

*****Systèmes Est:***

avec un volume annuel de 190.5 millions de m³ dont 38 millions de m³ pour l'A.E.P de la ville d'El Eulma et des agglomérations avoisinantes et 152.5 millions de m³ pour l'irrigation

En ce qui concerne la mobilisation au niveau de l'ouest Algérien, l'aménagement du système de production d'eau **Chélif-Kerrada** dénommé M.A.O (Mostaganem-Arzew-Oran) assurera 155 millions de m³/an destinés à l'A.E.P du couloir Mostaganem-Arzew-Oran.

Un autre programme est lancé en vue du transfert des eaux du Sahara Septentrional vers les régions du Nord de l'Algérie, cette action vise essentiellement l'identification des zones aux fortes potentialités en eau, avec des excédents permettant des transferts vers le nord.

HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES (RAN)

La RAN débute aux USA en 1895 pour l'épandage des eaux ensuite de petits tests de recharge par puits en 1935.Parallèlement, en Europe, durant l'industrialisation au 19^{ème} siècle, les établissements de l'eau aux Pays-Bas, en Angleterre et en

Allemagne utilisaient cette technique suite aux pollutions qui ont affecté les rivières. La production systématique à partir de cette technique a commencé entre 1870 et 1890 (BMI, 1985). Depuis, cette technique a été utilisée pour la recharge des aquifères libres – notamment dans les cordons dunaires (Olsthoom, 2002) pour stocker et filtrer l'eau pour l'alimentation en eau potable. Depuis, la technique n'a pas cessé d'évoluer notamment avec les expériences conduites en Australie, le Canada et la Grande-Bretagne durant les années 1975-1985. l'alimentation en eau de plusieurs villes européennes densément peuplées est en partie assurée par cette technique (Schlosser, 1991). En France, la production d'eau à partir des dérivations de rivière, une des techniques de RAN, atteint environ 50% de la production en eau potable (Castany, 1982) Aux Pays-Bas 13% de l'eau potable est assurée par RAN (Hiemstra, 2003). En Allemagne, 60% des besoins en eau potable de la ville de Berlin sont assurés à partir des techniques de RAN (Zippel & Hannappel, 2008). Aux Etats-Unis, cette technique est utilisée sur une grande échelle du fait de son efficacité et des économies qu'elle offre dans le traitement de l'eau, la plupart des pays industriels disposent pratiquement de sites de recharge artificielle dans les aquifères alluviaux et poreux tels que les Etats-Unis (Figure I.1), le Canada, la GrandeBretagne, l'Australie, la France, les Pays-Bas ainsi que l'Afrique du Sud, la Thaïlande, la Nouvelle-Zélande, le Koweït, les Emirats Arabes et d'autres. (Ray et al. 2002).

En Algérie cette technique est utilisée sur la nappe de la Mitidja

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES SOUTERRAINES.

Face à la demande croissante et à la dégradation continue de la qualité des eaux de surface, le recours systématique aux réserves en eaux Souterraines est devenu partout une nécessité. Et la même question revient continuellement aux Hydrogéologues: les ressources exploitées sont-elles renouvelées ? Si oui, comment et à quel taux ?

Définition de la RAN:

La Recharge Artificielle des Nappes (RAN), en anglais « Managed Aquifer Recharge » (MAR) consiste à faciliter la recharge d'une nappe en augmentant d'une façon intentionnelle et à l'aide de méthodes artificielles le volume d'eau entrant dans un aquifère pour rejoindre sa zone saturée.

La RAN avec stockage, en anglais MARS (Managed Aquifer Recharge and Storage) est un système plus développé qui consiste à injecter dans un aquifère convenable un certain volume d'eau durant la période pluvieuse ou lorsque cette eau est abondante et à le récupérer durant la période sèche ou selon la demande, c'est-à-dire utiliser le sous-sol comme réservoir souterrain .

Autres Définitions:

D'après Todd (1959), la recharge artificielle est « l'augmentation de la quantité d'eau bénéficiant aux réservoirs d'eau souterraine via des dispositifs artificiels ».

Flint et al. (2002) la définissent comme étant « l'introduction d'eaux extérieures dans une formation aquifère par leur transit dans la zone non-saturée à travers des bassins d'infiltration, puits, aménagement des cours d'eau, etc. ».

La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, l'infiltration d'eaux extérieures (ex. rivière) jusqu'à l'aquifère.

C'est une des mesures qui peut être mise en œuvre pour sécuriser l'approvisionnement en eau, compenser certains effets du changement climatique et, plus généralement, aménager la pression quantitative et qualitative sur les masses d'eau souterraine.

L'eau de recharge peut être naturelle (cours d'eau, collecte d'eau pluviale) ou traitée, provenant d'une centrale de désalinisation ou d'une station de traitement des eaux usées. (Pyne R ; David G ,1995)

Recharge directe depuis la surface:

De nombreuses méthodes ont été développées afin de réintroduire artificiellement des eaux de surface dans un aquifère depuis la surface, parmi lesquelles en site:

- Dérivation de rivières
- Fossés et sillons
- Irrigation intensive
- Recharge par aspersion
- Aménagement de cours d'eau
- bassins d'infiltration (Fig.2 et 3).

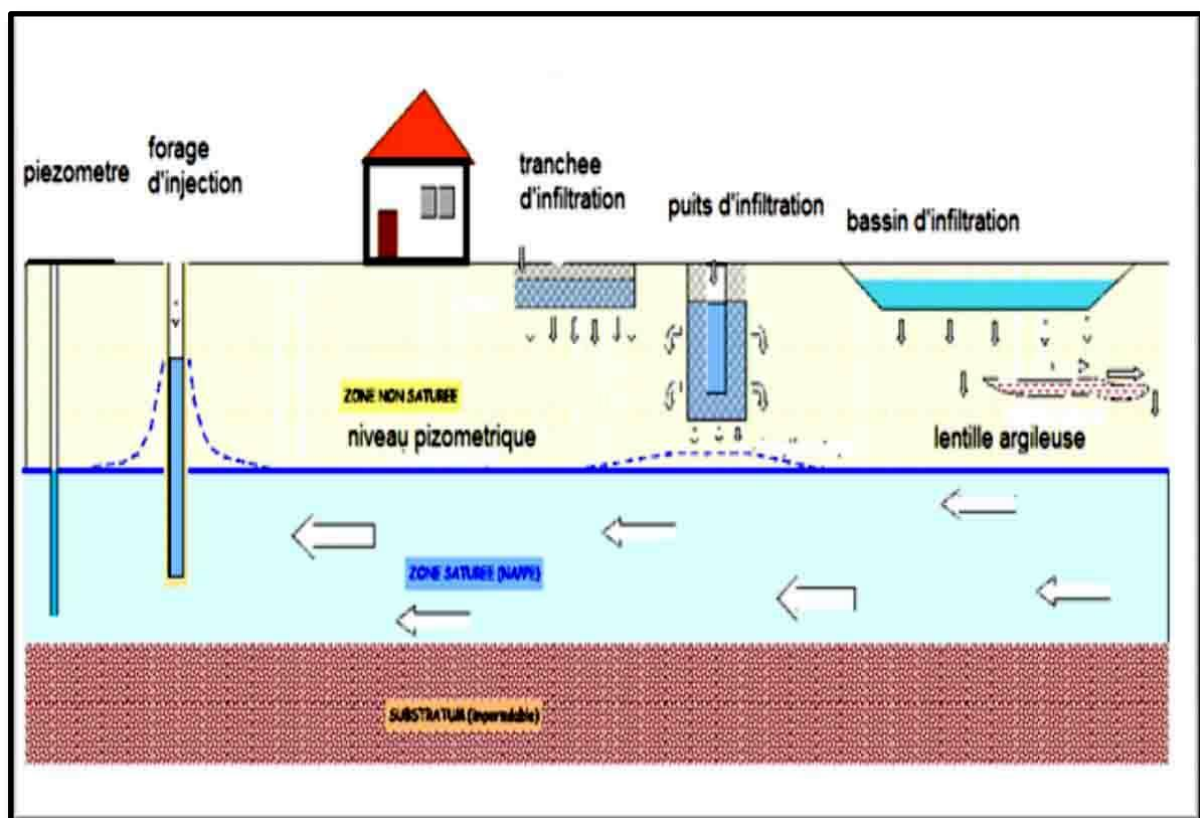


Fig.2 . Différentes méthodes de recharge artificielle des nappes. (ERIC. 2006)

Objectifs

Les objectifs recherchés par la recharge artificielle sont multiples dont les plus importants sont l'amélioration de la ressource en eau tant sur les plans quantitatif que qualitatif, la sauvegarde des nappes côtières sous l'effet de l'intrusion du biseau salé en créant une sorte de barrière hydraulique ainsi que la conservation de l'intégrité de l'environnement (**Bouwer, 2002**).

En France, les objectifs de la mise en place d'une recharge artificielle sont les suivants :

- Restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable : c'est le but premier de la recharge artificielle
- Amélioration de la qualité des nappes : baisse des concentrations en certains éléments chimiques (par exemple nitrate, pesticides), soit par dilution, soit en utilisant le pouvoir d'autoépuration du sol. Ceci permet notamment la mise en œuvre de traitements de potabilisation finaux plus simples et plus économiques, mais également d'améliorer la protection de l'environnement
- Protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée
- Stockage des eaux pour une utilisation différée

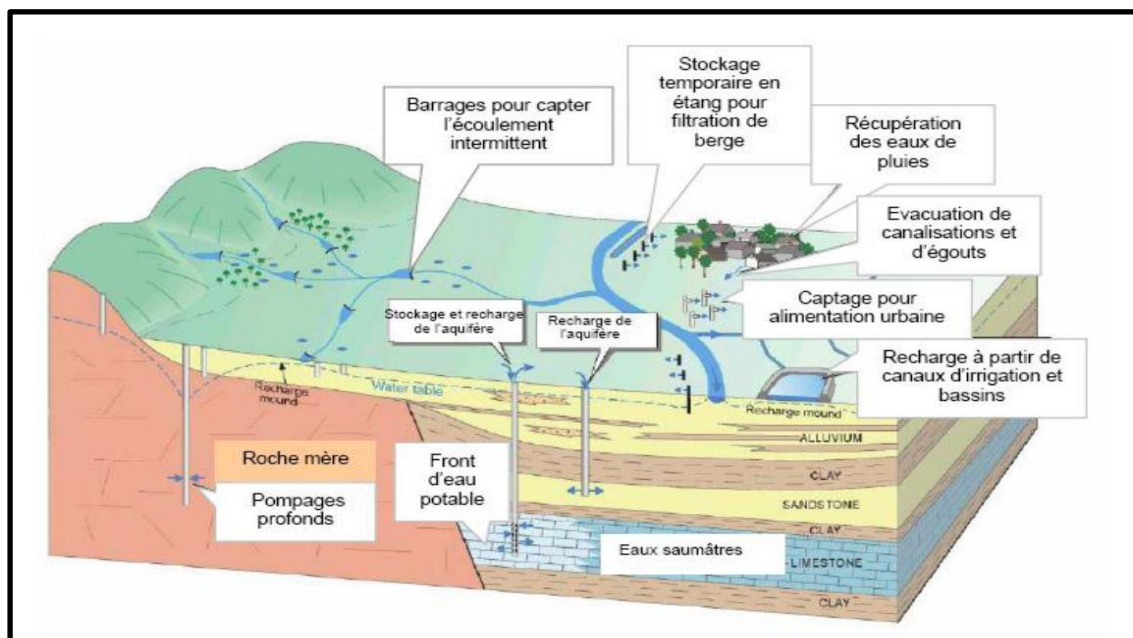


Fig.3. Schéma présentant quelques modes de recharge artificielle dans différents environnements hydrogéologiques (d'après Gale et al., 2002, Pettenati, 2007)

Origines des eaux

Un critère fondamental concernant la faisabilité d'un projet de recharge artificielle est la disponibilité d'eau de recharge à proximité du site d'injection, nécessaire pour pouvoir assurer un apport régulier et limiter les coûts économiques liés aux transports. On distingue en général deux types d'eau utilisés pour la recharge : les eaux de surface issues de cours d'eau et les eaux usées traitées (sauf interdiction pour divers raisons.)

Facteurs de mise en œuvre

Quatre facteurs indissociables sont à considérer dans un projet de gestion active de nappe :

****Facteur technique** .

Il faut des techniques spécifiques et adaptées à chaque cas. Néanmoins, quelques principes sont incontournables : le premier est de disposer de la connaissance nécessaire et de données fiables, pérennes, suffisantes et représentatives pour décrire le fonctionnement naturel et modifié de l'hydro-système.

****Le volet juridique et politique**

La partie réglementaire est souvent en lien avec la modification des équilibres naturels et des impacts qui en résultent. Enfin, l'aspect politique est souvent déterminant pour la mise en place effective d'une gestion active des ressources en eaux, et ne peut pas être négligé.

****Le volet économique**

La première démarche d'un projet de gestion active d'un aquifère ou d'un système aquifère consiste à évaluer sa faisabilité économique et ensuite sa rentabilité économique par rapport à d'autres solutions possibles. A ce titre des analyses « coûts-efficacité » et « coûts-bénéfices » sont souvent nécessaires.

****Le volet social**

Dans certains cas, une opposition des riverains ou de structures associatives peut se mettre en place contre le projet aux motifs qu'il risque de trop fortement impacter l'environnement et les éco-systèmes existants, et de mettre en péril la qualité de la ressource.

Facteurs de la recharge

Pour sélectionner un site de RAN, il y a deux paramètres qui jouent un rôle fondamental : les caractéristiques des eaux à injecter d'une part et celles du milieu récepteur d'autre part. Dans tout projet de recharge, il y a lieu de considérer dans tout

projet les conditions hydrologiques, topographiques, pédologiques, géologiques, et hydrogéologiques qui conditionnent cette réalimentation. (SAINTE-PE. 1970)

Facteurs hydrologiques: disponibilités de la ressource adéquate en quantité et qualité

Facteurs topographiques: Importants dans la recharge superficielle avec des pentes de l'ordre de 1 à 2 % environ qui sont plus favorables.

Facteurs pédologiques: Texture et perméabilité du sol.

Facteurs géologiques et hydrogéologiques: Nature géologique et extension de l'aquifère à recharger

Exemple : Recharge artificielle de la nappe de la Mitidja (Algérie)(M.Mousselmal,2015)

BIBLIOGRAPHIE

MOUSSELMAL .M (2015): contribution a l'étude de la recharge des nappes par procédés artificielles

ALGÉRIA COMHCDH Geneva (2011): communication à la consultation des acteurs étatiques sur les bonnes pratiques dans les domaines de l'eau et de l'assainissement Genève

REMINE B.(2010) :La Problématique de L'eau en Algerie du Nord

PNUD (2009): Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL (2003): système aquifère du Sahara Septentrional(rapport de synthèse).