

---

Soumis le : 14 Décembre 2010  
 Forme révisée acceptée le : 15 Avril 2011  
 Email de l'auteur correspondant :  
 ouanouki@yahoo.fr

---

# Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa

OUANOUKI Benalia

*Ecole Nationale Supérieure Agronomique Hacén Badi (ex.Belfort) Alger - Algérie*

---

## Résumé

Dans les régions des pays émergents caractérisées par un climat semi-aride à aride, les contraintes de la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. En Algérie, ces 20 dernières années ont été particulièrement caractérisées par une longue période de sécheresse due, non seulement à l'alternance habituelle entre périodes sèches et humides mais également, aux phénomènes des changements climatiques. De graves pénuries sont signalées partout à travers le pays, engendrant une dégradation de la qualité de l'eau qui pose des problèmes fréquents et complexes allant de la pollution des cours d'eau, des nappes phréatiques, des barrages au Nord à la salinisation au Sud. L'équilibre est déjà rompu entre une demande toujours plus grande et une offre arrivée aux limites de la disponibilité. Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs des conflits sérieux qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en eau potable (AEP) doubleront et qu'ils représenteront plus de 50% des ressources mobilisables vers l'an 2025.

*Mots clés* : modélisation, ressources en eau; région aride; demande en eau

---

## 1. Introduction

Si en 1962, la disponibilité théorique en eau par habitant et par an était de 1500 m<sup>3</sup>, elle a drastiquement diminué à 500 m<sup>3</sup> à l'heure actuelle et ne sera plus que de 430 m<sup>3</sup> à l'horizon 2020 [1,2].

L'Algérie a été particulièrement vulnérable aux changements climatiques et au réchauffement de la planète qui a marqué le 20<sup>ème</sup> siècle.

Les données climatiques relevées dans les pays du pourtour de la Méditerranée indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée durant les 30 dernières années [3]. Ces données montrent également une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et des inondations.

Ainsi l'Algérie est passée d'une sécheresse tous les dix ans au début du siècle dernier, à cinq - six années de sécheresse en dix ans actuellement. La persistance de cette aridité, observée durant ces 30 dernières années, caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 15% [3], a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau ainsi que sur l'alimentation des nappes souterraines, entraînant des conséquences sensibles sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays.

Les problèmes de la pénurie d'eau se posent de façon plus aiguë dans la région des hauts plateaux où domine l'activité de l'élevage (ovin et caprin), associée à la pratique d'une céréaliculture (orge et blé) et d'une agriculture maraîchère et arboricole de plus en plus intensive et dont l'eau d'irrigation provient essentiellement des nappes phréatiques.

L'équilibre est déjà rompu entre une demande toujours plus grande et une offre arrivée aux limites de la disponibilité.

**La région d'étude** : La Wilaya de Djelfa se caractérise par un climat semi-aride à aride avec de très faibles précipitations et un fort pouvoir évaporant de l'air. Il s'agit d'une région à vocation pastorale mais où l'agriculture est néanmoins omniprésente.

Tous les projets de développement qu'a connus la wilaya de Djelfa, se sont toujours heurtés à la disponibilité de l'eau [4]. Depuis quelques années, sous l'effet d'un certain nombre de paramètres : aléas climatiques, persistance de la sécheresse, nuisances diverses, nouveaux process dans les usines, nouveaux modes d'irrigation (goutte à goutte), il est devenu extrêmement difficile voire impossible de continuer à agir sur l'offre pour anticiper la demande. L'eau n'étant pas une ressource illimitée, il faudra impérativement inverser la

tendance d'une stratégie d'ajustement de l'offre sur la demande de façon à ce que cette dernière dépende de l'offre tout en veillant à assurer le succès d'autres formes d'utilisation de ressources non conventionnelles telles l'utilisation des eaux usées traitées.

Pour le cas de la Wilaya de Djelfa, la question essentielle qui se pose est la suivante :

"Quelle sera la quantité d'eau nécessaire à l'activité économique de la région et en particulier à l'agriculture (irrigation et cheptel) pour que les ressources générées puissent assurer la croissance économique et le renouvellement de la ressource hydrique sans pour autant porter préjudice à son environnement très sensible". Cela, tout en garantissant un développement durable face aux contraintes liées à l'offre en veillant à y intégrer le schéma de développement préconisé par le SRAT (Schéma Régional pour l'Aménagement du Territoire).

C'est dans cette perspective qu'est menée cette étude sur la planification à long terme de la mobilisation des ressources en eau dans la Wilaya de Djelfa autour d'acteurs locaux représentant les principaux secteurs d'activités économiques et sociales .

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Bases de la modélisation de la demande en eau

La question de la demande en eau sera abordée par l'approche de la modélisation fondée sur la compréhension des mécanismes de formation et d'évolution de la demande. Du point de vue mathématique, nous avons choisi un modèle porté sur la simulation ayant un caractère multidimensionnel et plurisectoriel où le nombre de variables a été volontairement réduit pour faciliter les relations [5].

Sur le plan informatique, il a été fait appel à un logiciel type tableur qui permet à l'aide d'une base de données, d'un langage macro-commandes, d'un grapheur et de multiples fonctions de calcul, de traiter toutes les données brutes avant leur automatisation par le même outil [6].

Les besoins, fonction du type d'activité économique et sociale; correspondent aux "volumes d'eau constants, variables ou discontinus considérés comme nécessaires et suffisants pour satisfaire, avec une efficacité minimale voulue, à une utilisation économique et humaine spécifique" [7]. L'évaluation quantitative se fait sur la base de normes déterminées selon le contexte économique et social auquel elles se réfèrent. Elles s'expriment en général en litres par jour et par habitant pour l'alimentation en eau potable, par unité de quantité produite pour l'industrie et par unité de surface pour l'irrigation.

**Hierarchie des groupes d'usagers** : Les groupes homogènes de consommateurs d'eau sont identifiés par croisement de tous les critères ayant servi à la détermination des besoins des principaux consommateurs considérés dans notre étude : population, agriculture et industrie. En termes de quantité, c'est l'agriculture qui est le principal consommateur ; la demande en eau de la population est plus exigeante en termes de qualité. Quant à l'industrie, elle utilise, en règle générale, de l'eau potable par le biais du réseau urbain ou de l'eau provenant de forages réalisés à l'intérieur des unités. Cependant, grâce à la modularité de la représentation hiérarchique, le modèle reste ouvert à l'intégration d'autres hypothèses comme le tourisme par exemple et pour lequel il suffira juste d'ajouter un scénario correspondant [6].

Il convient de les matérialiser à l'aide d'un modèle pour évaluer et simuler la demande dans une perspective d'actions à même de répondre à la question fondamentale de la demande en eau.

**Méthodologie du modèle**: L'approche du modèle s'inscrit dans une démarche globale, systémique, spatiale et prospective. L'approche est guidée par 03 idées directrices [7] :

- Les besoins sont désagrégés jusqu'au niveau le plus fin. La structure du groupe est modulaire car organisée en autant de blocs que de groupes homogènes, de consommateurs, totalement indépendants les uns des autres.

Le principe de la désagrégation est de mettre en évidence les spécificités quantitatives et qualitatives de chaque bloc par rapport à sa consommation d'eau.

- L'évaluation des besoins est régionalisée ; la régionalisation est une forme de désagrégation qui permet de mettre en relief les contrastes spatiaux liés aux conditions climatiques, pédologiques et sociales à l'intérieur même de la wilaya [4].

- Les besoins évoluent en fonction du temps et permettent une analyse prospective à chaque étape de développement. Il s'agira d'étudier le comportement des variables du modèle à partir d'une analyse rétrospective afin de dégager les tendances et d'établir des variables de scénarios jugées les plus déterminantes dans l'évolution des besoins. Le pas du temps est de 10 ans, période qui nous semble adéquate pour appréhender les tendances et pouvoir agir en conséquence [4,7].

Chacune de ces trois dimensions peut être elle-même différenciée en sous dimensions comme les besoins en eau agricole qui se décomposent en besoins du cheptel et en besoins en eau d'irrigation ; ces derniers peuvent eux-mêmes se décomposer en besoins par type de cultures, selon les modes d'irrigation, la taille des exploitations, etc....

**Les besoins en eau de la population** : La structure de la population est appréciée selon des critères physiques

(zone urbaine et zone rurale), techniques (technologie des équipements hydrauliques) et socio-économiques liés au mode de gestion et au comportement des consommateurs.

**Les besoins en eau de l'Agriculture** : Les besoins en eau de l'agriculture sont individualisés selon que la demande soit destinée à l'irrigation et/ou à l'élevage. Pour ce dernier, sa consommation, quoique moins importante que celle de l'irrigation, représente une certaine demande qu'il faut nécessairement faire apparaître dans les bilans de planification ; à titre d'exemple, la consommation unitaire journalière d'une vache laitière peut atteindre 100 litres en été. Il en est de même pour la qualité exigée qui est sensiblement identique à celle des besoins humains.

**Les besoins en eau de l'Industrie** : Les besoins en eau de l'industrie sont difficiles à évaluer en raison d'un certain nombre de facteurs tels le type d'alimentation (réseau séparé ou réseau mixte, recyclage, branches d'activités, produits, procédés techniques, etc.) et de l'incertitude des consommations. Dans notre cas particulier, nous considérerons qu'il ne peut exister que deux types d'industries : Moyennes et Faibles Consommatrices d'Eau (IMCE et IFCE).

## 2.2. Régionalisation des besoins

Du point de vue méthodologique, les besoins en eau sont vus sous l'angle de la régionalisation qui constitue un aspect très important du fait qu'elle représente un support à tout aménagement spatial intégré des ressources en eau. La régionalisation des besoins en eau est un élément très important car elle permet de faire coïncider les bassins producteurs d'eau et les espaces consommateurs ; cependant, cette vision ou procédure n'est pas toujours facile en raison des distorsions provoquées par les lois qui gouvernent les régions. Ainsi, les bassins producteurs sont dominés par les lois naturelles qui régissent le cycle de l'eau, les espaces économiques sont gérés en fonction des lois liées à la sphère des activités économiques et sociales. A cela, s'ajoute les espaces administratifs et politiques qui représentent souvent le cadre de planification des activités des pouvoirs publics : wilaya, daïra, commune.

L'eau et l'espace sont en interaction au cours d'un processus de développement régional en ce sens que l'eau peut jouer le rôle de fixation ou d'appel de population d'une région vers une autre dans le cadre d'une politique volontariste d'aménagement du territoire. Ainsi, un nouveau concept appelé " Région Economiquement Viable " (REV) est expérimenté. Une REV se définit comme une synthèse des paramètres physiques tels les sols, le relief, le climat, les ressources naturelles, ...des critères sociaux comme les voies de communications, le secteur tertiaire, la composante tribale de la population ainsi que des critères hydrologiques (sous bassins versants). Ces REV caractérisées par une homogénéité

des données permettent de cerner convenablement la simulation en établissant des scénarios d'évolution.

Ce découpage est donc une synthèse des critères de mobilisation des ressources hydriques avec comme corollaires la prise en compte de la géomorphologie et de la répartition des activités économiques et de la population. De ce fait, la REV constitue un phénomène dynamique où les différentes composantes sont en perpétuel mouvement.

## 2.3. Approche

Une fois les hypothèses identifiées, la demande en eau est évaluée et approchée par un modèle prospectif formalisé par des scénarios [8]. Ces derniers sont simulés pour en appréhender les tendances et le comportement de la demande globale, à une étape de développement définie dans le temps. Les modèles sont des blocs totalement indépendants les uns des autres et donnent une signification à la simulation de la demande. L'intérêt du modèle est d'étudier l'impact, sur la demande en eau, d'une politique d'Aménagement du Territoire volontariste comme par exemple les effets sur la demande qu'impliqueraient l'implantation d'une activité grosse consommatrice d'eau (industrie) dans la région et en même temps identifier les régions déficitaires pour lesquelles des solutions d'approvisionnement doivent être envisagées.

**Résolution du modèle** : Il existe deux possibilités pour résoudre le modèle : la résolution totale et la résolution partielle [9]. La première consiste à parcourir toute la hiérarchie en évaluant toutes les variables déclarées. La seconde ne concerne que certains modules (population, industrie ou agriculture) où le modélisateur a la possibilité de procéder à une résolution partielle, c'est à dire qu'il ne choisit que le module concerné pour le simuler en modifiant les valeurs des variables d'entrée ; les résultats des autres modules sont alors conservés tels quels.

Pour résoudre numériquement le modèle, il a été fait appel à un logiciel type tableur qui permet à l'aide d'une base de données, d'un langage macro-commandes, d'un grapheur et de multiples fonctions de calcul de traiter toutes les données brutes avant leur automatisation par le même outil.

**Données de bases** : La demande en eau de la wilaya de Djelfa est sectorialisée suivant les trois principaux consommateurs : la Population, l'Industrie et l'Agriculture. Les bases de données des 36 communes que compte la wilaya de Djelfa ont concerné les paramètres suivants :

-La Population dont les recensements de 1977,1987 et de 1997 a été ventilée en population urbaine et rurale.

-L'Agriculture avec sa composante irrigation et cheptel.  
 -L'Industrie avec sa variabilité en consommation d'eau : moyennes et petites consommatrices d'eau.

**Population** : En moyenne, le taux maximum de satisfaction des besoins en eau est estimé à moins de 60% pour la population urbaine et à peine 40% pour la population rurale. L'analyse de l'offre journalière montre que 70% des agglomérations moyennes n'atteignent pas la quantité de 120 l/hab./j et 30% d'entre elles ne dépassent pas 75 l/hab. /j. En outre, les pertes dans la distribution peuvent atteindre 50% environ des quantités

d'eau disponibles en tête de réseau, pertes dues à une vétusté des installations, à un entretien défectueux ou inexistant et à une gestion technique défailante ou très médiocre des réseaux urbains.

**Agriculture** : Les tableaux 1 et 2 suivants représentent respectivement la surface irriguée et la surface agricole utile. Il en ressort un rapport surface irriguée/SAU de 3,20%.

Tableau 1 :

Surface irriguée (ha)

| Types de ressources | Surfaces irriguées (ha)/REV |     |      |     |      | Superficie totale irriguée (ha) |
|---------------------|-----------------------------|-----|------|-----|------|---------------------------------|
|                     | 1                           | 2   | 3    | 4   | 5    |                                 |
| REV                 |                             |     |      |     |      |                                 |
| Total wilaya        | 7551                        | 312 | 2074 | 938 | 1265 | 12140                           |

Source : [10]

Tableau 2 :

Superficie Agricole Utile et superficie irriguée par commune

| SAU et Irriguées/Commune      |           |                       |                  |
|-------------------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| Nom                           | SAU (ha)  | Surface irriguée (ha) | Superficie (Km2) |
| Total                         | 378.665   | 12.140                | 32.280,41        |
| Total superficie de la wilaya | 3.225.635 | 366.525 en sec        |                  |

Source : [10]

**Industrie** : La wilaya de Djelfa se distingue par l'absence de véritable industrie ; mais une certaine activité est maintenue grâce à la présence d'industries légères dans les branches des matériaux de construction, de la chimie, de l'agro-alimentaire, du textile, de l'industrie du cuir, etc....qui se répartissent en deux catégories à savoir moyennes et faibles consommatrices d'eau.

**Ressources en eau** : Les ressources en eau de la région ne sont en fait pas très bien connues :

- Les eaux superficielles sont insignifiantes compte tenu de l'absence de barrages et de retenues collinaires importantes en dehors de celles résumées dans le tableau 3.

- Les eaux souterraines les plus connues sont celles de la plaine d'Ain Oussera, le synclinal de Djelfa et les nappes du Zahrez (tableau 4).

Tableau 3 :

Petits barrages et retenues collinaires existants

| Commune              | Capacité annuelle (Hm3) |
|----------------------|-------------------------|
| Charef (Hadjiaa)     | 1, 87                   |
| Taâdmit (Toukersane) | 1,54                    |
| Gorita et Deldoul    | 1,1                     |
| Kalane               | 0,60                    |
| Kourirech            | 2,30                    |
| Oued Boutreifis      | 0,4                     |
| Chebaika             | 0,04                    |
| Oued El Kirane       | 0,04                    |
| Total                | 7,89                    |

Source : [1]

Tableau 4 :

Ressources en eau annuelles disponibles en Hm<sup>3</sup>

| Dénomination        | Quantité potentielle | Quantité estimée mobilisable | Quantité mobilisée |
|---------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| Nappe d'Ain Oussera | 55                   | 31                           | 30,05              |
| Nappe de Oued Touil | 50                   | 40                           | 38,45              |
| Synclinal de Djelfa | 40                   | 30                           | 29,19              |
| Nappes du Zahrez    | 140                  | 70                           | 69,00              |
| Total               | 235                  | 171                          | 166,69             |

Source : [1]

Tableau 5 :

Ressources en eau mobilisées annuellement par utilisateur en Hm<sup>3</sup>

| Destination  | Volume | %      |
|--------------|--------|--------|
| AEP          | 88,82  | 53,28  |
| Irrigation   | 74,43  | 44,65  |
| AEI          | 3,44   | 2,07   |
| Total wilaya | 166,69 | 100,00 |

Source : [1]

Tableau 6 :

Ressources en eau mobilisées -2000 - (Hm<sup>3</sup>)

| Dénomination        | Quantité potentielle | Quantité estimée mobilisable | Quantité mobilisée |
|---------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| Nappe d'Ain Oussera | 55                   | 31                           | 21,52              |
| Nappe de Oued Touil | 50                   | 40                           | 24,22              |
| Synclinal de Djelfa | 40                   | 30                           | 20,00              |
| Nappes du Zahrez    | 140                  | 70                           | 20,14              |
| Total               | 235                  | 171                          | 85,88              |

Source : [1]

Tableau 7 :

Ressources en eau mobilisées par utilisateur -2000) - Hm<sup>3</sup>

| Destination  | Volume mobilisé | %      |
|--------------|-----------------|--------|
| AEP          | 35,74           | 42     |
| Agriculture  | 46,70           | 54     |
| Industrie    | 3,44            | 4      |
| Total Wilaya | 85,88           | 100,00 |

Source : [10]

**Analyse** : Les statistiques officielles chiffrent la consommation d'eau totale annuellement d'eau à 167 Hm<sup>3</sup> dont 74,43 Hm<sup>3</sup> pour l'agriculture. Notre approche fait ressortir que les débits spécifiques ne correspondent pas à des régimes d'irrigation à plein temps. Ils correspondent aux capacités installées et de ce fait peuvent varier de 0,89 l/s.ha (forages) à 0,35 l/s.ha (retenues colinéaires).

[2] note que pour la petite hydraulique dans le constantinois, "les pompages pour les besoins d'irrigation s'effectuent pendant 8 mois sur 12 en moyenne à raison de 6 à 8 heures par jour". Pour la wilaya de Djelfa, [4] considère une durée moyenne de pompage de 5 heures par jour, à raison de 8 à 9 mois par an. Pour la wilaya de Djelfa, le débit spécifique calculé est de 0,98 l/s.ha, ce qui donnerait une dose d'irrigation annuelle de l'ordre de

1270 m<sup>3</sup>/ha. Cette dernière dénote le grand écart qui la sépare de la dose annuelle optimale requise de 5000 m<sup>3</sup>/ha. Cette quantité est cependant compensée par la pluviométrie de la région qui apporte en moyenne annuellement 200 mm soit 2000 m<sup>3</sup>/ha, situant la dotation annuelle pour la plante à 3270 m<sup>3</sup> mettant en relief l'importance du déficit en eau des plantes. Cependant, ce gain risque d'être contrecarré par les dérèglements climatiques qui ont une influence directe sur la pluviométrie (déficit d'apport pluviométrique de 15%) qui réduirait la dotation annuelle de la plante à 2970 m<sup>3</sup> soit 50% de satisfaction des besoins du végétal ; cette quantité allouée à l'agriculture réduirait à néant toute velléité de développement agricole dans la région. Cette analyse montre également que les données de l'année 2000 ne tiennent pas compte des pertes sur réseaux qui sont très importantes comme le montre le calcul des dotations à l'échelle nationale [4] : 387 l/hab./j par rapport à la capacité de mobilisation : 251 l/hab./j à la production, 201 l/hab./j en tête de réseau de distribution et seulement 80 l/hab./j pour les usages domestiques c'est à dire plus de 60% de pertes. A titre d'exemple, en matière d'AEP, ces chiffres indiquent que chaque habitant reçoit 336 litres par jour, soit nettement plus que les habitants d'Europe et d'Amérique du Nord. En réalité, la quote part réelle de chaque habitant tournerait en moyenne autour de 120 à 135 litres. Aussi, les chiffres précédents corrigés pour 2000 indiquent que :

1. Pour l'agriculture, la disponibilité de 2970 m<sup>3</sup>/an donnerait une valeur de 36,06 Hm<sup>3</sup>/an ; à cette valeur, il y a lieu d'ajouter la consommation par le cheptel qui est de 10,28 Hm<sup>3</sup>/an pour un total agriculture de 46,34 Hm<sup>3</sup>/an au lieu et place des 74,43 Hm<sup>3</sup>/an officiellement déclarés.
2. Pour l'industrie, la consommation de 3,44 Hm<sup>3</sup>/an est une indication du faible taux d'industrialisation de la région.
3. Pour l'AEP, les chiffres officiels donnent une consommation de 336 l/hab./j qui est loin de refléter le diagnostic sur le terrain qui se singularise par une dotation d'un jour sur deux voire d'un jour sur trois, engendrant une véritable économie parallèle de l'eau (vente de citernes d'eau à la population). En outre, d'autres statistiques de dotation au niveau national situent cette valeur autour de 120 l/hab./j. La dotation moyenne corrigée pour la wilaya de Djelfa est de 135 l/hab./j donnant pour l'année 2000, une quantité moyenne annuelle égale à 35,74 Hm<sup>3</sup> au lieu et place des 89,88 Hm<sup>3</sup>.

Ainsi, en l'an 2000, la consommation totale en eau utilisée par les trois secteurs (AEP, Agriculture et Industrie) était de 85,88 Hm<sup>3</sup>/an au lieu et place des 167 Hm<sup>3</sup>/an, exactement la moitié de la valeur annoncée.

Les ressources en eau souterraines potentielles de la Wilaya sont évaluées à 235 millions de m<sup>3</sup> dont 171 millions de m<sup>3</sup> sont estimées mobilisables soit un taux de 73% ; parmi ce potentiel mobilisable (171 Hm<sup>3</sup>), il y a environ 85,88 millions de m<sup>3</sup> qui sont mobilisées chaque

année soit la moitié de ce qui peut l'être encore (50%). La quantité restante à rendre mobilisable est sujette au déploiement d'énormes moyens techniques et financiers pour espérer augmenter la ressource. Cette orientation ne va pas être sans conséquence sur les prix de l'eau en aval qui va subir un réajustement assez conséquent.

#### 2.4. Etude des scénarios

Les expériences menées à travers le monde et la spécificité de la région étudiée semblent privilégier la prédiction d'un modèle de développement avec des pas de simulation de 10 ans. L'année 2000 a été retenue comme année de base représentative de l'homogénéité des données statistiques. A l'instar de [7] et de [4], trois scénarios vont être étudiés : le Scénario Tendanciel Naturel (STN), le Scénario Modéré (SM) et le Scénario Extrême (SE) et cela pour les trois grands utilisateurs de l'eau à savoir la Population, l'Agriculture et l'Industrie.

Toutes les hypothèses retenues sont combinées dans des scénarios de développement cohérents.

- Le Scénario Tendanciel Naturel ou Scénario faible (S.F) correspond à l'extrapolation de la situation actuelle à l'horizon 2030. Ce scénario est caractérisé par une évolution de croissance nulle ou très faible constatée par la fermeture des industries et la stagnation de la mise en valeur agricole. En outre, ce scénario n'envisage pas une maîtrise réelle de la démographie et une gestion de l'urbanisation. La distribution spatiale de la population sera déséquilibrée et l'amélioration de la situation de l'approvisionnement en eau tardera à venir. Il y aura la prise en compte de toutes les hypothèses défavorables.

- Le Scénario Modéré ou Scénario Moyen (S.M) est caractérisé par une reprise de l'économie mais d'une manière timide que ce soit l'industrie, le secteur agricole ou le BTP. Cependant, l'approvisionnement en eau serait toujours défaillant que ce soit pour l'eau potable ou pour l'eau d'irrigation.

- Le Scénario Extrême (S.E) plus optimiste inclurait une réelle prise en charge des problèmes de démographie, d'urbanisation et d'environnement grâce à une reprise économique globale du pays.

#### Demande en eau de la population

**Démographie** : Le taux de croissance naturel moyen est de 2,8%. Trois hypothèses sont à considérer (tableau 8) :

- Hypothèse faible avec un taux de croissance de 2,6% entre 2000 et 2010, 2,2% entre 2010 et 2020 et 1,8% entre 2020 et 2030.
- Hypothèse moyenne avec un taux de croissance de 2,8% entre 2000 et 2010, 2,3% entre 2010 et 2020 et 1,9% entre 2020 et 2030.
- Hypothèse forte avec un taux de croissance de 3% entre 2000 et 2010, 2,4% entre 2010 et 2020 et 2,0% entre 2020 et 2030.

Tableau 8 :

Coefficients d'accroissement de la population

| 2000-2010 |       |       | 2010-2020 |       |       | 2020-2030 |       |       |
|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| Faible    | Moyen | Fort  | Faible    | Moyen | Fort  | Faible    | Moyen | Fort  |
| 1,292     | 1,318 | 1,343 | 1,243     | 1,255 | 1,267 | 1,195     | 1,207 | 1,219 |

**Dotation en eau :** Trois hypothèses d'évolution sont retenues sur la base d'un accroissement annuel d'environ 1% de la dotation pour "tenir compte d'une relative amélioration globale du niveau de vie" [4].

- Hypothèse faible : elle retient une évolution des dotations pour l'alimentation en eau de la population identique à celle observée en l'an 2000. Ainsi, une dotation de 135 l/hab./j constituera la base de calcul entre 2000 et 2010.

- Hypothèse moyenne : la dotation unitaire retenue est de 150 l/hab./j entre 2010 et 2020.

- Hypothèse forte : la dotation unitaire retenue est de 200 l/hab./j entre 2020 et 2030.

#### **Demande en eau de l'agriculture :**

**Irrigation :** Le rythme et l'évolution des périmètres irrigués permettent de retenir trois hypothèses :

- L'hypothèse faible retient le faible rythme observé à travers les deux décennies soit annuellement 50 ha entre 2000 et 2010, 100 ha entre 2010 et 2020 , 150 ha entre 2020 et 2030. Pour les doses d'irrigation annuelles , des quantités additionnelles moyennes de 10 m<sup>3</sup>/ha entre 2000 et 2010, 15 m<sup>3</sup>/ha entre 2010 et 2020, 20 m<sup>3</sup>/ha entre 2020 et 2030.

- Hypothèse moyenne annuelle : sera fonction des pas de simulation choisis et aura les valeurs de : 100 ha entre 2000 et 2010, 150 ha entre 2010 et 2020 et 200 ha entre 2020 et 2030. Les doses d'irrigation annuelles seront de 10 m<sup>3</sup>/ha entre 2000 et 2010, 15 m<sup>3</sup>/ha entre 2010 et 2020 et 20 m<sup>3</sup>/ha entre 2020 et 2030.

- Hypothèse forte annuelle : se caractérisera par un rythme de réalisation très élevé et s'étalera comme suit : 150 ha entre 2000 et 2010, 200 ha entre 2010 et 2020 et 250 ha entre 2020 et 2030. Les doses d'irrigation additionnelles seront de 10 m<sup>3</sup>/ha entre 2000 et 2010, 15 m<sup>3</sup>/ha entre 2010 et 2020 et 20 m<sup>3</sup>/ha/an entre 2020 et 2030.

#### **Besoins en eau du cheptel :** (Tableau 9)

Plusieurs paramètres composent la consommation d'eau par le cheptel ; il s'agit notamment des abattoirs, de

l'abreuvement, des usages sanitaires ainsi que du nettoyage des locaux.

[2] a estimé que la quantité d'eau pour l'abattage aurait été en 1987 de 3 à 6 Hm<sup>3</sup>, toutes catégories de viandes confondues alors que les normes de consommation pour les abattages varient de 10 à 20 m<sup>3</sup>/tonne de carcasse.

Les normes de consommation par tête sont de 60 à 80 litres/jour pour les bovins en intensif, de 5 l/j pour les ovins en intensif, de 15 l/j pour les ovins en semi-intensif et de 5 l/j pour les ovins en extensif, ce qui augmentée de la demande en eau des abattoirs correspondent à un volume global annuel de 9.488.268 m<sup>3</sup>/an (9,49 Hm<sup>3</sup>) qui représente la consommation minimale totale en eau. D'autre part, un coefficient d'abattage a été adopté afin d'estimer la demande en eau des abattoirs en ce sens que la quantité de viande produite annuellement ramenée à l'effectif annuel du cheptel a été constante, tout au long de ces deux dernières décennies soit 0,05 tonne/tête pour les bovins et de 0,01 tonne/tête pour les ovins. Le total du cheptel (ovins, caprins et bovins) s'élève à 2.444.320 têtes.

#### **Demande en eau de l'industrie :** (tableau 10)

- Hypothèse faible : le rythme d'installation des PME sera celui de la décennie passée entre 1990 et 2000 . La demande en eau durant cette période sera identique à celle de l'année 2000. Un taux de croissance nul ou très faible refléterait l'état actuel du secteur.

- Hypothèse moyenne : la libéralisation du marché et la mondialisation de l'économie induiront un développement du secteur par l'implantation des PME et PMI qui trouveront des conditions plus propices à leur installation. La croissance de la demande en eau se situerait autour de 2% durant l'intervalle 2000-2010 et de 4% entre 2010 et 2030.

- Hypothèse forte : Dans cette optique, il y aurait un formidable "boom" économique qui verrait l'installation d'industries grosses consommatrices d'eau et la demande en eau sera de l'ordre 4% entre 2000-2010 et de 6% entre 2010 et 2030.

Tableau 9 :

Volume annuel d'eau utilisé par le cheptel/REV (2000)

| REV   | Cheptel /REV (Hm3) |        |          | Total |
|-------|--------------------|--------|----------|-------|
|       | Ovins/Caprins      | Bovins | Abattage |       |
| 1     | 1,18               | 0,13   | 0,049    | 1,36  |
| 2     | 0,94               | 0,27   | 0,39     | 1,60  |
| 3     | 3,72               | 0,10   | 0,15     | 3,97  |
| 4     | 1,82               | 0,23   | 0,075    | 2,13  |
| 5     | 1,16               | 0,003  | 0,048    | 1,22  |
| Total | 8,82               | 0,733  | 0,712    | 10,28 |

Tableau 10 :

Volume annuel utilisé par les industries /REV (2000)

| REV | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | Total |
|-----|------|------|------|------|------|-------|
| Hm3 | 0,95 | 0,28 | 0,89 | 0,56 | 0,76 | 3,44  |

### 2.5. Présentation du modèle prospectif

Le dispositif utilisé se distingue par son approche intégrée de la simulation des systèmes d'eau en vue de la planification des ressources ; c'est un modèle de simulation de la demande en eau en fonction d'un grand nombre de paramètres : analyses sectorielles de la demande, gestion des retenues (barrages, retenues collinaires), simulation des eaux souterraines, des eaux de surface, transferts, priorités dans les allocations, rejets, suivi des pollutions, station d'épuration, distribution, débits, etc. L'analyse représente le système en termes de ses diverses sources de fournitures d'eau (rivières, eaux souterraines, retenues collinaires, barrages, etc.) ; les retraits, les transferts et les possibilités de traitement des eaux usées ; les exigences des écosystèmes ; les demandes en eau et la génération de pollution. Le modèle est conçu en plusieurs étapes :

L'état actuel, qui est défini comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fournit une vue instantanée de la demande en eau actuelle, de la charge de pollution, des fournitures et des ressources pour le système. Les hypothèses de base sont construites dans cet *état actuel* pour représenter les politiques, les coûts et les facteurs qui affectent la demande, la pollution, la fourniture et l'hydrologie.

Les scénarios sont construits sur la base de l'état actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur. Les scénarios sont évalués à l'égard de la disponibilité de l'eau en comparaison avec les objectifs économiques et environnementaux [8].

**Paramétrage du projet** : Les données de base ont servi à implémenter le programme informatique qui consiste à faire des projections à l'horizon 2010, 2020 et 2030 pour les différents utilisateurs que sont la population, l'agriculture et l'industrie. Ainsi, chaque utilisateur a de multiples scénarios que l'on pourrait multiplier en fonction des objectifs définis.

Les sites de demande : Population, Agriculture, Industrie avec leurs données de base, les ressources hydriques (de surface, souterraines, retenues, etc.) , les différentes relations entre ces deux entités (utilisateurs et ressources), les unités de traitement des eaux usées (capacité et relations avec les éléments précédents).

Les calculs ont été faits sur la base de la formule suivante :

$$Y = Y_i(1 + a_i)^n$$

Y : besoin en eau annuel actuel (m<sup>3</sup>/ha)

Y<sub>i</sub> : population à l'année de base (état actuel)

a<sub>i</sub> : taux d'accroissement

n : nombre d'années comptées à partir de l'année de base.

Les taux de pertes sont maintenus à 25% durant la période 2001-2030 et le modèle est construit sur la base des données suivantes :

L'état actuel est défini par l'année 2000 qui représente l'année de base du modèle et tout le système d'information (données de la demande et de la distribution) est introduit dans l'état actuel. Ce dernier est un ensemble de données à partir duquel les scénarios sont construits. Les sites de demande (population, agriculture, industrie) sont ensuite connectés par une liaison de transmission aux sources d'alimentation en eau : nappes, retenues colinéaires,

barrages, rivières. Une préférence de fourniture de la ressource eau permet de définir quelle est la source qui doit être utilisée en priorité pour satisfaire le site de demande. Le modèle va satisfaire toutes les demandes avec des sources dont les niveaux de préférence sont les plus élevés. Les sources avec des niveaux de préférence bas sont utilisées uniquement lorsque les sources avec un haut niveau de préférence sont épuisées.

#### Données de base : 2000

##### Population :

- Taux d'accroissement annuel : 2,8%,
- Population : 725332 habitants.
- Dotation annuelle : 49,275 m<sup>3</sup>/hab.
- Pertes tous secteurs : 50%,
- Consommation : 20%,
- Débit de retour : 80%

##### Agriculture :

- Surface (2000) : 12140 ha,
- Dose annuelle d'irrigation : 3847 m<sup>3</sup>/ha,
- Consommation : 20%,
- Débit de retour : 80%

##### Industrie :

- Unités de production existantes (2000) : 40
- Dotation par unité : 86000 m<sup>3</sup>
- Consommation : 20%
- Débit de retour : 80%

**Scénarios** : La modélisation des scénarios passe par trois étapes : en premier lieu est choisie l'année devant servir comme année de base pour le modèle comptes actuels ; ces derniers sont définis par les données qui sont introduites dans le système.

Un scénario de référence "référence" est établi à partir des comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention.

Des scénarios sont ensuite créés pour changer le scénario référence et évaluer les changements projetés en fonction des politiques et/ou des technologies.

L'année des comptes actuels : 2000  
Fin des scénarios : 2030

### 3. Résultats

#### 3.1. Demande en eau en fonction des scénarios

Les schémas de simulation de la demande en eau seront donnés à titre d'exemple pour la population. La même démarche est valable pour l'agriculture et l'industrie.

Ces valeurs montrent clairement que même en espérant recueillir le maximum d'eau mobilisable, la quantité restera toujours en deçà de l'évolution de la demande globale et il faudra inmanquablement se tourner vers d'autres ressources à même de combler le déficit. Le choix peut se résumer en deux variantes : soit réaliser des transferts d'eau d'autres régions du pays, option déjà mise en œuvre mais qui demande énormément de moyens financiers et qui ne va pas solutionner entièrement le problème de la pénurie d'eau en particulier pour l'agriculture compte tenu de la composition de ces eaux ; soit opter pour la stratégie de l'utilisation de ressources non conventionnelles et dont les eaux usées traitées constituent le segment le plus prometteur.

Le tableau 14 récapitule certaines valeurs d'illustration des tendances futures.

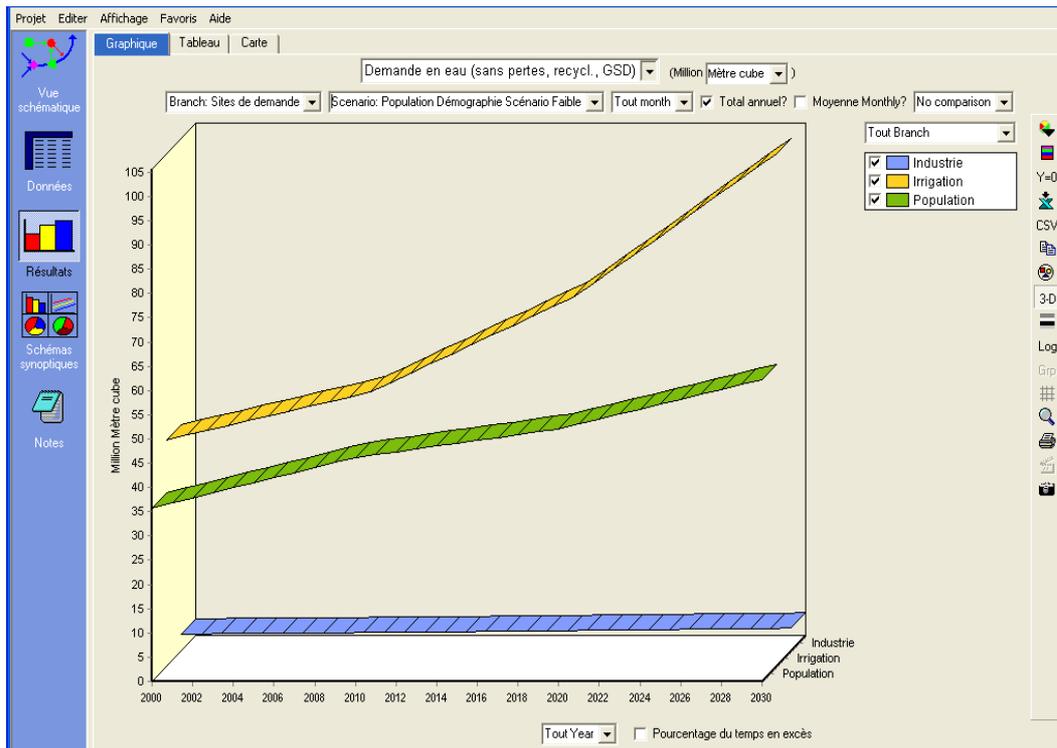


Fig 1. Population - Demande en eau - Scénario Faible

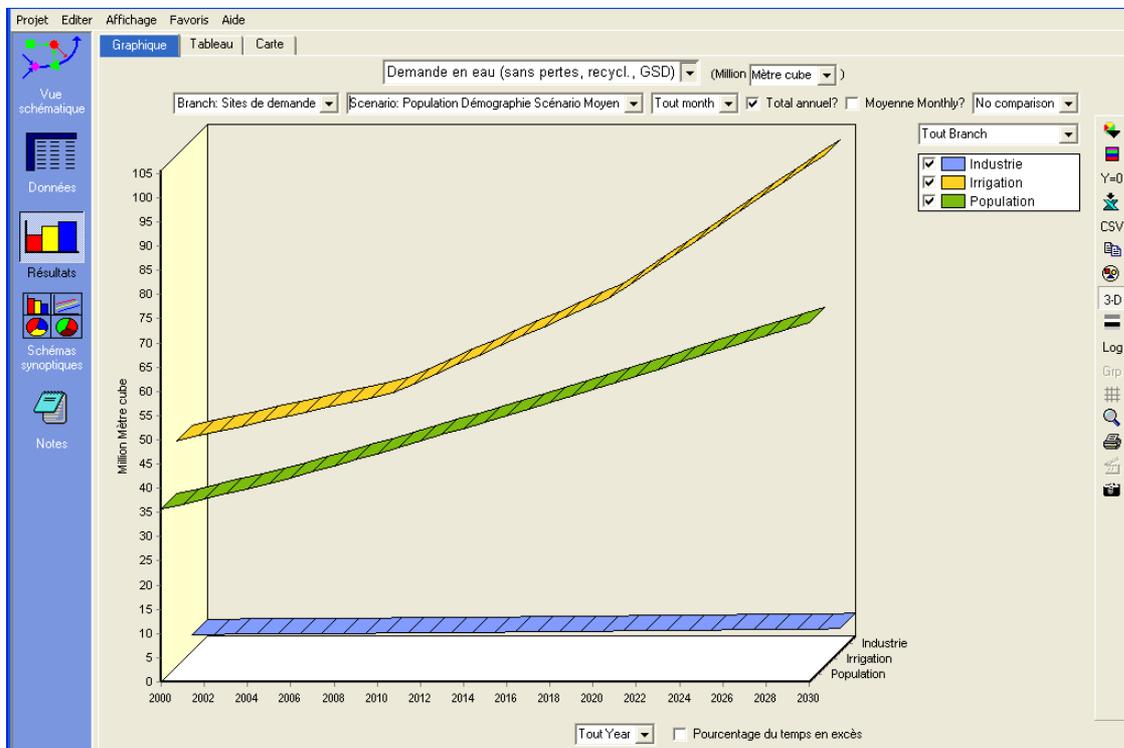


Fig. 2. Population - Demande en eau - Scénario Moyen

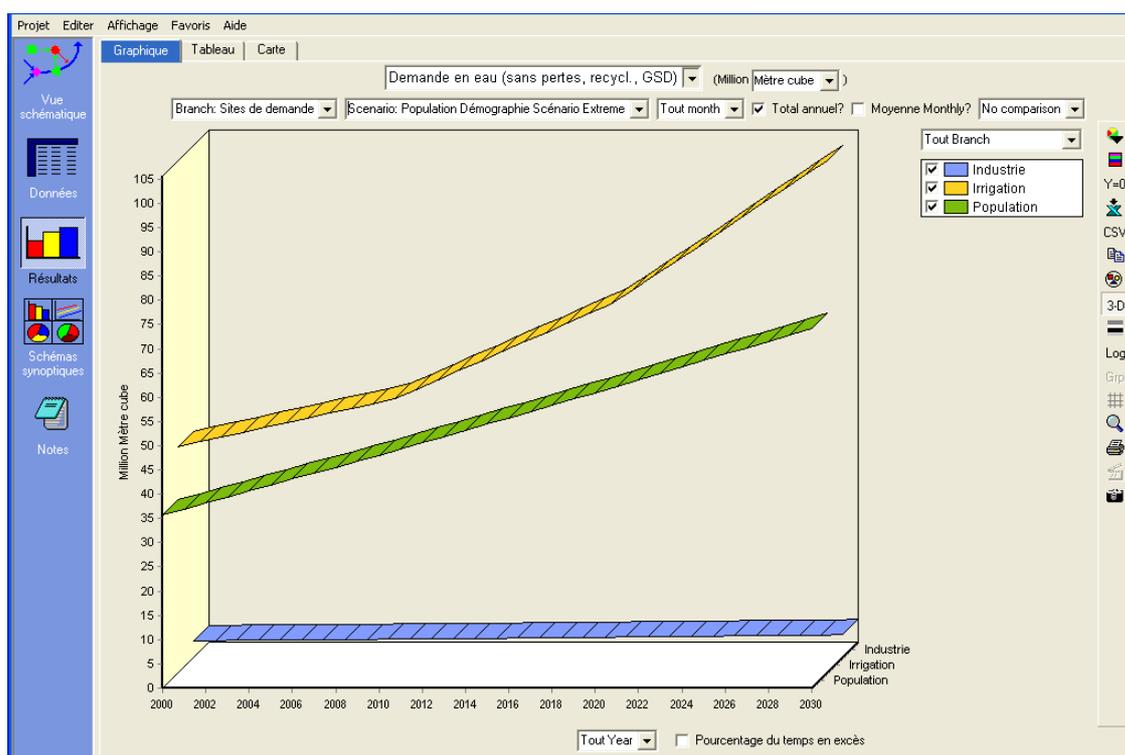


Fig. 3. Population - Demande en eau - Scénario Extrême

Tableau 11 :

Population - récapitulatif

| Scénarios | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 |
|-----------|------|------|------|------|
| Faible    | 35,7 | 46,2 | 52,1 | 62,2 |
| Moyen     | 35,7 | 47,1 | 60,4 | 74,3 |
| Extrême   | 35,7 | 48   | 60,9 | 74,2 |

Tableau 12 :

Agriculture - récapitulation

| Scénarios | 2000 | 2010 | 2020  | 2030  |
|-----------|------|------|-------|-------|
| Faible    | 46,7 | 56,5 | 76    | 105,6 |
| Moyen     | 46,7 | 66,2 | 95,7  | 135,3 |
| Extrême   | 46,7 | 75,9 | 115,4 | 168,2 |

Tableau 13 :

Industrie - récapitulation

| Scénarios | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 |
|-----------|------|------|------|------|
| Faible    | 3,4  | 4,2  | 5,1  | 6,3  |
| Moyen     | 3,4  | 5,1  | 9,3  | 20,4 |
| Extrême   | 3,4  | 6,2  | 13,7 | 36,2 |

Tableau 14 :

Tendances moyennes annuelles des trois utilisateurs (Hm<sup>3</sup>)

| Scénarios | 2000  | 2010  | 2020  | 2030  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Faible    |       | 106,9 | 133,2 | 174,1 |
| Moyen     | 85,88 | 118,4 | 165,4 | 230   |
| Extrême   |       | 130,1 | 190   | 278,6 |

**Transferts d'eau réalisés et/ou en cours :**

1. Nappe de Ain Oussera vers Ksar El Boukhari : 6,73 Hm<sup>3</sup> annuellement destinés à l'alimentation potable.

2. A partir de la commune de Birine, un volume annuel de près de 1,53 Hm<sup>3</sup> est transféré vers les communes de Bouti Sayeh, Ain El Hadjel et Sidi Hadjeres (Wilaya de M'sila) destiné à l'AEP et l'industrie.

- Transferts Nord - Hauts Plateaux : Barrage Koudiat Acerdoune (Bouira) vers Boughzoul : 5 Hm<sup>3</sup>/an.

- Transfert Sud - Hauts Plateaux : de la nappe albienne (Wilayas de Laghouat, Ghardaïa, Ouargla) vers wilayas de Djelfa, et Boughzoul.

Les transferts Sud - Nord, provenant principalement de 4 zones :

- Zone P1 : au sud de Messaad
- Zone P2 : au sud de Sidi Khaled
- Zone P3 : au sud de Ghardaïa
- Zone du Nord Grand Erg occidental : comprise entre l'Oued Mehaiguene et l'Oued Namouss

**Bilan annuel des ressources en eau :**

- Quantité mobilisée : 85,88 Hm<sup>3</sup>.

Tableau 15 :

Evolution de la demande annuelle en eau en fonction des scénarios

| Scénario | Quantité estimée mobilisable | 2010            | 2020            | 2030            |
|----------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          | Hm <sup>3</sup>              | Hm <sup>3</sup> | Hm <sup>3</sup> | Hm <sup>3</sup> |
| Faible   |                              | 106,9 à 127,2   | 133,2 à 181,2   | 174,1 à 266,6*  |
| Moyen    | 171                          | 107,8 à 129,2   | 141,5 à 189,5*  | 186 à 278,7*    |
| Extrême  |                              | 108,7 à 130,1   | 142 à 190*      | 186,1 à 278,6*  |

\* Situation de rupture

**1. Scénario faible :** La comparaison de ces chiffres par rapport aux ressources potentielles mobilisables de la région (171 Hm<sup>3</sup>/an) fait ressortir que la pénurie d'eau apparaîtra déjà en 2020 pour le scénario Moyen et sera également présente en 2030 pour le scénario Faible. Il faut relever cependant que c'est le pire des scénarios car le moins recherché étant donné qu'il n'y aura aucune évolution socio-économique (statut quo). Au delà, la pénurie est très présente et pourra être un vrai handicap pour toute relance socio-économique.

**2. Scénario moyen :** La pénurie sera présente dès l'entame de 2030 avec un écart annuel de 58 Hm<sup>3</sup> à supposer que toutes les ressources soient mobilisées (171 Hm<sup>3</sup>) ; ce

- Quantité provenant des petits barrages et retenues colinéaires : 7,89 Hm<sup>3</sup>.

- Quantité transférée vers d'autres lieux (M'sila, Ksar el Boukhari) : 7,90 Hm<sup>3</sup>.

Quantité totale mobilisée sans les transferts : 85,88 Hm<sup>3</sup>.

- Quantité apportée par les transferts : 292 Hm<sup>3</sup>.

Quantité totale mobilisée avec les transferts : 377,88 Hm<sup>3</sup>.

Compte tenu que les transferts d'eau vers la wilaya de Djelfa ne sont qu'à leur début de réalisation, la réflexion va porter en premier lieu sur l'option sans transferts et en second lieu, on introduira la partie transferts pour évaluer l'influence de cette dernière sur le développement socio-économique de la région. Ensuite, l'option de l'utilisation des eaux usées traitées sera introduite pour compléter la compréhension de la dynamique de l'eau dans la Wilaya de Djelfa. Les résultats préliminaires ont montré que la prise en compte des 3 scénarios fait augmenter les besoins en 2010, 2020 et 2030 par rapport à l'année 2000 de la façon suivante :

scénario se distingue par une augmentation de l'ordre de 34%.

**3. Scénario extrême :** La pénurie se fera sentir également dès 2020 où un équilibre s'établira entre l'offre et la demande ; cette dernière dépassera l'offre et sera totale pour 2030 avec un écart de 182 Hm<sup>3</sup> soit une augmentation de l'ordre de 106%.

**4. Conclusion**

Ainsi, si l'on devait s'en tenir uniquement aux ressources naturelles mobilisables (ressources souterraines), l'horizon d'un développement durable durant

les 20 prochaines années se trouve sérieusement compromis au-delà du scénario moyen car ne permettant pas d'envisager une quelconque stratégie de développement de la wilaya sans que le facteur eau n'y soit réellement un frein.

Le recours à l'utilisation des sources non conventionnelles en plus de la construction de retenues collinaires et de barrages permettant de préserver cette ressource rare et épuisable est devenu inévitable. Il y a donc lieu d'opter pour l'une des solutions suivantes :

1. Soit le transfert d'eau, solution qui a été retenue dans la perspective du développement des hauts plateaux. Cette solution n'est pas sans conséquence sur le développement des autres régions où la pénurie se ferait sentir à moyen terme compte tenu des bouleversements du climat, conséquence de l'effet de serre du à la pollution. En effet, les changements climatiques dans la région du Maghreb indiquent que la température moyenne risque d'augmenter dans une fourchette de 2 à 4°C au cours du siècle.

D'ici 2020, le régime pluviométrique peut baisser de 5 à 20% [3]. En Algérie, les projections à l'horizon 2020 laissent prévoir une augmentation de 0,65°C en hiver, 0,8°C au printemps et en été et de 0,8°C à 1,01°C en automne. Les baisses de précipitations sont estimées à 10% en hiver, 5% à 9% au printemps, 8 à 13% en été et 6 à 8% en automne soit une moyenne de 9 % par année d'après [3]. Pour un scénario moyen des changements climatiques (augmentation de température de 0,5%), on peut s'attendre à une baisse des précipitations de 10% et un déficit des apports en eau superficielles de 15% à l'horizon 2020 perturbant ainsi la capacité de recharge des nappes qui n'assureront plus la même disponibilité en eau. En supposant que tous les transferts soient réalisés en 2020 et que grâce à la technologie, les fuites seront raisonnablement réduites à 10%, cela induirait une disponibilité d'un volume annuel appréciable de 378 Hm<sup>3</sup> bien au-delà de la masse d'eau exigée pour la réalisation du scénario le plus optimiste (extrême) permettant d'asseoir véritablement une économie durable de la wilaya.

2- Soit qu'en attendant que ces transferts deviennent réellement opérationnels, la solution idoine serait d'opter

rapidement pour l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture et dans l'industrie ; cette option reste la solution la plus faisable et la plus acceptable tant du point de vue technique qu'économique.

## Références bibliographiques

- [1] ANAT, 2003. Etude des programmes de développement impliqués par l'option hauts plateaux .Phase I: bilan diagnostic I, II et III. Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire, Algérie 12 p.
- [2] Mebarki A, 1984. Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir Rhumel.OPU. Alger.
- [3] Senhadji F., M. Senouci, 2003. Les changements climatiques dans les pays du Maghreb in MED énergie. Revue méditerranéenne de l'énergie Numéro hors série.
- [4] Garadi A, 1992. Prospective des besoins en eau et anticipation de la demande MADH<sub>2</sub>O : Modèle Automatisé de la Demande en Eau - Application à l'Algérie. Thèse de doctorat. Uni. Pierre Mendès- France-Grenoble 269 p.
- [5] Hubert P, 1980. Eaupuscul.Ecole nationale supérieure des mines de Paris.
- [6] CEE, 1986. MEDEE 3. Modele de demande en énergie pour l'Europe. Technique et documentation. Lavoisier. Paris.
- [7] Arrus R, 1996. L'eau en Algérie, de l'impérialisme au développement (1830-1962).OPU/PUG. Alger- Grenoble.
- [8] Grenon M., Batisse M., 1988. Le plan bleu. Avenir du bassin méditerranéen. Plan d'action pour la méditerranée. Editions Economica.Paris.
- [9] OMS, 1987. Recouvrement des coûts d'eau potable et d'assainissement. WHO/ CWS/ 87.5. Genève.
- [10] DPAT, 2004. Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, 220 p.