

## Essai de Modélisation de la Gestion des ressources en eau dans la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional algérien) par l'Utilisation d'un outil d'aide à la décision WEAP.

### Essay of Modelling water resources management of the Oued Righ watershed (Algeria) using the WEAP decision support system

Imad Eddine Bouznad<sup>\*1</sup>, Derradji Zouini<sup>1</sup>, Issam Nouiri<sup>2</sup> & Fayçal Khelfaoui<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, Annaba 23000, Algérie,

<sup>2</sup>Institut National Agronomique de Tunisie, Université de Carthage, Tunisie.

Soumis le 11/01/16

Révisé le 11/09/2016

Accepté le 21/09/2016

#### ملخص

تعتبر منطقة واد ريج منطقة فقيرة من حيث تساقط الأمطار. إذ تستقبل أقل من 150 مم/سنة. وقد أدى الاستخدام المكثف للمياه الجوفية إلى مشاكل في تصريف المياه المستعملة ومياه الري الزائدة، التي تسبب تأثير سلبي على البيئة وعلى ارتفاع منسوب الطبقة السطحية. من خلال تطبيق برنامج WEAP "تقييم المياه والتخطيط"، تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام دعم القرار (DSS) لعمل نموذج للموارد المائية واستخداماتها، تقييم توازن الاحتياجات و الموارد و تحليل الوضع المستقبلي للمياه حسب سيناريوهات مختلفة. النتائج المتحصل عليها بينت الإفراط في استخدام الماء مما يؤدي إلى عدم تلبية الطلب و زيادة تدفق المياه المستعملة نحو القناة. المقارنة بين السيناريوهات الموضوعية تظهر انخفاض ملحوظ في الطلب على المياه و تدفق الماء المستعملة في اتجاه قناة وادي ريج. التطبيق المطور في برنامج ArcGIS يسمح بسهولة الوصول إلى المعلومات، وتقديم أنسب الحلول لتلبية الطلب و التيسير الأمثل في تصريف مياه الصرف الصحي ومياه الري.

كلمات البحث: WEAP، المياه السطحية، سيناريوهات، نموذج، ArcGIS

#### Résumé

La région d'Oued Righ est considérée comme région pauvre en matière de précipitations ; elle reçoit moins de 150 mm/an. L'utilisation intensive des eaux souterraines a engendré des problèmes de rejets des eaux usées et d'excès d'eau d'irrigation qui occasionnent un impact négatif sur l'environnement et la remontée de la nappe phréatique. En appliquant le logiciel WEAP « water evaluation and planning », cet article vise à développer un système d'aide à la décision (SAD) pour modéliser les ressources en eau et les usages, évaluer l'équilibre de la balance besoins-ressources et analyser la situation future de l'eau selon différents scénarios. On constate que l'utilisation de l'eau est excessive ce qui se traduit par une demande non satisfaite et des rejets importants dans le canal. La comparaison entre scénarios élaborés montre une diminution remarquable de la demande en eau et des débits de retour vers le canal d'Oued Righ. L'application développée sous Arcgis a permis d'accéder facilement à l'information et proposer les solutions les plus adéquates pour satisfaire la demande tout en maîtrisant la gestion des rejets des eaux usées et des eaux d'irrigation.

**Mots clés :** WEAP, Nappe phréatique, Scénarios, modèle, ArcGis

#### Abstract

The region of Oued Righ is considered as a poor region in terms of precipitation, which it receives less than 150 mm / year. The intensive use of groundwater has led to many problems of wastewater discharges and an excess of irrigation water, which makes an adverse impact on the environment and the rise of the water table. Applying the WEAP software "water assessment and planning", this paper aims to develop a decision support system (DSS) to model the water resources and their uses, assessing the balance-equilibrium resources needs and analyze the future situation of the water according to different scenarios. It is observed that water use is excessive which reflected by an unmet demand and significant discharges into the canal. Otherwise, comparison between the scenarios elaborated shows a remarkable reduction in water demand and return flows to the river channel Righ. The application has been developed under Arcgis that provides an easy access to the information and offer the most suitable solutions to meet the demand and to properly manage the discharges from the wastewater and irrigation.

**Key-words:** WEAP, water table, Scenarios, model, ArcGIS

\*Auteur correspondant: bouznad.imad@gmail.com.

## 1. INTRODUCTION

La gestion intégrée des ressources en eau est un concept très récent qui prend en compte tous les paramètres nécessaires à la gestion de la ressource. Il intègre tous les utilisateurs de la ressource en eau (ménages, industries, agriculture...). Cette approche a été créée par la communauté internationale lors des conférences ayant traité de la question de l'eau et de l'environnement, tenues à Dublin et à Rio de Janeiro en 1992. Depuis ces conférences, la GIRE, a suscité un grand intérêt de la part des chercheurs de tous bords, ce qui a ouvert la brèche à de nombreuses méthodes adaptées aux problèmes posés. En Algérie, de nombreux chercheurs ont travaillé sur la GIRE, c'est le cas d'Aoun Sebaiti Badra [1], dont les travaux ont porté sur la région d'Annaba et ceux de Sakaa Bachir [2], traitant de la zone de Skikda. A l'international le groupe de travail GLOBAL WATER PARTNERSHIP en collaboration avec le groupe RIOB, ont élaboré un manuel traitant des étapes de la réalisation d'une GIRE. Dans le cadre de notre travail, nous avons essayé d'adapter ce concept à notre zone de travail. Cette dernière se caractérise par une particularité de son climat et de la qualité de ses eaux. Ceci nous a obligé à recourir à l'utilisation du WEAP, car prenant en compte de nombreux paramètres ce qui permet d'avoir un maximum d'informations d'où l'aboutissement à des résultats permettant une gestion efficiente.

A l'instar de toutes les contrées du sud Algérien, caractérisées par une faiblesse des précipitations, la vallée d'Oued Righ, reçoit une pluviométrie, moyenne annuelle de 43,02 mm, de ce fait le recours aux eaux souterraines (transfrontalières), est inévitable. A cet effet la satisfaction des usagers de la ressource passe par le recours à la planification de son exploitation qui devra se faire en associant les gestionnaires et les décideurs en charge de la ressource.

Historiquement la remontée des eaux date des années 50. Cette remontée des eaux constitue un obstacle pour toutes planifications rigoureuses, en effet et en l'absence d'un réseau d'assainissement adéquat et fonctionnel, la remontée peut provoquer, un mélange entre les eaux de bonnes et de mauvaises qualités.

Les eaux souterraines utilisées, proviennent des nappes fossiles. Au jour d'aujourd'hui, ces nappes sont gérées conjointement par les trois

pays (Algérie, Tunisie et Lybie), les travaux réalisés par le SAS (système de Sahara Septentrional), ont démontrés, que cette ressource était vulnérable du point quantitatif et qualitatif, pour essayer de la préserver, on doit proposer un modèle de gestion qui tient compte de ce paramètre.

Au cours des vingt dernières années, de nombreux chercheurs ont essayé de travailler sur l'impact de la remontée des eaux sur l'environnement, c'est le cas de Drouiche Abdelmalek [3], en Tunisie les études réalisées par Hamed [4], portant sur les Oasis du SE Tunisien ont montré, que la remontée des eaux est également présente dans ce pays.

Des études ont été menées dans la région de oued Righ par Bouguergoura Laradj et al. [5] et Remini Boualem et al [6] ont traité les problèmes des rejets des eaux usées et l'allocation de l'eau potable en tenant compte du côté qualitatif.

L'étendu de la zone d'étude ainsi que les constats réalisés, nous incitent à opter pour la modélisation afin de pouvoir proposer un modèle de gestion qui sera utilisé aisément par les responsables en charge du secteur de l'eau. Le premier corollaire considéré dans notre démarche est que le modèle se base sur l'utilisation de la ressource disponible dans la zone d'étude. Notre démarche de travail s'appuie sur l'utilisation du logiciel WIAP (Water Evaluation And Planning) qui a été développé par le « *Stockholm Environment Institute* » (SEI), son fonctionnement se base sur le principe de la comptabilité de l'équilibre de l'eau. L'utilisateur représente le système des sources d'approvisionnement (rivières, aquifères, réservoirs), le retrait, la demande en eau et les exigences de l'écosystème [7].

WEAP est une plate-forme de modélisation qui permet l'évaluation intégrée du climat d'un bassin versant, l'hydrologie, l'utilisation des terres, les infrastructures et les priorités de gestion de l'eau [8].

Au cours de la dernière décennie, plusieurs outils ont connu une véritable révolution dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Le logiciel WEAP a prouvé sa performance dans différentes approches. Bon nombre de chercheurs ont utilisé WEAP dans différents contextes (hydrologique, changement climatique, irrigation, hydro électrique, sociologique,...etc.). Les études réalisées par Ajay Gajanan Bhave et al ; [9]. Vishal K.

Mehta et al.[10], ont appliqué le WEAP pour évaluer les effets potentiels du changement climatique sur la capacité de l'offre à répondre aux besoins par priorité. Randall Spalding-Fecher et al.[11] ont utilisé WEAP pour évaluer la vulnérabilité des centrales hydroélectriques (existantes et prévues) ainsi que la demande d'irrigation en amont du bassin du fleuve Zambèze en Afrique du Sud.

Si-Jung Choi et al.[12] ont développé un modèle pour calculer le budget de l'eau et proposer une politique d'atténuation de la pénurie d'eau optimale afin d'aider les décideurs à élaborer des stratégies de gestion des ressources en eau à long terme. Ghaleb Faour et al.[13] ont examiné par WEAP l'impact de la guerre et des conflits sur l'environnement de l'eau dans les bassins fluviaux côtiers de la Syrie. Le logiciel WEAP offre la possibilité de se lier avec d'autres logiciels. Michel Le Page et al ; [14].

Hadded et al. [15] ont présenté un système d'aide à la décision (SAD) pour la gestion des eaux souterraines par un lien dynamique entre MODFLOW et WEAP, qui transfère les résultats d'un modèle de données d'entrée à l'autre. Le modèle restitue les variations spatiales et temporelles et permet de calculer l'équilibre de l'eau souterraine.

En Algérie, WEAP a été utilisé dans différentes régions. Un modèle a été appliqué sur les bassins versants de l'ouest du pays, pour évaluer et analyser l'équilibre actuel et prévu des scénarios futurs de gestion des ressources en eau en prenant en compte les différentes politiques et les facteurs opérationnels qui peuvent affecter la demande jusqu'en 2030[16]. Un autre modèle a été

développé pour simuler les bilans hydriques actuels et évaluer les stratégies de gestion de l'eau dans la région de Annaba[1]. Rachid Boukalia-Hassane et al.[17] ont élaboré un modèle pour étudier la gestion des ressources en eau dans cette région dans un cadre unifié qui prend en compte à la fois l'évolution de la demande en eau des différents sites et les processus hydrologiques dans les bassins versants qui déterminent en grande partie le volume d'eau mobilisable Ressources.

Notre travail a pour finalité la mise en place d'un système d'aide à la décision (SAD) conçu sous Arcgis sur la base des résultats obtenus par le WEAP ; ce SAD permet d'accéder facilement

à l'information voulue durant toute la période de simulation, pour aider les gestionnaires à prendre des décisions adéquates.

## 2. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE ET DESCRIPTION DES RESSOURCES

Administrativement, la vallée d'Oued Righ fait partie de deux wilayas : Ouargla et Oued Souf. A cause de la grande superficie de la zone d'étude, nous avons restreint les limites de l'investigation à la partie se trouvant dans le territoire de la wilaya de Ouargla, autrement dit Oued Righ Sud qui englobe les daïras de Temacine, Touggourt et Megarine (Fig. 1). Du point de vue géographique, la région d'étude n'est autre que la vallée sud d'Oued Righ, entité géographique bien définie. Cette région a une morphologie homogène, se présentant comme une dépression orientée Sud/Nord.

La variation de la côte est très nette ; elle descend régulièrement de 90m à Goug, pour atteindre 45 m à Djamaâ dans la wilaya de Oued Souf. Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation.

La température est très élevée en été (33°C) et l'humidité est très faible(32%). La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région d'Oued Righ (10% à 15 % de la superficie de la région).

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de ressources non renouvelables représentées par deux grands aquifères : le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI). Ces deux systèmes hydrauliques font du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressources hydriques.

Malheureusement, la richesse en eau dans la vallée Sud d'Oued Righ est accompagnée par différents problèmes dont la plupart sont liés directement à sa mauvaise gestion.

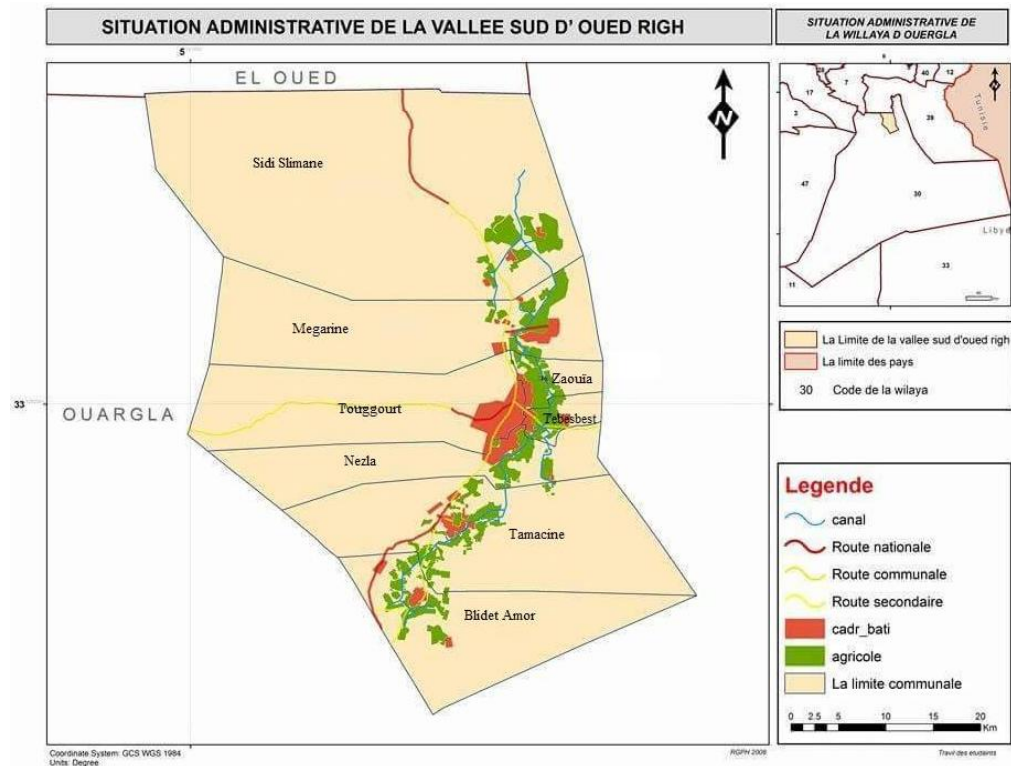


Figure.1. Situation géographique de la zone d'étude

## 2.1. Usage

L'utilisation des ressources en eau pour des besoins de consommation est ventilée en un certain nombre de catégories, à savoir : demande pour l'alimentation en eau potable (AEP) et demande agricole (AEA). La partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins en eau d'irrigation, avec un volume de 257 Hm<sup>3</sup> par an, soit un taux de 90 %. Cette prépondérance est due à l'augmentation de l'activité agricole qui s'est largement développée ces dernières années, encouragée par les aides financières directes de l'état (dons, fourniture du matériel et équipements agricoles, des engrais...etc). L'alimentation en eau potable (AEP) tient une place conséquente dans les prélèvements d'eau dans la vallée d'Oued Righ avec un volume de 26 Hm<sup>3</sup>, soit 10 % de la totalité des ressources mobilisées.

## 2.2. Approvisionnement en eau potable

La région d'Oued Righ est alimentée en eau potable par différentes nappes souterraines. Les captages se situent dans différentes zones :

- La nappe du continental intercalaire est exploitée par 6 forages, dont le débit total est de 670 l/s.

©UBMA - 2016

- L'exploitation de la nappe du complexe terminal pour l'eau potable est assurée par 2 forages qui fournissent un débit de 40 l/s. Selon l'unité de l'Algérienne des eaux de touggourt, la vallée Sud d'Oued Righ est alimentée par 8 forages qui donnent globalement un débit de 710 l/s, soit un potentiel moyen de 350 l/j/hab. pour une population qui atteignait 200916 habitants en 2008.

## 2.3. Approvisionnement en eau d'irrigation

La vallée d'Oued Righ est alimentée par 331 forages qui donnent globalement un débit de l'ordre de 9000 l/s. Le paysage oasien dépend avant tout de l'aménagement des ressources hydriques, qui conditionnent l'extension des terres cultivées de la surface agricole utilisée (SAU).

Dans cette région aride, la SAU est moyenne : 39% soit 11062 hectares, dont 9584 ha occupés par le palmier dattier, soit 82.18 % de la SAU. Le reste du SAU soit 1721 hectares sont en friche (Direction du service agricole Touggourt).

### 3. METHODES ET MATERIELS

Le choix du logiciel utilisé dans cette étude est basé sur la disponibilité, l'accessibilité et la flexibilité des paramètres qui le composent et qui permettent l'exploitation d'un large éventail de bases de données collectées. La modélisation de la demande en eau repose en premier lieu sur la création de 3 Scénarios futurs différents l'un de l'autre par la consommation de l'eau. L'objectif est de déterminer les communes où la demande est non satisfaite pour chaque scénario et d'estimer la quantité des rejets des eaux usées et des eaux d'irrigation. La deuxième étape consiste à créer une base de données et la configurer pour un usage sous une application ajoutée sur Arcgis; cette application va permettre aux décideurs d'accéder rapidement aux informations concernant la satisfaction de la demande en eau et les débits de retours pour chaque point de rejets durant toute la période d'étude.

#### 3.1. Description de WEAP

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème. L'État Actuel, qui peut être considéré 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 ressources et des fournitures pour le système. Les hypothèses de base doivent être 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. Finalement les scénarios sont évalués à l'égard de la suffisance de l'eau, des coûts et des bénéfices, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clés [18].

#### 3.2. Etapes de modélisation par WEAP

Dans cette partie, les paramètres temps devraient être réglés. Créer une année de comptes courants pour le projet, pour cela, on a choisi l'année 2008 comme année de référence pour toutes informations sur le système : sites de demandes, données d'approvisionnement, consommation, liaison et transmission (Fig. 2).

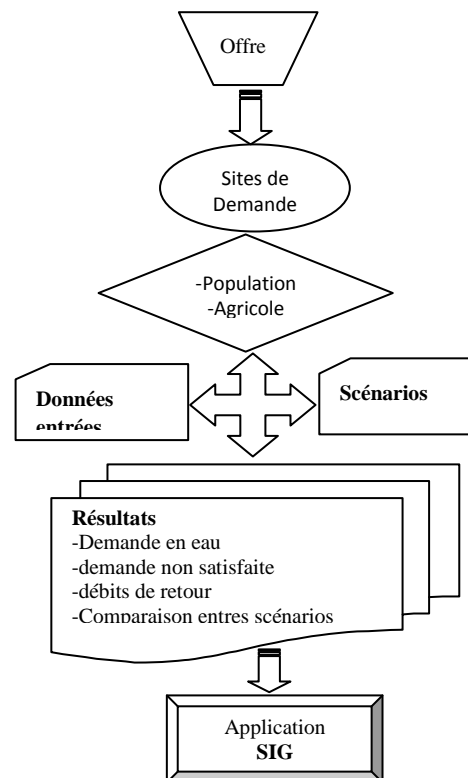
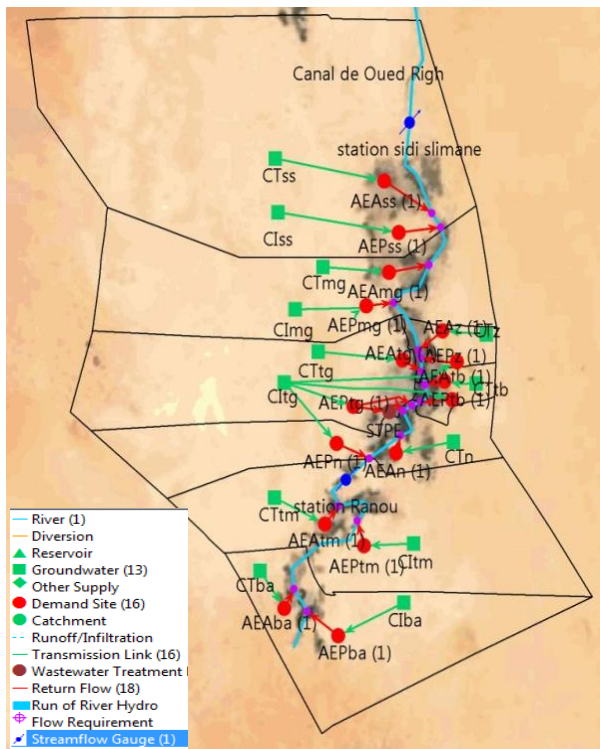


Figure.2 : Schéma final du model WEAP et organigramme de travail

### 3.2.1. Scénario de référence

Le scénario de référence est établi à partir du compte actuel, dans lequel toutes les données de base sont introduites, pour simuler la même évolution du système sans intervention [18]. Pour notre étude, le scénario de référence couvre la période (2008 – 2050), Il traduit simplement une projection des tendances courantes sans changements majeurs, et sert comme point de comparaison pour les autres Scénarios dans lesquels des changements des données du système peuvent être réalisés (Tab. 1). Les dotations journalières introduites dans le logiciel pour ce Scénario sont les données des institutions du service hydraulique et agricole Touggourt ; on constate que ces dotations journalières sont très élevées, et qu'elles dépassent de loin toutes les normes reconnues, cela peut être due aux pertes dans les réseaux et du gaspillage.

### 3.2.2. Scenario 1 : Offre amélioré

Pour avoir un aperçu sur le futur, on a créé un nouveau scénario de même durée que le scénario de référence. Ce scénario peut aussi nous aider à estimer les rejets d'eau (domestique et agricole). Pour que la demande soit satisfaite, il nous faut une évolution continue de l'offre, c'est pour cette raison qu'on a proposé d'implanter des forages captant la nappe du continental intercalaire pour l'AEP avec un débit de 100 l/s pour chaque forage proposé, et des forages captant la nappe du complexe terminal pour l'irrigation avec un débit de l'ordre de 20 l/s. Cette proposition a conduit à une satisfaction stable de la demande en eau. L'évolution de la demande avec l'offre est étroitement liée avec une évolution des débits de retour provenant des rejets des eaux usées domestiques et industriels et des eaux de drainage d'origine agricole.

### 3.2.3. Scenario 2 : Consommation rationnelle

Ce scénario est hérité du compte courant, il garde les mêmes entrées concernant les utilisateurs et l'offre mais avec une diminution de la dotation journalière ; on a appliqué les normes de consommation spécifique en Algérie. Pour l'alimentation en eau potable, la dotation nationale en Algérie est de l'ordre de 150 l/j/habitant. Selon Toutain, G [19] dans l'Oued Righ, les besoins en eau des palmiers

dattiers sont de 28000 m<sup>3</sup>/ha/an. L'objectif de ce scénario est de minimiser les rejets dans le canal par l'abaissement de la consommation et d'augmenter la satisfaction de la demande.

### 3.2.3. Scenario 3 : Consommation optimale

Dans un double objectif de limitation des rejets dans le canal de Oued Righ et d'une utilisation optimal de l'eau, ce scénario permet d'étudier l'impact sur la demande d'une politique de mise en place des nouvelles techniques d'irrigation et de réduction de la consommation en eau potable. Pour cela, on a considéré une dotation de 120l/j/habitant en matière d'alimentation en eau potable. Selon PEYRON, G [20] dans les régions arides, une installation de goutte à goutte a permis de réduire de moitié la quantité d'eau nécessaire soit 14000 m<sup>3</sup>/ha/an.

### 3.2.4. Débits de retour

Les eaux utilisées d'un site de demande sont envoyées à des destinations diverses, telles qu'une station d'épuration ou le milieu récepteur (canal), tout en nécessitant des emplacements réutilisant directement cette sortie (Fig. 3). Dans notre cas, il existe une seule station d'épuration qui traite les rejets des eaux usées de la commune de Touggourt,

$$Q_{\text{retour}} = Q_{\text{sd}} - C_{\text{sd}} - Q_{\text{step}}$$

$Q_{\text{retour}}$  : Débit de retour d'un site de demande.

$Q_{\text{sd}}$  : Débit entrant dans un site de demande.

$C_{\text{sd}}$  : La quantité consommé de chaque site de demande selon l'utilisation (AEP ou AEA).

$Q_{\text{step}}$  : Débit entrant dans les stations d'épuration.

Les valeurs du  $C_{\text{sd}}$  introduit dans le modèle WEAP sont des pourcentages de la consommation des sites de demande. L'absence des données concernant les pertes sur les liaisons de retour, l'infiltration vers la nappe phréatique, nous a obligé d'englober ces facteurs en pourcentage de consommation de chaque usage.

Tableau.1 Données de base des sites de demande pour le compte courant et les scénarios

Sites de demande	Utilisateurs	liaisons L/s	Dotation m <sup>3</sup> /an			
			Scenario référence et Scenario1	Scénario2	Scénario3	
<i>Agglomération (Habitants)</i>	Sidi Slimane	7851	80	321	54.75	43.8
	Megarine	13661	50	115	54.75	43.8
	Touggourt	38877	90	73	54.75	43.8
	Zaouia abidia	20526	20	31	54.75	43.8
	Tebesbest	34866	30	27	54.75	43.8
	Nezla	50595	680	424	54.75	43.8
	Temacine	20011	250	394	54.75	43.8
	Blidet Amor	14529	78	169	54.75	43.8
<i>Surfaces agricoles irriguées (Hectares)</i>	Sidi Slimane	1665	961.1	18204	28000	14000
	Megarine	1605	909.2	17865	28000	14000
	Touggourt	83	156	59272	28000	14000
	Zaouia abidia	867	870	31645	28000	14000
	Tebesbest	904	834	29094	28000	14000
	Nezla	1295	1732.3	42185	28000	14000
	Temacine	1805	1912.5	33414	28000	14000
	Blidet Amor	1360	1189.35	27579	28000	14000

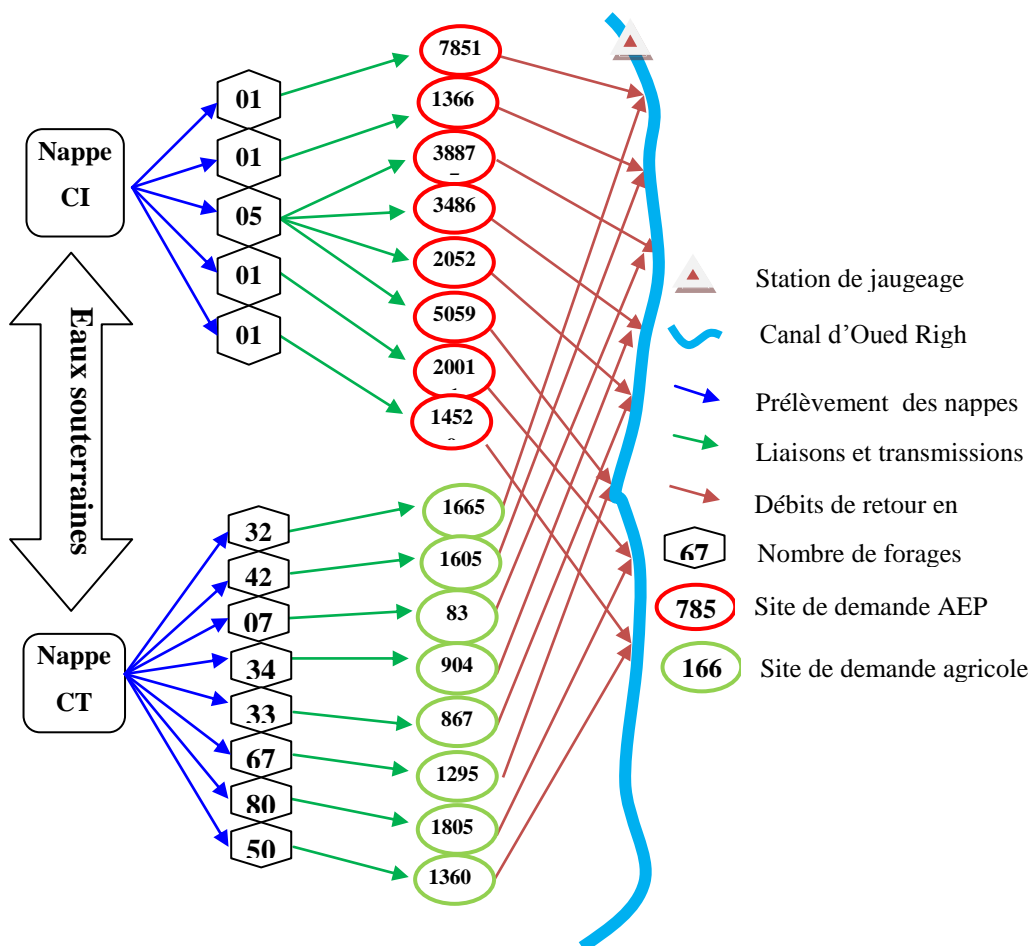


Figure.3.Schéma explicatif du système hydraulique de la région d'étude

Pour trouver le pourcentage le plus proche des valeurs réelles de la consommation de chaque usage, on s'est basé sur la programmation linéaire sous Excel. La méthode permet d'atteindre une valeur cible déterminée. Les calculs effectués habituellement avec Excel utilisent des valeurs numériques qui constituent les données d'un problème. A l'aide d'un certain nombre de formules disposées dans les cellules des feuilles de calculs, on détermine alors un ou plusieurs résultats.

Dans notre cas, on connaît les résultats attendus et on se demande quelles devraient être les valeurs de la consommation en (%) pour obtenir une erreur égale à 0% dans la cellule cible ?

On connaît le résultat calculé qui est l'erreur entre la valeur mesurée sur la station de jaugeage du canal 168480 m<sup>3</sup>/j, qui regroupe les rejets de toutes les communes et la somme des rejets des sites de demande agricole et urbain, la formule pour le calculer

$$\text{Valeur cible}(\%) = \frac{(Q_{\text{mesuré}} - \sum Q_{\text{retour calculé}})}{Q_{\text{mesuré}}}$$

Le tableau 2 indique la marche à suivre pour déterminer quelle donnée fournira le résultat attendu.

Tableau.2. Valeur cible

	A	B	C
1	$\sum AEP * \alpha$	$\sum AEA * \beta$	
2		$\sum A1 + B1$	
3		$Q_{st}$	$\text{Erreur} = (B3 - B2) / B3$

A1 : La somme de la demande en eau potable pour toutes les communes multipliée par des valeurs de  $\alpha$  qui varient entre 5 à 35%.

B1 : La somme de la demande en eau agricole pour toutes les communes multipliée par des valeurs de  $\beta$  qui varient entre 60 à 95%.

B2 : la somme des rejets on fonction des valeurs  $\alpha$  et  $\beta$ .

B3 : débit mesuré sur la station de jaugeage du canal pour toutes les communes

C3 : Cellule cible pour minimiser l'erreur.

Les résultats obtenus (Fig. 4) ont montré que les valeurs de la consommation pour laquelle l'écart entre débits calculés et débits mesurés sont 86% pour le domaine agricole et 10% pour l'alimentation en eau potable.

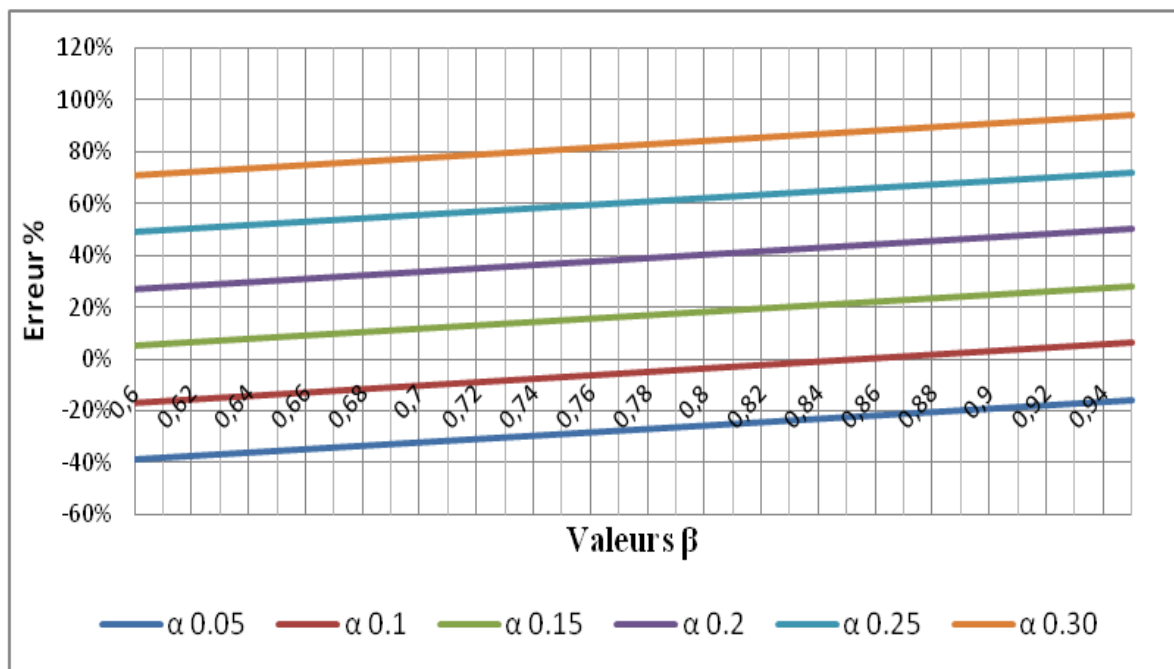


Figure.4. Valeurs de calage du modèle



#### 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats sont analysés selon trois volets de façon à faire apparaître les différentes facettes de la demande : commentaire des demandes sectorielles simulées par WEAP selon les scénarios choisis, analyse de la demande globale et comparaison entre scénarios.

##### 4.1. Analyse sectorielle

###### 4.1.1. Secteur eau potable

-Demande en eau potable(DE) : elle intègre les résultats des besoins en eau des agglomérations. Face à la croissance de la population de la vallée de Oued Righ, la demande en eau potable augmente régulièrement entre 2008 et 2050. Le tableau 3 résume l'évolution de la demande en eau et la demande non satisfaite en parallèle avec l'évolution de la population, selon les dotations moyennes proposées pour chaque scénario.

L'évolution de la demande en eau pour le scénario de référence et le scénario Offre améliorée augmente en parallèle car les données de base sont les mêmes ; elle augmente de 41,71 millions m<sup>3</sup> en 2010, à 57,34 millions m<sup>3</sup> en 2030, pour atteindre 72,96 millions m<sup>3</sup> en 2050. La demande en eau a diminué de façon considérable dans le scénario Consommation rationnelle, qui est de l'ordre de 9,15 millions m<sup>3</sup> en 2010, 12,62 millions m<sup>3</sup> et 16,07 millions m<sup>3</sup>. Pour le scénario Consommation optimale, la demande

en eau continue à diminuer, atteignant 13,40 millions m<sup>3</sup> en 2050. Cette diminution s'explique par les dotations moyennes introduites dans ces deux derniers Scénarios.

-Demande non satisfaite(DNS) : Les résultats de la demande non satisfaite nous montrent le déficit en eau potable pour tous les Scénarios, ce déficit est bien visible dans le scénario de référence où la demande est non satisfaite durant toute la période de simulation avec des valeurs importantes de l'ordre de 1,41 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 32,52 millions m<sup>3</sup> en 2050. la demande est satisfaite pour le scénario Offre améliorée car on a proposé une évolution continue de l'offre.

-Débits de retours : il existe une seule station d'épuration qui traite les rejets des eaux usées de la commune de Touggourt, mais malheureusement ces eaux traitées ne sont pas exploitées et retournées vers le canal.

Les résultats mentionnés dans le tableau 4 montrent une évolution progressive des rejets dans le canal d'Oued Righ. On observe que les valeurs des rejets pour les prochaines décennies sont très élevées et peuvent créer d'énormes problèmes dans notre région d'étude telle que la remontée de la nappe phréatique et la salinité. Vu l'augmentation de l'offre en parallèle à la demande en eau dans le scénario Offre améliorée, les valeurs des rejets sont très élevées dépassant 50 millions m<sup>3</sup> en 2030, pour atteindre 65 millions m<sup>3</sup> en 2050.

Tableau.3 Evolution de la demande en eau potable (DE) et de la demande non satisfaite (DNS) en Mm<sup>3</sup> pour tous les scénarios

Scenarios		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Référence	DE	41,71	45,62	49,53	53,43	57,34	61,24	65,15	69,05	72,96
	DNS	1,41	5,52	9,22	13,13	17,04	20,94	24,85	28,76	32,52
Offre améliorée	DE	41,71	45,62	49,53	53,43	57,34	61,24	65,15	69,05	72,96
	DNS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consommation rationnelle	DE	9,15	10,02	10,88	11,75	12,61	13,48	14,34	15,21	16,07
	DNS	0,93	1,19	1,45	1,71	1,97	2,23	2,49	2,83	3,25
Consommation optimale	DE	7,36	8,35	9,07	9,79	10,51	11,23	11,95	12,67	13,4
	DNS	0,51	0,72	0,94	1,15	1,37	1,59	1,80	2,02	2,24

Tableau. 4 : Débits de retours des sites de demande en eau potable en Mm<sup>3</sup> pour tous les Scénarios

Scénarios	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Offre améliorée	37,54	41,06	44,57	48,09	51,60	55,12	58,63	62,15	65,66
Consommation rationnelle	7,40	7,95	8,49	9,04	9,58	10,13	10,67	11,15	11,55
Consommation optimale	6,41	6,86	7,32	7,77	8,23	8,68	9,14	9,59	10,04

#### 4.1.2. Secteur Agricole

-L'étude de l'évolution de la consommation en eau pour l'agriculture vise à chercher une relation entre l'évolution des superficies irriguées et l'évolution des prélèvements d'eau. La demande en eau des palmeraies est très élevée pour les trois premiers scénarios (référence, Offre améliorée et Consommation rationnelle), elle varie en moyenne entre 277 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 350 millions m<sup>3</sup> en 2030, et dépasse 400 millions m<sup>3</sup> en 2050. Vu leur dotation, Le scénario Consommation optimale montre que la demande en eau est très faible par rapport aux scénarios précédents avec des valeurs entre 138,5 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 218,30 millions m<sup>3</sup> en 2050.

-En ce qui concerne la demande non satisfaite des palmeraies, les résultats du tableau 5 montrent que la demande est non satisfaite pour le scénario de référence et le scénario Consommation rationnelle ; ce déficit s'élève de 8,22 millions m<sup>3</sup> en 2010 à 159,22 millions m<sup>3</sup> en 2050 pour le scénario de référence et de 38,7 millions m<sup>3</sup> en 2010 à 171,36 millions m<sup>3</sup> en 2050 pour le scénario Consommation

rationnelle. L'augmentation de l'offre dans le scénario Offre améliorée a satisfait la demande en eau d'irrigation. Pour le scénario Consommation optimale où on a appliqué les normes des nouvelles techniques d'irrigation, le déficit a commencé à partir de l'année 2020, passe par 10 millions m<sup>3</sup> en 2030 et atteint 31 millions m<sup>3</sup> en 2050.

-Les débits de retours dans le domaine agricole ou bien l'excès d'eau d'irrigation des palmeraies vers le canal de Oued Righ sont très importants et engendrent des vrais problèmes sur la remontée de la nappe phréatique. Les résultats de simulation obtenus par WEAP présentés dans le tableau 6 montrent que ces rejets sont importants pour le scénario Offre améliorée, commencent par 38,96 millions m<sup>3</sup> en 2010, atteignent 47,51 millions m<sup>3</sup> en 2030 et dépassent 60 millions m<sup>3</sup> en 2050. Le changement des dotations moyennes en eau d'irrigation, les scénarios Consommation rationnelle et Consommation optimale ont diminué considérablement les quantités rejetées dans le canal.

Tableau.5 Evolution de la demande en eau agricole (DE) et de la demande non satisfaite (DNS) en Mm<sup>3</sup> pour tous les scénarios

Scenarios		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Référence	DE	278,3	297,1	316	334,8	353,7	372,51	391,36	410,21	429,06
	DNS	8,22	27,06	45,92	64,77	83,62	102,47	121,31	140,17	159,02
Offre améliorée	DE	278,3	297,1	316	334,8	353,7	372,51	391,36	410,21	429,06
	DNS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consommation rationnelle	DE	277,1	297	316,9	336,9	356,8	376,77	396,71	416,66	436,6
	DNS	38,7	51,43	64,74	80,82	98,53	116,38	134,71	153,03	171,36
Consommation optimale	DE	138,5	148,5	158,5	168,4	178,4	188,38	198,36	208,33	218,30
	DNS	0	0	0,97	4,81	10,03	15,24	20,46	25,67	31,11

Tableau.6 : Débits de retours des sites de demande agricole en Mm<sup>3</sup> pour tous les Scénarios

Scenarios	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Offre améliorée	38,96	41,60	44,23	46,87	47,51	52,15	54,79	57,43	60,07
Consommation rationnelle	33,37	34,38	35,31	35,85	36,16	36,45	36,68	36,91	37,13
Consommation optimale	19,39	20,79	22,05	22,91	23,57	24,24	24,91	25,57	26,21

#### 4.2. Analyse globale

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans la vallée de oued Righ augmente au même rythme de 2010 à 2050 pour tous les scénarios ; cette augmentation est due à l'évolution de la population et des surfaces agricole irriguées. La figure 5 représente les

©UBMA - 2016

tendances qui se dégagent par scénario. Les résultats obtenus sont, selon le scénario Consommation rationnelle et Offre améliorée, de 300 à 350 M m<sup>3</sup> pour l'an 2010 et de 440 à 500 Mm<sup>3</sup> pour 2050. Pour le scénario Consommation optimale, la simulation par WEAP donne des chiffres allant de 150 M m<sup>3</sup> en 2010 à 250 M m<sup>3</sup> en 2050. La diminution

remarquable de la demande en eau pour ce dernier scénario provient de la dotation moyenne adaptée pour l'eau potable (120 l/j/hab) et à l'application des normes des nouvelles techniques d'irrigation 14000 m<sup>3</sup>/an/ha.

Les résultats de la demande non satisfaite pour les différents sites de demande montrent que le déficit a été observé tout au long de la période de simulation (Fig. 6) pour le scénario de référence et le scénario Consommation rationnelle. Cette carence est due

principalement à la forte demande pour l'eau potable et l'agriculture. Les pénuries sont également dues au fait que les ressources en eaux mobilisés sont limitées et l'offre ne présente pas une amélioration face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. La demande non satisfaite pour le scénario Consommation optimale commence à partir de l'année 2020 avec valeurs faibles, augmente de 10 Mm<sup>3</sup> en 2030 à 22 Mm<sup>3</sup> en 2040 et atteint 37 Mm<sup>3</sup> en 2050.

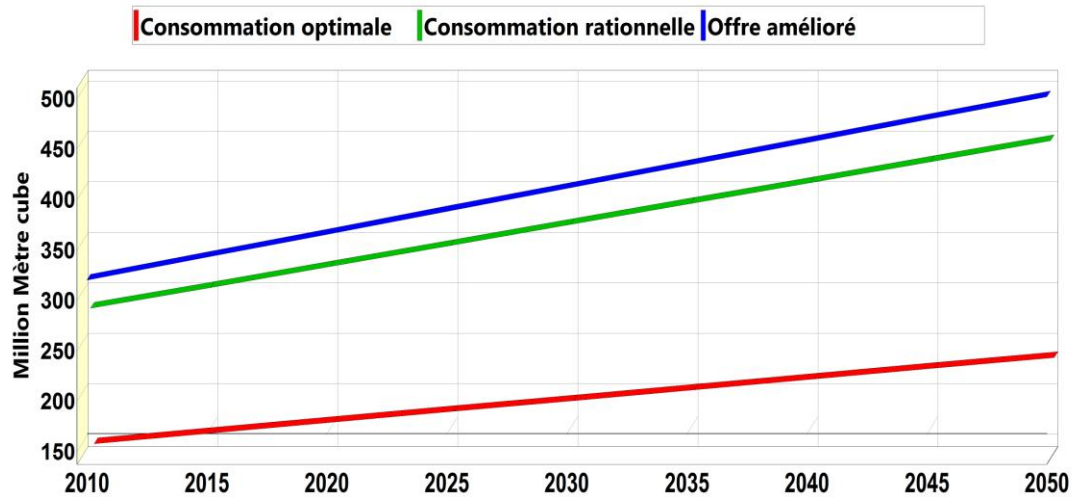


Figure.5 : Evolution de la demande en eau globale des différents Scénarios

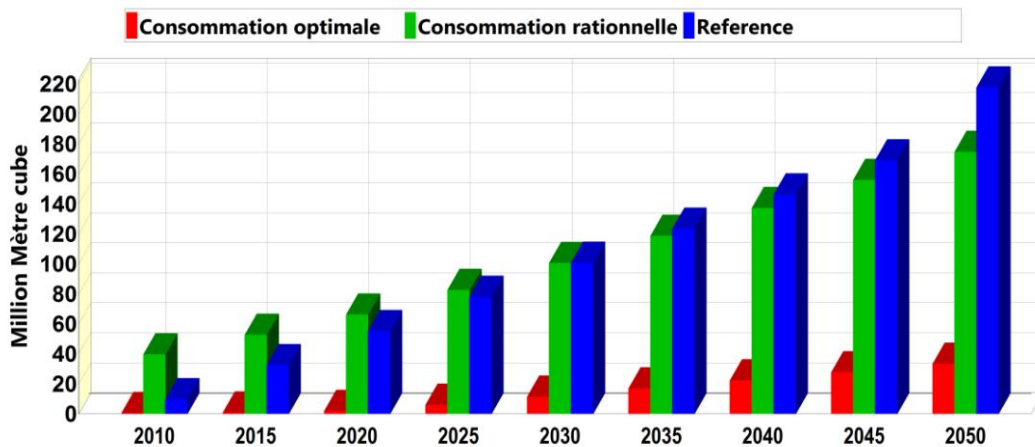


Figure.6: Evolution de la demande en eau non satisfaite global des différents Scénarios

Les débits de retour augmentent en fonction de l'évolution de la consommation des sites de demande. La figure 7 montre que les rejets dans le canal pour le scénario1 sont très importants allant de 78 Mm<sup>3</sup> en 2010 à 130 Mm<sup>3</sup> en 2050. Pour le scénario 2 et le scénario 3, on constate

une diminution considérable des rejets dans le canal d'Oued Righ avec des valeurs minimales de l'ordre de 26 Mm<sup>3</sup> en 2010 et 38 Mm<sup>3</sup> en 2050 et cela pour le scénario Consommation optimale.

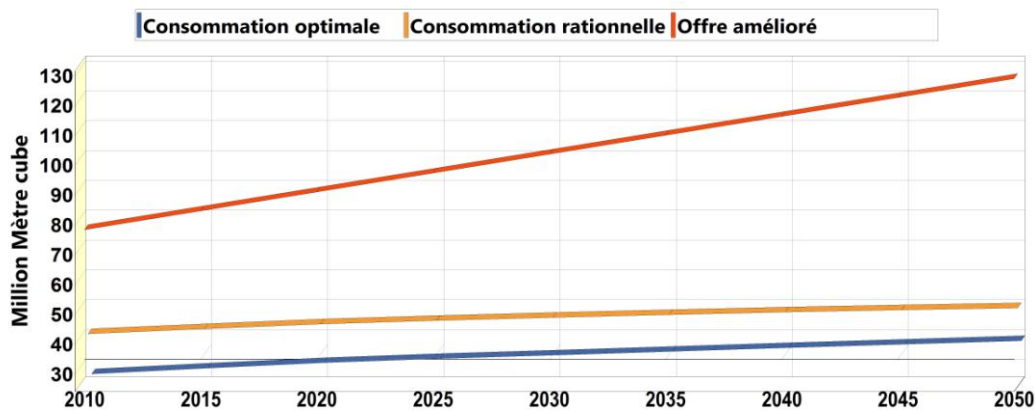


Figure. 7 Evolution des débits de retours globaux des différents Scénarios

### 4.3. Comparaison entres scénarios

Les résultats obtenus montrent que le scénario de référence est un scénario passif, car aucune action n'a été prise permettant de faire face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. Les hypothèses proposées pour le scénario Offre améliorée ont satisfait la demande par l'augmentation de l'offre, mais elles présentent une évolution considérable de la demande en eau ce qui traduit par des rejets importants dans le canal d'Oued Righ. Ces deux scénarios ne répondent donc pas aux problèmes de la remontée de la nappe phréatique et à une meilleure gestion des ressources en eau. Par contre, les scénarios Consommation rationnelle et Consommation optimale ont montré des résultats satisfaisants concernant la satisfaction de la demande et la

diminution des rejets des eaux usées et d'excès d'eau d'irrigation.

La comparaison entre le scénario 3 (Consommation optimale) et scénario 2 (Consommation rationnelle) pourra nous aider à choisir le meilleur scénario à appliquer pour résoudre les problèmes de la mauvaise gestion des ressources en eaux et de préserver ces dernières face à la demande croissante.

Si on applique le scénario 3 par rapport au scénario 2, on peut réduire la demande en eau de 141,5 Mm<sup>3</sup> en 2010 (dont 1,5 Mm<sup>3</sup> de demande en eau potable) et 222,56 Mm<sup>3</sup> en 2050 (dont 2,6 Mm<sup>3</sup> de demande en eau potable). Ces quantités restent importantes (Fig. 8) vu le nombre des forages qu'il faut implanter, 142 forages de la nappe du Mio-pliocène (40 l/s) en 2030 et 174 forages en 2050.

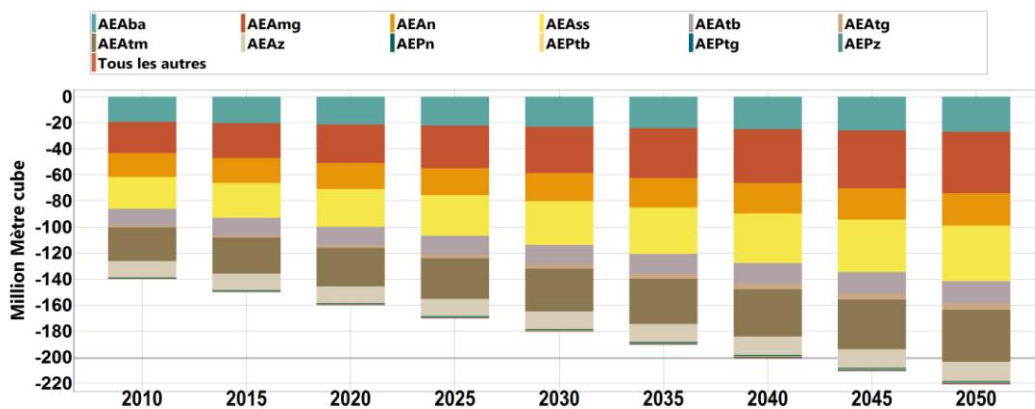


Figure.8 : Ecart la demande en eau entre Scénario Consommation optimale et scénario Consommation rationnelle

La demande non satisfaite (DNS) en eau potable est importante pour le scénario 2 par rapport au scénario 3 (Fig. 9) ; l'écart de DNS entre ces deux scénarios est de 0,6 Mm<sup>3</sup> en 2030 et 1 Mm<sup>3</sup> en 2050, et ceci pour les communes de Tebesbest, Zaouia labidia et Touggourt à partir de l'année 2045. En ce qui concerne la demande non satisfaite (DNS) en eau agricole, la différence entre les deux scénarios est de l'ordre de 87 M m<sup>3</sup> en 2030 et 140 M m<sup>3</sup> en 2050. Du point de vue économique, le gain est équivalent à la création des forages captant la nappe de Moi-pliocène par un débit de 40 l/s (68 forages en 2030 et 110 forages en 2050).

L'un des grands problèmes dans la région de Oued Righ est représenté par les rejets des eaux usées et leur impact sur la population, l'environnement et les nappes souterraines ; le but de cet article est justement de minimiser en maximum les rejets dans le canal. L'application du scénario 3 par rapport au scénario 2 permettra de réduire les rejets annuels de 0,8 Mm<sup>3</sup> en 2010 à 1 Mm<sup>3</sup> en 2030 et 1,3 Mm<sup>3</sup> en 2050. La figure 10 montre que le plus grand débit de retour vient de la commune de Nezla où la réduction des rejets par l'application du scénario 3 est de plus de 600000 m<sup>3</sup>/an, soit 1300 m<sup>3</sup>/j en 2030 et 610000 m<sup>3</sup>/an, soit 1670 m<sup>3</sup>/j.

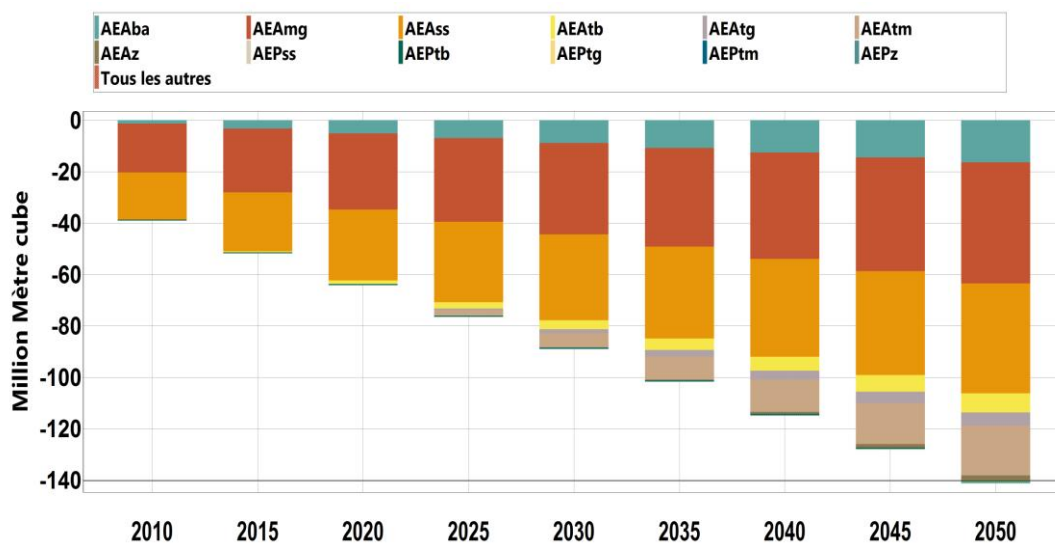


Figure. 9 Ecart entre la demande en eau non satisfaite pour le Scénario Consommation optimale et le scénario Consommation rationnelle.

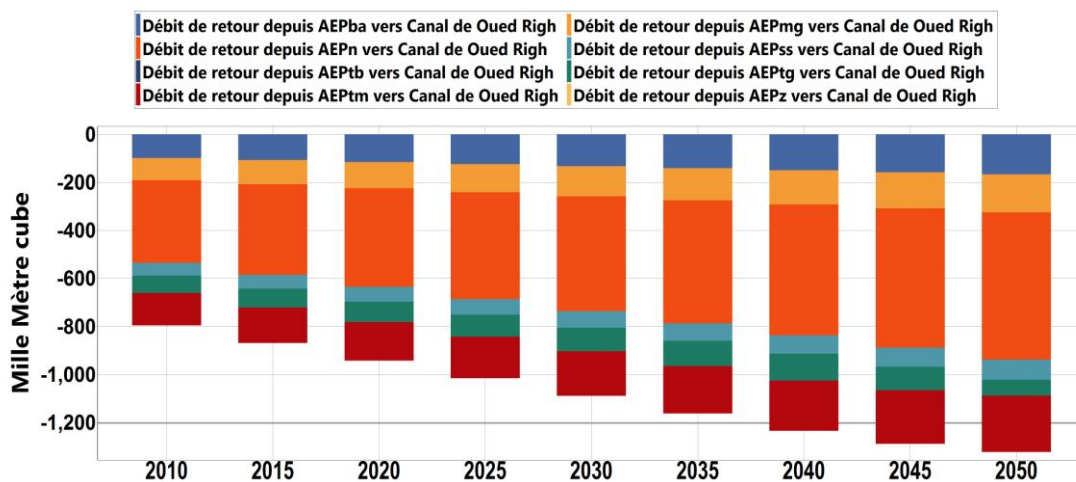


Figure. 10 Volume des rejets AEP minimisé par l'application du scénario Consommation optimale par rapport au scénario Consommation rationnelle

#### 4.5. Application SIG développé

Idéalement, les scientifiques devraient être en mesure de formater, d'explorer, d'analyser et de visualiser les données dans une application simple, rapide et puissante qui intègre parfaitement les données géo référencées à

partir d'une variété de sources de données en une visualisation intuitive R. Vijay [21].

C'est une application conçue sous Visual Studio qui s'intègre dans la base toolbar d'ArcGis en ajoutant un menu personnalisé (Fig. 11).

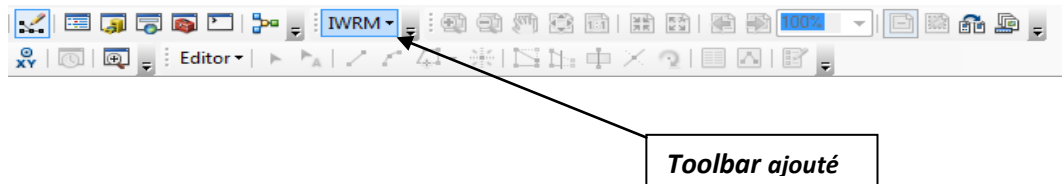


Figure. 11 Menu IWRM (integrated water resources management)

Le Visual Studio est un langage de programmation idéal pour la personnalisation des applications ArcGis. Il offre un environnement de développement comprenant un éditeur de texte, pour saisir les programmes, un compilateur pour créer une application exécutable, un éditeur de lien pour créer une application complexe en la décomposant en différents modules.

Cette application est un menu personnalisé qui contient (04) Boutons et (02) sous-boutons (Fig. 12) :

- Site de demande.
- ✓ Cadre bâti qui englobe les informations de : Population, Surface bâtie, demande en eau (AEP) de chaque commune,

densité de la population, demande en eau non satisfaite, débits de retour, nombre de forages.

- ✓ Agricole qui rassemble les informations de : nombre de forages, évolution surface agricole utilisée, demande AEA, demande non satisfaite AEA, débits de retour AEA.
- Consultation : Bouton représentant les schémas de chaque commune.
- Mise-à-jour : Bouton permettant d'ajouter ou de modifier les données.
- Sélection SQL : Bouton facilitant l'affichage de l'expression SQL d'une ou de plusieurs communes sur le schéma.

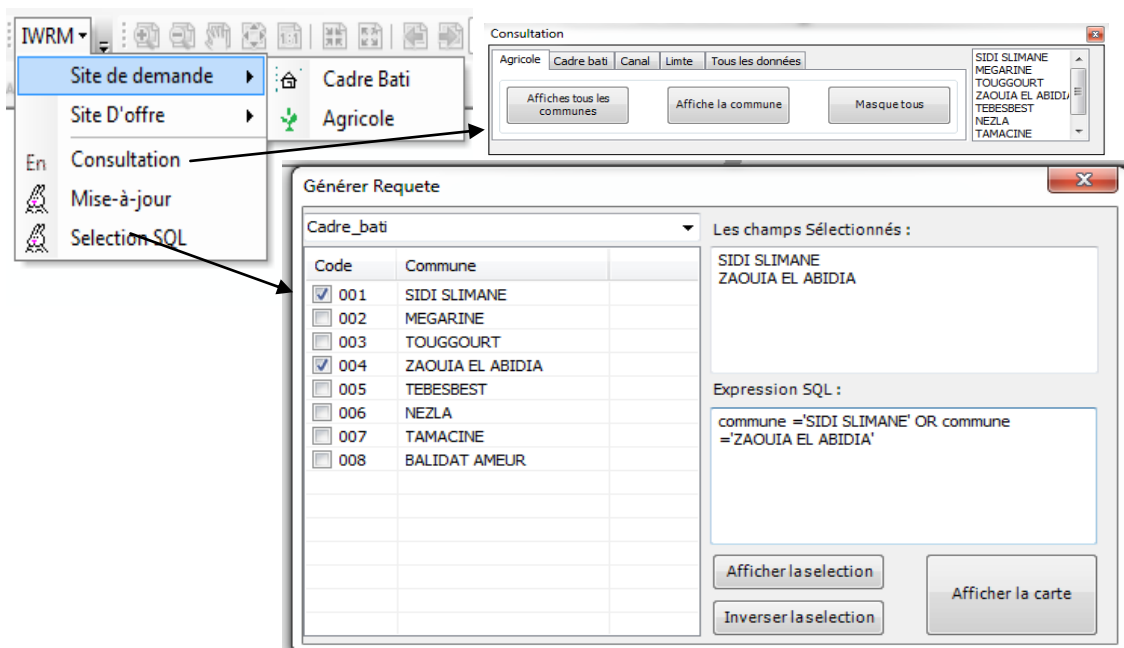


Figure. 12. Structure de l'application IWRM

Il s'agit donc d'un couplage d'une base de données et d'un support cartographique, tous les deux informatisés. L'intérêt de ce couplage est que les liens entre ces deux éléments permettent de faire une représentation cartographique automatisée des informations stockées dans la base de données. Inversement, on peut accéder à la base de données par l'intermédiaire du support cartographique.

## 5. CONCLUSION

La connaissance des ressources disponibles, et de leur variation dans le temps et l'état d'autres conditions physiques et socioéconomiques constituent un préalable fondamental pour une planification et une conception rigoureuses de projets d'eau durables et économiquement efficaces.

L'observation et l'interprétation de ces résultats permettent de faire un état des lieux sur la ressource en eau en temps réel. Les résultats donnent une vision sur l'évolution temporelle des différents paramètres (demande, offre, rejets...etc.).

Pour satisfaire la demande évolutive, nous devons améliorer l'offre par la réalisation d'autres sites d'approvisionnement, mais ces évolutions sont traduites aussi par une augmentation des débits de retour qui ont un impact néfaste sur l'écosystème, la santé, l'agriculture, la nappe phréatique (remonté des eaux).

Il est donc essentiel de mettre en place un mécanisme d'acquisition de données et de connaissances sur le secteur de l'eau à tous les niveaux institutionnels et de les interpréter à l'aide d'outils et de méthodes qui visent la modélisation tels le logiciel WEAP, dont le but est de créer des modèles de gestion informatisés et compatibles à l'état actuel de la ressource en eau en Algérie mais aussi de développer une politique de prévision pour mieux gérer et réserver cette ressource.

La démarche adoptée repose sur la création d'un modèle de gestion de la ressource en eau qui permet de détecter et de faire le diagnostic des problèmes et qui aide à élaborer des solutions durables et protectrices de l'environnement.

Les analyses physico-chimiques des eaux du canal et les enquêtes réalisées par des travaux antérieurs sur la région de Oued Righ [5] ont montré que l'eau du canal est de mauvaise

qualité et qu'il serait la cause de la mort de plus de 50% des palmiers.

Les résultats obtenus dans le cadre de notre étude ont permis d'estimer l'évolution de la demande en eau pour l'irrigation et en eau potable, cette demande appellera une augmentation systématique de l'offre et par une élévation des rejets d'eau dans le canal d'Oued Righ, ce qui va causer des problèmes majeurs à moyen et long termes, tel que la remonté des eaux de la nappe, des maladies et la dégradation de l'agriculture (Palmeraie).

Si les décideurs dans le domaine des ressources en eau ne prennent pas les décisions adéquates pour préserver le riche patrimoine des palmiers dattiers, le risque de perte totale (mort) va en s'aggravant et pourra atteindre les 80% dans les prochaines années.

Parmi les interventions les plus rapides pour affronter les défis de l'eau qui se présentent dans la vallée d'Oued Righ, on cite à titre de recommandations:

- L'installation de nouvelles stations d'épuration des eaux usées qui permettront de diminuer les rejets des eaux dans la nature, par le bais de la réutilisation de ces eaux épurées dans l'agriculture.
- La modernisation des plannings d'approvisionnement en eau potable et eaux d'irrigation pour une meilleure distribution égale et durable de l'eau.
- La protection du canal d'Oued Righ par des travaux d'aménagement hydraulique et antiérosifs. Cela permet de mieux contrôler l'écoulement des rejets d'eau et de minimiser l'infiltration des ces eaux vers la nappe phréatique.

## RÉFÉRENCES :

- [1] Aoun-Sebaiti B., Hani A., Djabri L., Chaffai H., Aichouri I., Boughrira N., 2013. Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria). Desalination and Water Treatment, Volume 52, Issue 10-12, pages 2114-2119.
- [2] Sakaa B., Chaffai H., Hani A., 2013. The use of Artificial Neural Networks in the modeling of socioeconomic category of Integrated Water Resources Management (Case study: Saf-Saf River Basin, North East of Algeria). Arabian Journal of Geosciences, Volume 6, Issue 10, pp 3969-3978.
- [3] Derouiche A & al., 2013. Impact du déversement direct des eaux usées et de drainage dans la nappe libre de l'Oued Souf et son influence sur la qualité des eaux souterraines. Rev.Sci.Technol., Synthèse 27 :50-62.

- [4] Hamed, 2015a. Les ressources hydriques en Tunisie et Impact des changements climatiques » 1<sup>er</sup> édition. Livre- Mai, 2015. ISBN: 978-9938-12-961-8.
- [5] Benguergoura Laradj S., Remini B., 2013. The releases of wastewater in the Oued Righ valley: the palm groves in decline. *Desalination and Water Treatment*, Volume 52, Issue 10-12, pages 2187-2192 .
- [6] Remini B., Sayah L., 2013. Scaling of the potable water network of the Touggourt city (Algeria). *Desalination and Water Treatment*, Volume 52, Issue 22-24, pages 4170-4173.
- [7] Herve L., Hilmy S., Julien C., 2003. Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model. *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 28, Issues 20–27, Pages 779–786.
- [8] Yates D., Sieber J., Purkey D., Huber-Lee A., 2005. Weap21-a demand-, priority-, and preference-driven water planning model: Part 2, aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*, Volume 30, Number 4, Pages 501–512.
- [9] Gajanan Bhave A., Mishra A., Singh Raghuvanshi., 2014. Evaluation of hydrological effect of stakeholder prioritized climate change adaptation options based on multi-model regional climate projections. *Climatic Change*, Volume 123, Issue 2, pp 225-239.
- [10] Mehta V., Haden V., Joyce B., Purkey D., Jackson L., 2012. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. *Agricultural Water Management*, Volume 117, Pages 70–82.
- [11] Randall S-F., Arthur C., Francis Y., Hartley W., Harald K., Bernard T., Imasiku N., Boaventura C., 2014. The vulnerability of hydropower production in the Zambezi River Basin to the impacts of climate change and irrigation development. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Volume 21, Issue 5, pp 721-742.
- [12] Choi S-J., Kim J-H., Lee D-R., 2012. Decision of the Water Shortage Mitigation Policy Using Multi-criteria Decision Analysis. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Volume 16, Issue 2, pp 247-253.
- [13] Ghaleb F., Abbas F., 2014. Water Environment in the Coastal Basins of Syria – Assessing the Impacts of the War. *Environ. Process*. Volume 1, Issue 4, pp 533–552.
- [14] Le Page M., Berjamy B., Fakir Y., Bourgin F., Jarlan L., Abourida A., Benrhanem M., Jacob G., Hube M., Sghrer F., Simonneaux V., Chehbouni G., 2012. An Integrated SAD for Groundwater Management Based on Remote Sensing. The Case of a Semi-arid Aquifer in Morocco. *Water Resources Management*, Volume 26, Issue 11, pp 3209-3230.
- [15] Hadded R., Nouiri I., Alshihabi O., Maßmann J., Huber M., Laghouane A., Yahiaoui H., Tarhouni J., 2013. A Decision Support System to Manage the Groundwater of the Zeuss Koutine Aquifer Using the WEAP-MODFLOW Framework. *Water Resources Management*, Volume 27, Issue 7, pp 1981-2000.
- [16] Hamlat A., Errih M., Guidoum A., 2012. Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 6, Issue 7, pp 2225-2236.
- [17] Boukllia-Hassane R., Djilali Y., El-Bari Tidjania A., 2014: Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province, *Desalination and Water Treatment*, Volume 57, Issue 13, March 2016, pages 5971-5980.
- [18] SEI, 2008. WEAP (Water Evaluation and Planning): User Guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute, Boston USA. Available from <www.seib.org/weap/>.
- [19] Toutain G., 1980 *Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée Année 1980* Volume 30 Numéro 1 pp. 151-152.
- [20] Peyron G., 2000. *Cultiver le palmier -dattier : guide illustré de formation* , Editeur Cirad, pages 38-39 ISBN: 2876143992 9782876143999.
- [21] Vijay R., Satapathy D-R., Nimje B., Nema S., Dhurve S., Gupta A., 2009. Development of GIS-based environmental information system: an Indian scenario. *International Journal of Digital Earth*. Volume 2, Issue 4, pages 382-392.