

THÈSE

En vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat en Sciences

Présenté par : Mr DJAFER KHODJA Hakim

Intitulé

Contribution à la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'oued Isser à l'aide d'un système informatisé

Faculté : Faculté d'architecture et de génie civil

Département : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique

Soutenue le 30/01/2020 devant le Jury Composé de :

<i>Membres de Jury</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Domiciliation</i>
<i>YEBDRI Djilali</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>	<i>USTO / MB</i>
<i>CHERIF EL-Amine</i>	<i>Pr</i>	<i>Encadrant</i>	<i>USTO / MB</i>
<i>GUERGAZI Saadia</i>	<i>Pr</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ Biskra</i>
<i>METAICHE Mahdi</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ Bouira</i>
<i>SAGGAI Sofiane</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ Ouargla</i>

RESUME

Les ressources en eau en Algérie ne cessent de se raréfier surtout ces dernières années. Les causes de cette raréfaction sont diverses et multiples, parmi lesquelles, on trouve l'action de l'homme qui surexploite ces ressources sans aucune gestion rationnelle, alors que le climat joue un rôle très dominant par la sécheresse qui persiste de plus en plus. Devant cette situation qui prévaut, il est utile de promouvoir ces ressources en matière de quantité et de qualité afin de garantir les besoins actuels et futures en eau potable ainsi qu'en irrigation.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le travail de notre thèse de doctorat et qui s'articule sur une étude de gestion des ressources mobilisées ainsi que celles qui peuvent être mobilisées dans le bassin-versant de l'oued Isser au centre de l'Algérie.

On propose, dans ce travail, de mettre en évidence l'intérêt tout particulier d'un Système d'information géographique (SIG) et Water Evaluation And Planning System (WEAP) en tant qu'outil informatisé dédié à la gestion des ressources en eau.

Le Modèle WEAP a été appliqué pour simuler le bilan hydrique actuel et évaluer les stratégies de gestion des ressources en eau dans la région selon différents scénarios jusqu'au 2040. Le Modèle a été calé pour l'année 2010 et validé pour l'année 2011. Les scénarios construits dans cette approche reflètent l'effet des tendances futures de la demande en eau en tenant compte les différentes politiques d'exploitation et les facteurs qui peuvent influencer sur la demande d'une part et, d'autre part, l'évaluation de l'impact de la disponibilité des ressources en eau.

Les simulations effectuées avec Le Modèle WEAP ont toutes montré que la demande domestique qui peut être satisfaite sous les scénarios de la gestion de la demande (DM) et le développement du niveau de vie (DSL), sont les procédures nécessaires à la bonne gestion des ressources disponibles. Toutefois, la demande agricole ne peut être satisfaite sous les scénarios de développement des GPI, que si les besoins en eau pour les zones déficitaires étaient satisfaits à partir d'un futur projet de réalisation de barrages.

Les résultats ont confirmé que le modèle WEAP offre une base solide pour aider les planificateurs à élaborer des recommandations pour la gestion future des ressources en eau dans la région.

Sur la base de cette étude, un bilan hydrique sera établi, pour permettre par la suite de tracer une politique de gestion rationnelle de nos ressources précieuses.

Enfin, tous les scénarios possibles seront considérés afin d'opter pour une gestion intégrée de toutes les ressources, conventionnelles ou non conventionnelles soient elles.

Mots clés : Gestion, Ressources en eau, Modèle WEAP, Isser, Bassin versant.

ملخص

تزداد الموارد المائية في الجزائر شحا بشكل مستمر، خاصة في السنوات الأخيرة. أسباب هذه الندرة كثيرة ومتنوعة، من بينها الاستغلال غير العقلاني لهذه الموارد، بينما يمثل المناخ السبب الرئيسي بفعل الجفاف الذي يتزايد أكثر فأكثر. بناء على هذا الموقف السائد، سيكون من المفيد جدا تعزيز هذه الموارد كميا ونوعيا من أجل ضمان الاحتياجات الحالية والمستقبلية لمياه الشرب والري.

في هذا الإطار، يندرج عملنا هذا المنجز في شكل رسالة دكتوراه والذي يتمحور حول دراسة إدارة الموارد التي تم استغلالها وكذلك تلك التي يمكن استغلالها في مستجمعات المياه في وادي يسر في وسط الجزائر.

نقترح في هذا المشروع تسليط الضوء على الأهمية الكبرى لنظام المعلومات الجغرافية (GIS) ونظام تقييم وتخطيط المياه (WEAP) كأداة محوسبة مخصصة لإدارة الموارد المائية.

تم تطبيق نموذج WEAP لمحاكاة حسيلا المياه الحالية وتقييم استراتيجيات إدارة موارد المياه في المنطقة في ظل سيناريوهات مختلفة حتى عام 2040. تمت معايرة النموذج لعام 2010 وتم التحقق من صحته لعام 2011. تعكس السيناريوهات التي تم إنشاؤها في هذا الإطار تأثير الاتجاهات المستقبلية في الطلب على المياه مع مراعاة مختلف سياسات الاستغلال والعوامل التي تثبت أنها تؤثر على الطلب من ناحية، ومن ناحية أخرى تقييم التأثير المحتمل لوفرة الموارد.

لقد أظهرت جميع عمليات المحاكاة التي أجريت باستخدام نموذج WEAP أن الطلب المحلي الذي يمكن تلبيةه بموجب سيناريوهات إدارة الطلب وسيناريوهات تطوير مستويات المعيشة، هي الإجراءات اللازمة للإدارة الجيدة للموارد المتاحة. ومع ذلك، لا يمكن تلبية الطلب الزراعي في إطار سيناريوهات تطوير GPI إلا إذا تم تلبية الاحتياجات المائية لمناطق العجز في مشروع مستقبلي لبناء السدود.

أكدت النتائج أن نموذج WEAP يوفر أساساً متيناً لمساعدة المخططين على وضع توصيات لإدارة موارد المياه في المستقبل في المنطقة.

على أساس هذه الدراسة، سيتم إنشاء حسيلا مياه، للسماح لاحقاً برسم سياسة الإدارة الرشيدة لمواردنا الثمينة.

أخيراً، سيتم النظر في جميع السيناريوهات الممكنة من أجل اختيار إدارة متكاملة لجميع الموارد، التقليدية أو غير التقليدية.

الكلمات المفتاحية: الإدارة، موارد المياه، نموذج WEAP، يسر، حوض

ABSTRACT

Water resources in Algeria are becoming increasingly scarce, especially in the last years. The causes of this scarcity are many and varied, among which we find the action of the man who overexploits these resources without any rational management, while the climate plays a very dominant role by the drought which persists more and more. Given this prevailing situation, it is useful to promote these quantity and quality resources in order to guarantee current and future needs for drinking water and irrigation.

It is in this context that the work of our PhD thesis is based on a study of the management of the resources mobilized as well as those that can be mobilized in the watershed of Oued Isser in central Algeria.

In this work, it is proposed that the particular value of a Geographic information system (GIS) and the water evaluation and planning system (WEAP) be highlighted as a computerized tool dedicated to water resource management.

The WEAP Model was used to simulate the current water balance and to assess water resource management strategies in the region under different scenarios until 2040. The Model was calibrated for 2010 and validated for 2011. The scenarios constructed in this approach reflect the effect of future trends in water demand, taking into account the different operating policies and factors that may influence demand on the one hand and the assessment of the impact of water availability on the other.

Simulations with the WEAP Model have all shown that the domestic demand that can be met under the Demand Management (DM) scenarios and the Living Standards Development (DSL), are the necessary procedures for the proper management of available resources. However, agricultural demand can only be met under the development scenarios of GPI if water needs for the deficit areas were met from a future dam project.

The results confirmed that the WEAP model provides a solid basis for assisting planners to develop recommendations for future water resource management in the region.

On the basis of this study, a water balance will be established, to allow later to draw a policy of rational management of our precious resources.

Finally, all possible scenarios will be considered in order to opt for an integrated management of all resources, conventional or unconventional.

Keywords: Management, Water Resources, WEAP Model, Isser, watershed.

DEDICACE

Je dédie ce travail :

À mes très chers parents

À mes très chers frères et Sœurs

À toute ma famille

À tous mes amis et mes collègues.

DJAFER KHODJA Hakim

REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage et de bonne volonté pendant tout mon cursus universitaire.

Un seul nom sur la première page de ce travail, ne veut pas dire pour autant, travail d'une seule personne. Cette thèse est un fruit d'une collaboration, et j'ai le grand plaisir à remercier ici tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce modeste travail :

Je tiens à remercier tout particulièrement pour sa confiance et pour son aide mon directeur de thèse, Monsieur Pr CHERIF EL -Amine. Il a su me faire bénéficier de ses connaissances et de son expérience tout en m'accordant une certaine liberté d'évolution.

Je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail ;

Le professeur YEBDRI Djilali, qui 'a bien voulu m'honorer Président ce juré, de même que le professeur GUERGAZI Saadia , Monsieur METAICHE Mahdi, et Monsieur SAGGAI Sofiane Maitre de conférence, qui bien voulu juger ce travail.

Mes remerciements vont également à A. FERHATI, F. HAMRIT, H. HAMMID, S. KENOUCHE, B.HAMI, S. DAHMANI, K. KOUIDER, A. AICHOUR, A. REZIG et D. BALOUL pour leurs soutiens et encouragements.

Mes remerciements vont également à tout le personnel de la Faculté d'architecture et de Génie Civil, Département de l'Hydraulique, université d'Oran pour leurs contributions.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants et tout le personnel de l'Institut de technologie et la faculté des sciences et sciences appliquées Département de Génie Civil, université de Bouira.

Je remercie chaleureusement tous les personelles de domaines Hydraulique DRE, ANBT, CTH, ABH, ANRH, ADE, ONA et ONID. Ils ont su également m'accueillir et m'encadrer durant la période de préparation.

Enfin, A tous ceux qui m'ont apporté un sourire, une aide, un regard, une attention.

DJAFER KHODJA Hakim

LA VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE

1- Publication Internationale :

- H.DJAFER KHODJA, CHERIF E A, S.DAHMANI , A.FERHATI, «Physical And Chemical Quality Of Surface Waters Of The Wilaya Of Bouira (Algerian Northern) ».Conference proceedings of the euromediterranean conference for environmental integration (emcei-2017) springer advances in science, Technologie & Innovation p901, ISSN 2522-8714, ISSN 2522-8722 electronic.
- S.DAHMANI, A.FERHATI, D.YEBDRI, R. BOUNOUA, H.DJAFER KHODJA «Development of reservoir Management optimal rules: case of hammam boughrara dam, wilaya of tlemcen, algeria».advances in informatics SimHydro 2017, springer water, ISSN 2364-6934, ISBN 978-981-10-7218-5.
- Y.ELMEDDAHI, H.DJAFER KHODJA « challenge to manage the risk of water scarcity and climate variability in province of cheli of Algeria» proceeding Iciem 2016 springer Volume 2: Water Resources P134, ISSN 1737-3638.
- H.DJAFER KHODJA, CHERIF E A, ELMEDDAHI Y, A.FERHATI, S.DAHMANI « Resources and Water requirements in Central Algeria: Situation and Prospects » proceeding Iciem 2016 springer Volume 2: Water Resources P134, ISSN 1737-3638.
- H.DJAFER KHODJA, CHERIF E A, ELMEDDAHI Y « Contribution to the Management of Water Resources Watershed of Isser (Algeria) » IPCBEE (volume 91/2016) p86, ISSN 2010-4618. <http://www.ipcbee.com/>.

2- Publication Internationale à soumettre :

- H.DJAFER KHODJA, CHERIF E A, S.DAHMANI, D.Baloul, « Rainfall - flow modeling in the Isser subwatershed (northern Algeria) ».

3- Communication Internationale :

- DJAFER KHODJA H, CHERIF EI A, FERHATI A, DAHMANI S, «Le défi d'assurer l'eau en plein stress Hydrique de l'Algérie», Ressources en Eau, Environnement et Changement Climatique le 22, 23 et 24 Octobre 2018, Hammamet - Tunisie.
- A. REZIG, S.DAHMANI, R. BOUNOUA, H.DJAFER KHODJA « Approche sur une Modalisation de Débit D'exfiltration des eaux à partir du collecteur d'assainissement et leur impact sur le sol et les eaux souterraines » 2nd International Conference of water Ressources (ICWR) Economy and protection du 21 ou 22 Novembre 2016, Ouargla- Algerie.
- S.DAHMANI, B.BLISSAG, H.DJAFER KHODJA, R. BOUNOUA « Etude critique des pprts liquides dans le bassin houdna cas de sous bassin versant de K'sob » 2nd International Conference of water Ressources (ICWR) Economy and protection du 21 ou 22 Novembre 2016, Ouargla- Algerie.
- B.BLISSAG, S.DAHMANI, R. BOUNOUA, H.DJAFER KHODJA « Quantification et étude de la variabilité des apports liquide du bassin houdna cas de sous bassin versant de K'sob» 2nd International Conference of water Ressources (ICWR) Economy and protection du 21 ou 22 Novembre 2016, Ouargla- Algerie.
- S.DAHMANI, R. BOUNOUA, H.DJAFER KHODJA « Quantification et étude de la variabilité des apports liquide du bassin houdna cas de sous bassin versant de K'sob» 2nd International Conference of water Ressources (ICWR) Economy and protection du 21 ou 22 Novembre 2016, Ouargla- Algerie.
- Y.ELMEDDAHI, H.DJAFER KHODJA « challenge to manage the risk of water scarcity and climate variability in province of cheli of Algeria» 2nd International Conference On Integrated Environmental Management For Sustainable Development du 27 ou 30 Octobre 2016, sousse - Tunisie.
- H.DJAFER KHODJA, E.CHERIF, Y.ELMEDDAHI, S.DAHMANI, A.FERHATI « Resources and water demands in the center of Algeria situation and prospects » 2nd International Conference On Integrated Environmental Management For Sustainable Development du 27 ou 30 Octobre 2016, sousse - Tunisie.

- H.DJAFER KHODJA, Y.ELMEDDAHI, A.FERHATI « Modélisation d'écoulement dans un barrage en terre » 1^{er} Colloque Internationale Sols Eau et Environnement CISEE2014 du 10-11 Novembre 2014, Université d'Annaba.
- H.DJAFER KHODJA, Y.ELMEDDAHI, A.FERHATI « Modélisation de la digue de barrage ZAOUAI-w. tizi ouzu » 1^{er} Colloque Internationale Sols Eau et Environnement CISEE2014 du 10-11 Novembre 2014, Université d'Annaba.
- Y.ELMEDDAHI, H.DJAFER KHODJA, M.MAHMOUDI « gestion des ressources en eau de la willaya de Chlef en Algérie, défis et solutions » 3^{ème} colloque internationale eau-climat du 21-22 et 23 Octobre 2014, Hammamet Tunisie.
- H.DJAFER KHODJA, E.CHERIF, Y.ELMEDDAHI « Les défis de la gestion des ressources en eau dans la willaya de Bouira – Algérie » 3^{ème} colloque internationale eau-climat du 21-22 et 23 Octobre 2014, Hammamet Tunisie.
- H.DJAFER KHODJA, S.DAHMANI, A.FERHATI « Développement d'un logiciel pour choix des pompes » 7^{ème} Conférence international sur les ressources en eau dans le bassin Méditerranéen du 8-11 Octobre 2014, Université de Cadi Ayyad –Marrakech Maroc.

4- Communication Nationale :

- H.DJAFER KHODJA, A.FERHATI, Y.ELMEDDAHI, S.DAHMANI « Station d'épuration de Bouira : Performance épuratoires et Rendement » 1^{er} Séminaire National sur l'Eau et l'Environnement dans les Zones Arides du 19 et 20 Avril 2015, Université d'Ouargla.
- A.TAZDAIT, H.DJAFER KHODJA « Gestion et économie des ressources en eau par l'irrigation des cultures par l'utilisation des eaux usées épurées (STEP Beni Messous) » 1^{er} Séminaire National sur l'Eau et l'Environnement dans les Zones Arides du 19 et 20 Avril 2015, Université d'Ouargla.
- H.DJAFER KHODJA, E.CHERIF, A.FERHATI, Y.ELMEDDAHI « Contribution à la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'oud ISSER - Algérie » 1^{er} Séminaire National sur l'Eau et l'Environnement du 26 et 27 novembre 2014, Université de Chlef.
- S.DAHMANI, H.DJAFER KHODJA « Développement d'un logiciel de simulation de variation de la qualité d'eau dans les réseaux de distribution d'eau potable » 1^{er} Séminaire National sur l'Eau et l'Environnement du 26 et 27 novembre 2014, Université de Chlef.
- H.DJAFER KHODJA, Y.ELMEDDAHI, D.BALOUL, S.DAHMANI « Gestion des ressources en eau du bassin versant de l'oud ISSER-Algérie » 1^{er} Séminaire National sur les ressources en eau et l'Environnement du 29 et 30 Octobre 2014, Université de Bouira.

5- Soutenance Master en Hydraulique Option Génie Hydrotechnique:

- THEME : Modélisation hydrologique dans un contexte de la variabilité climatique dans le bassin d'Isser. Présenté par : (N. AZZI, A.CHIHATI).
- THEME : Prévision de la sécheresse par réseaux de neurones artificiels et séries chronologiques d'indices de sécheresse. Présenté par : (R. Nemroudi).
- THEME : Modélisation pluie –débit dans le sous bassin de Lakhdaria. Présenté par : (B. SANA, A. FERAHI).
- THEME : Contribution a la Cartographie de la qualité phisico-chimique de Sahel Soummam.Wilaya de Bouira. Présenté par : (S. BELABASS).

6- Soutenance licence en Hydraulique Option Génie de l'eau:

- THEME : Etude et suivi de réseaux d'AEP de quartier ouled Bouchia de la ville de Bouira. W- Bouira : (A. CHEBLI).
- THEME : Sectorisation et gestion de réseaux d'AEP de partie B Nord de la ville de Bouira. W- Bouira (A. SEBTI).

TABLE DES MATIERES

Sommaire

RESUME.....	I
DEDICACE.....	IV
REMERCIEMENT	V
LA VALORISATION DES TRAVAUX DE THESE	VI
TABLE DES MATIERES.....	VIII
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES TABLEAUX	XVI
LISTE DES ABREVIATIONS	XVII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE).....	4
I.1. Introduction.....	4
I.2. La Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE).....	4
I.3. Définition de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant.....	4
I.4. Questions clés dans la gestion de l'eau.....	5
I.4.1. Crise de gouvernance de l'eau.....	5
I.4.2. Garantir l'eau pour les populations.....	5
I.4.3. Contexte mondial (enjeu planétaire).....	5
I.4.4. Principes de gestion de l'eau.....	6
I.5. Mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau.....	7
I.5.1. L'environnement favorable.....	7
I.5.2. Les rôles institutionnels	7
I.5.2.1. Rôle facilitateur des gouvernements	7
I.5.2.2. Rôle de réglementation et de contrôle des gouvernements	7
I.5.2.3. Rôle de prestataires de service des gouvernements	8
I.5.2.4. Rôle des gouvernements dans le cadre d'une participation du secteur	8
I.5.2.5. Rôles et fonctions des organismes à différents niveaux.....	9
I.5.2.6. Rôle international des organisations chargées d'un bassin fluvial.....	10
I.5.2.7. Rôle des administrations locales	10
I.5.3. Instruments de gestion	11
I.5.3.1. L'importance d'une boîte à outils	11
I.5.3.3. Nécessité d'une base de connaissances sur les ressources en eau.....	11
I.5.3.4. Objectif de l'évaluation des ressources en eau	12
I.5.3.5. Demande, fonction du comportement et des préférences des usagers	12
I.5.3.6. Importance des systèmes de mesure et de jaugeage.....	12
I.5.3.7. Evaluation des conséquences pour l'environnement	13
I.5.3.8. Outils d'évaluation des risques	13
I.5.3.9. Gestion des risques.....	13
I.5.3.10. Principe de précaution.....	14
I.5.3.11. Communication (implication renforcée des parties prenantes).....	14
I.5.3.12. L'information, une nécessité pour l'implication des parties prenantes.....	14
I.5.3.13. Stratégies de communication avec les parties prenantes.....	15
I.5.3.14. Ouverture et transparence	15
I.5.3.15. Echange d'informations à l'échelle internationale.....	15

I.5.3.16. Techniques de gestion des conflits.....	15
I.5.3.17. Valorisation grâce aux méthodes de résolution des conflits	15
I.5.3.18. Recherche sur la valorisation des bénéfices environnementaux	16
I.5.4. Instruments de régulation.....	16
I.5.4.1. Contrôles directs	16
I.5.4.2. Instruments économiques.....	17
I.5.4.3. Instruments de l'auto- réglementation	19
I.6. La législation relative à l'eau	20
I.6.1. Législation et volonté politique d'en assurer l'application	20
I.6.2. Exigences de la législation.....	20
I.6.3. Législation, réglementation et règlements	21
I.7. Nouvelle politique de l'eau.....	21
I.8. Cadre de concertation en matière de la gestion intégrée des ressources en eau en Algérie	22
I.8.1. Les Agences de bassin :	23
I.8.2. Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau	23
I.9. Conclusion	24
CHAPITRE II : MODELES DE PLANIFICATION ET DE GESTION DES BASSINS	
HYDROGRAPHIQUES	25
II.1. Introduction	25
II.2. Analyse du bassin hydrographique	25
II.2.1. Synthèse de modèle	25
II.2.2. Approche de modélisation utilisant optimisation	25
II.2.3. Approche de modélisation à l'aide de la simulation	26
II.2.4. Optimisation et simulation.....	26
II.2.5. Planification du projet.....	27
II.3. Modèles de gestion des ressources en eau	27
II.3.1. MIKE BASIN Modèle	27
II.3.2. Hydro Développement Modèle (HYD 2002)	29
II.3.2. 1. Construction des systèmes d'eau.....	29
II.3.2. 2. Simulation et/ou optimisation de la gestion opérationnelle.....	30
II.3.2. 3. Evaluation des performances	30
II.3.3. River Basin Simulation Modèle (RIBASIM)	31
II.3.4. WATER WARE Modèle	31
II.3.5. Integrated Decision Support System with a multicriteria method Modèle (IDSS+)	32
II.3.6. Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé Modèle (GIBSI)	32
II.3.7. BASINS Modèle.....	33
II.3.8. Soil and Water Assessment Tool Modèle (SWAT).....	34
II.3.9. STRATEAU Modèle	35
II.3.10. Modèle intégré au sol et à l'eau Modèle (SWIM).....	36
II.3.11. Water Evaluation And Planing system Modèle (WEAP)	37
II.4. Conclusion	38
CHAPITRE III : LE MODELE WEAP	36
III.1. Introduction	39
III.2. Approche générale de modélisation	39
III.3. Fonctions du système WEAP.....	40
III.4. Principaux objectifs du logiciel.....	41
III.4. Modélisation dans le WEAP	42
III.4.1. Modélisation hydrologique à base physique	42

III.4.2. Modélisation des eaux de surface dans le WEAP	44
III.4.3. Interaction eau de surface- eau souterraine	47
III.4.4. L'agriculture irriguée	48
III.4.5. Système de gestion (le module d'allocation)	49
III.4.6. Besoins en eau	50
III.4.7. Modélisation des réservoirs.....	50
III.5. Les Étapes de développement d'un modèle WEA.....	52
III.5.1. Définition de l'étude	53
III.5.2. Compte courant	53
III.5.3. Scénarios	53
III.5.4. Évaluation.....	53
III.6. Structure du programme	54
III.6.1. Présentation schématique	54
III.6.2. Affichage des données.....	55
III.6.3. Présentation des résultats.....	55
III.6.4. Scénario Explorateur	56
III.6.5. Notes.....	57
CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	58
IV.1. Introduction.....	58
IV.2. Présentation de la zone d'étude.....	58
IV.2.1. Situation géographique.....	58
IV.2.2. Hydrographie et hydrologie du bassin versant de l'oued Isser	60
IV.2.3. Géologie	62
IV.2.3.1. Lithologie	62
IV.2.4. Topographie	64
IV.2.5. Végétation	65
IV.2.6. Climat.....	66
A- pluie moyenne	68
B-Température	68
C-Gelée.....	68
D-Vent.....	69
F- Evaporation.....	69
IV.2.7. Caractéristiques du bassin	70
IV.2.7.1. Géométrie du bassin versant	70
IV.2.7.2. Rectangle équivalent	71
IV.2.7.3. Paramètres du relief.....	71
IV.2.7.4. Paramètres du réseau hydrographique.....	72
IV.3. Présentation des données pluviométriques.....	73
IV.4. Ressources en eau	74
IV.4.1. Les eaux de surface	74
IV.4.1.1. Barrages	74
IV.4.1.2. Retenues collinaires	74
IV.4.2. Les eaux souterraines	75
IV.4.2.1. Nappe du Haut Isser	75
IV.4.2.2. Nappe de plaine de Beni Slimane	75
IV.4.2.3. Nappe de plaine de l'oued Mallah.....	75
IV.4.2.4. Nappe de plaine des Aribis.....	76
IV.4.2.5. Nappe du Bas et Moyen Isser.....	76

IV.4.2.5.1. Nappe du Moyen Isser	77
IV.4.2.5.2. Nappe du Bas Isser.....	77
IV.4.3. Ressource en eaux non conventionnelles.....	79
IV.4.3.1. Réutilisation des eaux usées.....	79
IV.4.3.2. Dessalement d'eau de mer	82
IV.4.4. Transferts	83
IV.5. Besoin en eau	83
IV.5.1. Demande en eau potable	83
IV.5.2. Demande en eau industrielle	84
IV.5.3. Demande en eau d'irrigation.....	84
IV.5.4. Définition et répartition des sols irrigables par bassin versant selon l'ANRH.....	85
IV.6. Conclusion	87
CHAPITRE V : MODELISATION DE LA REGION D'ETUDE AVEC LE MODELE WEAP	88
V.1. Introduction	88
V.2. Analyse critique des études antérieures.....	88
V.2.1. Plan National de l'Eau 1993 (PNE 93).....	88
V.2.2. Plan National de l'Eau 1998 (PNE 98).....	89
V.2.3. Plan National de l'Eau 2006 (PNE 2006).....	89
V.2.4. Plan National de l'Eau 2010 (PNE 2010).....	90
V.3. Discussion de la base de données à utilisée.....	92
V.3.1 Système de projection géographique adopté :	93
V.4. Configuration du modèle.....	93
V.4.1. Disponibilité de la ressource	95
V.4.1.1. Modélisation du climat :	96
V.4.2. Besoins en eau domestique et industrielle.....	98
V.4.3. Réservoirs.....	100
V.4.4. Station d'épuration	101
V.5. Présentation des principaux scénarios	101
V.5.1. Scénario de référence « Business-As-Usual » (BAU).....	102
V.5.2. Scénario de changement climatique : séquences sèches « Dry Climate Change (DCC scenario) ».....	102
V.5.3. Scénario de développement des GPI séquences humides « Wet Climate Change (WCC) scenario ».....	103
V.5.4. Scénario de la gestion de la demande: Demande Management « DM scenario »	103
V.5.5. Scénario du développement du niveau de vie : Développement of Standard of Living « DSL scenario ».....	103
V.5.6. Scénario de développement des GPI : Development of Large Irrigation Systems « DLIS scenario ».....	104
V.5.7. Scénario d'augmentation du volume d'eau : Développement des Barrages	104
V.5.8. Scénarios de combinaisons.....	105
V.6. Calage et validation du modèle	105
V.7. Analyse des scénarios de la gestion.....	108
V.7.1. Situation actuelle (Année 2010)	108
V.7.2. Scénario de référence	108
V.7.2. 1. Evolution de la population.....	108
V.7.2. 2. Projections de l'Offre.....	109
V.7.3. Scénario de Fort Accroissement de la Population	111

V.7.4. Scénario de développement des GPI : Développement of Large Irrigation Systems « DLIS scenario ».....	112
V.7.5. Scénario de changement climatique « séquences humides».....	114
V.7.6. Scénario de changement climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé»	117
V.7.7. Scénario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume»	118
V.7.8. Scénario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé	120
V.7.9. Scénario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé.....	122
V.7.10. Scénario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI	124
V.7.11. Comparaison des scénarios.....	127
V.8. Conclusion.....	128
CONCLUSION GENERALE	129
BIBLIOGRAPHIE	141
ANNEXES	144

LISTE DES FIGURES

Figure II. 1 : Interface Modèle MIKEBASIN	29
Figure II. 2: Interface Modèle HyD2002.....	30
Figure II. 3: Interface Modèle RIBASIN.	31
Figure II. 4: Interface Modèle WATER WARE.	32
Figure II. 5 : Interface Modèle GIBSI window.	33
Figure II. 6: Interface Modèle BASINS.	34
Figure II. 7: Interface Modèle ArcView SWAT	35
Figure II. 8: Modèle STRATEAU	36
Figure II. 9: Interface Modèle WEAP.	38
Figure III. 1: Conceptualisation des processus hydrologiques intégrés et des opérations de gestion de l'eau dans WEAP.....	41
Figure III. 2: Caractérisation de l'avant et l'après développement du bassin versant qui met en évidence les conséquences de l'infrastructure des ressources en eau sur le cycle hydrologique.....	43
Figure III. 3: La Composante de l'hydrologie physique dans le WEAP 21 avec les différentes réalités hydrologiques.....	44
Figure III. 4: Schéma des deux couches du stockage de l'humidité du sol, montrant les différentes entrées et sorties hydrologiques pour une couverture du sol ou un type de culture,	45
Figure III. 5: Schéma du système d'eau souterraine stylisée, et ses variables connexes.	48
Figure III. 6: Les différents volumes de stockage utilisés pour décrire les politiques d'exploitation d'un réservoir.....	51
Figure III. 7: Développer une application WEAP.	52
Figure III. 8: Interface WEAP - Exemple de vue schématique	54
Figure III. 9: WEAP - Exemple de fenêtre de données.	55
Figure III. 10: WEAP - Exemple de résultats.....	56
Figure III. 11: Aperçus d'un exemple de la vue.....	57
Figure III. 12: Aperçus d'un exemple de Notes.	57
Figure IV. 1: Situation géographique de la zone d'étude.	58
Figure IV. 2: Situation Géographique du Bassin versant Isser.....	59
Figure IV. 3: Carte Géologique de bassin versant Isser.	60
Figure IV. 4: Profil en long de l'oued principal de BV Isser.	61
Figure IV. 5: Réseau hydrographique du bassin versant Isser..	62
Figure IV. 6: Carte lithologique du bassin versant Isser.	64
Figure IV. 7: Carte des pentes.	65
Figure IV. 8: Carte d'occupation de sol.	66
Figure IV. 9: Carte des étages bios climatiques.	70
Figure IV. 10: Carte des sous bassin hydrographique.....	71
Figure IV. 11: Implantation des stations pluviométriques utilisées.	73
Figure IV. 12: Carte les différentes nappes de BV Isser.	79
Figure IV. 13: Image satellitaire des stations de Dessalement d'eau de mer Algérien.	82
Figure IV. 14: Transfert de la willaya de Bouira.....	83

Figure V. 1: Arc Map- Exemple de fenêtre de données.....	87
Figure V. 2: Modélisation des bassins versants Isser centre de l'Algérie à l'aide du modèle WEAP. .	94
Figure V. 3: les ressources en eau modélisées dans le WEAP.....	95
Figure V. 4: Les données des paramètres météorologiques intégrées dans le WEAP.	96
Figure V. 5: Les différentes méthodes pour simuler des processus de bassins versants.	97
Figure V. 6: présentation de La Méthode de l'année hydrologique dans le WEAP.....	98
Figure V. 7: Les différentes données nécessaires de besoin en eau dans le WEAP.....	98
Figure V. 8: Les données des barrages intégrés dans le modèle WEAP.....	100
Figure V. 9: Les données des STEP intégrés dans le modèle WEAP.	101
Figure V. 10: Les scénarios proposés dans le modèle WEAP.	104
Figure V. 11: Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Situation actuelle).	108
Figure V. 12: Evolution de la population de la région jusqu'au 2040.....	109
Figure V. 13 : Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040.....	110
Figure V. 14: Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Scenario de référence). .	110
Figure V. 15 : Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 (Scenario de Fort Accroissement de la Population).	111
Figure V. 16 : Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Scenario de Fort Accroissement de la Population).	111
Figure V. 17: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population par rapport ou scenario référence.	112
Figure V. 18: Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 (Scenario de développement des GPI).	113
Figure V. 19 : Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Scenario de développement des GPI).	113
Figure V. 20: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de développement des GPI par rapport ou scenario référence.	114
Figure V. 21 : Montage du Scenario de Changement climatique « séquences humides».	115
Figure V. 22: Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 Scenario de Changement climatique	115
Figure V. 23 : Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Scenario de Changement climatique « Séquences Humides».).....	116
Figure V. 24 : Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Changement Climatique .	116
Figure V. 25: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Changement Climatique	117
Figure V. 26: Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Demande Scenario de Changement Climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé»).	117
Figure V. 27 : Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Changement Climatique .	118
Figure V. 28: Résultat WEAP Demande en eau Scenario Retenue Ajouté «Augmentation de volume».	119
Figure V. 29: Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Scenario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume»).	119
Figure V. 30: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume» par rapport ou scenario référence.....	120
Figure V. 31: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé.	121
Figure V. 32: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé.	121

Figure V. 33: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé et scénario référence.	122
Figure V. 34: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de développement des GPI et le changement et changement climatique - Climat Sec Prolongé.....	123
Figure V. 35: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé.	123
Figure V. 36: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé.	124
Figure V. 37: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.....	125
Figure V. 38: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.....	125
Figure V. 39: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.....	126
Figure V. 40: Résultat WEAP Demande en eau des différents Scenarios.	127
Figure V. 41: Résultat WEAP Demande de fiabilité du site des différents Scenarios.....	127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV. 1: Identification des stations pluviométriques existantes dans le bassin versant d'oued Isser	67
Tableau IV. 2: Stations Hydrométriques existants dans le Bassin versant d'oued Isser.	67
Tableau IV. 3: Distribution moyenne mensuelle des pluies des cinq (05) stations pluviométriques	68
Tableau IV. 4: Répartition moyenne mensuelle de la température (°c).	68
Tableau IV. 5: Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou.	68
Tableau IV. 6: Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et Bir Ghbalou.	69
Tableau IV. 7 : ETP des Différentes stations hydrométriques en (mm).	69
Tableau IV. 8: Superficies des sous bassins de l'Isser.	70
Tableau IV. 9: Synthèse de caractéristiques du bassin d'Isser.	72
Tableau IV. 10: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.	73
Tableau IV. 11: Les Barrages de bassin hydrographique Isser.	74
Tableau IV. 12: Capacité des retenus collinaire par willaya.	74
Tableau IV. 13: Les critères de propriété pour la réalisation des STEP.	79
Tableau IV. 14: La capacité des STEP par willaya.	81
Tableau IV. 15: Proposition de programmation des STEP 2016-2040	81
Tableau IV. 16: stations de dessalement par willaya	82
Tableau IV. 17: Besoin en eau potable par willaya.	83
Tableau IV. 18: Besoin en eau industrielle par willaya.	84
Tableau IV. 19: Répartition des sols irrigables et non irrigables sur l'ensemble de l'Algérie.	85
Tableau IV. 20: Projection des besoins totaux en eau des GPI.	86
Tableau IV. 21: Projection des GPI programmé future.	86
Tableau V. 1: Paramètres d'entrées et leurs sensibilités.	106

LISTE DES ABREVIATIONS

- ABH** : Agences de Bassins Hydrographiques.
ABH/AHS : Agences de Bassins Hydrographiques : Algérois-Hodna-Soummam.
ABOPOL : Modèle hydraulique d'eau de surface et de qualité.
ACCESS : Outils de gestion des données.
ADE : Algérienne des Eaux.
AEI : Alimentation en eau industrielle.
AEPI : Alimentation en eau potable et industrielle.
AGIRE : Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau.
ANBT : Agences Nationale des barrages et transferts.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
ASSESS: Estimate officially the value.
BASINS : Système d'analyse environnemental à l'échelle de bassins versants.
BAU : Business-As-Usual
BLTM : Modèle localisé de qualité des eaux sur du court terme.
BODEP : Modèle de l'activité agricole et de ses conséquences sur la ressource en eau.
CNUED : Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement.
CRN : Côte du niveau crête.
CROPWATER: Décision support system developed by the Land and Water Development Division of FAO for planning and management of irrigation.
DAPE : Direction de l'assainissement et de la protection de l'environnement.
DCC scenario : Climate Change scenario
DHI : Organisation mondiale dédiée à la résolution des problèmes d'environnement aquatique dans le monde
DLIS scenario : Development of Large Irrigation Systems scenario
DM scenario : Demande Management scenario.
DSA : Direction des Services Agricoles.
DSL scenario: Development of Standard of Living scenario.
DRE : Direction de ressource en eau
ETP : Evapotranspiration potentielle
FAO : Food and Agriculture Organization.
FD : Faiblesse des données
GIBSI : Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé.
GIEBV : Gestion intégrée de l'eau par bassin versant.
GIRE : Gestion intégrée des ressources en eau
GPI : Grands Périmètres Irrigués
GRASSLAND : Outils de gestion des données.
GWP : Global Water Partneship : Partenariat Mondial de l'Eau.
HRUs : Hydrological Response Units.
HSPF: (Hydrological Simulation Program – Fortran).
HyD 2002 : Hydro Développement 2002 modèle.
HYDROTEL : Hydrologie modèles de simulation.
IDSS+ : Integrated Decision Support System with a multicriteria method
INRS : Interface graphique, d'une base de données et d'un pilote des simulations.
IWD : Modèle saisonnier de demande en eau pour l'irrigation.

Kc : Coefficient de plantes / culture
MABIA : Simulation quotidienne de la transpiration, de l'évaporation, des besoins en irrigation et en programmation
MIKE BASIN: River basin management and planning.
MODFLOW : modèle d'eaux souterraines.
MODPATH : modèle de risque de contamination des eaux souterraines.
MRE : Ministère ressource en eau.
NTD : coefficient de Nash.
NDPES : Système national d'élimination des rejets de polluants.
ONA : Office Nationale d'assainissement.
ONID: Office National d'irrigation et drainage.
ONG : organismes national des gouvernementaux.
ONM : Office National de la Météorologie.
ONS : Office National des Statistiques.
PHE : côte du niveau crête les plus hautes eaux.
PHYSITEL: outil d'aide à la préparation des données.
PMH : Petite et moyenne hydraulique
PNE : Plan National de l'Eau.
QUAL2E : Qualité de l'eau et érosion des rivières.
REUE : Réutilisation des eaux usées épurées.
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
RIBASIM: River Basin Simulation Model.
RMSE : Root Mean Square Error : Racine Moyenne Erreur Carré
RRF : Coefficient de résistance du ruissellement conceptuel.
SEI : Stockholm Environment Institute.
SIG : Système d'information géographique.
SMAP: Soil Moisture Accounting Procedure.
SOGREAH : Bureau d'étude.
SPEED : Méthode probabiliste de séries d'apports mensuels.
STEP : stations d'épuration.
Strateau : Outil d'aide à la décision.
STREAM : Modèle quotidien de qualité des eaux.
SWAT: Soil and Water Assessment Tool.
SWAT/EPIC : Soil and Water Assessment Tool / cycle et transport de polluants agricoles.
SWIM : Modèle intégré au sol et à l'eau
TARGET : Outils de gestion des données.
USDA-ARS : Département Américain de l'Agriculture, Agricultural Research Service.
UTM : projection Transverse universelle
WATER WARE: Water Resources Management Information System.
WCC scenario : Climate Change scenario.
WEAP: Water Evaluation And Planing system.
WGS84 : World Geodetic System 1984
WRM : Modèle quotidien de ressources en eau.
XGW : Modèle de transport et de débit des eaux souterraines.
WUS : water use simulation.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La préservation de la ressource en eau est un des enjeux fondamentaux de notre époque. L'augmentation des prélèvements et des rejets due à la croissance démographique et au développement économique menace de plus en plus la quantité et la qualité de cette ressource vitale.

La prise de conscience internationale de ces risques a conduit certains Etats à se doter de moyens réglementaires afin d'organiser au mieux et de façon durable la gestion des ressources en eau.

En l'Algérie, la loi N° 95- 418 du 11 décembre 1995 complétée par la loi N° 05-12 du 04 août 2005 relative à l'eau instaure une gestion par unité hydrologique, respectant une approche intégrée de la ressource hydrique. Cette approche intégrée prend en compte les différentes dimensions de la ressource (qualité, quantité, usages, milieux...) et les interactions entre eux. Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, dont le principe est défini dans cette loi, associent dans une même structure de concertation : les représentants de l'Etat, les élus locaux et les usagers. Cette structure permet, à l'échelle de bassins versants ou de nappes souterraines régionales, une gestion concertée des usages de l'eau et une protection des milieux aquatiques qui garantissent la qualité de la ressource en eau.

Mais, une ressource en eau et ses usages constituent un système complexe : un ensemble de nombreuses variables liées par des interactions. Le comportement de ce système ne peut pas être compris facilement : l'emploi de la modélisation permet d'améliorer sa compréhension et de simuler des prises de décision.

La modélisation pose le problème de la représentation de l'information nécessaire à la décision. L'information liée à une ressource naturelle comme l'eau est caractérisée tant par une variabilité spatiale des données, que par une connaissance le plus souvent qualitative des phénomènes et par des interactions fortes entre les éléments de l'hydro système.

L'analyse spatiale permet d'extraire les relations existantes entre les éléments de ce système de ressource. Chaque élément ne peut pas être pris isolément de son contexte géographique, il faut le situer dans son environnement, d'où la nécessité d'utiliser de nouveaux outils de modélisation. Un système d'évaluation et de planification des Eaux (WEAP: Water Evaluation And Planning System) constitue un outil pertinent pour représenter l'espace et les interactions

se produisant à l'intérieur de cet espace. Plus qu'une base de données stockant des informations géo référencées, le WEAP est le support d'une analyse spatiale approfondie.

La manipulation de données géographiques dans un but d'aide à la décision nécessite d'estimer la fiabilité des résultats en analysant les erreurs et leur propagation au cours des traitements. Une synthèse de différentes méthodes employées à ce sujet est présentée et appliquée dans le cadre de cette thèse.

WEAP est un outil convivial qui adopte une approche intégrée dans la planification des ressources en eau. Les défis de la gestion de l'eau sont de plus en plus communs. L'allocation des ressources limitées en eaux entre agriculture, les utilisations municipales et environnementales, requiert maintenant une intégration de l'offre, de la demande, de la qualité de l'eau et des considérations écologiques. Le système d'Evaluation et de Planification de l'Eau, ou WEAP, vise à intégrer ces éléments dans un outil pratique et robuste pour la planification des ressources en eau.

Nous présenterons plusieurs scénarios réalisées dans le domaine de la gestion intégré des ressources en eau sur le bassin versant Isser. Ces applications traitent de la quantification des ressources en eau.

L'objectif de cette thèse est de montrer comment le WEAP peut contribuer au dialogue entre les scientifiques, les techniciens et les décideurs. Ce travail s'adresse aux chercheurs et les membres des structures de décision des gestions intégrées des ressources en eau, car ces responsables ont besoin de posséder un outil de représentation des problèmes qui leur sont soumis afin de gérer en connaissance de cause. Certaines fonctions sont désormais triviales avec un WEAP.

Les différentes étapes de ce travail sont articulées de la manière suivante:

Dans une première partie, nous présenterons le cadre générale et la problématique de gestion intégrée des ressources en eau en suite la politique de gestion intégrée des ressources en eau en Algérie.

En seconde partie, nous étudierons les outils informatiques modernes, la variabilité spatiale et temporelle des ressources en eau. Nous présenterons d'abord l'intérêt des Systèmes d'évaluation et de planification des eaux dans ce domaine, puis celui des modèles hydrologiques.

En troisième partie, nous nous appuierons sur l'exemple d'Isser pour effectuer des simulations avec le modèle WEAP qui ont toutes montré que la demande domestique peut être satisfaite sous les scénarios de la gestion de demande et le développement du niveau de vie, sont les procédures nécessaires à la bonne gestion des ressources disponibles. Toutefois,

la demande agricole ne peut être satisfaite sous les scénarios de développement des GPI, que si les besoins en eau pour les zones déficitaires étaient satisfaits à partir du futur projet de réalisation des barrages.

Enfin, nous concluons sur la validité et les limites de l'approche des scénarios et sur des recommandations pour la gestion future des ressources en eau dans la région.

***CHAPITRE I : LA GESTION INTEGREE
DES RESSOURCES EN EAU (GIRE)***

CHAPITRE I : LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE)

1.1. Introduction

L'eau est un élément de survie, qui conditionne fortement le développement social et économique et le changement climatique. Qui est conscience de la nécessité et de l'urgence de modifier la politique de l'eau à travers le monde.

La gestion intégrée est une approche très prometteuse pour affronter les défis de la gestion des ressources en eau. Son intérêt est de créer un consensus sur les modalités de gestion de la ressource en eau. (A. Larbi, 2012).

1.2. La Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

La gestion intégrée des ressources en eau est un concept logique et attrayant. Son fondement est que les nombreuses utilisations différentes des ressources en eau sont interdépendantes. Ceci est évident pour nous tous. La forte demande d'irrigation et les écoulements de drainage fortement pollués signifient moins d'eau douce à boire ou à usage industriel; les eaux usées municipales et industrielles contaminées polluent les rivières et menacent les écosystèmes; si nous devons laisser de l'eau dans une rivière pour protéger la pêche et les écosystèmes, nous pouvons utiliser moins d'eau pour la production agricole. En ce qui concerne ce thème fondamental, de nombreux exemples montrent que l'utilisation non réglementée de ressources en eau rares est un gaspillage, en soi non durable. (A. Larbi, 2012).

1.3. Définition de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée est un mode de gestion qui vise à inclure les intérêts, les ressources et les contraintes de tous les acteurs impliqués dans le même domaine et le même environnement. Cela permet d'éviter que chacun prenne en compte ses propres préoccupations et responsabilités lors de la prise de décision.

La gestion intégrée de l'eau prend donc en compte l'ensemble des usages et des utilisateurs ayant un impact sur la ressource en eau. Cela permet d'avoir une vision globale et de connaître les effets cumulatifs des activités sur la ressource en eau et les différentes utilisations de l'eau. Lorsque les utilisations de l'eau et les activités qui affectent l'eau sont considérées isolément, l'effet sur la ressource peut sembler négligeable. Cependant, pris ensemble, l'impact peut être majeur.

Ainsi, la gestion intégrée des bassins versants (GIEBV) est un mode de gestion prenant en compte toutes les activités ayant un impact sur la ressource en eau au sein d'un bassin versant. Il permet de prendre en compte la capacité du bassin versant à supporter les différentes utilisations de l'eau et à obtenir une vision globale afin de préserver la ressource et les utilisations de l'eau pour les générations futures. (Conseil de l'Eau Gaspésidé sud, 2019).

1.4. Questions clés dans la gestion de l'eau

1.4.1. Crise de gouvernance de l'eau

Les approches sectorielles en matière de gestion des ressources en eau ont prévalu par le passé et continuent de prévaloir. Il en résulte une gestion et un développement de la ressource non coordonnés et fragmentés. En fait, la gestion de l'eau est généralement assurée par les institutions descendantes, institutions dont la légitimité et l'efficacité sont de plus en plus remises en cause. Ainsi, une gouvernance insuffisante aggrave la concurrence accrue pour une ressource finie. La GIRE assure la coordination et la collaboration entre les différents secteurs, en plus d'une gestion locale rentable. (P. Taylor, 2005).

1.4.2. Garantir l'eau pour les populations

Bien que la plupart des pays accordent la priorité à la satisfaction des besoins humains fondamentaux en eau, un cinquième de la population mondiale n'a pas accès à de l'eau potable et la moitié de la population n'a pas accès à de l'eau potable. Ces lacunes dans les services concernent principalement les couches les plus pauvres de la population des pays en développement. Dans ces pays, la satisfaction des besoins en eau et en assainissement des zones rurales et urbaines est l'un des défis les plus graves des prochaines années. L'un des objectifs du Millénaire pour le développement consiste à réduire de moitié le nombre de personnes sans services d'approvisionnement en eau et d'assainissement d'ici 2015. Cela nécessitera une réorientation substantielle des priorités d'investissement, ce qui sera réalisé beaucoup plus facilement dans les pays qui appliquent également la GIRE. (P. Taylor, 2005).

1.4.3. Contexte mondial (enjeu planétaire)

Le consensus international sur la gestion intégrée des ressources en eau s'est développé au cours de plusieurs années et a été influencé par un certain nombre d'événements importants. L'un des plus importants est la Décennie internationale de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement des Nations Unies (1981-1990), également appelée "Décennie de l'eau". Après la Décennie de l'eau, une conférence internationale sur l'eau et

l'environnement s'est tenue à Dublin en 1992. Il s'agissait de la conférence la plus importante depuis les Nations Unies à Mar de Plata en 1977. Cette conférence a fourni les principales données de base sur les problèmes d'eau douce à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) tenue à Rio de Janeiro en juin 1992. La CNUED avait pour objectif d'élaborer des stratégies et des mesures visant à enrayer et à inverser les effets de la dégradation de l'environnement, favorisant ainsi la gestion intégrée des ressources en eau.

Un autre événement important a été la création du Partenariat mondial sur l'eau (GWP) et du Conseil mondial de l'eau en 1996 pour améliorer la coordination des activités dans le secteur de l'eau. L'eau au niveau international. Les deux institutions sont responsables de la coordination de la mise en œuvre des principes et des pratiques de la GIRE dans le monde entier. Un plan d'action global pour les années 90 et au XXI^e siècle, appelé Action 21, a été mis au point. (Banque Africaine De Développement, 2000).

1.4.4. Principes de gestion de l'eau

La Conférence internationale sur l'eau et l'environnement, réunie à Dublin (Irlande) du 26 au 31 janvier 1992: La situation mondiale de l'eau est désormais critique, la rareté de l'eau douce et son utilisation inconsidérée compromettent de plus en plus la possibilité d'un développement écologiquement rationnel et durable. - L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle à la vie, au développement et à l'environnement.

-- L'eau soutenant la vie, la gestion efficace des ressources en eau nécessite une approche globale reliant le développement économique et social à la protection des écosystèmes naturels. Une gestion efficace relie différentes utilisations des terres et des eaux à travers le bassin hydrographique et la zone de l'aquifère souterrain

--Le développement et la gestion des ressources en eau devraient être fondés sur une approche participative, associant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux: l'approche participative consiste à sensibiliser à l'importance des décideurs et du grand public. Cela signifie que les décisions sont prises au niveau approprié le plus bas, avec une consultation publique complète et la participation des utilisateurs à la planification et à la mise en œuvre des projets d'approvisionnement en eau.

-- Les femmes jouent un rôle central dans la fourniture, la gestion et la préservation de l'eau. Le rôle des femmes en tant que fournisseuses et utilisatrices d'eau et gardiennes de l'environnement devrait être mis en évidence dans les accords institutionnels. (Politiques positives requises).

-- L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue comme un bien économique. Le droit fondamental de tous les êtres humains d'avoir accès à de l'eau potable saine et à des installations d'assainissement à un prix abordable. Le fait de ne pas reconnaître la grande importance de l'eau a conduit au gaspillage et à l'environnement à des utilisations nocives de l'eau. (Banque Africaine De Développement, 2000).

1.5. Mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau

1.5.1. L'environnement favorable

- Pour protéger les droits et les avoirs de toutes les parties prenantes et protéger les biens publics tels que les valeurs environnementales intrinsèques, il est impératif d'évoluer dans un environnement favorable approprié.

- Pour assurer l'efficacité, l'équité et la durabilité de la gestion intégrée de l'eau, il doit y avoir un profond changement au sein des institutions. Il est nécessaire d'impliquer toutes les parties prenantes de haut en bas et de bas en haut.

- Il est essentiel d'impliquer les entreprises privées, les organisations communautaires spécialisées dans les femmes et les groupes marginalisés, les ONG et d'autres secteurs de la société civile. Tous ces organismes ont un rôle important à jouer en termes d'accès à l'eau, en trouvant un équilibre entre conservation et valorisation, et respect de la dimension économique et sociale de l'eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2. Les rôles institutionnels

1.5.2.1. Rôle facilitateur des gouvernements

La stratégie participative implique de sensibiliser les décideurs et le grand public à l'importance de la gestion intégrée des ressources en eau. En ce qui concerne les projets dans le secteur de l'eau, le rôle moteur des gouvernements implique que les stratégies normatives centralisées cèdent le pas à la création d'un cadre pour un développement participatif et durable.

1.5.2.2. Rôle de réglementation et de contrôle des gouvernements

La prise de décision, la planification, l'attribution d'eau, la surveillance, l'application des règles et la résolution complète des conflits sont des questions sur lesquelles les gouvernements doivent se pencher. Aujourd'hui, il est généralement admis que les gouvernements jouent de moins en moins le rôle de fournisseurs de services et agissent plutôt

comme des pôles de régulation et de contrôle vis-à-vis des fournisseurs de services spécialisés. De cette manière, d'autres parties prenantes, telles que le secteur privé ou des organismes paraétatiques indépendants, pourraient être en mesure de fournir des services qui sont surveillés et contrôlés par un régulateur. Cette tendance à éloigner les gouvernements de ce rôle de fournisseurs de services a été alimentée non seulement par des problèmes de lacunes, de conflits d'intérêts et de manque de transparence dans la gestion, mais aussi par le fait que de nombreux gouvernements sont confrontés à des difficultés de financement croissantes en ce qui concerne investissements nécessaires pour le secteur de l'eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2.3. Rôle de prestataires de service des gouvernements

Certes, tous les gouvernements devraient faire de leur mieux pour transférer la prestation de services à des acteurs non étatiques, mais dans certains pays, une telle stratégie peut prendre des années à mettre en œuvre. De plus, comme les services des eaux comportent clairement des éléments publics de qualité, il est donc nécessaire de veiller à la durabilité des investissements publics. Lorsque les gouvernements conservent un rôle de prestataires de services, il est important de respecter le principe selon lequel les organismes de prestataires ne doivent en aucun cas être responsables de la réglementation. Ainsi, la séparation des fonctions de réglementation et d'application renforce la transparence et la responsabilité. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2.4. Rôle des gouvernements dans le cadre d'une participation du secteur

- Par secteur privé, nous entendons le secteur des entreprises ainsi que les organisations communautaires. Aujourd'hui, il est généralement admis que la participation du secteur privé à l'approvisionnement en eau, en particulier dans le secteur de l'eau et de l'assainissement, réduit le rôle et le fardeau des gouvernements dans la gestion de l'eau et de l'assainissement. Mais ce n'est pas toujours le cas: les tâches évoluent au fur et à mesure que les fonctions opérationnelles sont dévolues aux acteurs du secteur privé, mais les organismes publics doivent être en mesure de surveiller la fourniture des services et des services. Le réglementer afin de s'assurer que le prix de l'offre est adéquat et raisonnable.

- Tous les marchés ont besoin du soutien des gouvernements pour créer un environnement juridique, social et économique propice au commerce et à la concurrence. En principe, les ressources en eau disponibles peuvent être commercialisées sur un marché, de sorte que l'eau

puisse être utilisée dans le cadre de ses utilisations à valeur maximale. Bien que plus efficaces en théorie, les marchés de l'eau ne peuvent fonctionner que si des mesures institutionnelles adéquates ont été mises en place. Des mécanismes doivent également être mis en place pour garantir que le commerce ne génère pas de coûts externes pour les autres utilisateurs d'eau (y compris l'environnement), que les groupes d'intérêts puissants ne peuvent pas monopoliser l'offre et que les groupes défavorisés aient accès aux services de base. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2.5. Rôles et fonctions des organismes à différents niveaux

A- Organismes nationaux: Souvent, la création d'un organe "suprême" au niveau national peut être souhaitable pour la gestion intégrée des ressources en eau. Cet organe devrait au moins être responsable de l'élaboration des politiques et des stratégies, ainsi que de la coordination et de la planification nationales de l'eau. De préférence, il doit être indépendant des principaux utilisateurs d'eau et constituer un gouvernement de haut niveau. Les organisations nationales peuvent également collecter et diffuser des informations et, sous certaines conditions, réglementer et surveiller les actions des organisations aux niveaux inférieurs.

B- Stratégies ascendantes et descendantes: Lors de l'élaboration des politiques et de la mise en application, de la consultation, de la coordination et des organismes de réglementation, il convient de prendre en compte l'ampleur pertinente de leurs activités. La gestion intégrée des ressources en eau repose sur un axiome clé: en termes de gestion, les stratégies descendantes traditionnelles doivent être complétées ou partiellement remplacées par des stratégies ascendantes pour que le secteur de l'eau soit axé sur la demande et puisse améliorer la situation. Bien-être de tous les utilisateurs finaux. Pour que les stratégies ascendantes soient efficaces, il peut être nécessaire de créer de nouvelles institutions.

C- Gestion au niveau d'un état, d'une province ou d'une région: Dans de nombreux pays, l'eau est gérée au niveau d'un État fédéré, d'une province ou d'une région et non au niveau national. Comme ce niveau de gouvernement est généralement plus proche des utilisateurs, il doit généralement examiner des questions telles que la répartition de l'eau, l'approbation des rejets d'eaux usées, la collecte de redevances, l'application des normes, le respect des permis, la surveillance et l'évaluation des ressources en eau, l'arbitrage de conflit planification à grande échelle de l'utilisation des terres. Dans certains pays, les municipalités, les industries et d'autres utilisateurs d'eau ont été regroupés au sein d'organisations à vocation spécifique afin de mettre en œuvre des mesures de gestion de l'eau. Les organisations sous-nationales

peuvent également assumer des fonctions de réglementation et veiller à ce que les fournisseurs de services respectent leurs obligations. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2.6. Rôle international des organisations chargées d'un bassin fluvial

Les organisations de bassin hydrographique peuvent également être utiles, en tant que mécanisme, pour la gestion des ressources en eau internationales. Il existe de nombreux exemples d'organisations de ce type dans le monde ayant des objectifs et des fonctions variés, ce qui suggère qu'elles peuvent contribuer à une gestion pacifique, équitable et négociée des eaux partagées. La simple existence de ces types d'organes, qui constituent un forum dans lequel exprimer leurs points de vue et négocier, encourage les États à discuter et à résoudre leurs problèmes communs avant que les désaccords ne conduisent à une véritable crise. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.2.7. Rôle des administrations locales

Dans certains pays, l'approvisionnement en eau et l'assainissement relèvent de la responsabilité des gouvernements locaux. Dans ce type d'administration, les services offerts devraient être mieux adaptés aux besoins des consommateurs et des fournisseurs, plus responsables de leurs actions. Mais ce transfert de responsabilités pose plusieurs problèmes: • Pour que le système soit efficace, il est important de protéger les fournisseurs de toute ingérence politique à court terme.

- Les finances des fournisseurs doivent être clairement séparées des comptes généraux de l'organisation dépendant de l'administration locale;
- Afin de minimiser le risque de détournement, il peut être approprié de confier le suivi des performances, l'analyse comparative et certains aspects de la réglementation à un niveau de gouvernement supérieur ou à un organisme indépendant.

- Il est nécessaire de disposer d'institutions capables de veiller à ce que les fournisseurs locaux n'ignorent pas les effets de leurs actions sur les utilisateurs d'eau en aval ou les autres acteurs du bassin hydrographique.

- Lorsque les limites d'un gouvernement local ne couvrent pas toute la clientèle ou que plusieurs gouvernements locaux sont impliqués dans la région, il peut être nécessaire de mettre en place des mécanismes de coordination.

- Les petites municipalités peuvent avoir besoin de relier leurs installations ou leurs activités d'approvisionnement et d'assainissement pour réaliser de véritables économies d'échelle;

- Il est important que les gouvernements locaux soient conscients que l'utilisation des sols, le développement économique et les politiques sociales peuvent avoir un impact significatif sur la demande en eau et la génération de déchets en provenance de l'eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3. Instruments de gestion

1.5.3.1. L'importance d'une boîte à outils

Les outils de gestion utilisés dans le contexte de la gestion intégrée des ressources en eau sont les outils et méthodes permettant aux décideurs de choisir, de manière rationnelle et informée, différentes actions possibles. Ces choix doivent être fondés sur des politiques reconnues, les ressources disponibles, l'impact environnemental et les conséquences sociales et économiques. L'analyse des systèmes, la recherche opérationnelle et la théorie de la gestion fournissent aux spécialistes un large éventail de méthodes quantitatives et qualitatives. Ces méthodes, combinées à des connaissances en économie, hydrologie, hydraulique, sciences de l'environnement, sociologie et autres disciplines en rapport avec le problème, sont utilisées pour définir et évaluer divers plans et projets. Application de la gestion des ressources en eau. Tout l'art de la gestion intégrée des ressources en eau consiste à savoir ce qu'est la "boîte à outils", puis à sélectionner, rectifier et appliquer l'ensemble des outils adaptés aux circonstances. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.3. Nécessité d'une base de connaissances sur les ressources en eau

De nombreux pays disposent d'informations rares, fragmentées, obsolètes ou inappropriées sur les ressources en eau. Sans accès pertinent aux informations scientifiques sur le cycle de l'eau et les écosystèmes associés, il n'est pas possible d'évaluer les ressources ni de concilier la disponibilité et la qualité de l'eau et ses besoins. En conséquence, le développement d'une base de connaissances sur les ressources en eau est une condition préalable à une gestion efficace de l'eau. En s'appuyant sur une telle base, les gestionnaires peuvent dresser un inventaire des ressources et établir les limites naturelles de la gestion. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.4. Objectif de l'évaluation des ressources en eau

Le concept d'évaluation des ressources en eau est interprété ici comme impliquant une vision globale de la situation de l'eau et de son interaction avec l'utilisation qui en est faite par la société dans un pays ou une région donnés. Les évaluations devraient porter sur la quantité et la qualité relative des eaux de surface et des eaux souterraines, dans le temps et dans l'espace, et fournir une estimation préliminaire des besoins en eau pour le développement planifié. En tant que tel, il est clair que des mesures comparatives doivent être effectuées sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et son degré d'utilisation (production par goutte). Dans la phase initiale, les évaluations devraient être fondées, dans la mesure du possible, sur des données et des connaissances réelles, afin que la mise en œuvre des améliorations en matière de gestion ne soit pas indûment retardée. Le but des évaluations n'est pas de trouver une solution à un problème, mais d'identifier et de répertorier les problèmes et d'identifier les domaines prioritaires pour des recherches plus poussées. . (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.5. Demande, fonction du comportement et des préférences des usagers

Il est important de noter que la base de connaissances sur l'eau doit inclure des données sur les variables qui influencent la demande. Pour évaluer les besoins en eau, il n'est possible d'adopter une perspective réaliste et flexible que si ce type de données est disponible. S'ils ne prennent pas en compte les problèmes de pénurie d'eau et de concurrence, les planificateurs sectoriels risquent d'être trop optimistes quant aux développements potentiels et aux besoins en ea. Une gestion efficace de l'eau peut avoir un impact significatif sur la demande. L'utilisation de stratégies de projection de la demande en eau peut être bénéfique dans la mesure où elle peut identifier des catégories potentielles de besoins futurs. En outre, l'évaluation de la demande réelle à travers l'analyse du comportement des utilisateurs en cas de pénurie fournit des informations importantes qui sont absolument essentielles pour l'élaboration de politiques de prix pertinentes. . (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.6. Importance des systèmes de mesure et de jaugeage

L'évaluation de la disponibilité et de la qualité des ressources en eau et de leur éventuelle transformation à long terme due à la consommation, aux variations climatiques ou aux changements d'affectation des sols est étroitement liée à la disponibilité de données fiables. Des systèmes de mesure et de jaugeage. Pour cette raison, des fonds doivent être alloués à l'investissement ainsi qu'à l'exploitation et à la maintenance de ces systèmes. Cependant, des ressources financières sont souvent mobilisées pour la construction de plus de

biens matériels tels que des systèmes de distribution d'eau ou des barrages. Toutefois, compte tenu des implications économiques potentielles d'activités telles que la construction d'une centrale hydroélectrique sur la base de données peu fiables sur le débit du cours d'eau concerné, il est possible qu'en fin de compte, les dépenses consacrées à la collecte de données permettent de réaliser des économies substantielles sur les coûts d'investissement. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.7. Evaluation des conséquences pour l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement joue un rôle de premier plan dans l'acquisition d'informations sur les incidences sociales et environnementales des programmes et projets de développement (en particulier sur l'eau), dans la détermination des mesures nécessaires à la protection des ressources et des écosystèmes connexes et, enfin, dans le respect de l'application de ces mesures. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.8. Outils d'évaluation des risques

Bien que diversifiés, les risques associés à la gestion intégrée des ressources en eau sont souvent liés (en plus des risques commerciaux) à des conditions météorologiques extrêmes, à la santé publique et aux dommages environnementaux. Il est impossible de les éliminer. Certes, il existe des techniques reconnues pour évaluer les dangers (fréquence et ampleur des événements) et les risques. Cependant, ces évaluations, qui reposent principalement sur des concepts scientifiques, techniques et économiques, évitent de s'attaquer au problème de la définition des niveaux et des types de risques acceptables pour la société civile. Il s'agit d'un problème de perception culturelle qui ne peut être abordé que dans une perspective participative de la gestion intégrée des ressources en eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.9. Gestion des risques

L'atténuation des risques n'est jamais gratuite, et face aux problèmes de ressources financières et humaines, nous n'avons pas d'autre choix de faire des compromis non seulement sur les niveaux de risque à accepter, mais également sur les types de risques pouvant être traités dans des pays spécifiques et au niveau mondial. des moments différents. Essentiellement, la gestion des risques consiste à équilibrer les avantages et les pertes qui en résultent, ainsi que les moyens de protéger les biens et les personnes en cas de problème. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.10. Principe de précaution

D'un point de vue environnemental, le principe de précaution de la gestion des risques peut être légitime dans certains cas. Ainsi, l'expérience a montré que pour éviter des dommages environnementaux qui pourraient être irréversibles, ne devrait pas être retardé au motif que la recherche scientifique n'a pas prouvé et quantifié un lien de causalité entre la cause et le dommage potentiel. Le principe est que les mesures de précaution peuvent réduire les coûts grâce à la prévention, ce qui élimine la nécessité de réparer les dommages après coup, mais pas que tous les risques possibles doivent être évités. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.11. Communication (implication renforcée des parties prenantes)

Pour assurer la participation des parties prenantes à la gestion des ressources en eau, il ne faut épargner aucun effort pour sensibiliser les décideurs des politiques de l'eau, les décideurs du secteur de l'eau, les professionnels, les groupes d'intérêt et le grand public. Chaque fois que l'on tente d'attirer l'attention et le soutien de ces groupes sur la gestion de l'eau, le succès de l'entreprise dépend des mécanismes de communication, de la qualité et de la pertinence des informations disponibles. Ainsi, les systèmes de communication et d'information doivent faire face au problème des coûts d'opportunité et des choix entre des utilisations et projets alternatifs et des investissements sociaux divers. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.12. L'information, une nécessité pour l'implication des parties prenantes

Pour encourager la participation des parties prenantes à la gestion des ressources en eau et pour que le processus participatif soit efficace, il est indispensable que toutes les parties prenantes concernées aient accès à des informations pertinentes et opportunes. Par conséquent, le public doit avoir accès aux enquêtes et inventaires officiels pertinents sur les ressources en eau et aux registres mis à jour et aux registres des utilisations de l'eau, des entités qui se défaussent, des droits d'utilisation de l'eau et de leurs bénéficiaires, ainsi que les volumes qui leur sont respectivement distribués. En outre, les résultats de l'analyse comparative et de l'efficacité des prestataires de services doivent être rendus publics, dans la mesure où ils contribuent à la concurrence et à la transparence des services dans le secteur de l'eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.13. Stratégies de communication avec les parties prenantes

Il est nécessaire d'élaborer des stratégies de communication concrètes avec toutes les parties prenantes. Il existe des expériences pratiques dans le domaine de l'évaluation de l'impact sur l'environnement visant à institutionnaliser la participation du public, notamment par des séances d'information, des réunions d'experts, des jurys de citoyens et d'autres méthodes similaires. Le "secteur de l'eau" peut tirer profit des expériences dans ce domaine. Cependant, la méthode la mieux adaptée à chaque cas devrait également prendre en compte les facteurs sociaux, politiques et culturels locaux, etc. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.14. Ouverture et transparence

Certains pays ont une expérience limitée de la gestion des ressources en eau dans un contexte d'ouverture et de transparence, avec un accès public sans réserve à l'information. Trop souvent, les décisions sont prises par des professionnels et des experts scientifiques, ce qui exclut les autres parties prenantes du processus décisionnel. Continuer sur cette voie irait à l'encontre de l'objectif consistant à assurer la participation et à attirer les investissements du secteur privé dans la gestion de l'eau. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.15. Echange d'informations à l'échelle internationale

L'esprit d'ouverture et de partage de l'information est essentiel pour une bonne gestion intégrée des ressources en eau, en particulier en ce qui concerne les cours d'eau internationaux, car tous les pays riverains ont des "monopoles" sur la collecte et la diffusion de données sur leur territoire. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.16. Techniques de gestion des conflits

De nombreuses techniques de gestion des conflits peuvent être utilisées par les parties impliquées dans les négociations, notamment la recherche d'un consensus ou la prévention et la résolution des conflits. Les décideurs peuvent intégrer cette expertise et en apprendre davantage sur le secteur de l'eau. Des recherches empiriques sont nécessaires pour tirer les leçons des expériences passées en matière de résolution des conflits entre utilisateurs en amont et en aval et entre différents intérêts sectoriels (expériences menées aux États-Unis et en Australie). (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.17. Valorisation grâce aux méthodes de résolution des conflits

Le fait que tous les services fournis par l'eau et les écosystèmes liés à l'eau ne puissent être évalués objectivement et quantitativement, quels que soient les systèmes de valeur

affichés par les entités concernées, relie directement les techniques d'évaluation et de résolution des conflits. En présence d'un marché, le prix convenu est un indicateur de la valeur du bien ou du service et évite les conflits. En l'absence de marché, les valeurs peuvent soit être estimées à l'aide de techniques d'évaluation explicites convertissant les attributs en unités monétaires correspondantes, soit implicitement déterminées par des méthodes de résolution des conflits. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.3.18. Recherche sur la valorisation des bénéfices environnementaux

Il est impératif de développer des méthodologies pour évaluer les avantages des services écologiques fournis par la nature. Bien que des tentatives aient été faites pour évaluer la valeur des services environnementaux et écologiques directs, tels que la pêche, le pâturage et la foresterie, la principale difficulté semble être de conférer une valeur économique à des avantages non commerciaux, tels que la biodiversité et les valeurs intrinsèques. L'un des problèmes majeurs est de savoir comment prendre en compte la valeur de l'environnement lors de la fourniture de services liés à l'eau, en particulier en termes d'approvisionnement durable. La valeur de la protection des bassins versants pour les utilisateurs en aval et celle des zones d'alimentation des nappes souterraines n'ont pas été suffisamment intégrées dans les méthodologies de planification. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.4. Instruments de régulation

En voici Trois groupes d'instruments de régulation sont :

1.5.4.1. Contrôles directs

A. Réglementations : Il est nécessaire d'élaborer des directives et des règles de gestion pour l'interprétation de la législation sur l'eau, qui doivent être décrites en détail.

B. Systèmes de droits en matière d'eau : Les droits d'utilisation de l'eau sont liés au régime foncier, ce qui crée des lacunes et des conflits en raison de la nature transitoire de l'eau et de ses interconnexions dans le cycle de l'eau.

C. Normes et lignes directrices : sont largement appliquées dans les domaines suivants:

- contrôle des volumes d'eau prélevés par les usagers sur le système naturel;
- contrôle des rejets de déchets dans les cours d'eau;
- obligation d'avoir recours à certaines techniques visant à diminuer la consommation ou les charges en polluants;

- définition de normes relatives à la production, aussi bien pour l'eau distribuée à des usagers spécifiques que pour des biens susceptibles d'être polluants.

D. Contrôle de la planification de l'utilisation des terres : Certaines autorités centrales de l'eau utilisent depuis longtemps le contrôle de l'utilisation des terres pour protéger leurs sources d'approvisionnement.

E. Positionnement des usagers consommateurs nets d'eau et non consommateurs nets au sein d'un bassin : Lorsque l'on prélève l'eau d'un cours d'eau à des fins d'irrigation, le quasi totalité de l'eau n'est pas restitué immédiatement au cours d'eau. En réalité, la majeure partie disparaît soit par évaporation, soit par infiltration, et est donc perdue pour d'autres utilisations pendant un laps de temps important.

F. Réglementation des services publics et privés : Les gouvernements doivent réglementer ce secteur d'eau et trouver un équilibre entre encourager les parties prenantes à investir et à opérer efficacement et veiller à la protection des intérêts de la société dans son ensemble. (Tac Background Papers, 2000).

1.5.4.2. Instruments économiques

A. Efficacité des instruments économiques : leur utilisation est en plein essor, elle est loin d'être pleinement efficace. Jusqu'à présent, la plupart des gouvernements se sont fortement appuyés sur la réglementation directe de la gestion des ressources en eau. Mais les instruments économiques ont plus d'un atout: ils motivent un changement de comportement et collectent des fonds pour les investissements nécessaires, définissent les priorités des utilisateurs et permettent d'atteindre les objectifs de gestion aux coûts globaux les plus bas.

B. Prix de l'eau, tarifs et subventions : En vertu du principe de la gestion de l'eau en tant que bien économique et social, le recouvrement total des coûts devrait être l'objectif de toutes les utilisations de l'eau, à moins que des raisons impérieuses ne s'y opposent. Et pourtant, ce principe présente des difficultés inhérentes: comment prendre en compte simultanément les principes d'accès équitable à l'eau utilisés pour les besoins essentiels? Au minimum, les coûts d'approvisionnement totaux doivent être recouverts pour assurer la durabilité des investissements et la durabilité des fournisseurs de services. Mais souvent, des subventions directes sont nécessaires pendant des années, ne serait-ce que pour atteindre cet objectif.

C. Des mesures d'incitation: les tarifs : les possibilités de réduction de la consommation d'eau peuvent être relativement limitées, car il faut fournir suffisamment d'eau pour répondre aux besoins fondamentaux en matière de santé et d'hygiène.

D. Barèmes des redevances : Les tarifs de l'eau ne favorisent pas l'utilisation durable de l'eau s'ils sont fixés à un taux fixe, quels que soient les volumes utilisés. Dans ce cas, la fixation d'un barème approprié et l'imposition progressive de prix de manière à ce que les prix unitaires augmentent, l'augmentation des volumes consommés pouvant donner lieu à un usage plus judicieux de des gros consommateurs.

E. Taxes sur les rejets d'eaux usées : En vertu du principe "pollueur-payeur", des taxes peuvent être imposées sur le rejet des eaux usées. Ces taxes doivent être définies de manière à refléter les coûts des impacts environnementaux et des impacts sur les eaux usées ou les eaux réceptrices. Ils peuvent être établis en fonction de la quantité et de la qualité des rejets individuels, puis soigneusement ajustés pour inciter au mieux les pollueurs à utiliser des techniques de traitement améliorées, à réutiliser l'eau et à réduire la pollution. pollution de l'eau. Cet outil, qui doit être appliqué parallèlement aux mesures réglementaires pour contrôler et surveiller les matériaux contaminés rejetés, convient particulièrement aux pollueurs industriels. Pour inciter l'industrie à s'orienter davantage vers la conservation, le recyclage et la réutilisation de l'eau, il est nécessaire de combiner judicieusement les taxes sur l'eau et les taxes progressives.

F. Les marchés de l'eau : Dans un contexte favorable, les marchés de l'eau peuvent améliorer l'efficacité de la distribution et aider à garantir que l'eau est utilisée à sa valeur maximale. Toutefois, cela nécessite un cadre réglementaire et institutionnel approprié pour remédier aux imperfections du marché et aux autres externalités décrites dans la section "Rôle des gouvernements".

G. Taxes : les taxes imposées sur les produits nocifs pour l'environnement sont particulièrement pertinentes lorsque les utilisateurs disposent d'autres solutions de production ou d'élimination des déchets moins dommageables pour l'environnement. (Tac Background Papers, 2000).

I.5.4.3. Instruments de l'auto-réglementation

A. Principes directeurs et information : Dans une certaine mesure, le contrôle de l'information est un type de réglementation à faible intervention. Il existe deux versions courantes de ce type de réglementation: la publication obligatoire des données de rendement ou l'étiquetage des produits et le contrôle des informations erronées ou abusives. Dans le secteur de l'eau, la transparence de l'information peut non seulement inciter les fournisseurs de services à améliorer leurs rendements, mais permet également à la société civile et aux agences gouvernementales de juger de la nécessité d'améliorer les rendements.

B. Technologie Avancées techniques favorisant la durabilité : Lors de l'évaluation des différents outils de gestion disponibles, le rôle et la portée des avancées techniques doivent être soigneusement pris en compte, car ils représentent un facteur de gestion durable des ressources en eau. Il reste encore beaucoup de travail à faire en matière de techniques de raffinage, tant dans le secteur de l'eau que dans d'autres secteurs de production ayant un impact significatif sur l'offre et la demande en eau. Les techniques traditionnelles, telles que la collecte d'eau de pluie, peuvent également jouer un rôle de premier plan.

C. Recherche et développement technologiques : Dans le secteur de l'eau, de nombreuses initiatives reposent sur deux éléments clés: l'innovation et l'adaptation technique. Au niveau conceptuel, les modèles et les systèmes de prévision sont en cours d'amélioration, notamment grâce aux progrès du secteur des technologies de l'information, dans le but de mieux prévoir les variations spatio-temporelles de la quantité et de la qualité de l'eau.

D. Évaluation technique : Dans le domaine de la gestion de l'eau, il pourrait également être utile de prendre en compte ce que l'on pourrait appeler des réalisations techniques "accessoires". Ce sont des technologies développées à des fins autres que la conservation et la gestion de l'eau, mais qui risquent d'avoir un impact important sur le secteur de l'eau.

E. Choix techniques : Outre les perspectives prometteuses mentionnées ci-dessus, il convient toutefois de faire preuve de prudence quant aux techniques utilisées. De nombreux projets dans le secteur de l'eau sont tombés à l'eau du fait de la mise en œuvre inconsidérée dans les pays en développement de techniques qui se sont révélées efficaces dans les pays industrialisés, mais dans des contextes physiques très différents du point de vue social et économique. Il faut bien admettre que les choix techniques doivent prendre en compte du contexte spécifique du lieu concerné. (Tac Background Papers, 2000).

1.6. La législation relative à l'eau

La législation jette les bases des interventions et actions des gouvernements, tout en définissant le contexte et le cadre d'action à l'intention des organismes non gouvernementaux. À ce titre, elle joue un rôle important au sein de l'environnement favorable. Dans un nombre appréciable de pays, des lois spécifiques relatives à l'eau ont été promulguées. Mais certains pays ne disposent toujours pas de telles lois. Souvent, la législation nationale fait référence à l'eau, mais ces références sont trop souvent noyées dans une kyrielle de lois axées sur un secteur spécifique et peuvent s'avérer contradictoires, voire incompatibles, en ce qui concerne certains aspects de l'utilisation de l'eau.

1.6.1. Législation et volonté politique d'en assurer l'application

Plus l'eau ou les ressources financières sont rares et plus il y a de conflits au sujet de l'eau, plus il est important de garantir la mise en place d'une législation cohérente et exhaustive dans ce domaine. La mise en place d'une telle législation à partir de mesures législatives disparates, fragmentées et dépassées, est un travail de longue haleine. Cependant, ce processus exhaustif de révision ne doit pas servir à freiner des initiatives viables axées sur des problèmes à court terme. Souvent, le principal problème n'est pas l'absence d'une législation pertinente, mais bien l'absence de volonté politique, de ressources et de moyens pour assurer l'application des législations en vigueur.

1.6.2. Exigences de la législation

Dans le secteur de l'eau, la législation devrait satisfaire les conditions suivantes:

- être fondée sur une politique nationale reconnue relative à l'eau, portant sur l'ensemble des secteurs et des parties prenantes, considérant l'eau en tant que ressource et mettant l'accent sur la priorité pour la société qu'est la protection des besoins fondamentaux des êtres humains et des écosystèmes;
- asseoir les droits (d'utilisation) de l'eau afin de stimuler les investissements et la participation du secteur privé et des collectivités en matière de gestion de l'eau;
- réglementer l'accès monopolistique à l'eau et aux services d'eau, tout en évitant tout dommage aux tierces parties;
- présenter un équilibre entre la mise en valeur des ressources à des fins économiques et la protection de la qualité de l'eau, des écosystèmes et des autres avantages sociaux;
- faire en sorte que les décisions portant sur le développement soient fondées sur une évaluation économique, environnementale et sociale rationnelle;

- faire en sorte qu'il soit possible d'avoir recours à des outils économiques et participatifs modernes, lorsque nécessaire et autant que faire se peut.

1.6.3. Législation, réglementation et règlements

En général, la modification de la législation sur l'eau est un processus long et ardu. C'est pourquoi il faut garder la législation à un niveau suffisamment général, en établissant les droits et obligations de l'ensemble des parties concernées par la gestion de l'eau, les pouvoirs et fonctions des organes de réglementation et les peines prévues pour les infractions à la loi. Des lignes directrices détaillées et les conditions d'exécution et d'application devraient être intégrées aux volets les plus dynamiques du système législatif, comme le cadre des règles et règlements susceptibles d'être modifiés de façon continue selon les circonstances.

1.7. Nouvelle politique de l'eau

C'est au vu de ces quelques constats que l'état algérien a commencé à élaborer, dès 1993, les bases de ce qu'il a été convenu d'appeler la Nouvelle Politique de l'Eau. Cette politique s'articule autour de quatre grands principes :

- L'eau est un bien économique: On doit donc au moins s'attacher à déterminer le coût réel de l'eau distribuée. Le prix, auquel on la fait ensuite payer à l'utilisateur, relève d'un autre niveau de décision politique, lié à des contraintes économiques et sociales. Ceci étant, le prix du mètre cube d'eau a connu, ces dernières années, des augmentations substantielles, et la taxe d'assainissement, symbolique jusqu'en 1993, a été d'abord portée à 10 % puis à 20 % de la facture d'eau potable. Cette notion de l'eau, bien économique ne peut exister sans des entreprises de gestion de l'eau, soumises aux principes de la vraie gestion commerciale et de la concurrence, dans le cadre de contrats passés avec les maîtres d'ouvrages et les collectivités locales.
- L'eau est rare et vulnérable : A ce titre, elle doit faire l'objet d'une protection quantitative et qualitative.
- La gestion de l'eau doit être assurée de façon intégrée, à l'échelle d'une unité naturelle qu'est le bassin hydrographique. On doit donc à la fois mettre en place les instruments de cette gestion par bassin, mais aussi l'ensemble des outils réglementaires, nécessaires pour assurer la protection quantitative et qualitative des ressources en protégeant au mieux les écosystèmes.

- L'eau est l'affaire de tous. Il faut donc apprendre à développer la concertation, pour que les décisions prises ne soient plus le fait d'un décideur autoritaire et unique, mais plutôt celui d'un consensus autour d'objectifs discutés puis arrêtés d'un commun accord.

Depuis 1993, donc, l'état a engagé une vaste campagne de sensibilisation et de concertation avec l'ensemble des partenaires (Agriculture, Industrie, Collectivités Locales, Universités, Associations d'usagers, Associations de protection de l'environnement, etc....).

Ceci a abouti, fin 1995, à la tenue d'Assises Nationales de l'Eau, au cours desquelles ont été adoptés les principes, évoqués plus haut, de la Nouvelle Politique de l'Eau. L'idée d'un amendement au Code de l'Eau, promulgué en 1983, a été retenue, de même que celle de la création de structures régionales, chargées de promouvoir la gestion intégrée de l'eau à l'échelle des grands bassins hydrographiques.

Dès Juin 1996, le Code de l'Eau est modifié, introduisant notamment la possibilité, pour le maître d'ouvrages de concéder leurs installations d'eau potable ou d'assainissement à des opérateurs privés. Fin Août 1996, cinq Agences de Bassins Hydrographiques et cinq Comités de Bassin sont créés, couvrant la totalité du territoire national.

En août 2005, l'état promulgue la loi relative à l'eau, cette dernière a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

1.8. Cadre de concertation en matière de la gestion intégrée des ressources en eau en Algérie

Le décret exécutif n° 10-24 du 12 janvier 2010 fixe le cadre de concertation en matière de gestion intégrée des ressources en eau au niveau des unités hydrographiques naturelles. Un comité du bassin hydrographique créé au niveau de chaque unité hydrographique naturelle qui a pour missions d'examiner :

- Le projet de plan directeur d'aménagement des ressources en eau dont l'examen donne lieu à l'établissement d'un rapport particulier adressé au ministre chargé des ressources en eau;
- Les plans de gestion des ressources en eau mobilisées et en particulier ceux en situation de déficit d'apports naturels nécessitant des arbitrages d'affectation entre les différents usages ;
- Les programmes d'activités en matière de protection quantitative et qualitative des ressources en eau ;
- Les programmes initiés en matière d'information et de sensibilisation des usagers de l'eau ;

- Toutes autres questions se rapportant à l'aménagement et à la gestion des ressources en eau qui lui sont soumises par les walis territorialement compétents, par le président du comité et par le directeur général de l'agence du bassin hydrographique.

1.8.1. Les Agences de bassin

Les Agences de Bassins Hydrographiques sont des établissements publics à caractère industriel et commercial qui couvrent les territoires suivants :

- ❖ Oranie-Chott Chergui ;
- ❖ Cheliff Zahrez ;
- ❖ Algerois-Hodna-Soummam ;
- ❖ Constantinois-Seybousse-Mellegue ;
- ❖ Sahara.

Au niveau de chacune de ces unités hydrographiques naturelles, la gestion intégrée des ressources en eau est exercée par une agence de bassin hydrographique, dont les principales missions sont :

- Elaboration et actualisation du cadastre hydraulique,
- Sensibilisation à l'économie de l'eau et à la lutte contre la pollution,
- Elaboration des schémas directeurs d'aménagement régionaux.

1.8.2. Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau

En juillet 2011, l'état promulgue une loi portant sur la création d'une agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau « AGIRE ».

Dans le cadre de la politique nationale de développement, l'agence nationale est chargée de réaliser, au niveau national, toutes actions concourant à une gestion intégrée des ressources en eau. A ce titre, l'agence nationale a pour missions :

- De réaliser toutes enquêtes, études et recherches liées au développement de la gestion intégrée des ressources en eau ;
- De développer et coordonner le système de gestion intégrée de l'information sur l'eau à l'échelle nationale ;
- De contribuer à l'élaboration, à l'évaluation et à l'actualisation des plans à moyen et long terme de développement sectoriel à l'échelle nationale ;
- De contribuer à la gestion des actions d'incitation à l'économie de l'eau et à la préservation de la qualité des ressources en eau.

Outre ces missions d'envergure nationale, les démembrements territoriaux de l'agence nationale sont chargés au niveau des bassins hydrographiques :

- De gérer le système d'information à l'échelle des bassins hydrographiques à travers l'établissement et l'actualisation des bases de données et des outils d'information géographique ;
- De contribuer à l'élaboration, à l'évaluation et à l'actualisation des plans à moyen et long terme de développement sectoriel à l'échelle des bassins hydrographiques ;
- De collecter les redevances instituées par la législation et la réglementation en vigueur.

1.9. Conclusion

Il ressort des considérations du premier chapitre que la gestion intégrée des ressources en eau constitue l'une des stratégies les plus efficaces pour le développement du secteur hydraulique, cependant, elle exige une bonne coordination des activités des sous-secteurs de l'eau qui permet de faire efficacement face à la question interdépendante, notamment les problèmes d'environnement et de santé d'origine hydrique.

La seule prise de conscience de la nécessité de faire quelque chose, est en soi un élément extrêmement positif. Il reste que l'ensemble des volontés politiques doit être mobilisé pour que cette prise de conscience, conjuguée aux efforts de tous les acteurs de l'eau, puisse mener à des résultats à la mesure de nos espérances, et à un milieu naturel, le plus sain et le plus harmonieux possible, pour les générations futures.

La mise en place d'une politique de l'eau basée sur la gestion intégrée des ressources en eau servira de trame pour l'amélioration du secteur de l'eau en Algérie.

***CHAPITRE II : MODELES DE
PLANIFICATION ET DE GESTION DES
BASSINS HYDROGRAPHIQUES***

CHAPITRE II : MODELES DE PLANIFICATION ET DE GESTION DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

II.1. Introduction

La gestion intégrée de ressource en eau est complexe car cette ressource est distribuée inégalement dans l'espace et dans le temps. La complexité du système eau, même à l'échelle d'une unité hydrologique réduite, nécessite donc de faire appel à des méthodes de modélisation adaptées (Laurent, 1996).

Les modèles de planification et de gestion des eaux liée aux composants de bassin versant. Sachant que chacun de ces composants sera examiné et modélisé séparément. Cependant, la gestion d'un composant individuel peut affecter la performance des autres composants d'un système hydrographique. Par conséquent, pour la gestion globale des systèmes de bassin hydrographique, une vue des systèmes est nécessaire. Généralement, cette vue système nécessite la modélisation de plusieurs composants.

II.2. Analyse du bassin hydrographique

II.2.1. Synthèse de modèle

Chacune des composantes du modèle de gestion discuté peut être combinée, selon le cas, dans un modèle de système fluvial. Illustre l'un de ces systèmes fluviaux avec certaines de ses parties prenantes.

L'une des premières tâches de la modélisation de ce bassin consiste à identifier les composants réels et potentiels du système et leurs interdépendances. Ceci est facile en traçant un schéma du système au niveau de détail qui traitera les questions discutées et qui intéressera ces parties prenantes. Ce schéma peut être dessiné sur le bassin.

Ces sites sont généralement ceux où une décision doit être prise. Le bilan de masse et d'autres contraintes devront être défini sur chacun de ces sites.

II.2.2. Approche de modélisation utilisant optimisation

Une fois que le nombre et la durée des pas de temps à modéliser ont été identifiés, les variables et les fonctions utilisées sur chaque site doivent être nommés. Il est commode d'utiliser une notation que l'on puisse retenir lors de l'examen des solutions types.

L'objectif général pourrait être une combinaison pondérée de tous les composants objectifs tels que: Maximiser : $\sum_s W_s \cdot N \cdot B^s$ (II.1)

II.2.3. Approche de modélisation à l'aide de la simulation

Une approche de simulation utilise essentiellement les mêmes équations et contraintes du bilan hydrique.

Dans une approche de simulation, l'analyse devra spécifier les valeurs des variables de décision. Les "meilleures" valeurs de ces variables de décision devront être déterminées par des analyses de sensibilité, c'est-à-dire en modifiant ces variables et en voyant quel sera le résultat en termes de fonctions objectives. Par conséquent, la simulation est une approche «tâtonnement».

Un modèle de simulation du système simple, peut facilement être développé à l'aide d'un tableur. Des systèmes plus compliqués peuvent être simulés en utilisant des progiciels génériques pour la planification des bassins hydrographiques tels que RIBASIM (WL | Delft Hydraulics, 2004), MIKE BASIN (DHI, 2003) et WEAP-21 (SEI, 2001).

Ces progiciels de simulation de bassins hydrographiques prennent en charge le développement d'une schématisation de modèle consistant en un réseau de nœuds connectés par des liens. Les nœuds représentent des réservoirs, des centrales hydroélectriques, des utilisateurs d'eau, des flux entrants, des bifurcations artificielles et naturelles, des ouvrages de captage, des lacs naturels, etc.

Les liens transportent l'eau entre les différents nœuds. Un tel réseau représente les caractéristiques du bassin qui sont importantes pour le problème de planification et de gestion en question. Le réseau peut être ajusté pour fournir le niveau de détail spatial et temporel requis. Le bassin hydrographique est représenté par une schématisation de réseau superposée sur une image vectorielle ou matricielle.

II.2.4. Optimisation et simulation

Pour déterminer les meilleures valeurs variables de conception et de politique d'exploitation dans les systèmes de bassins hydrographiques, l'utilisation de modèles d'optimisation et de modèles de simulation peut être avantageuse. L'optimisation est souvent utile, mais pas pour trouver les meilleures solutions, mais pour éliminer les pires solutions de rechange. Les autres peuvent ensuite être analysés plus en détail, à l'aide de modèles de simulation plus détaillés. La simulation en soi soulève la question suivante: "Que simuler?". L'optimisation en soi pose la question: "La solution est-elle vraiment la meilleure?". Utiliser l'optimisation comme un outil de sélection préliminaire est un art.

II.2.5. Planification du projet

Les modèles de bassin hydrographique traitent de situations de planification statiques. Les capacités, les objectifs et les politiques d'exploitation des projets prennent des valeurs fixes. L'un d'entre eux examine les solutions instantanées en régime permanent pour une année donnée. Ces «instantanés» ne permettent que les fluctuations causées par la variabilité hydrologique. Les demandes et les objectifs changent en fonction de la croissance démographique, des investissements dans l'agriculture et l'industrie et des priorités changeantes en matière d'utilisation de l'eau. En outre, les ressources financières disponibles pour l'investissement dans les ressources en eau sont limitées et peuvent varier d'une année à l'autre.

Des modèles de planification dynamiques peuvent aider au développement et de l'expansion à long terme des systèmes de ressources en eau. Bien que les modèles statiques puissent identifier des valeurs cibles et des conceptions de configuration de système pour une période donnée dans le futur, ils ne sont pas bien adaptés à la planification d'une extension de capacité à long terme sur une période de dix, vingt ou trente ans. Toutefois, les modèles statiques peuvent identifier des projets à mettre en œuvre dans les premières années, mais les simulations des années suivantes ne figurent pas dans les solutions.

Un autre problème que ces modèles dynamiques peuvent résoudre est le problème de dimensionnement ou d'extension de capacité. Fréquemment, l'échelle ou la capacité d'un réservoir, d'un pipeline, d'une station de pompage ou d'un projet d'irrigation est variable et doit être déterminée en même temps que la solution aux problèmes de planification et de synchronisation. Pour résoudre le problème de dimensionnement, les coûts et les capacités du modèle de planification deviennent des variables.

II.3. Modèles de gestion des ressources en eau

II.3.1. MIKE BASIN Modèle

MIKE BASIN est une extension d'ArcMap (ESRI) pour la gestion et la planification intégrées des ressources en eau. Il fournit aux gestionnaires et aux parties prenantes un cadre permettant de traiter les problèmes d'allocation multisectorielle et d'environnement dans les bassins hydrographiques. Il est conçu pour étudier les problèmes de partage de l'eau au niveau international, ainsi qu'entre des groupes d'utilisateurs de l'eau concurrents, y compris l'environnement. MIKE BASIN est développé par DHI. Depuis septembre 2014, MIKE BASIN n'est plus disponible pour la commande ou le téléchargement auprès de DHI. Car il a été remplacé par l'application nommée MIKE HYDRO Basin. (DHI. Danmark, 2014).

Mike Basin - Caractéristiques mises en évidence par DHI :

- SIG - modélisation sous ArcView ;
- Simple - besoin de données minimales, processus simples ;
- Puissant - modéliser tous les éléments pertinents ;
- rapide - interface conviviale, simulations rapides ;
- facile - pas d'instabilité numérique, pas besoin d'être un expert en hydraulique ;
- impressionnant - par résultats: cartes dans ArcView, tableaux HTML, films AVI, rapports Access ;
- extensible - connexion avec les modèles d'eau souterraine à débit de pluie de qualité ;
- flexible - liens avec Excel: optimisation, traitement Visual Basic ;
- une norme - des centaines d'utilisateurs à travers le monde ;
- Planification des actions sur un bassin versant ;
- Développement des moyens de communication.

MIKE BASIN a été développé pour répondre à ce besoin croissant de gestion intégrée et durable des ressources en eau. Les applications de ce logiciel sont diverses:

- Analyse du fonctionnement hydraulique global ;
- Analyse du fonctionnement hydrologique global ;
- Analyse de demandes multisectorielles ;
- Optimisation de la gestion de la ressource en eau ;
- Gestion de manœuvres journalières (barrages...) ;
- Gestion des étiages (périodes de basses eaux) ;
- Etude de qualité des eaux ;
- Management environnemental ;
- Planification des actions sur un bassin versant ;
- Elaboration de supports de communication.

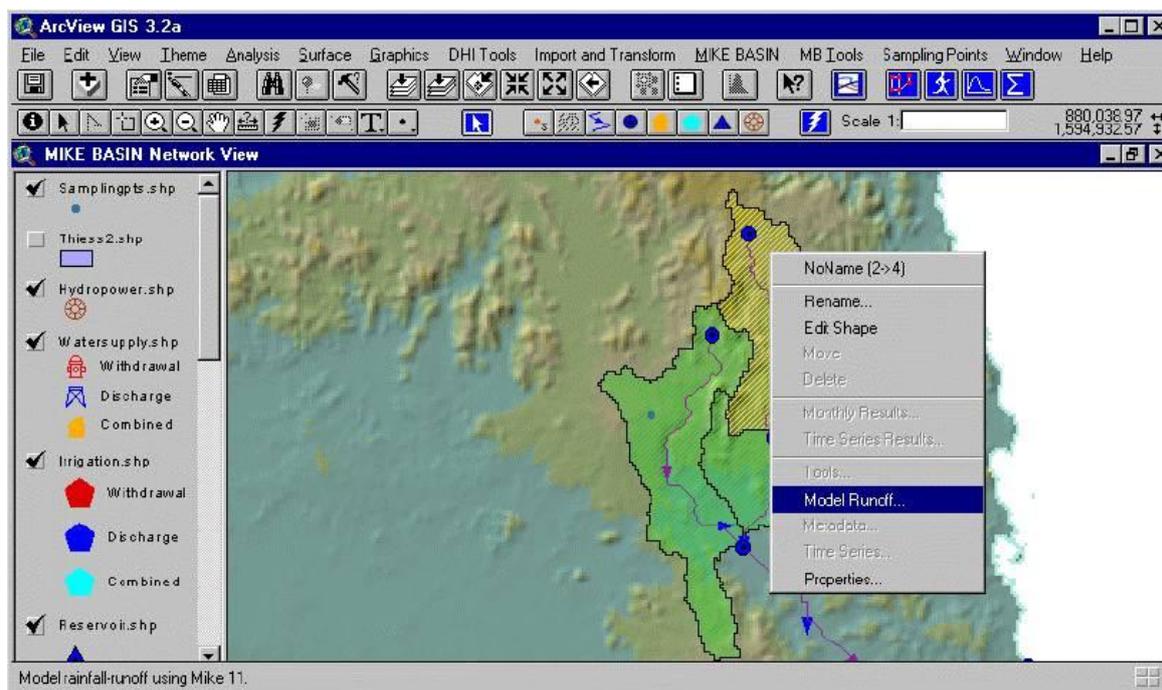


Figure II. 1 : Interface Modèle MIKEBASIN (DHI, Danmark, 2014).

II.3.2. Hydro Développement Modèle (HYD 2002)

Les développements des interfaces HyD2002 ont été généralisés dans une bibliothèque de classes Java appelée OdefiX. Il est destiné à faciliter la construction et à assurer l'homogénéité des différents environnements de modélisation requis par l'UMR. L'objectif est de pouvoir se concentrer sur la structuration et les fonctionnalités des modèles et non sur les interfaces graphiques ou d'échange de données. L'interface graphique permet de définir les modèles sous la forme d'objets structurés, à partir de tableaux, de graphiques, de cartes, et de faciliter la navigation entre ces objets. La bibliothèque OdefiX a permis le développement de divers environnements tels que Simulsen Windows, HydroStruct pour étudier la structuration des bassins versants, ZonAgri pour représenter les activités agricoles au niveau régional et tester des scénarios prospectifs pluriannuels de ces activités. Ce dernier logiciel est toujours un prototype. (Pouget et al, 2007).

HyD2002 est un environnement de modélisation pour le support à la gestion des ressources en eau, de la planification à long terme du développement à l'optimisation de la gestion stratégique de l'eau. HyD2002 a 3 fonctionnalités (Pouget et al, 2005).

II.3.2. 1. Construction des systèmes d'eau

Ce logiciel permet de construire ou de modifier de manière interactive des systèmes constitués de réservoirs, superficiels ou souterrains, d'éléments de captage et de transport d'eau, naturels et artificiels, d'applications d'utilisation et de consommation d'eau. Chacun

des composants peut être décrit plus ou moins en détail. Par exemple, la définition de la demande en eau peut être divisée en différents niveaux de priorité de service. La satisfaction de la demande peut être conditionnée par un indicateur: valeur du débit, niveau du réservoir, etc. (Pouget et al, 2002).

II.3.2. 2. Simulation et/ou optimisation de la gestion opérationnelle

HyD2002 est utilisé pour simuler le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement en eau à temps et selon différents modes de gestion, en intégrant les priorités d'approvisionnement en eau et les règles de mobilisation des ressources, y compris les réservoirs. Pour tester les instructions de gestion, il est possible de simuler le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement en eau, au pas de temps mensuel, de dix jours ou journalier, sur de longues données hydro-climatiques chroniques, considérées comme représentatives. Les instructions de gestion peuvent être modifiées, au fur et à mesure des simulations, pour améliorer la satisfaction des objectifs (Pouget et al, 2002).

II.3.2. 3. Evaluation des performances

Une vision globale du fonctionnement d'un système est donnée par la confrontation entre les quantités d'eau demandées et celles réellement fournies. On peut ainsi étudier la fiabilité (nombre de pannes), la vulnérabilité (taille des déficits) et la flexibilité (durée des pannes) des systèmes. Les résultats caractéristiques de chaque composant ou une sélection de composants peuvent être visualisés. Différentes simulations peuvent être comparées pour évaluer les gains de performance successifs, en fonction du mode de gestion adopté ou en relation avec la programmation des travaux (Pouget et al, 2002).

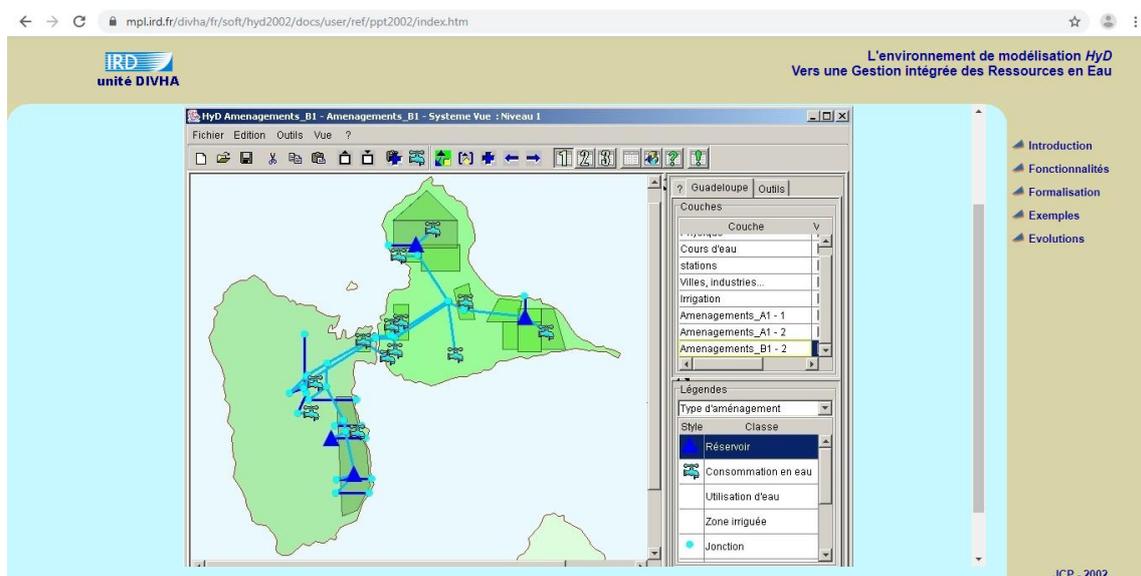


Figure II. 2: Interface Modèle HyD2002. <https://www.mpl.ird.fr/divha/fr/soft/hydefix/index.htm>

II.3.3. River Basin Simulation Modèle (RIBASIM)

RIBASIM est un outil de modélisation avec interface graphique intégrée, utilisé pour la planification et la gestion des bassins hydrographiques, développé par la société néerlandaise Deltares. RIBASIM peut être utilisé pour évaluer le tirage, la production potentielle d'énergie hydroélectrique et la qualité de l'eau. Dans RIBASIM, le modèle est constitué de nœuds et de branches, contrairement à de nombreux modèles pluie-débit qui reposent souvent sur la topographie. (Krogt et al, 2009).

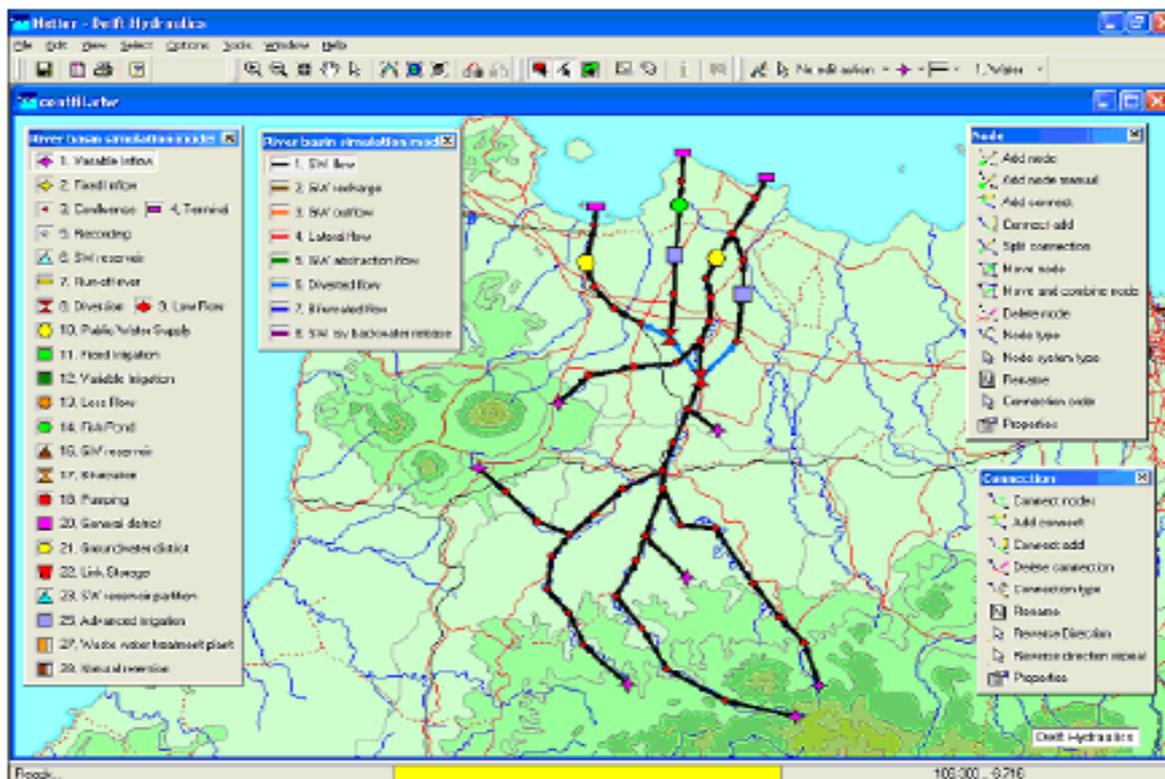


Figure II. 3: Interface Modèle RIBASIM. (Deltares, 2009)

Source : <https://www.deltares.nl/app/uploads/2015/03/Brochure-RIBASIM-2009-Deltares>.

II.3.4. WATER WARE Modèle

Water Ware est un système intégré d'aide à la décision et de modélisation pour la gestion des ressources en eau. Le système est conçu pour soutenir la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau ou d'une législation nationale similaire, et a été développé au moyen d'une série d'applications. (Environmental Software and Services GmbH AUSTRIA, 1995).

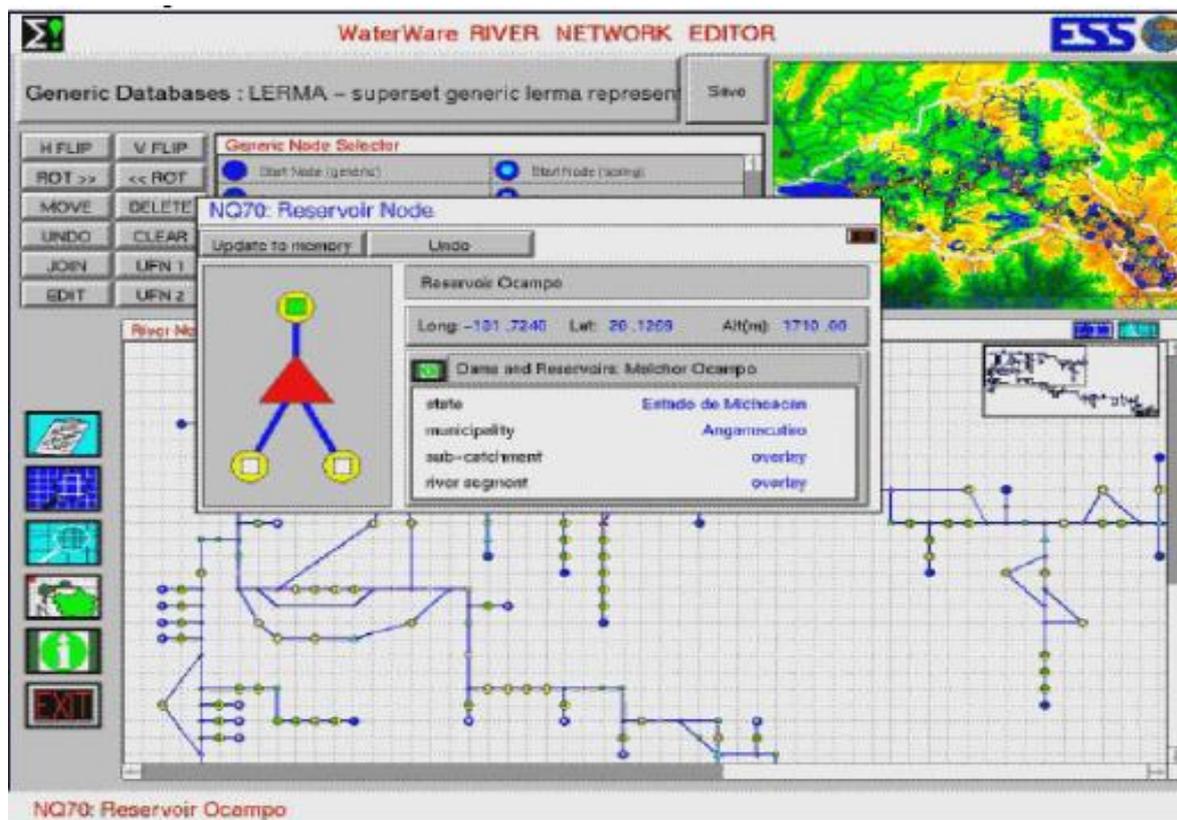


Figure II. 4: Interface Modèle WATER WARE. (Progea et al, 2003).

II.3.5. Integrated Decision Support System with a multicriteria method Modèle (IDSS+)

IDSS+ a été créé par l'Université de Twente pour évaluer les différentes politiques de gestion qui pourraient être mises en oeuvre par les décideurs. Les modèles regroupés au sein d'IDSS+ sont:

- ABOPOL : modèle hydraulique d'eau de surface et de qualité
- MODFLOW : modèle d'eaux souterraines
- MODPATH : modèle de risque de contamination des eaux souterraines
- BODEP : modèle de l'activité agricole et de ses conséquences sur la ressource en eau.
- Un modèle d'écologie végétale
- Un modèle d'aide à la décision. (Hamlat et al, 2014).

II.3.6. Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé Modèle (GIBSI)

GIBSI est une approche par scénario pour évaluer l'impact des projets municipaux, industriels, forestiers et agricoles sur la qualité de l'eau et le rendement d'un bassin hydrographique. Douze utilisateurs ont été identifiés: l'expert technique et le responsable des

ressources en eau. Le formateur est responsable de la mise en place du système sur un bassin hydrographique étudié, ce dernier élaborant des scénarios et effectuant des simulations. (A.N. Rousseau et al, 1998).

GIBSI se compose :

- d'une interface graphique, d'une base de données et d'un pilote des simulations (INRS)
- de modèles de simulation : HYDROTEL (hydrologie), USLE (érosion hydrique - version adaptée), SWAT/EPIC (cycle et transport de polluants agricoles) et QUAL2E (qualité de l'eau et érosion des rivières)
- d'outils de gestion des données : GRASSLAND, ACCESS
- d'un outil d'aide à la préparation des données : PHYSITEL. (Villeneuve et al, 1998)

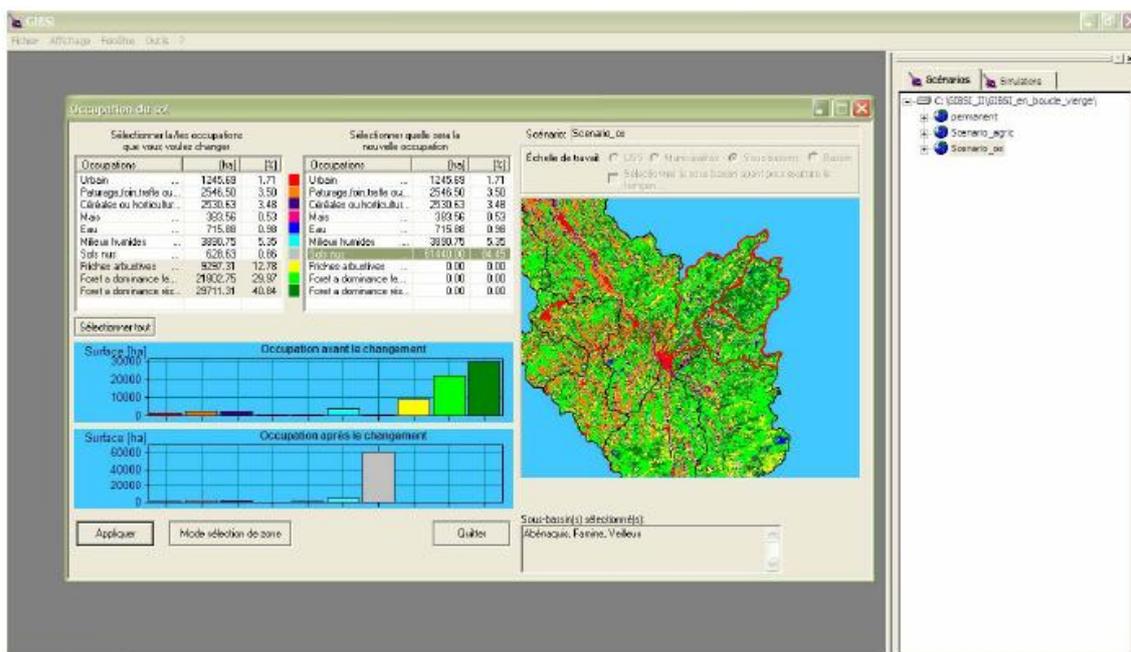


Figure II. 5 : Interface Modèle GIBSI window. (Quilbée et al, 2007).

II.3.7. BASINS Modèle

BASINS est un outil destiné à la gestion des bassins versants, le développement de charges journalières maximales, la gestion des zones côtières, les programmes de sources ponctuelles, la modélisation de la qualité de l'eau et la délivrance de permis par le Système national d'élimination des rejets de polluants (NDPES).

BASINS facilite les études sur les bassins versants et la qualité de l'eau en rassemblant des données clés et des composants analytiques dans un seul outil. BASINS permet aux utilisateurs d'accéder efficacement aux informations environnementales nationales, aux données locales et spécifiques, aux outils d'évaluation et de planification, ainsi qu'à une variété de modèles éprouvés et robustes de chargement non ponctuel et de qualité de l'eau.

(Environmental Protection Agency, 2019).

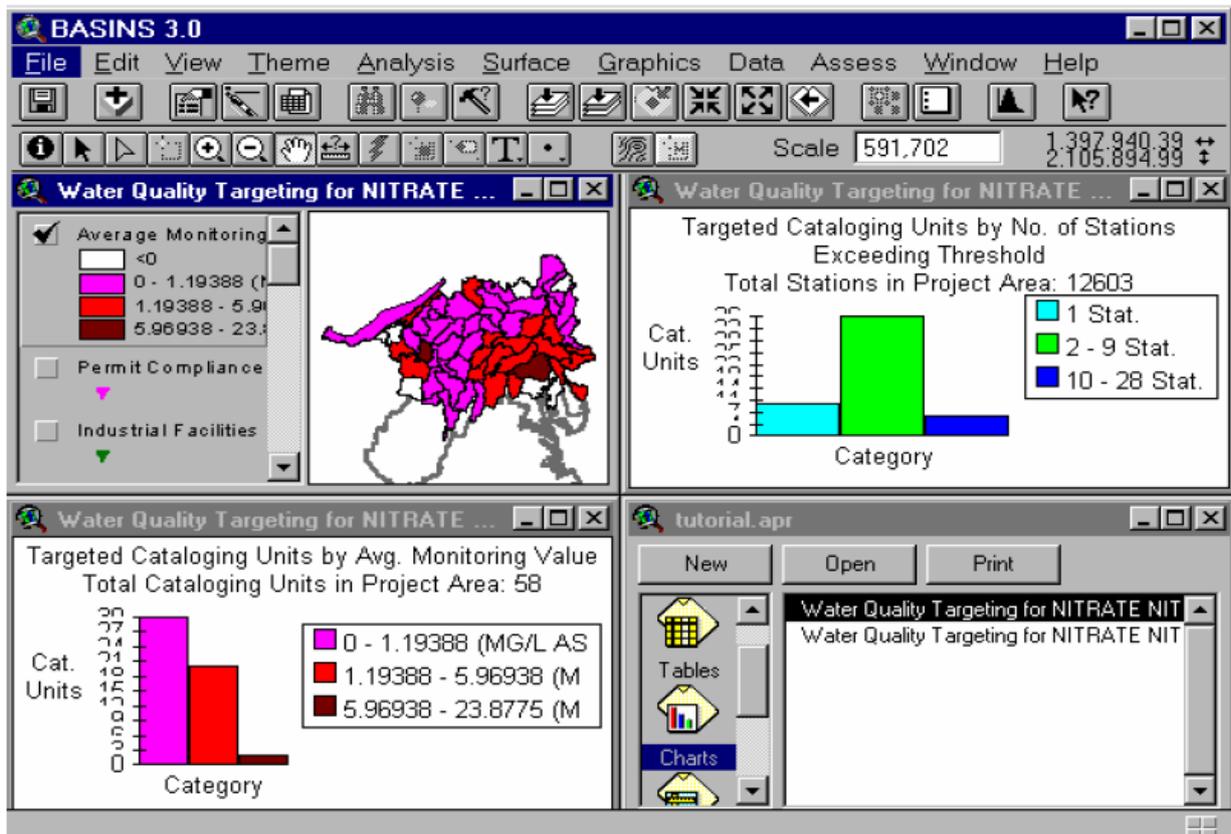


Figure II. 6: Interface Modèle BASINS. (Progea et al, 2003).

II.3.8. Soil and Water Assessment Tool Modèle (SWAT)

Le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) est un modèle de bassin versant à l'échelle d'un bassin hydrographique utilisé pour simuler la qualité et la quantité des terres et leur utilisation, ainsi que les changements climatiques. SWAT est largement utilisé dans le contrôle de l'érosion des sols, le contrôle de la pollution de source non ponctuelle et la gestion régionale dans les bassins versants. (Arnold et al, 2012).

SWAT est un modèle hydrologique du domaine public comprenant les éléments suivants: météo, écoulement de surface, écoulement de retour, percolation, évapotranspiration, pertes de transmission, stockage des étangs et des réservoirs, croissance des cultures et irrigation, écoulement des eaux souterraines, acheminement des éléments nutritifs et des pesticides, eau transfert.

Les principaux modules et ressources SWAT sont les suivants:

- ArcSWAT: extension ArcGIS-ArcView et interface de saisie utilisateur graphique pour SWAT.

- Global Weather Data for SWAT: prévisions météo, climat, climat, météo, climat, climat, climat, climat, climat, climat, climat.
- QSWAT: une interface SIG reliant SWAT au logiciel SIG du domaine public QGIS.
- SLEEP: un outil pour aider les utilisateurs SWAT à générer une base de données sur les sols au niveau des sous-bassins versants à partir d'observations ponctuelles sur le terrain ou de cartes de sols héritées.
- SWAT2012: la documentation du fichier d'entrée / sortie SWAT passe en revue tous les processus simulés avec le modèle. et fournit des définitions pour toutes les variables d'entrée. Il est absolument essentiel de commencer à travailler avec SWAT.
- SWAT-MODFLOW: modèle hydrologique intégré qui associe les processus de surface terrestre SWAT à des processus d'écoulement des eaux souterraines spatialement explicites.

SWAT Output Viewer: un outil permettant de visualiser et d'analyser rapidement les résultats d'un modèle SWAT à la volée. (FAO, 2019).

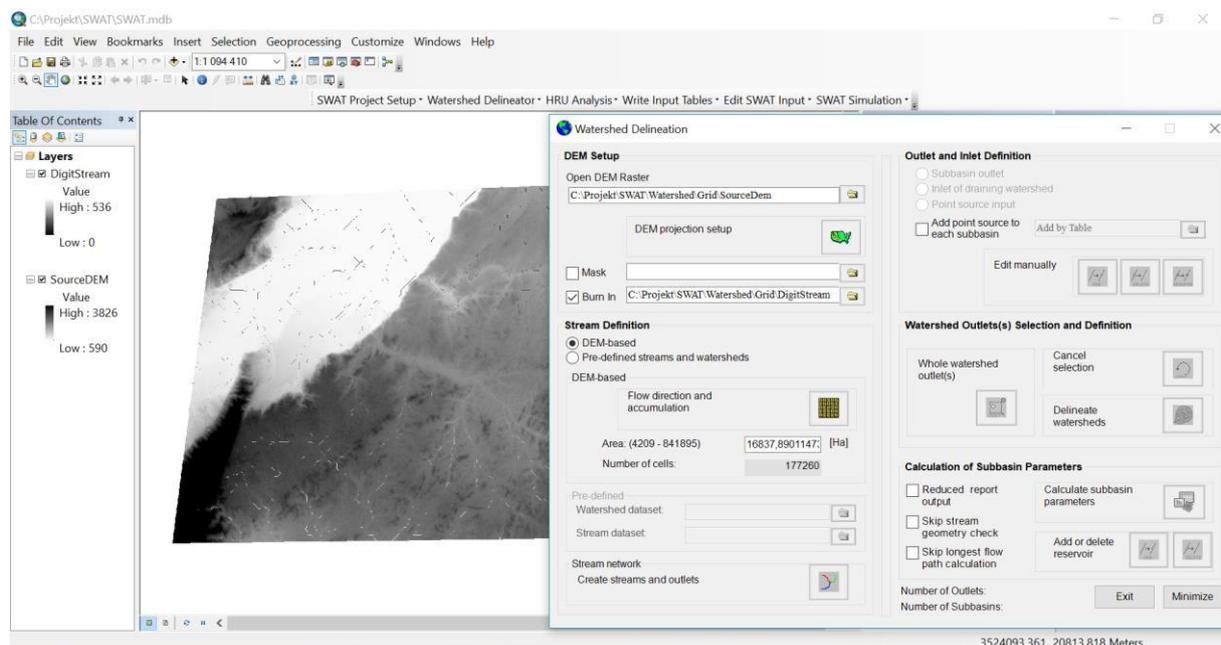


Figure II. 7: Interface Modèle ArcView SWAT (EMMA BRÄNNSTRÖM, 2019).

II.3.9. STRATEAU Modèle

STRATEAU est un outil d'analyse stratégique et de perspectives sur la disponibilité de l'eau. Il s'agit d'une base de données cohérente combinant les caractéristiques du territoire et les données observées. Le réapprovisionnement est l'équivalent de l'agriculture, des ménages, des industries, des services ou de l'énergie.

STRATEAU comprend deux modules qui interagissent grâce à des règles d'allocation: Une partie ressource intégrant un sous-modèle d'eaux souterraines et un sous-modèle d'eaux de surface Une demande pour un modèle agricole intégrateur basé sur la méthode développée par la FAO, et un sous-modèle générique pour d'autres secteurs reposant sur la demande unitaire (consommation par habitant), le déterminant de la demande en eau (population, emploi ... et paramètres exogènes (climat, taux d'équipement, ...). Les demandes en eau sont reconstituées selon une approche ascendante. La demande en eau est estimée pour chaque zone de la communauté. (Smith et al, 2006)



Figure II. 8: Modèle STRATEAU .Source (<http://www.ambassade-eau.com/strateau-presentation>).

II.3.10. Modèle intégré au sol et à l'eau Modèle (SWIM)

SWIM (modèle intégré au sol et à l'eau) SWIM est un outil de modélisation hydrologique écrit dans l'interface SIG ou pouvant être lié à l'outil SIG gratuit GRASS ou MapWindow (Krysanova et al, 2014).

SWIM simule la percolation, le ruissellement, la fonte des neiges, la croissance de la végétation, l'évapotranspiration, l'écoulement des eaux souterraines, le changement climatique et le transport des éléments nutritifs. Le modèle SWIM n'est disponible que pour les utilisateurs travaillant sur des projets de l'UE. Dans d'autres cas, les créateurs se réfèrent au modèle SWAT (Krysanova et al, 2014).

II.3.11. Water Evaluation And Planing system Modèle (WEAP)

Le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) est une initiative de l'Institut de l'environnement de Stockholm qui fournit un cadre d'évaluation et de planification de l'eau pouvant être utilisé pour représenter les conditions actuelles et futures de l'eau dans une zone donnée en fonction d'hypothèses clés (Lévite et al, 2003). Le modèle peut explorer un large éventail d'options d'offre et de demande pour équilibrer environnement et développement. Les éléments suivants sont nécessaires à l'initiative WEAP: (1) la délimitation et la caractérisation des bassins versants, telles que la superficie, la population, les utilisations de l'eau (eau potable, irrigation, industrie, énergie et tourisme) et les ressources en eau (eaux de surface et souterraines, écoulement de retour de l'irrigation et eaux usées); (2) des données climatiques telles que les précipitations, l'évaporation et l'évapotranspiration; et (3) les opérations d'infrastructure telles que les barrages et les usines de traitement des eaux usées.

WEAP peut être utilisé comme un système intégré d'aide à la décision aidant les décideurs et les autres parties prenantes dans leurs plans concernant les ressources en eau, les eaux usées et la simulation entre solutions alternatives (par exemple, McKinney 2004, Assaf et Saadeh, 2008, Qin et al, 2011). WEAP peut également être utilisé pour créer des scénarios d'eau pouvant être utilisés par d'autres modèles tels que MONERIS et QUAL2K (Gaiser et al, 2008). Ainsi, le modèle peut aider à évaluer les utilisations de l'eau, à réaffecter les secteurs, à évaluer les liaisons amont-aval et à tester les options permettant de faire correspondre l'approvisionnement en eau à la demande en eau (par exemple, Hoff et al, 2007, George et al, 2011). Hoff et al, 2011 ont mis au point WEAP pour mettre au point un outil de gestion des ressources en eau pour le bassin du Jourdain. Ce dernier a indiqué que les changements climatiques et socio-économiques sont deux facteurs clés de la rareté future de l'eau dans le bassin. Droubi et al, 2008 ont étudié l'équilibre des eaux souterraines dans le bassin de Zabadani en Syrie à l'aide du modèle WEAP et de MODFLOW. Cependant, à la connaissance des auteurs, l'initiative WEAP n'a pas encore été utilisée pour évaluer l'état général de l'eau des bassins syriens.

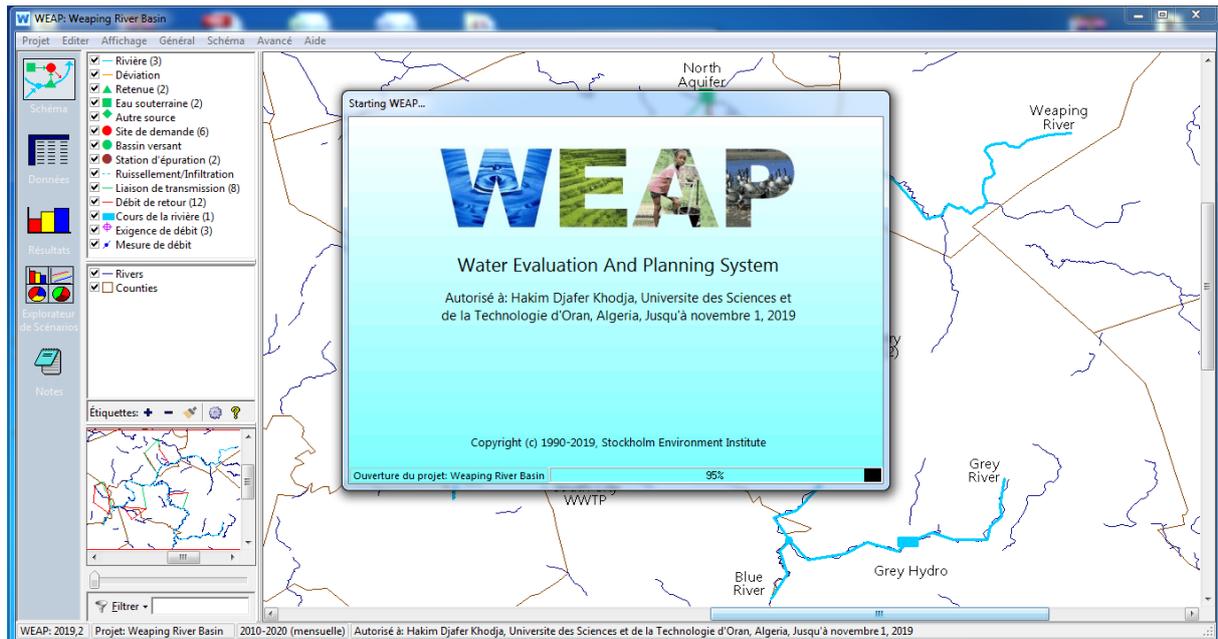


Figure II. 9: Interface Modèle WEAP. (Propre élaboration).

II.4. Conclusion

Les modèles de planification de bassin hydrographique sont présentés séparément et ensemble, dans un modèle intégré. Les incertitudes associées aux résultats de ces modèles ont été ignorées lors du développement de ces différents types de modèles. Ces incertitudes peuvent avoir un effet substantiel sur la solution du modèle et la décision prise.

La présélection des systèmes de bassins hydrographiques, en particulier compte tenu de plusieurs objectifs, est un défi à relever de manière efficace et efficiente.

Devant un système de bassin versant, tous les modèles de Modélisation sont représentatifs.

On a choisie le WEAP pour sa facilité à de travail.

CHAPITRE III : LE MODELE WEAP

CHAPITRE III : LE MODELE WEAP

III.1. Introduction

De nombreuses régions sont confrontées à de réels problèmes de gestion de l'eau. L'attribution de ressources en eau limitées, les problèmes de qualité de l'environnement, la planification du changement climatique et les incertitudes ainsi que la nécessité d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies d'utilisation durable de l'eau sont de plus en plus pressants pour les planificateurs des ressources en eau. Les modèles classiques de simulation de l'offre ne permettent pas toujours d'explorer toute la gamme des options de gestion.

Au cours des dix dernières années, une approche intégrée du développement de l'eau a émergé, qui place les projets d'approvisionnement dans le contexte de la gestion de la demande, de la qualité de l'eau, de la préservation et de la protection de l'eau. WEAP intègre ces valeurs dans un outil pratique pour la planification des ressources en eau et l'analyse des politiques. WEAP place les questions de demande telles que les scénarios d'utilisation de l'eau, l'efficacité des équipements, les stratégies de réutilisation, les coûts et les schémas d'allocation de l'eau sur un pied d'égalité avec les éléments tels que le débit de la rivière, les ressources en eaux souterraines, les réservoirs et les transferts d'eau. WEAP se distingue également par son approche intégrée pour simuler non seulement des composants naturels (applications d'évapotranspiration, écoulement, flux de base,...ect), mais également des composants techniques (réservoirs, pompage des eaux souterraines). Les systèmes d'approvisionnement en eau fournissent au planificateur une vue complète du large éventail de facteurs à prendre en compte dans la gestion des ressources en eau pour une utilisation présente et future. Le résultat est un outil efficace pour examiner les options de développement et de gestion de l'eau. (SEI, 2019).

III.2. Approche générale de modélisation

WEAP est un outil intégré de planification des ressources en eau utilisé pour représenter les conditions actuelles de l'eau dans une région donnée et pour explorer un large éventail d'options en matière de demande et d'approvisionnement permettant d'équilibrer les objectifs en matière d'environnement et de développement. WEAP est largement utilisé pour soutenir la planification collaborative des ressources en eau en fournissant un cadre d'analyse et de gestion des données commun permettant de faire participer les parties prenantes et les décideurs à un processus de planification ouvert. Dans ce contexte, WEAP est utilisé pour

développer et évaluer une variété de scénarios explorant les changements physiques du système, tels que les nouveaux réservoirs ou pipelines, ainsi que les changements sociaux, tels que les politiques affectant la croissance démographique ou les modes d'utilisation de l'eau. Enfin, les implications de ces différentes politiques peuvent être évaluées avec l'affichage graphique des résultats de WEAP.

III.3. Fonctions du système WEAP

Le système WEAP fournit une approche intégrée de la planification des ressources en eau en reliant les processus hydrologiques, les opérations et utilisation finale au sein d'une même plateforme analytique (Huber-Lee et al, 2003).

Le processus dépend de l'engagement des parties prenantes dans le développement et l'analyse des résultats. En plus de ses capacités d'exploitation complexes, WEAP fournit un outil complet, flexible et convivial pour la planification des ressources en eau et l'analyse des politiques. La structure transparente de WEAP facilite l'engagement des parties prenantes dans un processus ouvert d'évaluation des options de développement et de gestion de l'eau, et prend en compte les utilisations multiples et concurrentes des systèmes d'approvisionnement en eau.

Pour modéliser le fonctionnement d'un système d'eau, WEAP intègre à la fois la demande et l'approvisionnement en eau en plaçant les problèmes liés à la demande sur un pied d'égalité avec la dynamique de l'offre. Les estimations de la demande se dégagent des données concernant les modes d'utilisation de l'eau, l'efficacité des équipements, les stratégies de réutilisation, les coûts et les schémas de répartition de l'eau, entre autres. Les modèles WEAP fournissent en reproduisant à la fois ses composants gérés (détournements de flux, pompage d'eaux souterraines, réservoirs et transferts d'eau) et ses composants naturels (demandes d'évapotranspiration, écoulement, débit de base, par exemple) et ses composants gérés. WEAP fonctionne sur le principe de base d'un bilan hydrique et peut être appliqué à un seul bassin versant ou à des systèmes complexes de bassins hydrographiques transfrontaliers....

Au niveau le plus élémentaire, le cadre intégré d'affectation hydrologie / eau de WEAP (Yates et al. 2005a, 2005b) reconnaît que l'approvisionnement en eau est défini par la quantité de précipitations tombant sur un bassin versant (Figure III.1). De plus, cet approvisionnement de base est épuisé par les processus naturels des bassins versants, le bassin versant étant lui-même le premier point significatif d'épuisement par évapotranspiration (Mahmood et Hubbard, 2002). L'eau restant en excès des demandes d'évaporation dans tout le bassin versant constitue l'approvisionnement disponible pour le système de gestion de l'eau. Ainsi,

comme dans le domaine physique, il existe un lien continu dans le cadre WEAP entre le climat, les conditions d'utilisation / couverture du sol et la gestion du système d'approvisionnement en eau (Purkey et al, 2007).

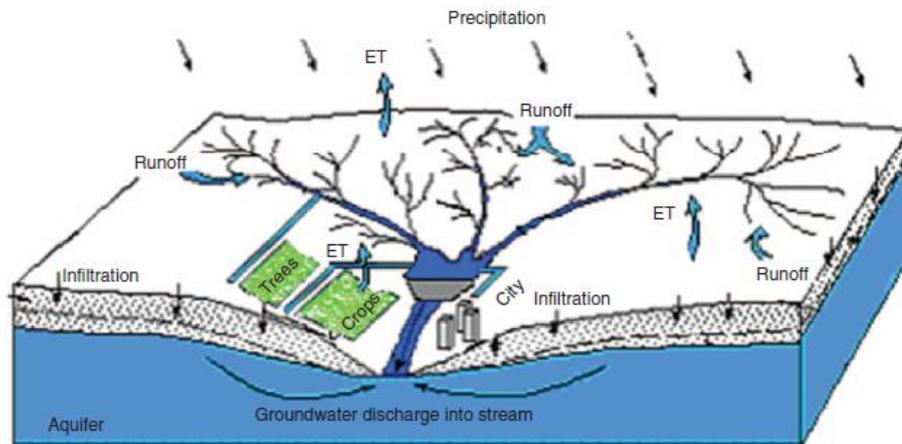


Figure III. 1: Conceptualisation des processus hydrologiques intégrés et des opérations de gestion de l'eau dans WEAP.

III.4. Principaux objectifs du logiciel

WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions: entre les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et entre les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales. Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification des ressources en eau (WEAP) sont les suivants:

- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources d'eau avec la projection future.
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau.
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement.
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges.
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques. (Hamlat, 2014)

WEAP permet de définir l'écoulement dans un cours d'eau (objet "river") à partir de : (1) le raccordement à un ou plusieurs bassins versants (objet "catchment") ; (2) la définition du débit de tête (headflow) de l'objet "river" ; (3) la définition de l'apport d'eau de surface (water surface inflow) pour un ou plusieurs biefs de l'objet "river".

III.4. Modélisation dans le WEAP

À chaque pas de temps, WEAP calcule d'abord le flux hydrologique qu'il transmet à chaque rivière. L'allocation de l'eau est ensuite effectuée pour le pas de temps donné, où les contraintes liées aux caractéristiques des réservoirs et du réseau de distribution, aux réglementations environnementales et aux priorités et préférences attribuées aux points de demande sont utilisées pour conditionner une routine d'optimisation de la programmation linéaire qui maximise la demande autant que possible la "satisfaction" (Yates et al, 2005). Tous les flux sont supposés se produire instantanément; Ainsi, un site de demande peut extraire de l'eau de la rivière, en consommer une partie et éventuellement restituer le reste dans un plan d'eau récepteur au même moment. En raison de la topologie du réseau, le modèle peut également allouer de l'eau pour répondre à toute demande spécifique du système, sans tenir compte du temps de trajet. Ainsi, le pas de temps devrait être au moins aussi long que le temps de résidence de la zone d'étude.

III.4.1. Modélisation hydrologique à base physique

Le modèle WEAP21 comprend un modèle de bilan hydrologique à grille irrégulière pouvant prendre en compte les processus hydrologiques dans un système de bassin versant et pouvant capturer les effets de propagation et non linéaires des prélèvements d'eau pour différents usages. Notre approche s'appuie sur Beven 2002, qui remet en question la tendance vers les systèmes de modélisation basés sur la physique. Il fait valoir que les scientifiques du bassin hydrographique tentent de plus en plus d'appliquer des modèles de dynamique des fluides de premier principe d'une manière similaire à celle des scientifiques de l'atmosphère et des océanographes, sans obtenir de nette amélioration par rapport aux représentations sous forme réduite du cycle hydrologique. Beven 2002 souligne que, en hydrologie, les écoulements à petite échelle sont largement dominés par la géométrie locale et les résistances aux limites locales des trajectoires individuelles plutôt que par la dynamique du fluide lui-même et que ces géométries ne peuvent pas être connues de manière suffisamment détaillée. . Beven 2002 conclut par un appel à différencier entre une base physique dans le sens où elle

repose sur des hypothèses et une théorie définies et une base physique dans le sens où elle est compatible avec les observations.

La gestion des ressources en eau dans le modèle WEAP repose sur l'utilisation d'outils de modélisation hydrologique qui simulent les processus physiques tels que les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration (Figure III.2, le pré développement). Après la construction des ouvrages hydrauliques comme les barrages et les détournements (Figure III.2 1b, l'après-développement), les facteurs liés au système de gestion doit également être pris en considération. Ces systèmes ont été mis en place pour régir l'attribution de l'eau entre les demandes concurrentes, qu'elles soient la demande de consommation pour l'agriculture, pour l'usage domestique ou pour une demande de non consommation comme la demande de la production hydroélectrique ou la protection des écosystèmes.

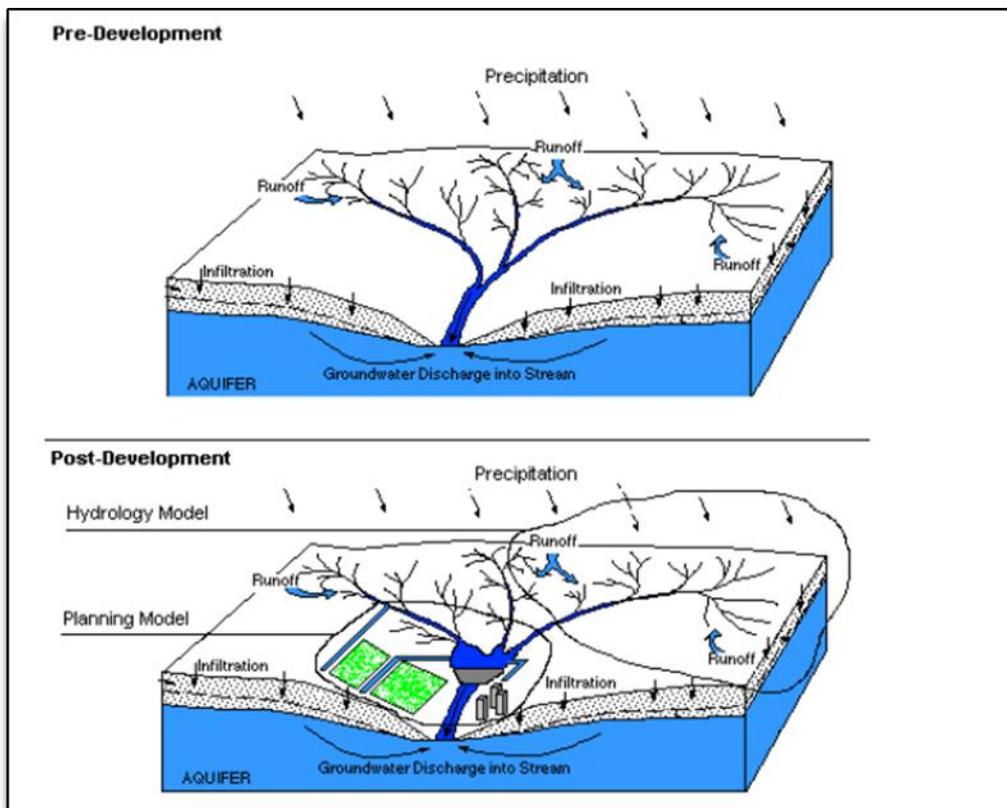


Figure III. 2: Caractérisation de l'avant et l'après développement du bassin versant qui met en évidence les conséquences de l'infrastructure des ressources en eau sur le cycle hydrologique (Yates et al, 2005).

La composante de la modélisation de l'hydrologie dans le WEAP a été développée pour tenir compte de deux différentes réalités hydrologiques. La première est la notion des précipitations dans les sous-bassins situés dans les parties amont des bassins versants avec une topographie complexe, c'est-à-dire des pentes raides. Sachant que les collines et les vallées abruptes contribuent aux écoulements de base des eaux souterraines. Celles-ci

desservent la rivière drainante « gaining stream » en toute période de l'année, avec une période de temps relativement courte (Winter et al, 1998).

A l'inverse, les sous-bassins situés dans les parties avalées des bassins versants dont le terrain est généralement plat, ont tendance à contribuer à des aquifères alluviaux qui sont directement liés au système de la rivière. De ce fait, ils peuvent contribuer à des flux de rivière drainante « gaining stream » et à partir duquel ils peuvent recevoir des infiltrations (rivière infiltrant « losing stream »), en fonction des conditions hydrologiques. Ces systèmes des eaux souterraines peuvent également fournir un stockage à partir duquel les utilisateurs puisent de l'eau pour satisfaire les demandes cités plus haut (Figure III.3). Ce schéma illustre un bassin versant divisé en deux sous-bassins. SC-1 est un bassin versant, sans interaction entre l'eau de surface-eau souterraine et ainsi applique les deux modèles du bilan hydrique "bucket». SC-2 qui est caractérisé comme étant dans une zone de la vallée, où l'hydrologie de surface s'applique au seul « Bucket » du bilan d'eau avec la recharge d'un aquifère alluviale sous-jacent comme l'interaction eau de surface - eau souterraine.

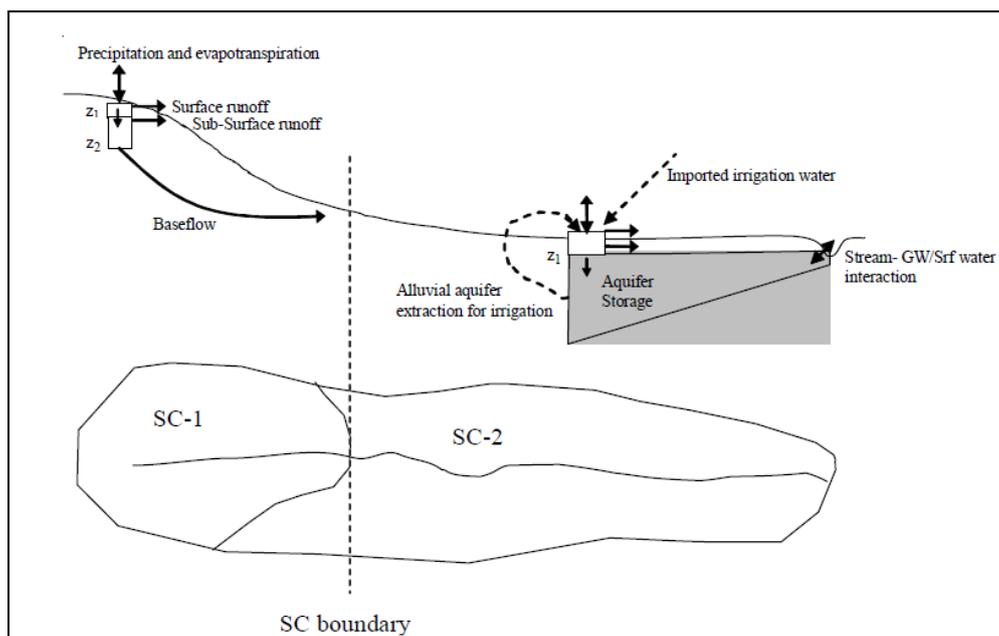


Figure III. 3: La Composante de l'hydrologie physique dans le WEAP 21 avec les différentes réalités hydrologiques (Yates et al, 2005)

III.4.2. Modélisation des eaux de surface dans le WEAP

Le modèle hydrologique quantitatif se compose de plusieurs composants simples sur le plan conceptuel qui sont combinés pour une efficacité de calcul, mais avec une spécificité suffisante pour capturer les processus hydrologiques importants et résoudre les problèmes clés liés aux ressources en eau. Pour un pas de temps donné, le module d'hydrologie de WEAP est

d'abord réalisé en mettant à jour l'état hydrologique du bassin versant et fournit ainsi les constantes d'équilibre utilisées dans le problème du bassin versant. la distribution linéaire pour une deuxième procédure dans l'étape en même temps.

La figure (III.4) présente les composants de ce modèle conceptuel pour la caractérisation de l'utilisation des sols et / ou l'impact d'un type de sol spécifique sur le ruissellement et la recharge des eaux souterraines. Un bassin versant est d'abord divisé en sous-bassins (SC), puis en N zones fractionnaires, où le bilan hydrique est calculé pour chaque zone fractionnaire j du sous-bassin N. Le climat est supposé uniforme sur toutes les zones fractionnaires. Equation du bilan massique continu et est écrit comme suit:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)K_{c,j}(t) \left(\frac{Sz_{1,j} - 2Z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t) Z_{1,j} \frac{LAI_j}{2} - f_j k_j Z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_j Z_{1,j}^2 \quad (III.1)$$

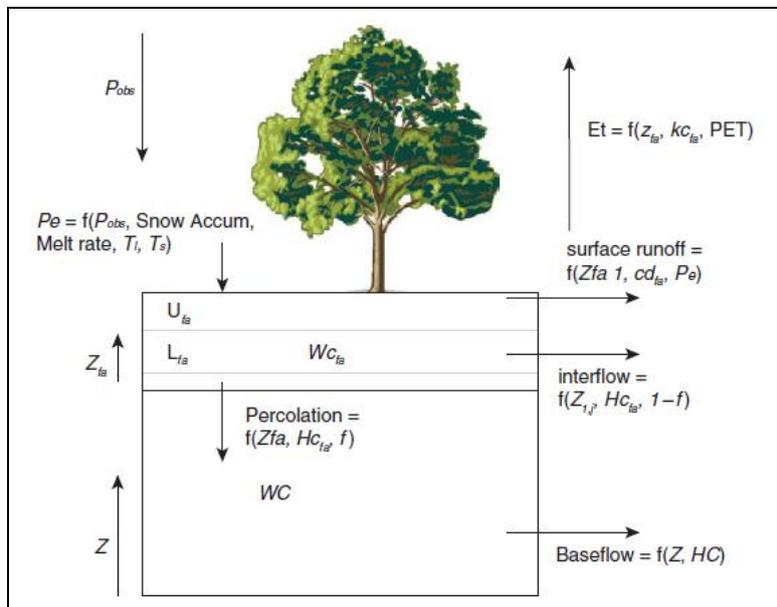


Figure III. 4: Schéma des deux couches du stockage de l'humidité du sol, montrant les différentes entrées et sorties hydrologiques pour une couverture du sol ou un type de culture, (Yates et al, 2005).

Avec $(z_{1,j})$, le stockage relatif eau-sol est donné comme une fraction de la capacité du stockage efficace et totale, et varie entre 0 et 1. Le « 0 » représente le point de flétrissement permanent et « 1 » la capacité de rétention. Le stockage effectif total de la couche supérieure est évalué par une estimation de la capacité de rétention en eau du sol (Sw_j en mm) ; elle est prescrite pour chaque fraction de couverture de sols (j).

Les données sur la couverture neigeuse ne sont pas nécessaires si le bassin hydrographique n'est pas exposé à la neige. WEAP détermine l'apparition de la neige en fonction de la température, du point de gelée et des paramètres de fonte. Si les deux paramètres sont laissés vides, la neige ne pourra pas s'accumuler. Le modèle estime

l'équivalence de la neige et de la fonte des neiges provenant d'un manteau neigeux accumulé dans le sous-bassin, où (m_c) est le coefficient de fonte de la neige. Il est calculé comme suit:

$$m = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{If } T_i < T_s \\ 1 & \text{If } T_i > T_1 \\ \frac{T_i - T_s}{T_1 - T_s} & \text{If } T_s \leq T_i \leq T_1 \end{array} \right\} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

T_i la température observée pour la période i , et T_1 et T_s sont les seuils de température de fonte et de gel, avec le taux de fonte donnée par la formule suivante :

$$m_i = \min (Ac_i m_c, Em) \quad (\text{III.3})$$

L'accumulation de neige (Ac_i) est en fonction de (m_c) et de la précipitation totale observée « P_i »

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)P_i - m_{i-1} \quad (\text{III.4})$$

Où Em : est l'énergie de fonte disponible convertie à une équivalente de profondeur d'eau / temps. Les précipitations efficaces « P_e » est alors calculée comme suite :

$$P_e = P_i m_c + m_r \quad (\text{III.5})$$

Le second terme dans l'équation (1) est l'évapotranspiration de la zone fractionnée « j » où PET est l'évapotranspiration potentiel de référence de Penman-Monteith des cultures qui est donné en (mm / jour). Le terme (k_{c_j}) est le coefficient cultural de la plante pour chaque couverture de sol fractionnée. Lorsque le modèle est exécuté pour des périodes de temps plus longues, le PET est redimensionné à une profondeur/ temps appropriée (Allen et al, 1998).

Le troisième terme représente le ruissellement, où « LAI » est la feuille et l'indice de surface de la tige (LAI), avec les valeurs les plus faibles de LAI_j affectés à la classe de couverture de sol, donnant ainsi une réponse plus élevée du ruissellement, tels que les sols nus. Le troisième et quatrième terme sont l'écoulement hypodermique et la percolation profonde respectivement, où le paramètre (k_j) est une estimation de la conductivité de stockage supérieure (mm / temps) et f_j est un paramètre quasi-physique relatif au sol, du type de la couverture du sol, de la topographie qui partitionne (fractionne) légèrement l'eau soit de façon horizontale « f_j », ou bien de façon verticale ($1 - f_j$).

La contribution de l'écoulement de surface et l'écoulement hypodermique dans le stockage supérieure (R_o) pour chaque sous bassin dans le temps (t) est donné par la formule suivante :

$$R_o(t) = \sum_j^N \left[P_e(t) Z_{1,j}^{\frac{LAI_j}{2}} + f_j k_j Z_{1,j}^2 \right] \quad (\text{III.6})$$

Où A_j est la contribution de la superficie de chaque classe de couverture du sol (j). Pour les sous-bassins sans un aquifère modélisé (Figure III.3), un bilan hydrique pour le deuxième stockage est donnée comme suit:

$$Dw \frac{dz_{2,j}}{dt} = (1 - f_j)k_j Z_{1,j}^2 k_2 Z_{2,j}^2 \quad (\text{III.7})$$

Où l'écoulement entrant vers ce stockage profond est la percolation profonde du stockage supérieure donnée par l'équation 1, et k_2 est le taux de la conductivité de la partie inférieure du stockage (mm/temps). Il est donné comme une valeur unique pour le bassin versant, et « Dw » est la capacité de stockage profonde de l'eau, évaluée en (mm). Les équations 1 et 7 sont résolues en utilisant l'algorithme de Runge-Kutta d'ordre 4 (Chapra et Canale, 1998). Le débit de base est tout simplement donné par la formule suivante :

$$Bf(t) = \sum_{j=1}^N A_j (k_2 Z_{2,j}^2) \quad (\text{III.8})$$

Quand un aquifère alluvial est introduit dans le modèle (Figure III.3), le deuxième terme du stockage est baissé et rechargé à partir du sous bassin. Celui-ci représente dans ce cas le terme « percolation » à partir du stockage maximum vers l'aquifère, P (vol/temps)

$$P = \sum_{j=1}^N A_j (f_j k_j Z_{1,j}^2) \quad (\text{III.9})$$

III.4.3. Interaction eau de surface- eau souterraine

Les eaux de surface et les eaux souterraines sont liées de manière dynamique. Lorsque les eaux souterraines sont épuisées, un nouvel écoulement de surface contribue à la recharge des aquifères (un flux perdant), tandis qu'un écoulement de rivière est considéré comme se drainant lorsqu'il y a une recharge importante de l'aquifère. Dans ce cas, le flux et l'aquifère vont vers la rivière. L'eau provenant de l'agriculture irriguée peut compliquer davantage la situation, car l'eau peut être extraite de la rivière, pompée de l'aquifère local ou même importée de l'extérieur du bassin. Ainsi, l'eau est à la fois épuisée et rechargée de l'aquifère. (hiver et al, 2001), (Liang et al, 2003).

Le module sur les eaux souterraines dans le modèle WEAP permet le transfert dynamique de l'eau entre le fleuve et l'aquifère (Figure III.5). Dans WEAP, l'aquifère est une pièce stylisée censée être symétrique par rapport à la rivière. Par rapport au stockage total de l'aquifère, elle est estimée en supposant que la nappe phréatique est en équilibre avec la rivière. Ainsi, le stockage à l'équilibre d'un côté de la pièce (GSe) est donné par la formule suivante:

$$GS(0) = GS_e + (y_d * A_d * I_w * S_y) \quad (\text{III.10})$$

La hauteur verticale de la nappe au-dessus ou en dessous de la position d'équilibre est donnée comme suit :

$$y_d = \frac{GS - GS_e}{h_d * I_w * S_y} \quad (III.11)$$

Plus l'aquifère augmente par rapport au canal de la rivière, plus l'infiltration augmente dans la rivière et inversement où l'infiltration totale (S) est à partir d'un côté de la rivière (m³/temps) ; elle est définie par la formule suivante:

$$S = (K_s * \frac{y_d}{h_d}) * I_w * d_w \quad (III.12)$$

Où K_s (m /temps) est la conductivité hydraulique saturée de l'aquifère, et d_w (m) est la profondeur mouillée du cours d'eau. Il est supposé constant dans le temps. La profondeur mouillée, ainsi que la longueur mouillée, se rapprochent de la zone à travers laquelle l'échange rivière-eaux souterraines peut avoir lieu. La conductivité hydraulique à saturation contrôle la vitesse à laquelle l'eau se déplace vers ou hors cette zone. Une fois l'infiltration est estimée, la moitié du stockage total de l'aquifère pour un temps précis est donnée par la formule suivante:

$$GS(i) = GS(i - 1) + \left(\frac{P - E_x}{2} - S \right) \quad (III.13)$$

Où E est l'eau prélevée à partir de la nappe aquifère afin de répondre aux demandes, et P est la contribution du bassin versant dans la recharge (équation III .9). Le stockage total de l'aquifère est simplement estimé par : 2GS (i).

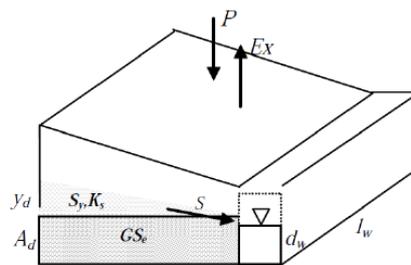


Figure III. 5: Schéma du système d'eau souterraine stylisée, et ses variables connexes. (Yates et al, 2005).

III.4.4. L'agriculture irriguée

La demande associée avec l'agriculture irriguée partage la même surface du modèle hydrologique comme la demande du bassin versant associé avec l'évapotranspiration de la couverture naturelle du sol. Un sous bassin peut être désigné comme contenant des fractions d'occupation du sol irriguées, qui sont ensuite attribuées à des seuils d'irrigation inférieurs et supérieurs, U_j et L_j pour la culture j (Figure III.5). Ces seuils dictent aussi bien le moment et

la quantité d'eau pour l'irrigation que l'évapotranspiration des cultures et la percolation appauvrissant l'eau disponible dans la zone de stockage supérieure, (z_{1j}). Ces seuils sont désignés par des lignes pointillées du stockage de l'humidité du sol supérieure prescrits pour chaque type agricole; comme le montre la Figure (III.5). Lorsque l'humidité relative du sol (z_{1j}) descend en dessous de L_j , cela déclenche une demande d'irrigation pour la fraction région. Voici la formule appropriée :

$$ID_j = Cp_j [(UT_j - ZI_{1,j}) * Sw_j] \quad (III.14)$$

Où Le CPJ est une variable dans le temps (variable de type entier), dont elle est utilisée pour prescrire le mode de culture pour chaque culture j , en utilisant l'interface graphique du modèle WEAP (WEAP GUI tool). La demande d'irrigation totale de chaque sous bassin récepteur est tout simplement présentée par la formule qui suit:

$$TID = \sum_{j=1}^N ID_j \quad (III.15)$$

Un sous bassin avec irrigation nécessite une source d'eau afin de répondre à cette demande. Ces sources sont identifiées dans WEAP en utilisant la fonction glissé-déposer pour relier les sources d'eau à l'emplacement de la demande d'irrigation appropriée.

III.4.5. Système de gestion (le module d'allocation)

Le point de départ dans l'analyse de la gestion de l'eau dans le modèle WEAP est le développement de la demande de bassin versant. Chaque demande se voit attribuée à une priorité définie par l'utilisateur étant donné comme un entier allant de 1 (priorité la plus élevée) à 99 (priorité la plus basse). Chaque demande est ensuite liée à ses sources d'approvisionnement disponibles. La préférence de chaque source d'alimentation est fixée pour chaque site de demande. Cela se fait selon la nature de l'eau disponible dans la région (par exemple : le site préfère obtenir son eau à partir d'une eau souterraine ou d'une eau de surface).

La priorité de la demande peut être n'importe quel chiffre entre 1 et 99 (Le nombre : 99 est une valeur par défaut). Elle permet à l'utilisateur de spécifier l'ordre de satisfaction de la demande en eau des sites traité. WEAP va tenter de satisfaire les exigences en eau des sites de demande avec une priorité égale à 1. Auparavant, les sites de demande avaient une priorité égale à 2 ou supérieure. Si deux sites de demande présentent la même priorité, WEAP va tenter de satisfaire leurs exigences en eau équitablement. Les valeurs absolues n'ont pas de signification pour les niveaux de priorité ; seulement l'ordre relatif a un sens. Par exemple,

s'il y a deux sites de demande, le même résultat sera obtenu si les priorités de la demande seront 1 et 2 ou 1 et 99.

Les priorités de la demande permettent à l'utilisateur de représenter dans WEAP l'allocation de l'eau comme elle est dans le système de la demande et de façon équitable. Par exemple, un fermier en aval doit avoir un droit temporel à l'eau d'une rivière, bien qu'un autre site de demande situé en amont ait la possibilité de par sa situation stratégique d'extraire l'eau à volonté, laissant le fermier en manque d'eau en absence de moyen d'équilibre. Le paramétrage des priorités de la demande permet à l'utilisateur de fixer la priorité de la Demande en Eau du fermier en dessus de celle du site en amont. Les priorités de la demande peuvent aussi changer en fonction du temps ou changer pour un scénario prédéfini et étudié par des experts connaissant bien la région traitée et qui utilisent le WEAP.

III.4.6. Besoins en eau

La structure des données de la demande en eau peut être adaptée pour répondre aux besoins spécifiques, basées sur la disponibilité des données. Les types d'analyses que l'utilisateur mène, et ces préférences unitaires. Dans la plupart des cas, les calculs de la demande en eau sont basés sur une comptabilité désagrégée pour diverses mesures de l'activité sociale et économique. On peut citer quelques exemples : Le nombre de ménages, les taux d'utilisation de l'eau par ménage, nombre d'hectares de l'agriculture irriguée, activité industrielle et commerciale, les taux d'utilisation de l'eau... etc).

Ces cas de figures sont agrégés et appliqués dans le schéma d'allocation au niveau du site de la demande. Les niveaux d'activités sont multipliées par les taux d'utilisations de l'eau de chaque activité et chacun peut ainsi être individuellement projeté dans l'avenir en utilisant une variété de techniques, allant de l'application de simples taux de croissance exponentiels ou des fonctions d'interpolation à l'utilisation de techniques de modélisation sophistiquées qui tirent partie du modèle WEAP intégré dans les capacités de modélisation via un générateur d'expressions.

III.4.7. Modélisation des réservoirs

Rappelons que le modèle effectue des simulations du fonctionnement hydraulique de la retenue, au pas à pas du temps mensuel. WEAP permet la modélisation d'une gestion avancée des retenues d'eau à travers la définition de plusieurs zones qui présentent différentes contraintes de gestion (SEI, 2008). (Figure III.6)

La courbe « Volume-Altitude » est utilisée à la fois pour modéliser la surface du plan d'eau pour l'évaporation et pour le calcul de la charge lorsque la production de l'énergie électrique est simulée. Pour transformer le volume et l'altitude en surface, il est supposé que la couche d'eau est cylindrique.

Le calcul de l'évaporation nette nécessite la prise en compte de deux paramètres, à savoir la précipitation et l'évaporation. Elle peut ainsi être un nombre positif ou négatif. Les variations mensuelles peuvent être modélisées en utilisant l'Assistant Séries temporelles Monthly ». (SEI, 2008). Il est représenté dans le schéma suivant :

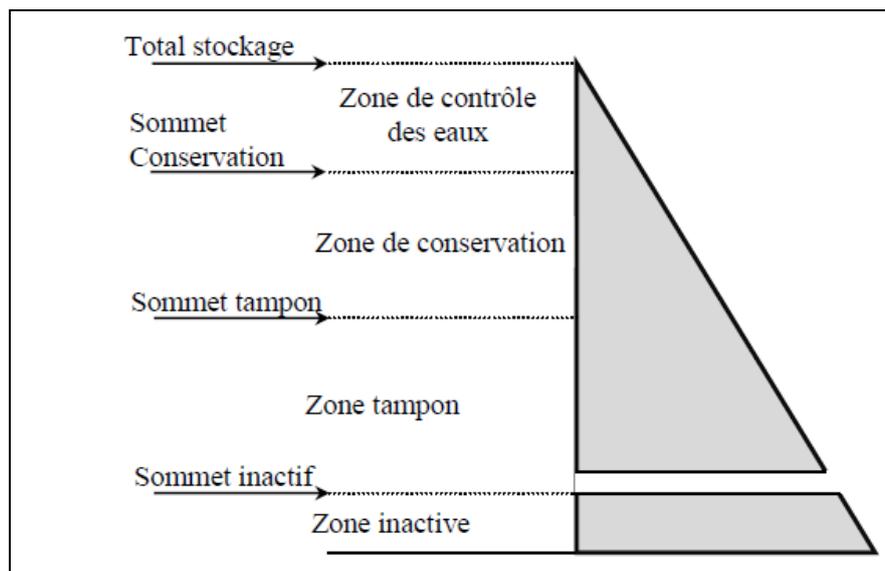


Figure III. 6: Les différents volumes de stockage utilisés pour décrire les politiques d'exploitation d'un réservoir (Yates et al, 2005).

Le coefficient tampon offre un moyen de régulation de la fourniture de l'eau lorsque le niveau de l'eau dans la retenue en amont est dans la zone tampon. La demande en aval est multipliée par le coefficient tampon pour obtenir la fourniture de l'eau actuelle. Ainsi, un coefficient tampon égal à 1 signifie que la fourniture de l'eau est égale au besoin qui couvre totalement la demande aval (en d'autres termes, la zone tampon est une simple extension de la zone de conservation). Un coefficient tampon égal à 0 signifie qu'aucune eau n'est fournie. Ceci explique le faible recouvrement du site en demande en eau observée avec le scénario « Changement du coefficient tampon ».

La quantité disponible pour être libérée du réservoir, (S_r) est la quantité totale dans la conservation. Pour les zones de contrôles des inondations, c'est une fraction (défini par bc) de la quantité de la zone tampon,

$$S_r = S_c + S_f + (bc * S_b). \quad (\text{III.16})$$

Avec :

Sf : Stockage de la zone de contrôle des eaux (The flood contrôle Storage)

Sc : Stockage de la zone de conservation (The conservation storage)

Sb : Stockage de la zone tampon (The Buffer storage)

bc : Coefficient de la zone tampon.

III.5. Les Étapes de développement d'un modèle WEA

Le développement de l'application WEAP a suivi une approche de modélisation standard (figure III.7). La première étape de cette approche est la définition de l'étude, dans laquelle l'extension spatiale et les composantes du système de la zone d'intérêt sont définies et l'horizon temporel de l'analyse défini. À la suite de cette évaluation initiale, les «comptes courants» sont définis. Ils constituent une représentation de base du système, y compris les règles de fonctionnement existantes pour les fournitures et les demandes. Les comptes courants servent de point de départ à des scénarios caractérisant d'autres ensembles d'hypothèses futures relatives aux politiques, aux coûts et aux facteurs ayant une incidence sur les demandes, les charges de pollution et les fournitures. Enfin, les scénarios sont évalués en ce qui concerne la suffisance en eau, les coûts et les avantages, la compatibilité avec les objectifs environnementaux et la sensibilité à l'incertitude des variables clés.

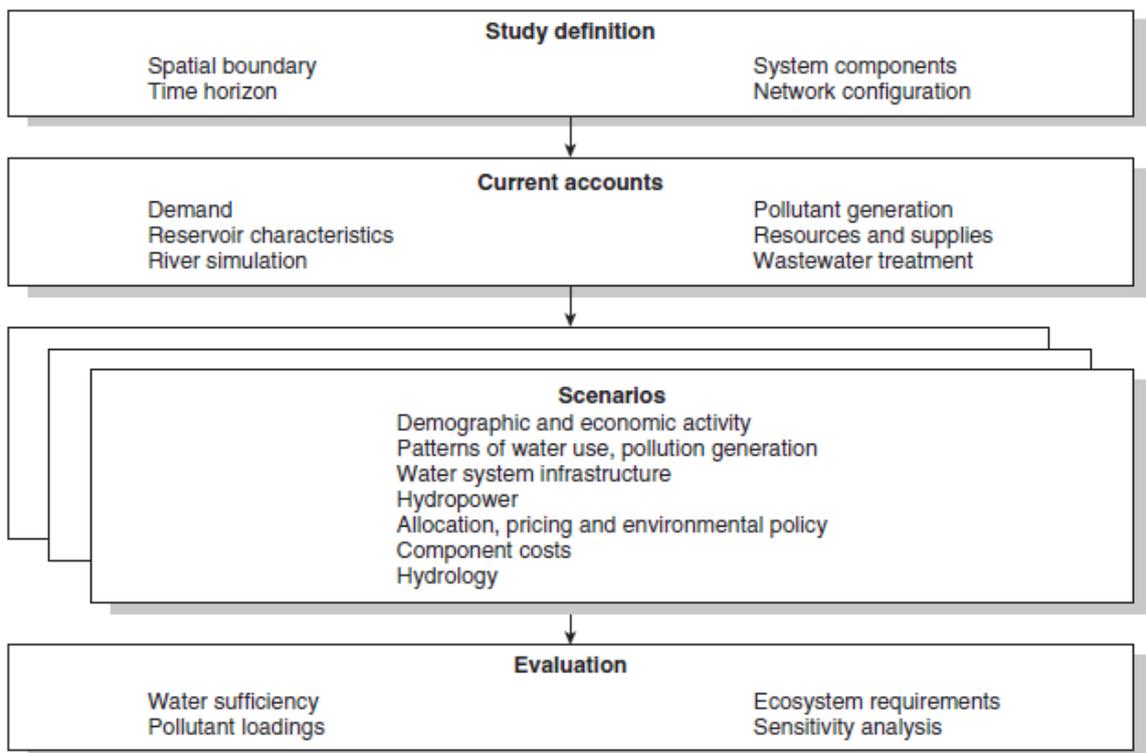


Figure III. 7: Développer une application WEAP.

III.5.1. Définition de l'étude

Évaluer les implications de la gestion des dérivations et des retenues le long du bassin. Dans WEAP, il est nécessaire de définir la portée spatiale de l'analyse des limites du bassin hydrographique. À l'intérieur de ces limites, de petites rivières et ruisseaux (ou tributaires) se jettent dans la principale rivière d'intérêt. Étant donné que ces affluents déterminent la distribution de l'eau dans tout le bassin, il est également nécessaire de diviser la zone d'étude en sous-bassins de manière à pouvoir caractériser cette variabilité spatiale des débits des rivières.

III.5.2. Compte courant

Les comptes courants représentent la définition de base du système d'eau tel qu'il existe actuellement. L'établissement de comptes courants nécessite que l'utilisateur «étalonne» les données du système et les hypothèses de manière à refléter avec précision le fonctionnement observé du système. Les comptes courants incluent la spécification des données sur l'offre et la demande (y compris la définition des réservoirs, des pipelines, des usines de traitement, de la production de pollution, etc.). Ce processus d'étalonnage comprend également la définition des paramètres du module pluie-débit de WEAP, de telle sorte que WEAP puisse utiliser des données climatiques (température et précipitations) pour estimer l'approvisionnement en eau (débit de la rivière, recharge de la nappe) et la demande d'évaporation dans la région.

III.5.3. Scénarios

Le concept d'analyse de scénario est au cœur de WEAP. Les scénarios sont des récits cohérents de la manière dont un futur système pourrait évoluer au fil du temps. Les scénarios peuvent répondre à un large éventail de questions «et si». Cela permet aux utilisateurs d'identifier les modifications non souhaitées dans le système et d'évaluer la manière dont ces modifications peuvent être atténuées par des interventions politiques et / ou techniques. Les résultats de ces analyses orientent le développement des ensembles de réponses, qui sont une combinaison de modifications de gestion et / ou d'infrastructures permettant d'améliorer la productivité du système.

III.5.4. Évaluation

Une fois que les performances d'un ensemble de packages de réponse ont été simulées dans le contexte de scénarios futurs. Ceux-ci concernent souvent la fiabilité de l'approvisionnement

en eau, l'équité en matière d'allocation de l'eau, la durabilité de l'écosystème et les coûts, mais un nombre quelconque d'indicateurs de performance et doivent être définis et quantifiés dans WEAP.

III.6. Structure du programme

WEAP est structuré comme un ensemble de cinq "vues" différentes de votre région. Ces vues sont répertoriées sous forme d'icônes graphiques dans la "Barre de visualisation", située à gauche de l'écran. Cliquez sur une icône dans la barre de vues pour sélectionner l'une des vues. Pour la vue Résultats et Explorateur de scénarios, WEAP calculera les scénarios avant que la vue ne soit affichée, si des modifications ont été apportées au système ou aux scénarios.

III.6.1. Présentation schématique

La vue schématique est le point de départ de toutes les activités de WEAP. Une caractéristique centrale de WEAP est son interface graphique "glisser-déposer" facile à utiliser, utilisée pour décrire et visualiser les caractéristiques physiques du système d'approvisionnement et de demande en eau. Cette disposition spatiale est appelée thématique. Vous pouvez le créer, le modifier et l'afficher dans la vue schématique. Des couches SIG peuvent être ajoutées pour plus de clarté et d'impact. La vue schématique vous permet d'accéder en un clic à l'intégralité de votre analyse - faites un clic droit sur n'importe quel élément du schéma pour accéder à ses données ou à ses résultats. (ISE, 2008).

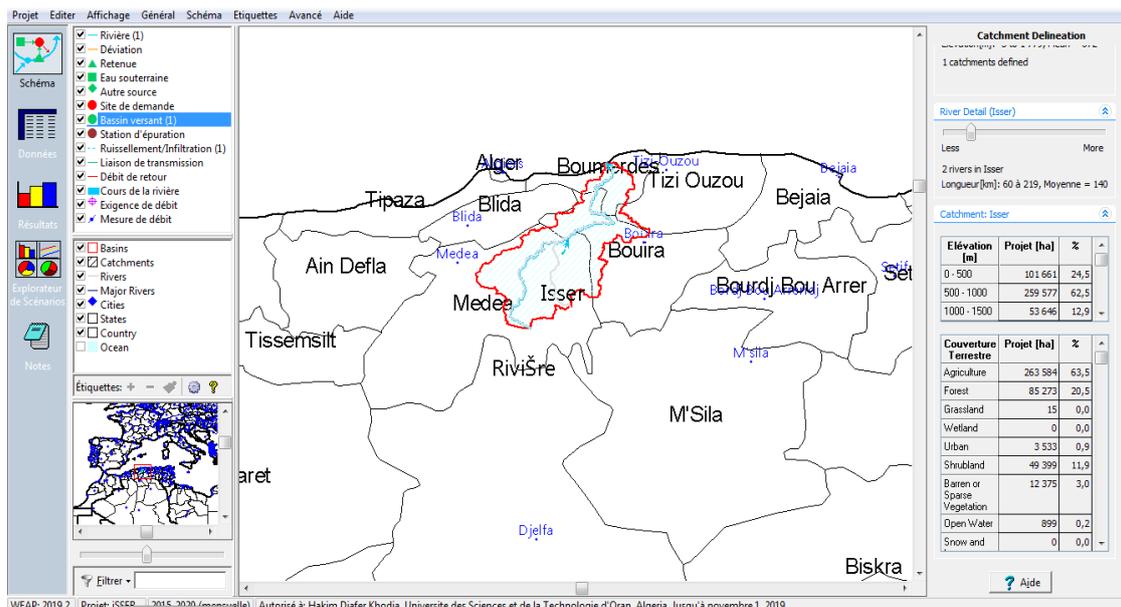


Figure III. 8: Interface WEAP - Exemple de vue schématique. (Propre élaboration).

III.6.2. Affichage des données

La vue de données est l'endroit où vous créez vos structures de données, modèles et hypothèses dans WEAP. Dans la vue des données, l'écran est divisé en quatre volets. En haut à gauche, un arbre hiérarchique est utilisé pour créer et organiser des structures de données sous six catégories principales: Hypothèses clés, Sites de demande, Hydrologie, Ressources et approvisionnements, Environnement et autres hypothèses. L'arbre est également utilisé pour sélectionner les données à éditer, ce qui est affiché à droite de l'écran. Par exemple, un clic sur la branche d'arborescence "Sites de demande" à gauche de l'écran affiche les données de tous les sites de demande à droite de l'écran. En bas à gauche se trouve un schéma d'insertion de données. En cliquant sur un élément du schéma, vous obtiendrez un saut à sa place dans l'arbre. En haut à droite de l'écran, un tableau de saisie permet de modifier des données et de créer des relations de modélisation. Les informations que vous entrez ici sont affichées graphiquement dans le volet en bas à droite. (SEI, 2008).

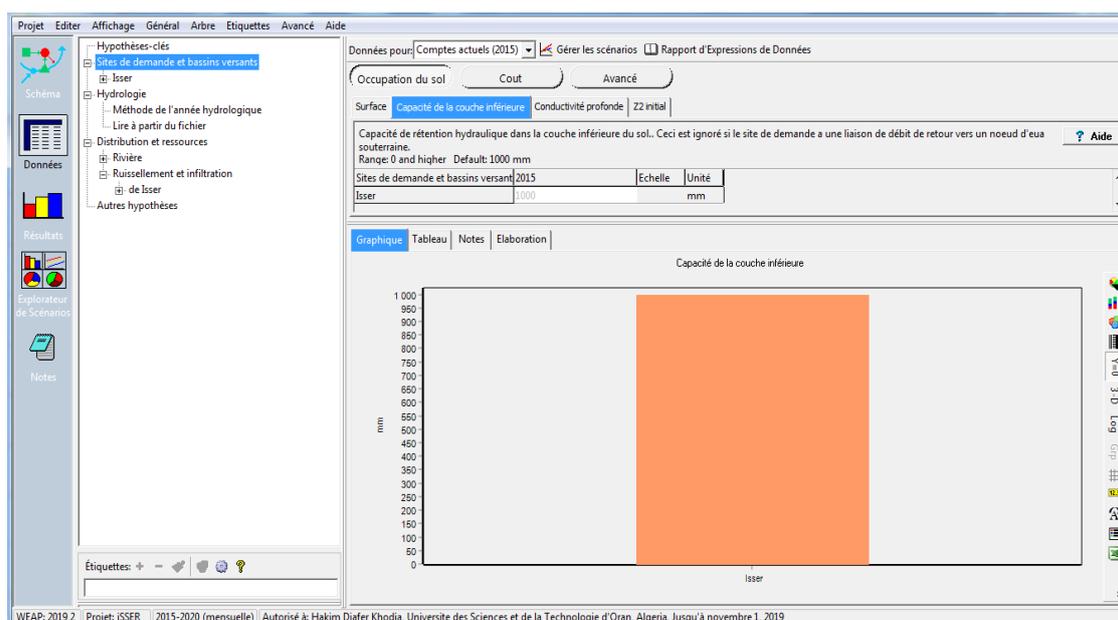


Figure III. 9: WEAP - Exemple de fenêtre de données. (Propre élaboration).

III.6.3. Présentation des résultats

La vue Résultats affiche une grande variété de graphiques et de tableaux couvrant chaque aspect du système: demande, offre, coûts et charges environnementales. Des rapports personnalisables peuvent être visualisés pour un ou plusieurs scénarios. Vous pouvez également utiliser l'option "Favoris" pour marquer les graphiques les plus utiles pour votre analyse. (SEI, 2008).

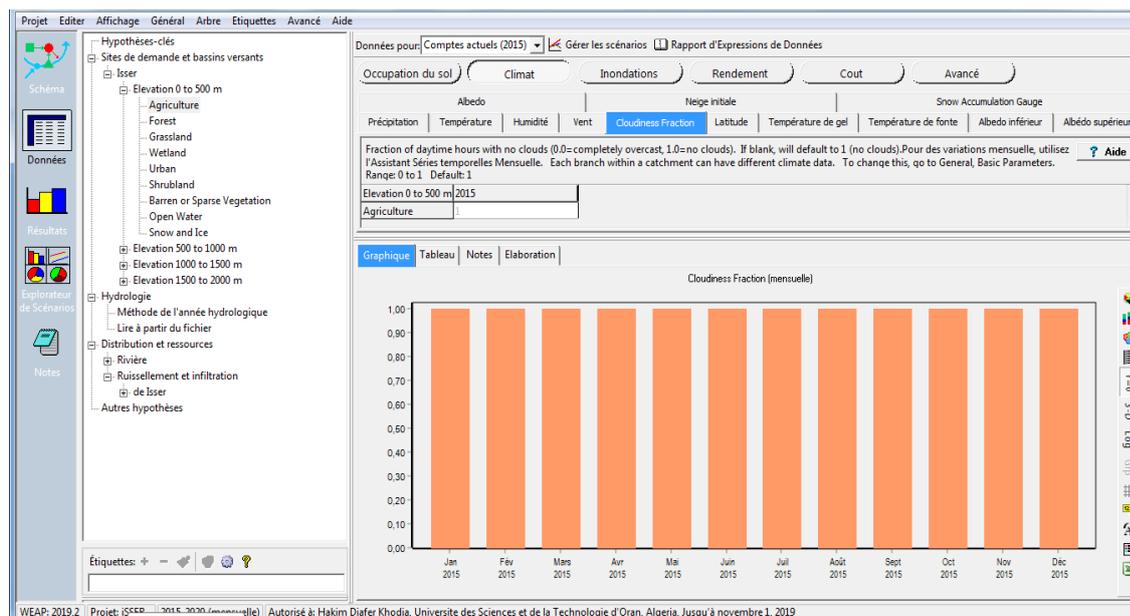


Figure III. 10: WEAP - Exemple de résultats. (Propre élaboration).

III.6.4. Scénario Explorateur

La vue Explorateur de scénarios permet de regrouper les graphiques "Favoris" (créés précédemment dans la vue "Résultats") en "Vues d'ensemble" pour un affichage simultané. Avec Overviews, vous pouvez avoir une vue d'ensemble de différents aspects importants de votre système, tels que les demandes, la couverture, les flux, les niveaux de stockage, les impacts environnementaux et les coûts. Vous pouvez créer plusieurs aperçus, chacun pouvant afficher jusqu'à 25 favoris différents. En plus d'afficher les résultats, la vue Explorateur de scénarios peut afficher des données sélectionnées dans de nombreux scénarios afin de démontrer l'impact de diverses hypothèses et stratégies sur les résultats. Ces valeurs peuvent être modifiées sur place et WEAP recalculera et mettra à jour les résultats. (ISE, 2008).

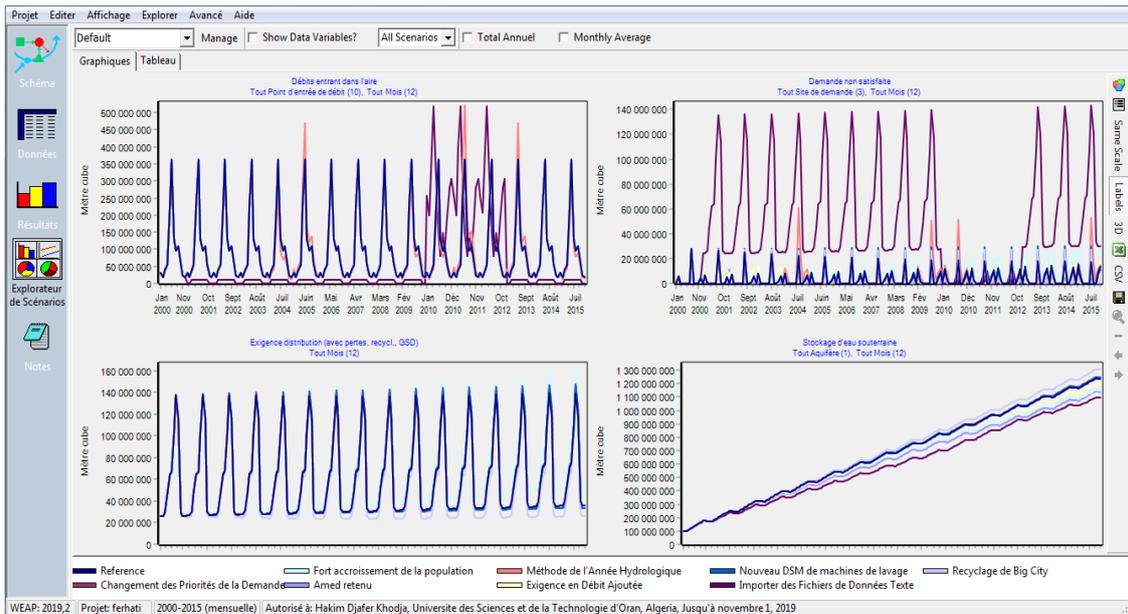


Figure III. 11: Aperçus d'un exemple de la vue. (Propre élaboration).

III.6.5. Notes

La vue Notes est un outil de traitement de texte simple avec lequel vous pouvez entrer de la documentation et des références pour chaque branche de l'arbre. Pour modifier les notes, saisissez directement dans la fenêtre Notes ou sélectionnez Modifier pour afficher une fenêtre plus grande avec des fonctionnalités de traitement de texte supplémentaires. Les notes peuvent inclure la mise en forme et peuvent également inclure des "objets" Windows standard tels que des feuilles de calcul. Utilisez les boutons Imprimer et Imprimer tout pour imprimer une ou toutes les notes ou les boutons Word pour exporter une ou toutes les notes vers Microsoft Word. (ISE, 2008)

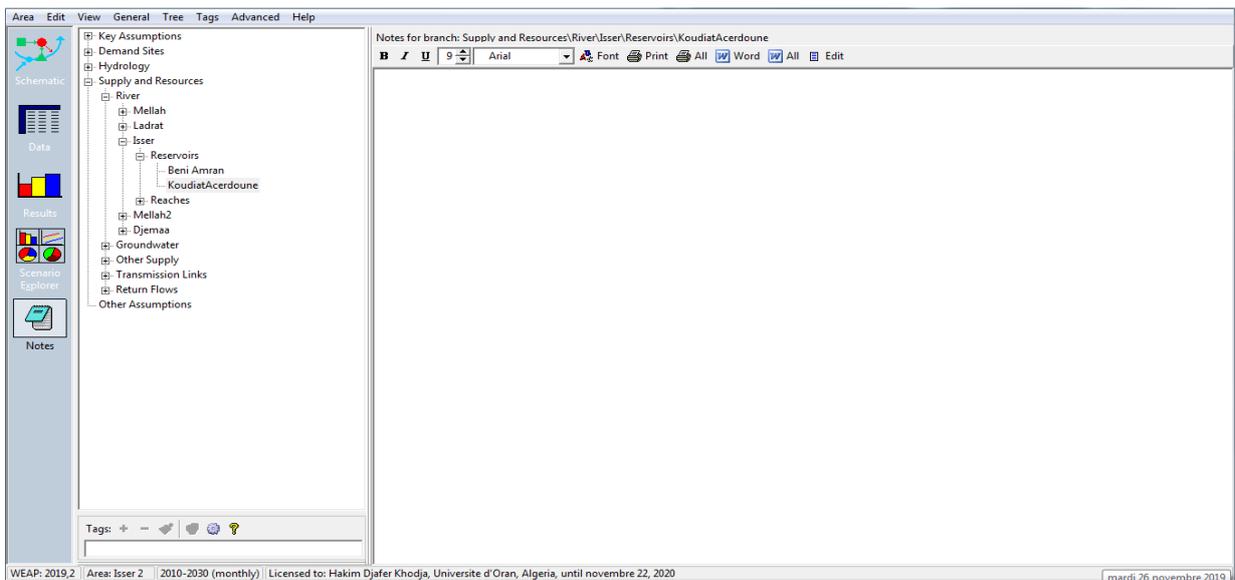


Figure III. 12: Aperçus d'un exemple de Notes. (Propre élaboration).

***CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE***

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter notre zone d'étude et les données utilisées ainsi leurs traitement.

IV.2. Présentation de la zone d'étude

IV.2.1. Situation géographique

Le bassin de l'Isser est situé au Centre - Nord de l'Algérie, avec une superficie totale de 4149 Km², ce qui vaut à 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois - Hodna - Soummam avec une population totale estimée à 812 291 habitants en 2040. (REMINI et al, 2009).

Il est limité comme suit : a l'Est par le bassin de la Soummam; au Sud par le bassin du Hodna;

A l'Ouest et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Le bassin versant Isser est situé environ à 70 Km au Sud Est d'Alger. Il contient 05 willayas (Bouira, Boumerdes, Tizi Ouzou, Médéa et Blida).

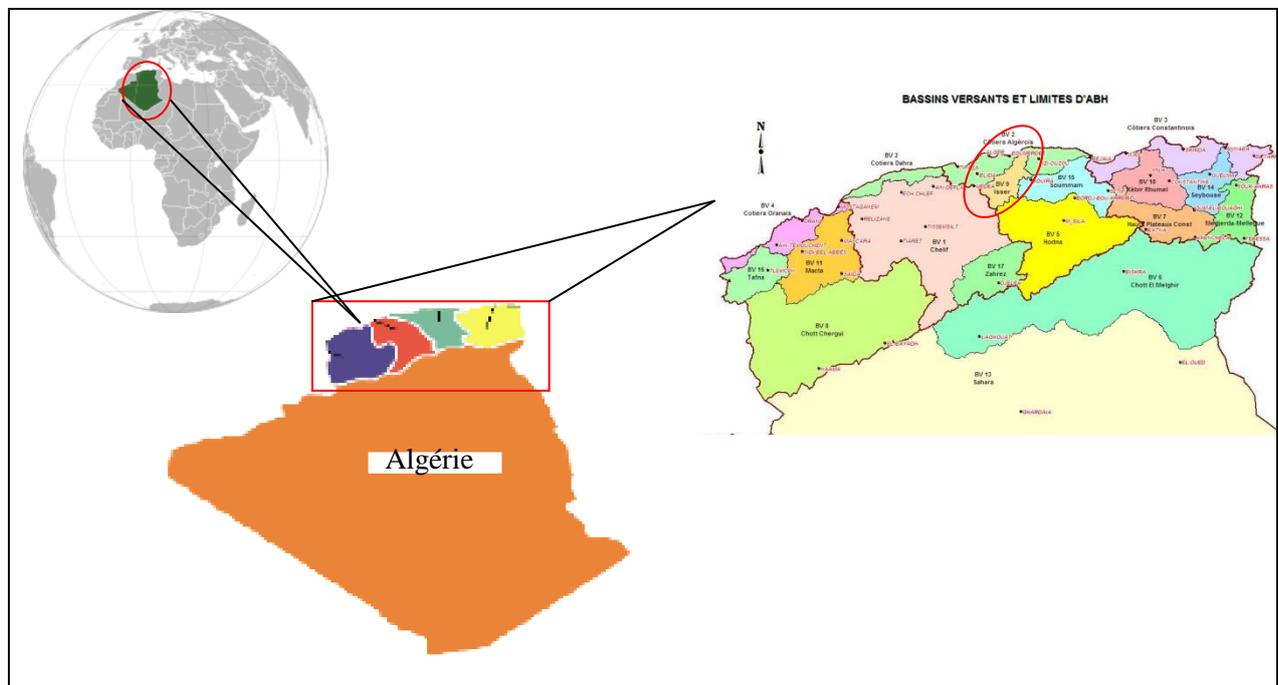


Figure IV. 1: Situation géographique de la zone d'étude. (Propre élaboration).

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué de l'atlas tellien algérois au Nord qui culmine à 1130m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribis d'altitude 550m.

Le bassin versant de l'Oued Isser dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810m a une altitude moyenne de 710m.

Le cours d'eau principal parcourt une distance de 98,2km.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

1- Bas Isser: il est situé à 60Km à l'Est d'Alger et limité comme suit:

Au Nord par la mer Méditerranée;

Au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;

Au Nord-Est par le Massif de Cap Djinet;

A l'Est par les Massifs Raicha et Chender;

A l'Ouest par les Massifs de Thénia.

2- Haut et Moyen Isser: la plaine du Haut et Moyen Isser est limitée comme suit:

Au Nord par le Massif de Beni Amrane;

A l'Est par l'oligocène de Drâa El Mizane;

A l'Ouest par les formations oligocènes du Djebel Bouzegza.

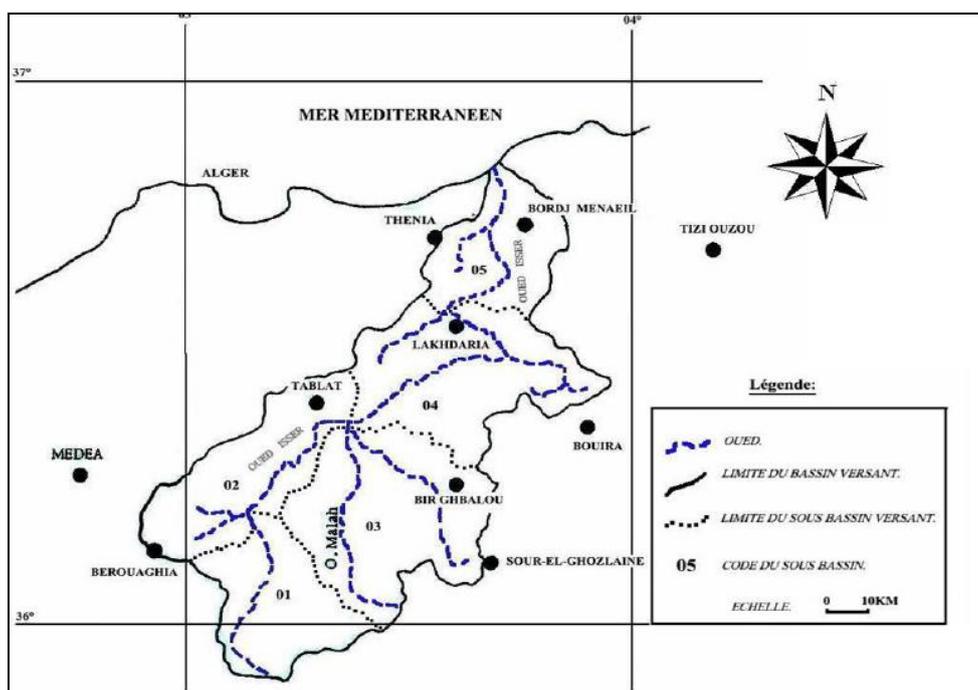


Figure IV. 2: Situation Géographique du Bassin versant Isser. (Propre élaboration).

2- Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.

3- La pente du terrain: elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

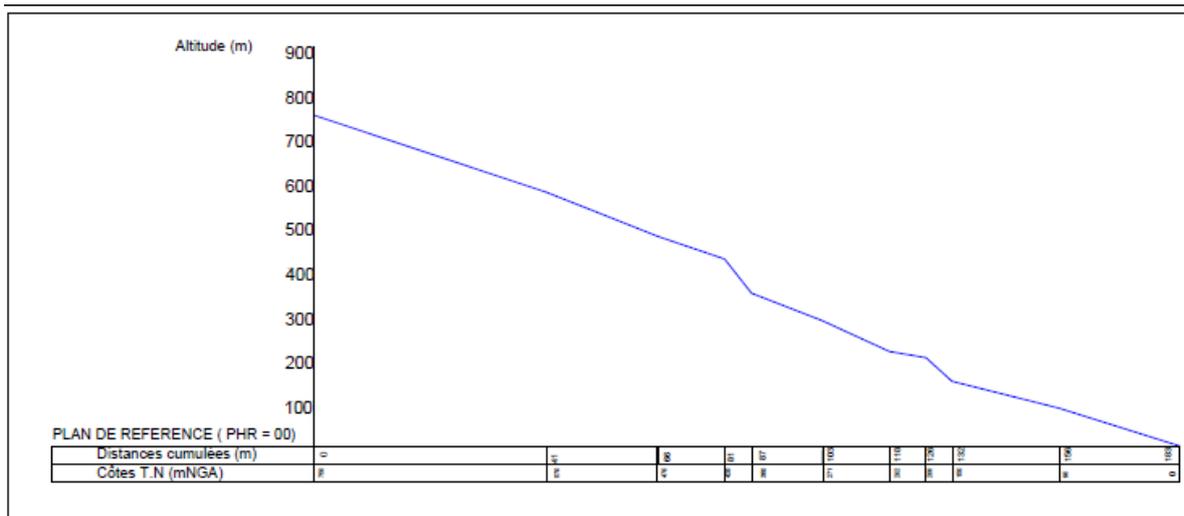


Figure IV. 4: Profil en long de l'oued principal de BV Isser. (Propre élaboration).

5- La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

- Haut Isser : On y trouve deux principaux cours, l'Oued Mellah et l'Oued Isser. L'Oued Isser est formé par la réunion de l'Oued El Hammam issu de calcaires marneuses de crétacé inférieur de Berroughia et de L'oued Mellah qui draine 1/3 de la superficie du ce bassin.

- Moyen Isser : Il est drainé par les Oueds: Djemaa à l'Est, Bou-Hammoud à l'Ouest, Isser au milieu.

- Bas Isser : est traversé par l'oued Isser et quelques affluents à l'Est et à l'Ouest de celui –ci. Le réseau hydrographique est présenté sur la figure (IV.5).

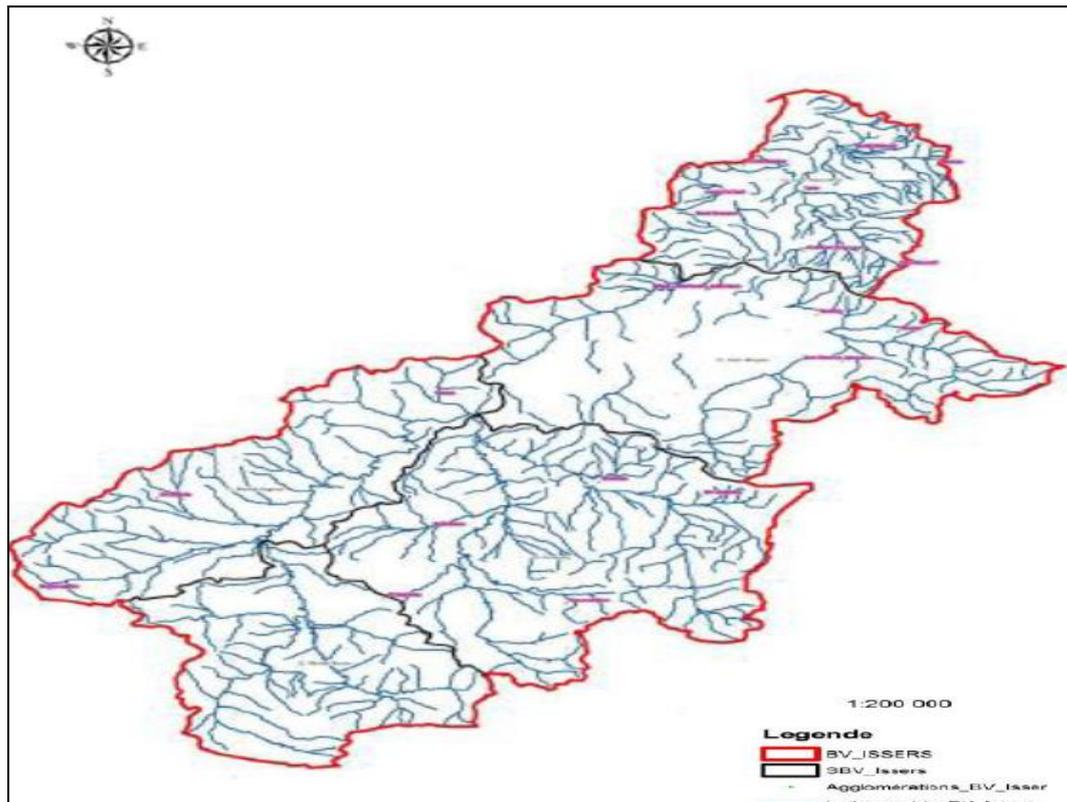


Figure IV. 5: Réseau hydrographique du bassin versant Isser. (Propre élaboration).

IV.2.3. Géologie

IV.2.3.1. Lithologie

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré de dégradation.

- Haut Isser : est constitué à 60% de formation marneuse et marno-calcaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur.

Les argiles et sable rouge de l'aquitaniens continental occupent 13 % du bassin.

On y trouve également des alluvions en terrasses du quaternaire continental. Ces formations occupent 12% de la surface du bassin. Des époinçements triasiques dans le crétacé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Ces marnes qui constituent 69% de la superficie totale, se fissurent et craquent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables. (Figure IV.6).

- Moyen Isser : La description lithologique du Bas Isser et Moyen Isser est extraite de la carte de géologie.

Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % du Moyen Isser. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen de supérieur.

On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de la superficie totale de bassin.

Le miocène inférieur est représenté par des grés et marnes ; ces formations constituent 4% du bassin. Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale.

On note la présence des traces de trias marin ou lagunaire formant 0,6% du bassin.

Le Moyen Isser présente en général des formations meubles, facilement érodables.

(Figure IV.6).

- Bas Isser : est constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14,91% du bas Isser.

Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale.

Le crétacé inférieur occupe 2,11% du bassin. Ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grés ; Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6% du Bas Isser.

On y trouve des granites formant 1.93% de la superficie totale. Ces formations dures 'conglomérats et granites' donnent au bas Isser, la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le Haut Isser. (Figure IV.6).

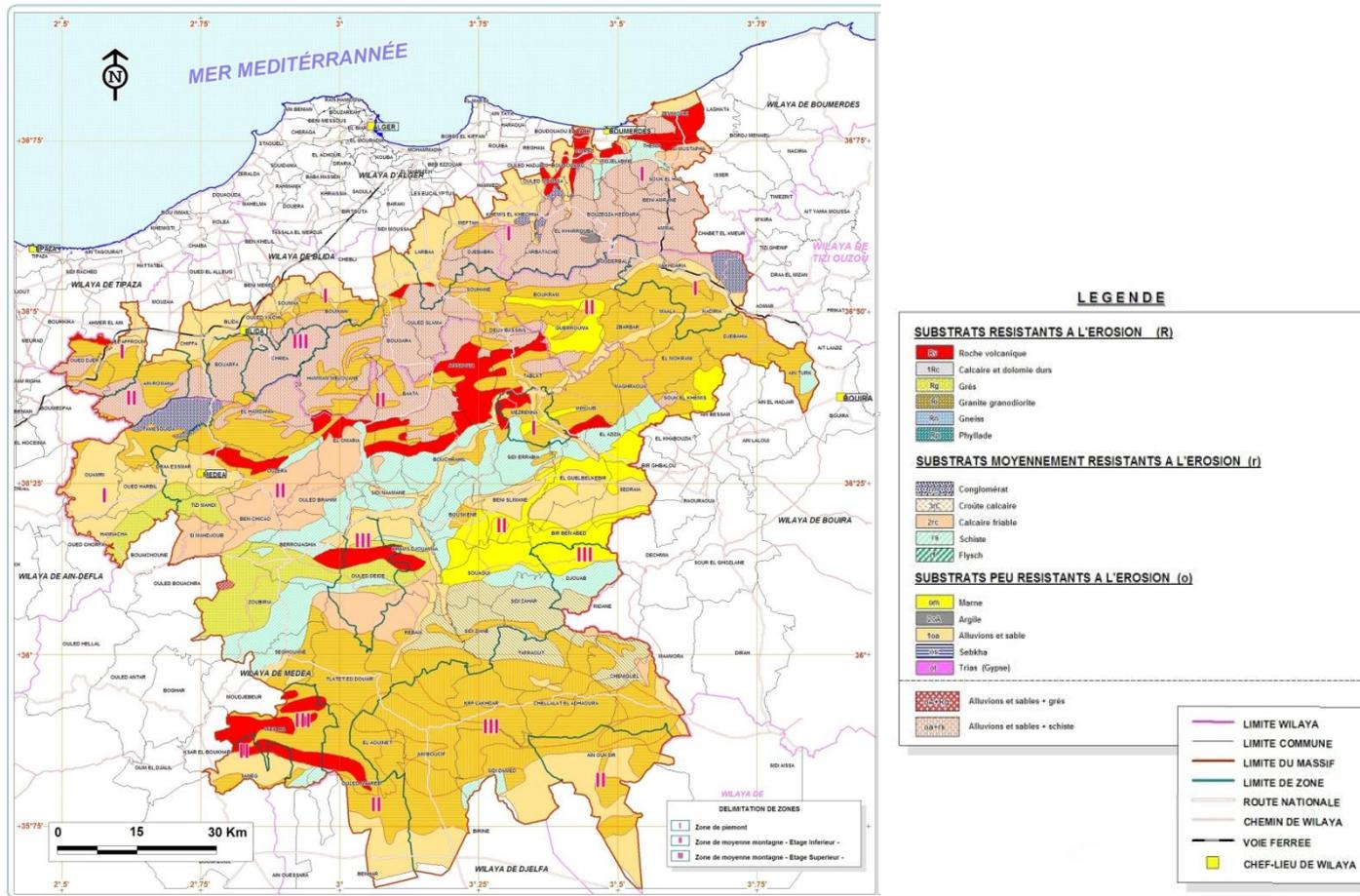


Figure IV. 6: Carte lithologique du bassin versant Isser. (ABH/AHS).

IV.2.4. Topographie

- Haut Isser : dont les lignes de crête se situent entre 1200-1800m à une altitude moyennes 843m, 50% de la surface est comprise entre les altitudes 700- 1100m.

Il Nord- Ouest est moins élevée, son altitude passe de 1240m au Kef-R'mel à 1971 au Boumali.

L'arrête présente deux arrêtes principales orientées, Sud – Ouest et Nord –Est. L'arrête Sud – Ouest est plus élevée et passe de 1460m à Kef Lakhdar Chergui à la cote 1810m au Bjeble Dira, point culminant du bassin.

- Moyen Isser : Le relief est plus au moins accentué. Il se situe entre l'altitude 900 à la station Lakhdaria à 1265m au Bjeble Fouda.

- Bas Isser : Les altitudes du Bas Isser sont comprises entre 0-1031m sur la bordure du massif occidental du Djurdjura. Il présente une topographie accentuée.

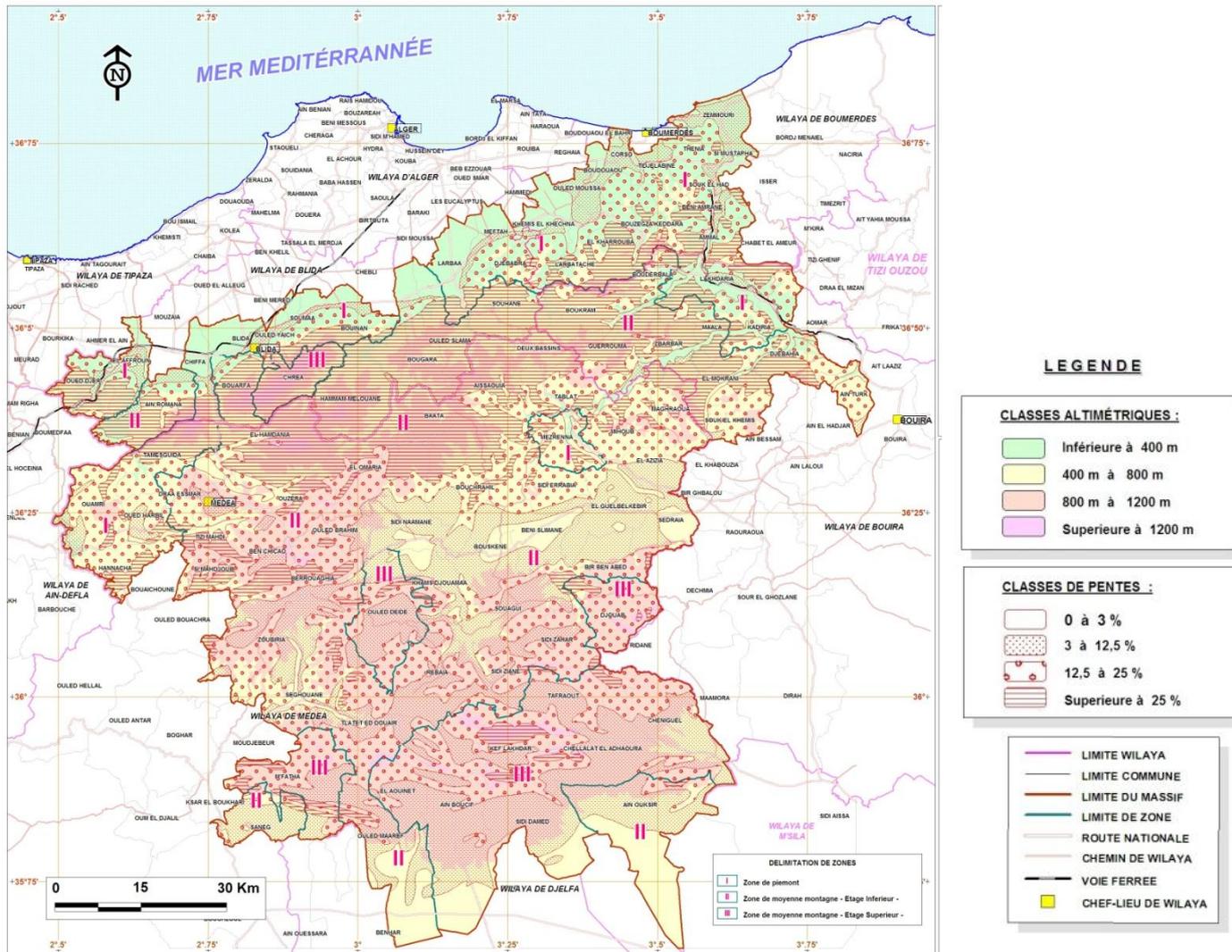


Figure IV. 7: Carte des pentes. (ABH/AHS).

IV.2.5. Végétation

- Haut Isser : La caractéristique la plus apparente en étudiant le bassin est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense, ce qui favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin.

Les collines marneuses de haut Isser sont couvertes des cultures céréalières, maraîchères et fourragères. On y trouve aussi, mais en faible quantité l'arboriculture fruitière. Les versants abrupts sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées, on y trouve surtout du Pin d'Alep et le chêne vert.

- Moyen Isser : Les cultures annuelles occupent la quasi-totalité des terres agricoles de Moyen Isser, Les plaines, tout en long d'Oued Isser sont couvertes des cultures maraîchères et d'arboricultures fruitières. Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture.

On note que le Moyen Isser manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistent les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées.

- Bas Isser : On rencontre le même problème de végétation arbustive dans le Bas Isser.

Les cultures annuelles dominent la majeure partie basse du bassin à savoir l'arboriculture fruitière, fourragère et aussi céréaliculture qui occupent les plaines.

Les collines sont couvertes d'une grande partie de céréaliculture et fourragère. Quant aux montagnes et les piémonts, on y trouve de l'olivier et autres espèces forestières.

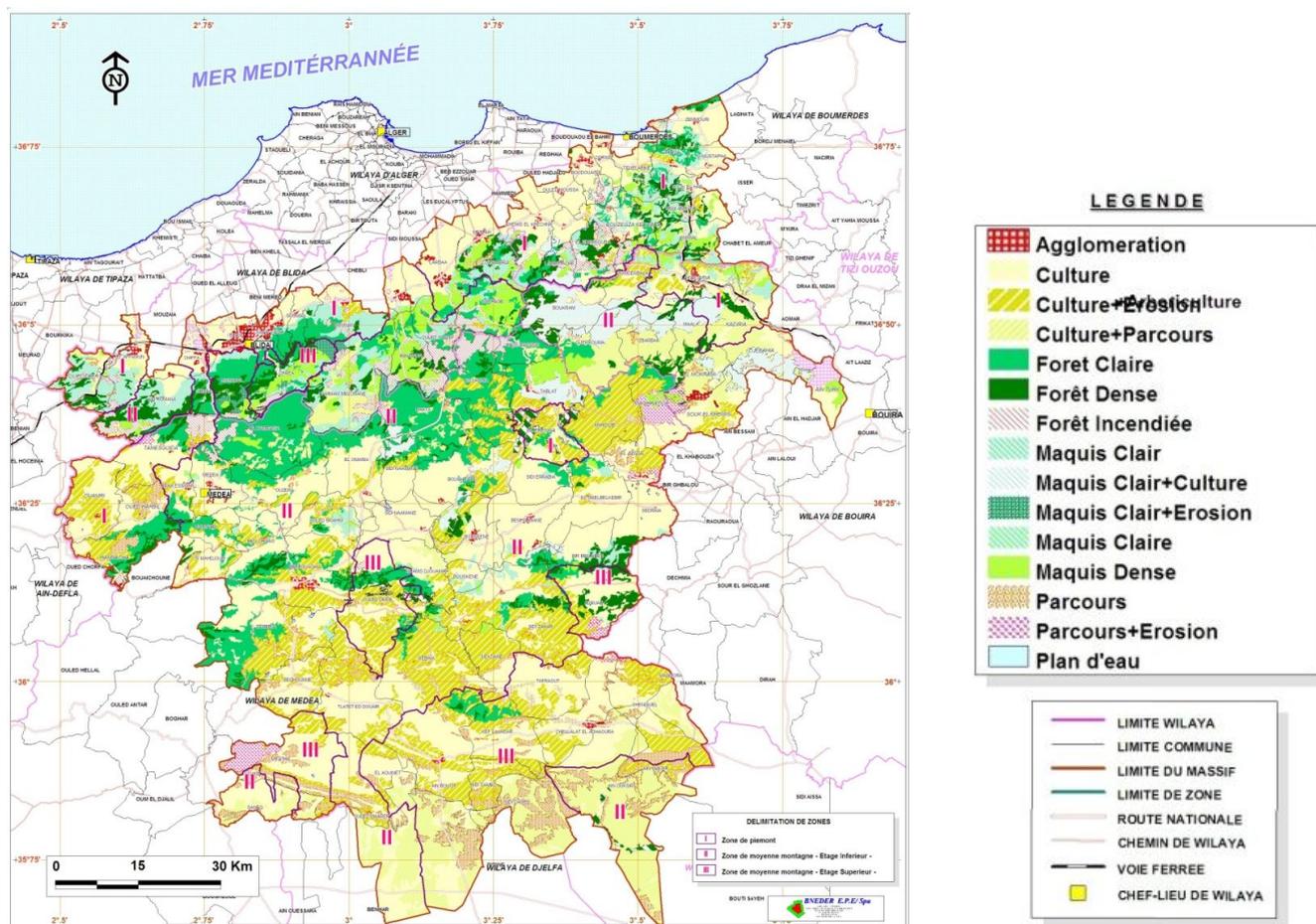


Figure IV. 8: Carte d'occupation de sol. (ABH/AHS).

IV.2.6. Climat

La région de l'oued Isser est soumise au climat de l'atlas tellien, présentant des degrés de continentalité qui croît très rapidement en s'éloignant de la mer.

La température moyenne annuelle décroît de 17 à 10°C par effet orographique. L'amplitude moyenne mensuelle passe de 16 à 20°C du Nord au Sud de cette région du fait principalement des minima observés en hiver.

On peut observer des gelées blanches, pendant 1 à 50 jours par an de novembre en mars et la neige persiste plus de 20 jours par an sur les cimes au-dessus de 100m d'altitude

Et il y a environ 15 à 30 jours de siroco par an.

Pour notre zone d'étude, on a plusieurs stations du bassin versant de l'oued Isser qui comporte 21 Stations pluviométriques et 08 Stations Hydrométriques. Leur identification et donnée dans les tableaux suivants :

Tableau IV. 1: Identification des stations pluviométriques existantes dans le bassin versant d'oued Isser

N	Station	Code	X	Y	Z
1	Khemisti	11004	233,5	263,45	935
2	Souk El Djemâa	50103	576,9	304,15	830
3	Mezahim	90101	584	343,4	782
4	Souagui	90104	548,95	312,4	810
5	El Omania	90201	530,2	329,2	790
6	Mahtere	90202	542,85	342,5	875
7	Tablat Drs	90203	554,75	345,8	450
8	Djouab	90301	566,95	315,55	825
9	Beni Slimane	90302	533,05	327,45	659
10	Pont de la traille	90304	559,15	343	370
11	Dechmya	90314	578,5	316,35	850
12	Khabouzia	90401	579,15	334,35	720
13	Souk El khemis	90402	584	343,4	782
14	Latraille	90408	559,15	343	370
15	Djebahia	90409	599,2	389,35	410
16	Ouled Touati	90413	576,65	347,5	831
17	Bsibsa	90419	570,25	354,5	820
18	Lakhedaria	90501	579,1	369,75	710
19	Ouled Bouhaddada	90503	574,55	372,3	425
20	Tizi Ghenif	90506	596,3	366,1	415
21	Chabet El Amour	90512	588,85	371,4	260

Source : ANRH

Tableau IV. 2: Stations Hydrométriques existants dans le Bassin versant d'oued Isser.

N	Station	Code	Nome d' oued
1	Mezahim	90101	Mellah ouest
2	El Omania	90201	Ladrat
3	Beni Slimane	90302	Mellah
4	Dechmya	90314	Zeroua
5	Latraille	90408	Isser
6	Goumar	90416	Djemma
7	Kadder	90420	Bouhamoud
8	Lakhedaria	90501	Isser

Source : ANRH

Notre travaille basée plus sur les stations qui est sont les plus représentative.

A- pluie moyenne

Le tableau (IV.3) reproduit les valeurs des pluies moyennes mensuelles pour notre durée d'étude qui est entre (1979-2010). C'est une série de 31 ans, ainsi que leur répartition dans l'année.

Les données de pluie max journalier pour les cinq stations (moyenne) sont regroupés dans l'Anexe N°1.

Tableau IV. 3: Distribution moyenne mensuelle des pluies des cinq (05) stations pluviométriques

Mois	Sep	oct	nov	Déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	Août	Pan (mm)
Moy	26,9	41,39	52,43	76,12	67,56	55,09	49,57	47,84	36,72	8,07	4,47	7,52	473,69
%	5,68	8,74	11,07	16,07	14,26	11,63	10,46	10,1	7,75	1,7	0,94	1,59	100

Source : ANRH

Nous remarquerons que les lames précipitées durant les mois de Novembre à Avril sont presque de même ordre de grandeur et représente environ 75% du total pluviométrique annuel néanmoins, on note une hauteur maximale enregistré en mois de décembre.

B-Température

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire. Entre le climat Tellien de montagne pluvieux et à l'amplitude thermique faible, avec des chutes de neige et le climat Tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant de forts écarts de température, le bassin versant de l'oued Isser est caractérisé par une température relativement humide d'octobre au mois d'avril et sèche de mai à septembre. La température moyenne annuelle à Beni Slimane est de l'ordre de 14°C.

Tableau IV. 4: Répartition moyenne mensuelle de la température (°c).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Minimale	1	1	3	6,5	9,5	16	16	17	14	10	5	3
Maximale	8	12	15	20	22	28	30	32	26	24	15	10
Moyenne	4,5	6,5	9	13	16	22	23	24,5	20	17	10	6,5

Source : ANRH

C-Gelée

La gelée est enregistrée du mois de novembre au mois de mai, le nombre moyen de jour par mois enregistré aux stations aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou est donné par le tableau ci-dessus :

Tableau IV. 5: Nombre de jours de Gelée aux stations de Tablat et Bir-Ghbalou.

Station	Altitude	Sept	Oct	Nov	JanFév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Tot
Tablat	450	0	0	1	5	6	3	3	0	0	0	19
Bir Ghebalou	624	0	0	3	11	11	8	5	4	0	0	13

Source : ANRH

D-Vent

Les vents chargés d'humidité sont de direction Nord –Sud à Nord -Ouest sud- Est alors que les vents desséchant sont de direction Sud –Nord. Le sirocco souffle sur tout le bassin, le nombre moyen de jour de sirocco par an enregistré sur la station de Beni Slimane et Bir Ghebalou est donnée par le tableau suivant :

Tableau IV. 6: Nombre de jours de sirocco aux stations Beni Slimane et Bir Ghebalou.

Station	Sept	Oct	Nov	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Tot
Beni Slimane	3	0	0	0	0	0	1	2	5	6	8	25
Bir Ghebalou	3	1	1	0	0	0	1	1	2	5	4	18

Source : ANRH

F- Evaporation

En tableau (IV.7) est présentée l'évaporation potentielle (ETP) extraite des cartes évaporations (ETP) établie par l'ANRH en 2010.

Tableau IV. 7 : ETP des Différentes stations hydrométriques en (mm).

Station	Mezahim	Beni Slimane	Déchia	La Traïlle	Lakhdaria
Septembre	145,18	146,52	140,76	144,81	143,1
Octobre	94,71	96,05	85,77	95,64	95,21
Novembre	51,37	52,46	44,08	53,3	54,57
Décembre	35,1	35,37	28,28	37,83	39,84
Janvier	38,03	38,42	30,2	40,41	43,42
Mars	87,01	85,73	76,95	89,45	93,66
Avril	124,1	123,21	114,64	122,81	125,32
Mai	165,31	166,42	154,98	162,95	159,92
Juin	201,97	206,02	192,7	198,41	189,06
Juillet	226,36	225,38	224,94	221,53	203,96
Août	201,86	199,88	200,35	199,08	197,27

Source : ANRH

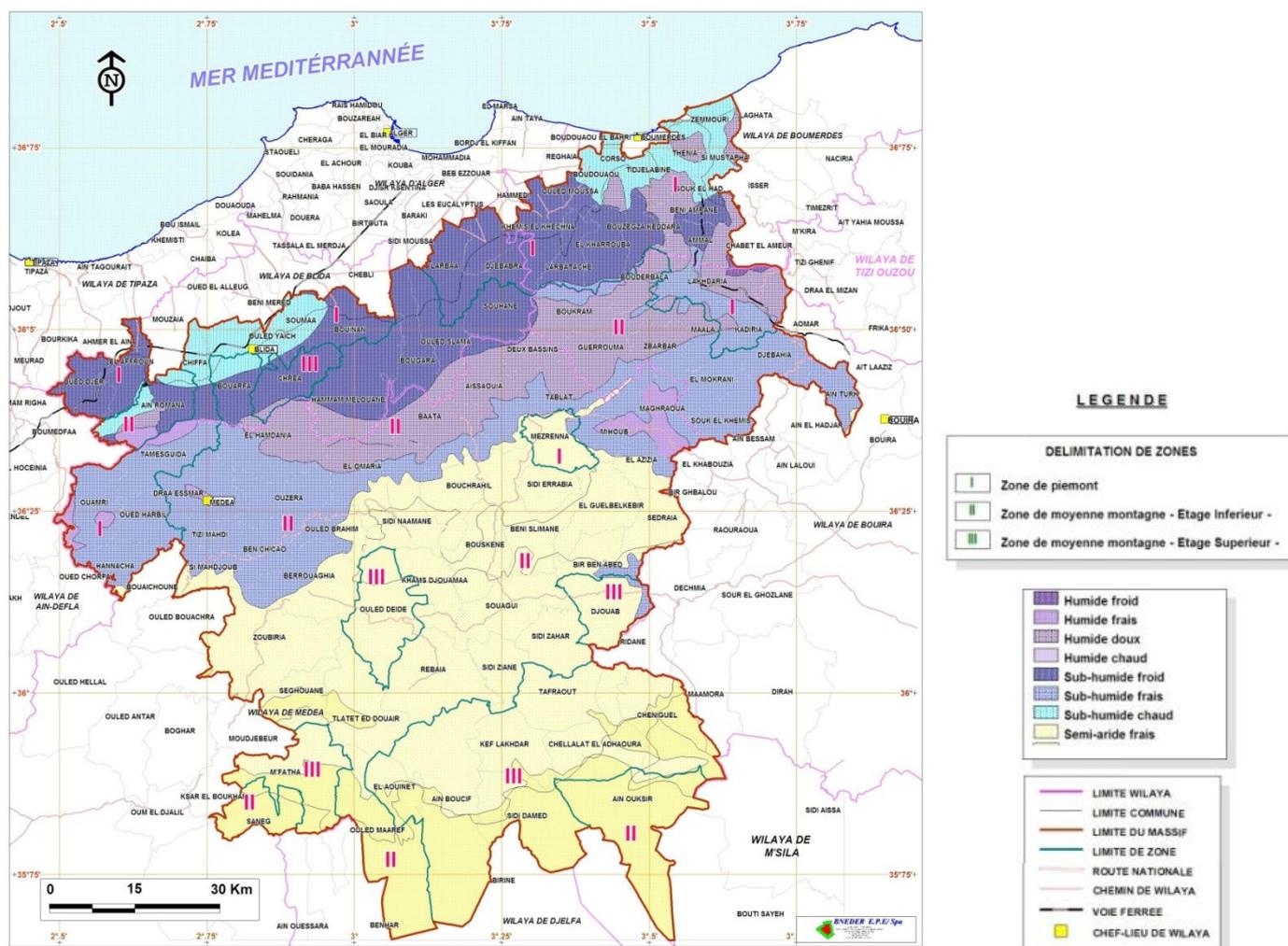


Figure IV. 9: Carte des étages bios climatiques. (ABH/AHS).

IV.2.7. Caractéristiques du bassin

IV.2.7.1. Géométrie du bassin versant

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'oued Isser sont :

A- Superficie du bassin versant : Elle est obtenue directement sur la carte topographique :
 $S = 4146\text{Km}^2$. (Djafer Khodja et al, 2016)

Tableau IV. 8: Superficies des sous bassins de l'Isser.

Sub-division	Sous bassin	Code	Superficie (km ²)
Haut Isser	Oued Melah kherza	901	663
	Oued Melah Yagour	902	774
	Oued Zeroua	903	1132
Moyen Isser	Oued Isser Moyen	904	1031
Bas Isser	Oued Isser Maritime	905	546

Source : ANRH

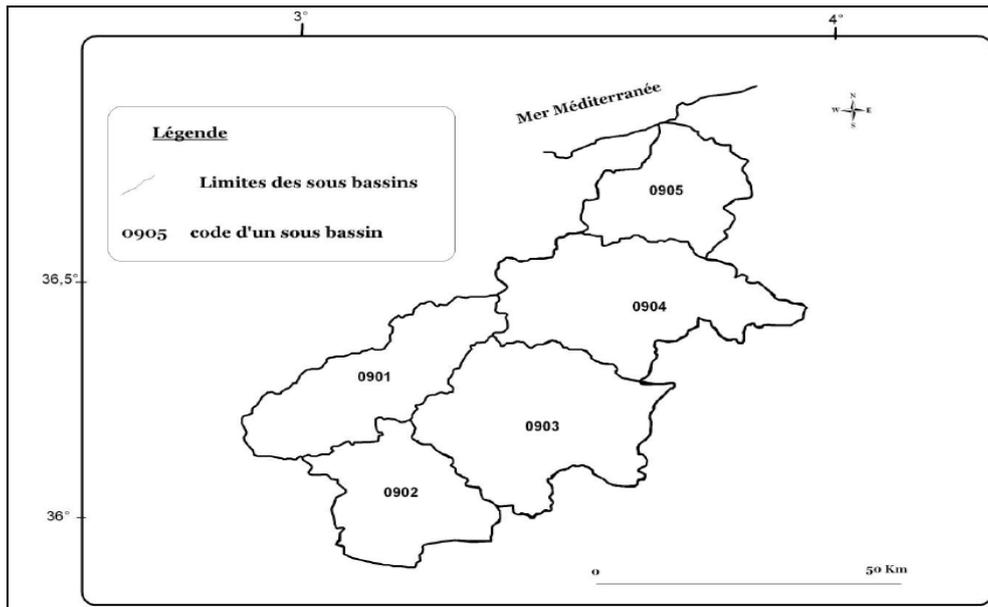


Figure IV. 10: Carte des sous bassin hydrographique. (Propre élaboration).

B- Périmètre du bassin versant : Il est déterminé à l'aide d'un curvimètre $P = 270\text{Km}$

IV.2.7.2. Rectangle équivalent

Défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S"

Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes :

$$\text{La longueur : } L = \frac{K_C \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (\text{IV.1})$$

$$\text{La largeur : } l = \frac{K_C \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (\text{IV.2})$$

IV.2.7.3. Paramètres du relief

A- Indice de compacité ou de Graveleuse : avec : $K_C = 0,28 \frac{P}{S}$ (IV.3)

Où: $K_C < 1$: bassin ramassé

$K_C > 1$: bassin allongé

B- Indice de pente globale : Pour la classification du bassin versant cet indice est déterminée

par la formule: $I_g = \frac{D_d}{L}$ (IV.4)

D_d : Densité de drainage. (Km/Km^2)

L : Longueur du rectangle équivalent. (Km)

IV.2.7.4. Paramètres du réseau hydrographique

A- Densité de drainage : C'est le rapport de la longueur totale des talwegs sur la surface du

bassin versant. $D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S}$ (IV.5)

$\sum_{i=1}^n l_i$: Longueur totale cumulée des talwegs de l'ordre de km / km²

S : Surface du bassin versant (Km²)

B- Temps de concentration : C'est le temps que met une goutte de pluie du point le plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti.

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (IV.6)$$

L : longueur du talweg principal qu'est égale à 98,2 Km

Le tableau ci- dessous récapitule toutes les caractéristiques hydromorphométrique

Tableau IV. 9: Synthèse de caractéristiques du bassin d 'Isser. (Propre élaboration).

Paramètres	Symboles	unités	Valeurs
Géométriques			
Valeurs	S	Km ²	4146
Périmètre	P	Km	270
Longueur de talweg	$\sum l_i$	Km	200
Rectangle équivalent			
Longueur	L	Km	98,2
Largeur	l	Km	36,6
Paramètres du relief			
Altitude maximale	Hmax	m	1810
Altitude moyenne	Hmoy	m	750
Altitude minimale	Hmin	m	90
Pente globale	Ig	/	0,11
Indice de compacité	Kc	/	1,25
Réseau hydrographique			
Densité de drainage	Dd	Km/Km ²	3,6
Coefficient de torrentialité	Ct	/	29,5
Temps de concentration	ts	heurs	19

IV.3. Présentation des données pluviométriques

Le réseau pluviométrique du bassin versant d'oued Isser comporte 21 stations pluviométriques, seules 5 stations sont prises en considération, leurs caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV. 10: Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. (Propre élaboration).

Code	Station	N (ans)	Moyenne (mm)	Ecart type	Médiane	Coefficient de variation (Cv)	Coefficient d'asymétrie (Cs)	Coefficient d'aplatissement (Ck)
90 402	Souk El Khemis	42	510	156	497	0,306	0,324	2,55
90 104	Souagui	38	336,90	83,289	327,00	0,24722	0,38034	2,6648
90 302	Beni Slimane	34	367,64	86,322	376,00	0,23480	0,026607	2,2574
90 419	Bsibsa	38	701,79	165,69	692,00	0,23609	0,20187	2,9762
90 502	Lakhdaria	38	701,74	194,77	673,00	0,27755	0,28516	2,7408

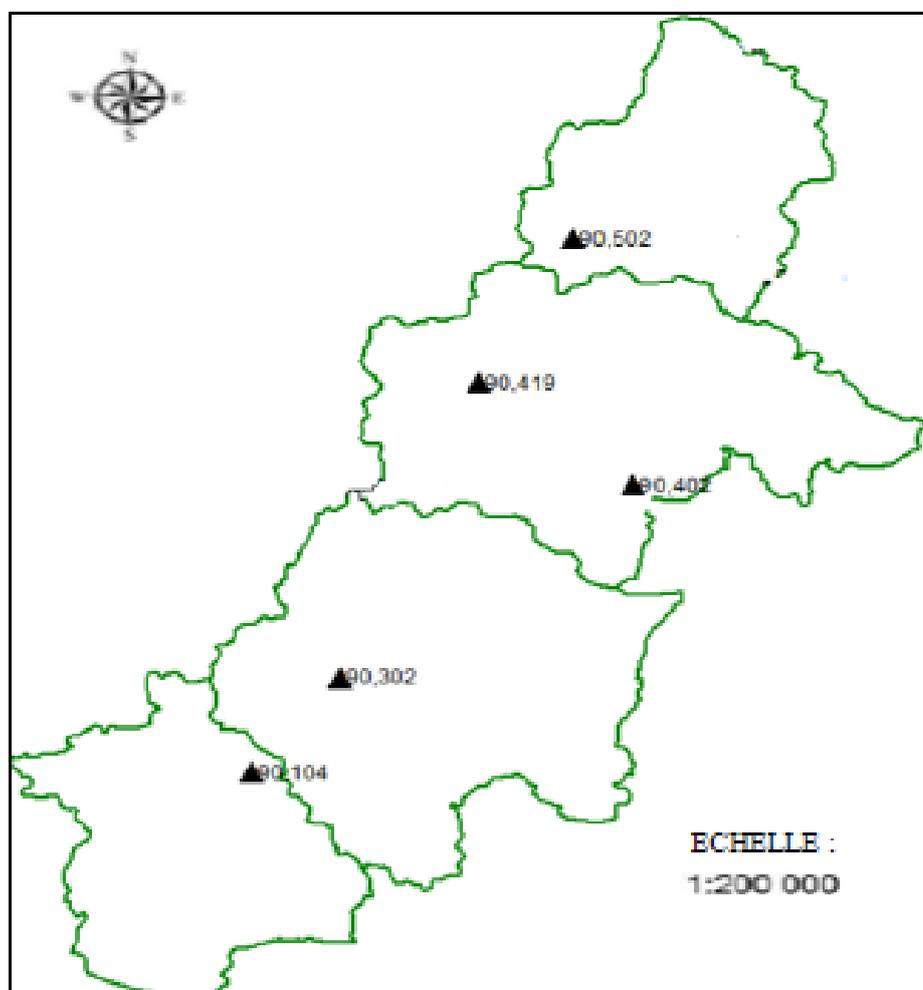


Figure IV. 11: Implantation des stations pluviométriques utilisées. (Propre élaboration).

IV.4. Ressources en eau

IV.4.1. Les eaux de surface

IV.4.1.1. Barrages

1- Barrage Beni Amrane: Il s'agit d'une structure de prise d'eau située sur l'oued Isser. Avec une capacité actuelle de 16Hm³. Les apports du fleuve sont estimés à 414Hm³ pour un bassin versant de 3 710km².

2- Barrage ladrat: est situé sur l'oued Ladrat avec des prises au barrage estimé à 8 Hm³. Son aire de drainage est de 73km² et sa capacité actuelle est de 9Hm³. Le barrage est utilisé pour irriguer.

3- Barrage Koudiat Acerdoune: la retenue du barrage a été réalisée en 2009, elle est destinée à alimenter en eau potable 14 centres urbains et 34 localités sur le territoire des willayas Bouira, Tizi Ouzou, Médéa et M'sila et l'irrigation de 3000 ha de périmètre signifie et périmètre du centre et est Mitija. (Djafer Khodja et al, 2016)

Tableau IV. 11: Les Barrages de bassin hydrographique Isser.

Bassin versant	Nom du Barrage	Surface du BV (km ²)	Apport moyen	Capacité (Mm ³)	Volume réel (Mm ³)	Année mise en service	Etat
9	Bouhamoud	153	33	30	28	2040	Etude Faisabilité
9	Ladrat	76,5	7,8	8,47	4,7	1989	Exploitation
9	K.Acerdoune	2790	260	640	178	2008	Exploitation
9	Beni Amrane	3710	414	16	TRf	1988	Exploitation
9	Beni Slimane	180	9,4	10,5	6,9	2015	construction
9	Djemaa Aval	123	169	186,9	116,6	2020	a lancé

Source : ANBT

IV.4.1.2. Retenues collinaires

Tableau IV. 12: Capacité des retenus collinaire par willaya.

Bassin versant	willaya	Nombre	Capacité 10 ³ m ³
Isser	Tizi ouzou	4	205
	Boumerdess	43	3790
	Bouira	7	910
	Médéa	15	2474

Source : DRE

IV.4.2. Les eaux souterraines

Les descriptions hydrologiques sont les bassins versants pouvant être ISSER. Présenté de la manière suivante:

IV.4.2.1. Nappe du Haut Isser

La nappe est constituée par les alluvions de l'oued, dont la partie amont a été probablement inondée par le barrage. La superficie de la nappe aquifère est de 16,3 km².

Les ressources en eau de la nappe du Haut Isser sont faibles, puisqu'elles ont été évaluées à 2,1 Hm³/an dans le cadre de l'étude ANRH/ENERGOPROJEKT, 2009.

IV.4.2.2. Nappe de plaine de Beni Slimane

La nappe de Beni Slimane est constituée par un remplissage du Quaternaire reposant sur des poudingues du Miocène. Les alluvions du Quaternaire sont constituées par des éléments moyennement grossiers (sables et graviers). Ces derniers semblent en continuité hydraulique avec les poudingues du Miocène.

Les ressources en eau de plaine de Beni Slimane seraient d'après l'ANRH/ENERGOPROJEKT 2009 de l'ordre de 2,75Hm³/an.

IV.4.2.3. Nappe de plaine de l'oued Mellah

Les études menées sur la région font état de l'existence de deux réservoirs superposés constitués par, les alluvions caillouteuses et les sables très argileux du Quaternaire, et par les calcaires marneux du Crétacé. Ces derniers ne semblent aquifères que dans la tranche supérieure, d'environ 30 m d'épaisseur, et sont en communication avec les alluvions.

L'Oued Mellah traverse la plaine de même nom suivant une direction SW-NE, avant d'être relayé par l'Oued Isser. Il est limité au nord par les monts de Tablat, à l'ouest par les monts de Ladrat (du nom du barrage), au sud par la plaine de Beni Slimane, et à l'est par l'Oued Zeroua et la plaine des Aribis.

La superficie de la nappe est de 26,2km².

La nappe aquifère est constituée par les alluvions anciennes ou récentes, provenant de l'érosion des formations du Crétacé et du Miocène situées plus au sud. Ce sont essentiellement des sables, des argiles, des graviers et des galets.

Les ressources exploitables de la nappe alluviale de l'Oued Mellah sont de l'ordre de 2,1 Hm³/an d'après l'estimation ANRH/ENERGOPROJEKT, 2009.

IV.4.2.4. Nappe de plaine des Aribis

Les formations du Crétacé qui entourent la plaine des Aribis forment le substratum. Elles sont représentées par :

L'Albien : Il débute par des argiles schisteuses brunes ou noires avec des intercalations de petits bancs de quartzites, sur lesquelles repose une puissante série de grès renfermant des argiles et des marnes jaunes.

Le Cénomaniens : représenté par une alternance de calcaires bleuâtres, et marnes litées, qui semblent avoir été érodés avant le dépôt du Sénonien.

Le Sénonien : est constitué par des marnes bleuâtres, feuilletées avec intercalation de calcaire marneux. La partie inférieure est constituée de marnes noires.

L'Eocène supérieur : la partie inférieure est constituée par argiles grises ou verdâtres, avec intercalation de grès quartziteux, et de calcaire marneux. Le sommet est constitué par des grès quartziteux en bancs bien stratifiés, séparés par des lits d'argile.

L'Aquitaniens : est formé de poudingues à ciment argileux de couleur rouge, d'une épaisseur comprise entre 150 et 200m.

Le Quaternaire : comprend

- les alluvions anciennes : composées de galets, graviers et limons, d'une épaisseur est comprise entre 5 et 20m.
- Les alluvions récentes, formant les lits d'oueds (sables, graviers, etc) et les cônes de déjection.

L'alimentation se fait par les pluies à travers l'impluvium, par les calcaires du Crétacé, et probablement par les crues de l'Oued Zeroua, (mais aucun argument ne permet de l'affirmer).

Les essais de débit réalisés au cours des années 1990, montrent que les transmissivités sont comprises entre 10^{-6} et 10^{-4} m²/s et peuvent atteindre $5 \cdot 10^{-5}$ m²/s au centre de la plaine. Les coefficients d'emmagasinement sont inférieurs à 4%.

Différents auteurs ont tenté par le passé d'évaluer les ressources en eau de la plaine des Aribis. Selon ces estimations les ressources sont comprises entre 7,2 et 9,5 Hm³/an.

IV.4.2.5. Nappe du Bas et Moyen Isser

La nappe du Bas Isser située à environ 50km à l'est d'Alger. Elle occupe le tronçon de l'Oued Isser compris entre la ville de Lakhdaria, et la mer (embouchure). Sa superficie est 533km².

Le moyen Isser correspond à la partie située en amont de Lakhdaria (Kadiria et Gare Aomar).

IV.4.2.5.1. Nappe du Moyen Isser

Dans le moyen Isser, la nappe aquifère est formée par les alluvions de la première terrasse qui constitue le lit majeur, et en certains endroits se trouve au dessus du lit majeur. Les alluvions forment une bande étroite de 100 à 500 m de large, le long du lit de l'oued. Elles sont constituées de galets, de sables, et de graviers couvrant une superficie d'environ 17 km².

Dans la partie amont entre Lakhdaria et Kadiria, l'épaisseur moyenne des alluvions est de 15 m, mais peut atteindre 20m en certains endroits. Dans la partie aval, comprise entre la ville et les gorges de Lakhdaria, l'épaisseur moyenne est de 10m.

L'alimentation de la nappe se fait par infiltration directe des pluies, mais aussi par l'oued en période des hautes eaux, et par des apports latéraux à partir des dépôts de bordure, et des terrasses plus anciennes, particulièrement dans la plaine d'El Merdja, située en amont de Kadiria.

L'écoulement s'effectue suivant une direction E-W, avec un axe de drainage qui se situe en gros entre l'oued, et la RN5. L'exutoire est constitué par l'oued qui draine la nappe en période des basses eaux, et par l'ouest pour rejoindre les alluvions du Bas Isser.

IV.4.2.5.2. Nappe du Bas Isser

Dans le bas Isser, l'étude a mis en évidence l'existence de deux nappes aquifères en liaison hydraulique.

1- La première nappe, couvre tout le Bas Isser. Elle est constituée par :

- Les alluvions anciennes ou actuelles qui forment le lit majeur, et qui s'étendent le long de l'oued, entre Souk El Had et la région des Issers, sur une largeur comprise entre 500 et 1000m. L'épaisseur des dépôts constitués de galets, de graviers, et de sables, est comprise entre 10 et 20m. Leur superficie est 8 km².
- Les alluvions de la première terrasse qui forme une bande le long du lit majeur. La largeur de cette terrasse varie entre 1,5km et 2,5km dans la région de Bordj Menäïel, et couvre une superficie de 44 km². Ces alluvions sont caractérisées par de fréquentes variations de faciès.

2- La deuxième nappe est constituée par des galets, des graviers, et des sables plus ou moins argileux, et forme une bande ininterrompue allant de Souk El Had jusqu'à l'embouchure. La

largeur de cette bande est comprise entre 500m et 2000m. Dans la région de Bordj Menaïel elle atteint 2300m de large.

Entre Souk El Had et la confluence des oueds Isser et Djemaa, l'épaisseur des alluvions varie entre 9 et 15m. De la confluence jusqu'au pont routier situé à l'embouchure de l'Isser, l'épaisseur est comprise entre 15 et 25m. L'épaisseur maximale se situe au point de confluence des oueds Djemaa et Isser.

L'alimentation s'effectue par infiltration directe des pluies, et par l'Oued Isser en période des basses eaux. La première nappe est en relation hydraulique directe avec l'oued, tandis que la deuxième n'est en contact avec l'oued que dans le secteur compris entre Souk El Had et Bordj Menaïel.

L'exutoire principal est constitué par l'embouche de l'Oued, puisque les eaux s'écoulent d'amont vers l'aval. En période d'étiage est également drainée par l'oued.

Les essais de débit effectués sur les puits et forages du Bas Isser, donnent des valeurs de transmissivité comprises entre $0,9 \cdot 10^{-3}$ et $3,4 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Les débits puits sont compris entre 1 et 4,4 l/s. Ils sont plus élevés dans les forages (entre 15 à 40 l/s).

Les ressources exploitables du Bas Issers ont été déterminées par Guirkanov (1974) par les formules hydrodynamiques. Les résultats auxquels il a abouti donnent comme ressources exploitables :

Pour le Moyen Isser : 159 l/s (5Hm³/an).

Pour le Bas Isser : 740 l/s (23,3Hm³/an).

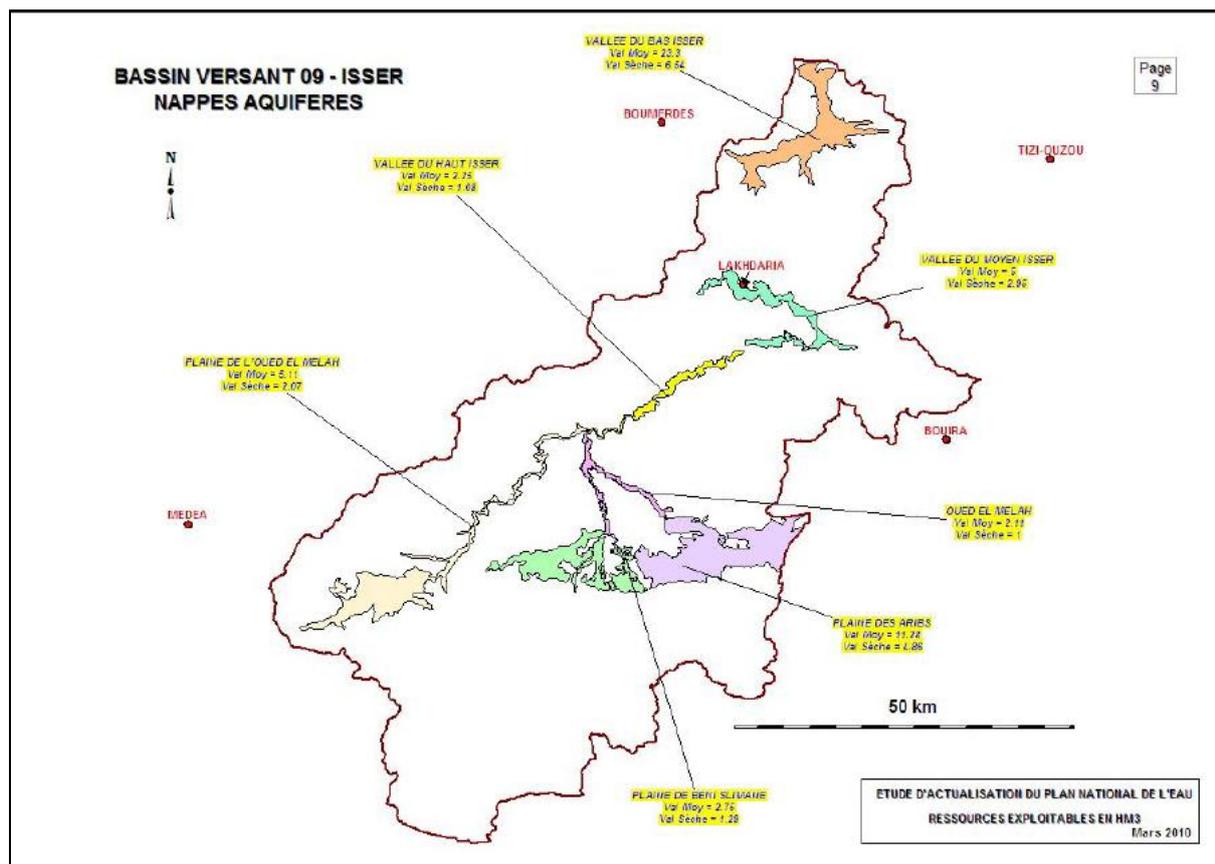


Figure IV. 12: Carte les différentes nappes de BV Isser. (ANRH)

IV.4.3. Ressource en eaux non conventionnelles

IV.4.3.1. Réutilisation des eaux usées

Le ministère des ressources en eau a mis en place un programme ambitieux de réalisation des STEP. La DAPE a développé un système de priorité sur la base duquel les futures STEP sont identifiées et programmées sur la période 2010-2040. Tableau 8 présente le système de priorisation.

Tableau IV. 13: Les critères de propriété pour la réalisation des STEP

priorité	Désignation
1	-les agglomérations situées à l'amont des barrages en exploitation.
	-les agglomérations situées sur des nappes en exploitation ou des champs captant.
	-les agglomérations situées supérieures à 100000 habitants.
2	-les agglomérations situées à l'amont des barrages en construction.
3	- les agglomérations côtières.
4	-le reste des agglomérations dont la population est inférieures à 100000 habitants.

Source : ONA

Etant basée principalement sur la réduction des charges polluantes organique et solide, les études de conception des STEP ne considèrent pas la REUE. Les exemples de Constantine et de Réghaia qui seront présentés dans la section suivante montrent la nécessité de considérer la REUE dans chaque étude de STEP. Le coût total de la STEP et de la réutilisation combinée se trouve ainsi énormément réduit. Les facteurs essentiels à considérer dans ce cas sont les suivants :

1. Choix du site de la STEP pour minimiser les couts de mobilisation des eaux usées épurée pour un éventuel REUE
2. Type de procédés d'épuration complémentaire/tertiaire
3. Type de procédé de désinfection

Pour une gestion intégrée et économique, on doit inclure aussi l'assainissement dans la stratégie de la réutilisation. Les programmes d'assainissement des agglomérations doit impérativement intégrer dans leur schéma directeur, une éventuelle REUE. On peut citer comme exemple la gestion des eaux usées industrielles, la séparation des réseaux, et le control à la source.

Cette approche intégrée prévoit tous les éléments d'assainissement. Elle est économe, durable, et minimise les besoins de réadaptation et de modification nécessaire pour la REUE. De même, on propose l'introduction de la REUE dans la priorisation de la construction des STEP. Entre deux STEP, on doit construire en premier lieu celle qui se trouve dans une région dépourvu de ressources hydriques et ou la réutilisation apporte, d'une manière économique un supplément de ressource.

Le programme du ministère actuel prévoit la construction de cinquante STEP par quinquennal. Ce programme est plus réaliste. Tenant compte de ce constat, et en utilisant les critères de priorisation (Tableau IV. 14).

Tableau IV. 14: La capacité des STEP par wilaya.

Zone	Wilaya	Désignation	Capacité (Eq/H)	Capacité (m ³ /j)	Débit moyen trimestriel traitée (m ³ /j)
Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	Step Tizi Ouzou	120 000	18 000	23 067
		Step DB Khedda	14 500	1 770	0
		Step Tizirt	5 000	600	175
		Step Azzeffoune	5 000	600	736
		Step Boghni	30 000	4722	263
		Step Boukhalifa	60 000	13 058	2 729
		Step Tadmaït	20 000	3 720	525
	Step Draa El Mizane	14 500	1 740	120	
	Boumerdes	Step Boumerdes	75 000	15 000	10 417
		Step Thenia	30 000	6 000	1 113
		Step Zemmouri	25 000	5 000	1 662
	Bouira	Step Lakhdaria	45000	9000	263
		Step Sour El Ghouzlene	75000	11376	3811
Alger	Médéa	Step Médéa	195 000	39 000	

Source : ONA

Tableau IV. 15: Proposition de programmation des STEP 2016-2040

Année	Wilaya	ID Agglomération	Agglomération	Capacité nominale m ³ /j
2011	Bouira	100101	Bouira	25 850
2015	Médéa	260101	Médéa	31 000
2015	Médéa	265201	Tablat	8 000
2021	Médéa	264601	Beni Slimane	5 000
2021	Boumerdes	353301	Ouled Heddadj	7 000
2025	Tizi Ouzou	151001	Draa el Mizan	4 000
2025	Boumerdes	352801	Dellys	5 000
2026	Médéa	260401	Ain Boucif	3 000
2040	Tizi Ouzou	154701	Draa Ben Khedda	6 000

Source : ONA

IV.4.3.2. Dessalement d'eau de mer

On rappelle que la stratégie nationale consiste en un programme ambitieux d'installation d'usines de dessalement de petite et de grande taille (voir tableaux ci-après) dont la somme des capacités nominales s'établit à 2,3 millions de m³ par jour, ce qui représente 0,860 milliards de m³ par an.

Remis en perspective par rapport à l'ensemble des ressources mobilisables, de 2010 à 2040 (environ 10 milliards de m³ par an), ce montant représente presque 10% du total des ressources.

Tableau IV. 16: stations de dessalement par willaya

Wilaya	Commune	Sites	Capacité Nominale, m ³ /j	Dates de mise en exploitation
Boumerdes	Boumerdes	Cap Djinet	100 000	2010
Tizi ousou	Tizi ousou	Tighzirt	2500	2004

Source : PNE 2010



Figure IV. 13: Image satellitaire des stations de Dessalement d'eau de mer Algérien. (Propre élaboration).

IV.4.4. Transferts

Le bassin versant Isser contient un grand transfert d'eau à partir du barrage de Koudiat Acerdoune vers les 04 wilayas (Tizi Ouzou, Bouira, Medea Et M'sila).

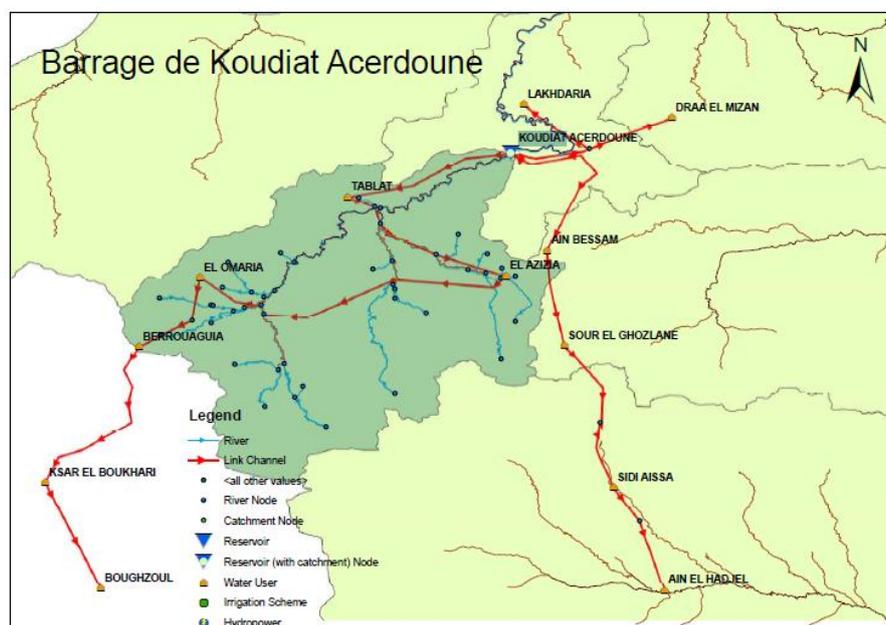


Figure IV. 14: Transfert de la wilaya de Bouira. (ANBT)

IV.5. Besoin en eau

IV.5.1. Demande en eau potable

La population de la région hydrographique Isser dénombrée en 2010, lors du recensement général de la population, comptait 4486208 habitants.

Le taux d'accroissement utilisé à partir du PNE 2010, et celui de l'office national des statistiques (ONS), le résumé de la population de la région et sa répartition par wilaya dans lequel elle est intégrée dans la région d'étude représenté dans le tableau suivants :

Tableau IV. 17: Besoin en eau potable par wilaya. (Propre élaboration).

WILAYA	Population	taux d'accroissement	Dotation (m ³ /j)	Besoin en eau actuel (m ³ /j)	Besoin en eau Horizon 2030 (m ³ /j)
Bouira	724 612	1,7	91,25	66 120 845	109639484
Boumerdess	833 836	1,9		76 087 535	133825549,3
Tizi Ouzou	1 163 555	1,6		106 174 394	170935012,6
Medea	853 281	1,5		77 861 891	121704382,1
M'sila	1 042 008	1,7		95 083 230	157663990,4

IV.5.2. Demande en eau industrielle

La consommation en eau de la grande industrie dépend surtout des paramètres suivants :

- 1-Type d'industrie et processus de production.
- 2- Développement industriel,
- 3-Réduction des pertes dans le système de distribution,
- 4- procédures pour l'épargne de la consommation,

La demande en eau pour la grande industrie est estimée à 2346140m³/an en 2010.

Tableau IV. 18: Besoin en eau industrielle par willaya.

code	willaya	N° de Commune	N° d'Entreprise	Besoin (m ³ /an)
10	Bouira	45	26	717 100
15	Tizi Ouzou	67	16	275 000
26	Médéa	64	21	694 820
28	M'sila	47	18	659220

Source : PNE 2010

IV.5.3. Demande en eau d'irrigation

Pour l'Algérie du Nord les principaux systèmes d'irrigation suivant avaient été identifiés dans le cadre de la première phase de l'Etude d'Inventaire et de Développement de la PMH :

- SC1 – Système collectif des périmètres traditionnels de montagne ou de vallée sans pompes individuelles complémentaires.
- SC2 – Système collectif d'épandage de crues traditionnel sans pompes individuelles complémentaires.
- SC3 – Système collectif de périmètre moderne gravitaire d'eau de surface de plaine ou de vallée sans pompes individuelles complémentaires.
- SM4 – Système mixte de périmètre traditionnel de montagne ou de vallée avec pompes individuelles complémentaires
- SM5 – Système mixte d'épandage de crues traditionnel avec pompes individuelles complémentaires dans nappe
- SM6 – Système mixte de périmètre moderne gravitaire d'eau de surface de plaine ou de vallée avec pompes individuelles complémentaires.
- SC7 – Système collectif de périmètre GCA d'eaux de surface ou souterraines.
- SC8 – Autre système collectif moderne à partir d'eaux souterraines avec pompage et adduction sous pression.
- SI9 - Système individuel gravitaire à partir d'eaux de surface ou souterraines avec mobilisation et réseau individuels et irrigation gravitaire à la parcelle
- SI10 - Système individuel avec pompage individuel à partir d'eaux de surface ou souterraine et modes d'irrigation variables à la parcelle.

- SI11 - Système individuel avec pompage individuel à partir d'eaux de surface ou souterraines avec serres.
- SI12 – Système individuel avec citerne structurel combinés avec SI9 ou SI10

IV.5.4. Définition et répartition des sols irrigables par bassin versant selon l'ANRH

A• Sols de catégorie 1

Sols profonds de texture moyenne à fine, bien structurés et bien drainés, dont la topographie est régulière et la pente faible. Ces sols ne présentent pas de problèmes d'aménagements préalables à leur mise en valeur. Ils sont aptes à toutes les cultures en irrigué.

B• Sols de catégorie 2

Sols généralement peu ou moyennement profonds de texture moyenne à fine, bien structurés jusqu'à une profondeur moyenne, peuvent présenter un niveau mal drainant à moyenne profondeur pouvant occasionner la formation d'une nappe perchée après mise en irrigation. La topographie est régulière ou faiblement ondulée, la pente est faible. Ils présentent des problèmes mineurs d'aménagement (épierrage, assainissement de surface) et sont aptes à toutes les cultures avec restrictions pour certaines d'entre elles. Ces sols sont plus spécialement favorables aux cultures industrielles.

C• Sols de catégorie 3

Sols profonds ou moyennement profonds de texture moyenne, fine ou très fine. Ces sols sont généralement bien structurés jusqu'à une moyenne profondeur et peuvent présenter un caractère de salure ou d'hydromorphie avec la présence d'une nappe vers un mètre de profondeur. La topographie est régulière ou moyennement ondulée, la pente peut atteindre 5%. Les problèmes d'aménagement essentiels de ces sols sont le drainage et le lessivage, à prévoir avant la mise en irrigation.

Tableau IV. 19: Répartition des sols irrigables et non irrigables sur l'ensemble de l'Algérie.

Ref.	Bassin versant	Catégorie de sols (ha)							Total
		Sols irrigables					Sols non irrigables		
		I	II	III	I+II+III		IV	V	
2	Côtiers Algérois	25 298	36 584	70 751	132 633	71%	17 272	38 078	187 983
9	Isser	6 656	11 130	19 489	37 275	55%	15 421	15 037	67 733

Source : ANRH 2011

Tableau IV. 20: Projection des besoins totaux en eau des GPI.

Régions hydrauliques de planification	Périmètres	Cultures assolées 80%	Cultures pérennes 20%	Besoins en eau moyenne pondérée	Total Hm ³ /an
ABH	Mitidja – Sahel	99 766	24 941	2 905	362,3
	Vallée de l'Isser	4 878	1 219	3 481	21
	Vallée du Sébaou	11 068	2 767	3 481	48
	Arib-Beni Slimane	14 922	3 731	3 989	74

Source : ANRH 2008

La PMH qui s'est développée spontanément dans les GPI a été également estimée dans le cadre de l'inventaire de la PMH SOGREAH/DHA. Le résultat est indiqué au tableau ci-après.

Ainsi, sur les quelque 203 000 hectares en périmètres ONID équipés en 2006, 80 800 environ sont irrigués à partir de puits, forages ou prise d'oued, constituant ainsi 40% des surfaces de périmètres équipés irrigués en petite et moyenne hydraulique à l'intérieur des réseaux et trames de grande hydraulique en plus ou moins bon état.

Dans la réalité, ce sont 80 800 hectares conduits en PMH sur 186 860 hectares équipés, soit 43% de ces dernières surfaces. Dans la réalité encore, certains périmètres (6) connaissent un développement poussé (60% et +) de la PMH et d'autres plus réduit, comme l'indique le tableau (IV.21).

Tableau IV. 21: Projection des GPI programmé future.

Nom du GPI	Willayas	Superficie équipée ONID (ha)	Estimation sup irriguée pompages indivueis %- (ha)	
Hamiz	Boumerdess – Alger - Blida	17000	60%	10200
Arib	Bouira	2200	0%	0
K'sob	M'sila	5000	20%	1000
Draa Mizane	Tizi Ouzou	3380	programmé	
Houdna	M'sila	17000	programmé	
Périmetre Isser	Boumerdess – Bouira	7000	programmé	

Source : DSA

IV.6. Conclusion

La zone d'étude est caractérisée par l'hétérogénéité des grandes unités naturelles. Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué par un chevelu dense représenté en majorité de cours d'eaux temporaires.

***CHAPITRE V : MODELISATION DE LA
REGION D'ETUDE AVEC LE MODELE
WEAP***

CHAPITRE V : MODELISATION DE LA REGION D'ETUDE AVEC LE MODELE WEAP

V.1. Introduction

Après une analyse critique des études antérieures sur la gestion des ressources en eau dans la région d'étude ; la configuration du modèle WEAP dans la région d'étude a été dressée avec une discussion sur les scénarios proposés.

V.2. Analyse critique des études antérieures

Parce que l'actualisation des études est une action permanente pour une adaptation continue des infrastructures projetées aux nouvelles données sur les ressources et la demande en eau, il est apparu nécessaire de disposer d'un outil de planification dynamique. C'est l'objectif de la présente étude.

Des études de planification des aménagements hydrauliques ont été réalisées à ce jour dans le secteur de la gestion des ressources en eau dans la région d'étude PNE 93, PNE 1998 ; PNE 2006 et PNE 2010.

V.2.1. Plan National de l'Eau 1993 (PNE 93)

PNE 93 a été exécuté entre les années 1993 et 1997 par le groupement BETURE-CARL BRO-CES Salzgitter. Pour le PNE 93, la période de référence (1910-1993), soit 20% du réseau pluviométrique, est récupérée. Les données manquantes (trous dans les chroniques) sont comblées par corrélation sympathique avec les séries des pluviomètres environnants. La méthode des doubles cumuls permet de valider la démarche d'extension des données.

Le PNE 93, et à sa suite le PRE, ont appliqué la méthode pluie/infiltration de manière systématique à tous les sous bassins versants, sans avoir au préalable fait le distinguo entre les formations perméables susceptibles d'absorber de l'eau, et les formations imperméables. C'est ainsi que des sous bassins versants constitués de marnes ou d'argile, se voient attribuer des ressources exploitables.

D'autre part, les coefficients d'infiltration retenus par le PNE93, (compris entre 6% et 14%) sont à notre avis assez pessimistes. Si l'on peut admettre que pour les formations gréseuses et les alluvions, ces coefficients sont acceptables, pour les formations calcaires, par contre, le coefficient le plus adéquat est de l'ordre de 20 à 25% (MRE, 2010).

Les coefficients utilisés ont été sous-estimés particulièrement pour les formations calcaires.

V.2.2. Plan National de l'Eau 1998 (PNE 98)

Le PNE 98 utilise un modèle conceptuel de reconstitution (le modèle SMAP « Soil Moisture Accounting Procedure ») pour la relation pluie/ruissellement avec une période de calage du modèle qui se réduit à une quinzaine d'années (1972-1986) : référence trop courte par rapport aux ambitions de départ qui proposaient (MRE, 2010):

- D'utiliser les données observées à peu près continuellement de 1975 à 1994
- De reconstituer les mois manquants sur une période de 67 ans (1910-1970) et (1986-1993) à l'aide de SMAP préalablement calé avec les données hydrométriques observées.
- Les débits reconstitués sur les stations disponibles présentent un écart important par rapport aux débits observés
- Les ressources sont calculées sur la superficie du sous bassin, alors qu'on doit considérer uniquement les surfaces des formations perméables qui affleurent (MRE, 2010).
- Concernant le Modèle WUS (water use simulation) utilisé dans l'étude, il n'est pas conçu pour prendre en considération les eaux souterraines.

V.2.3. Plan National de l'Eau 2006 (PNE 2006)

Pour le PNE-2006, la chronique de références se construit autour des séries disponibles qui ont fait l'objet d'une synthèse régionale avec de légères reconstitutions d'années manquantes. La série de référence porte sur une quarantaine d'années. Le test d'homogénéité du double cumul est utilisé, puis la carte des pluies annuelles réelles et reconstituées est alors intégrée au SIG.

Le PNE 2006 dresse la carte des apports à partir de deux modèles : probabiliste et SMAP. Le premier établit la relation globale pluie/débit pour définir la corrélation. Le second, calé à partir des résultats du premier, génère les séries d'apports mensuels. La méthode probabiliste de SPEED présente notamment l'inconvénient de n'attribuer qu'un seul poste de mesure comme référent du bassin versant pour le calcul de l'apport (MRE, 2010).

Le PNE 2006 aborde le volet « hydrogéologie » avec légèreté dans la mesure, ou les modèles réalisés sont trop simplifiés, et les paramètres utilisés discutables, notamment en ce qui concerne le coefficient d'emmagasinement de 12% appliqué de façon homogène, et la répartition sur l'ensemble des aquifères des prélèvements agricoles (MRE, 2010).

Pour ce qui est des aquifères approchés par la méthode pluie/infiltration, le moins qu'on puisse dire c'est le PNE 2006 a été optimiste quant au choix des coefficients d'infiltration, notamment ceux appliqués aux aquifères karstiques. C'est dans ces derniers

qu'un surplus de ressources en eau a été dégagé, sans se soucier du fait que ces formations occupent le sommet des montagnes, souvent inaccessibles, donc inexploitable (MRE, 2010).

Les calculs sont faits pour des périodes hydroclimatiques moyennes. Par la suite, les valeurs de recharge obtenues sont systématiquement corrigées d'un facteur de 0,75 pour donner la recharge de l'année moyenne sèche (scénario hydroclimatique sec).

La démarche de programmation du PNE 2006 se définit comme étant une succession de quatre scénarios d'aménagements cohérents aux horizons 2005, 2010, 2020 et 2040.

Cette approche anti-chronologique :

- se justifie dans la mesure où aux horizons 2020, 2010, puis 2005, il n'est pas envisagé de propositions de nouveaux ouvrages, ni de redimensionnement d'ouvrages existants,
- Mais exige d'examiner, aux horizons 2020, 2010, puis 2005, l'existence ou non de chacun des ouvrages proposés pour 2040, en évaluant les incidences sur l'adéquation ressources / besoins.

La satisfaction des objectifs finaux est sous tendue par la conformité de la réalisation des programmations indicatives aux horizons intermédiaires de 2010 et 2020.

V.2.4. Plan National de l'Eau 2010 (PNE 2010)

Pour le PNE 2010, Concernant la demande en AEP, les paramètres qui régissent le fractionnement volumique entre la mobilisation et le compteur de l'utilisateur d'une part et le point de vidange et la sortie de STEP d'autre part sont maintenant connus avec une relative précision. Cependant, il n'a pas trouvé de données actuelles et/ou passées concernant la production de l'eau potable à la mobilisation (ADE et régie communale). Ces données sont importantes pour faire l'état zéro de la situation (allocation par usager, taux de satisfaction, définition de la dotation par l'offre ...). Elles peuvent être obtenues auprès de l'ADE (rapports d'exploitation annuels et mensuels) et en passant une convention d'étude avec les ABH pour la situation des régies communales qui existe au niveau des DRE.

L'expression précise de la demande en eau potable ne dépend plus que de la disponibilité des résultats du RGPH 2008 par commune et par agglomération. On trouvera l'architecture du modèle permettant d'une part La demande AEI, et celle liée au tourisme, font l'objet d'enquêtes dont les résultats seront disponibles à la fin du mois de novembre.

L'estimation de la demande en eau d'irrigation est probablement la difficulté majeure rencontrée par le projet d'actualisation. Si la demande des GPI peut être évaluée avec une bonne approximation, il n'en est pas de même pour celle de la PMH : absence d'inventaire des

surfaces irriguées et du nombre d'exploitants, méconnaissance du parc de forages et des quantités mobilisées. L'enquête SOGREAH (Etude d'inventaire et de développement de la PMH, SOGREAH (disponible probablement en août 2009-DHA/MRE), devrait résoudre le problème de l'estimation physiques de la demande en eau d'irrigation PMH, mais également développées et celui des prélèvements illicites dans le domaine souterrain.

La programmation de l'offre en eau dessalée et déminéralisée est connue. Celle de l'REUE dépend essentiellement dans un premier temps (2010-2020) du paramètre dotation/allocation (gestion de l'AEP par l'offre) puis dans un deuxième temps (2020-2040) uniquement du paramètre dotation (gestion par la demande).

L'audit concernant les eaux de surface révèle que les données antérieures et les méthodologies utilisées sont difficilement récupérables. La ressource en eau de surface est ré estimée à partir de données de base : carte mensuelle des pluies (scénarii moyen et sec), carte du ruissellement, apport aux barrages, campagne bathymétrique, calcul des volumes régularisables à partir de Mike Basin et des critères de satisfaction. Toutes ces données ont été reprises à la source et consolidées. La démarche algorithmique est déjà engagée pour le rapport "Évaluation des ressources et des besoins" prévu pour janvier 2010.

L'audit de la ressource souterraine du FD révèle également la faiblesse des données : sous estimation de la recharge par le PNE 93 et sur estimation par le PNE 2006. Les PDARES ne proposent aucune explication pour le choix de la valeur du potentiel annuel souterrain. Pour éviter la redondance des approximations et des erreurs, l'évaluation de la ressource potentielle souterraine s'effectuera selon une méthodologie sous Arc-Gis qui met en jeu les cartes mensuelles des pluies, celle du ruissellement, celle de l'évapotranspiration et la carte géo référencée des limites d'aquifères.

En l'absence de fichier actualisé des forages, il est impossible d'évaluer correctement les prélèvements souterrains. Toutefois, en première analyse, nous sommes en mesure de confirmer la surexploitation de la ressource souterraine. Les quantités mobilisées à partir des aquifères, dépassent d'un facteur 3 la recharge annuelle. Pour aller dans le sens du développement durable, de la gestion intégrée des ressources en eau et pour préserver l'avenir, nous suggérons de geler les ponctions souterraines là où cela s'avère nécessaire (côtier algérien, nappe de la Mitidja etc...).

Ce statut quo sur les prélèvements souterrains et la diminution des possibilités d'identification de nouveaux sites des barrages, réduisent d'autant la capacité de charge des eaux conventionnelles. Pour satisfaire une demande croissante dans ce contexte de pénurie, il

faut rechercher une solution auprès des potentialités offertes par les ressources non conventionnelles : dessalement de l'eau de mer et REUE.

Au niveau méthodologique, le projet a mis en place l'essentiel des prémisses pour démarrer la phase d'actualisation : évaluation spatio-temporelle des besoins et des ressources, géo référencement sous Arc Gis, calcul des volumes régularisables sous Mike Basin...

Le découpage géo référencé nationale en entité administrative, régionale, et hydrographique est maintenant maîtrisé. Ce découpage ordonne le poids démographique jusqu'à la commune et l'agglomération dépassant 600 habitants ou 100 foyers.

V.3. Discussion de la base de données à utilisée

Le modèle WEAP a été configuré pour les bassins versants du centre Algérien dans l'objectif d'évaluer l'impact des mesures de gestion de l'eau (demande, approvisionnement, etc...).

L'exécution de WEAP nécessite l'acquisition d'une base de données importante pour chaque élément dans le réseau. La structure de données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour répondre aux exigences d'une analyse particulière et de tenir compte des limites imposées lorsque les données sont limitées (Yates et al, 2005). Pour configurer le modèle le pas de temps mensuels ont été utilisés dans la simulation hydrologique pour les raisons suivantes: (1) la compatibilité avec les périodes de temps des processus hydrologiques importants, (2) l'existence des données à pas de temps mensuelle.

La base de données requises pour l'application du modèle a été obtenue à partir de diverses institutions, telles que l'ABH (Agences de Bassins Hydrographiques), l'ANBT (Agences Nationale des barrages et transferts), l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), l'ONM (Office National de la Météorologie), DSA (Direction des Services Agricoles), l'ONS (Office National des Statistiques), l'ONA (Office Nationale d'assainissement), et l'ADE (l'Algérienne des Eaux).

Il est important de rappeler ici les données qui ont servi à la modélisation hydrologique des débits mensuels.

Nous disposons des chroniques de débits mensuels de 05 stations hydrométriques, réparties d'une façon hétérogène à travers le territoire d'étude (Source : ABH, ANRH et ANBT);

Les données d'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle, sous forme de grilles régulières réalisées dans le cadre d'une étude antérieure (ANRH, 2002).

La préparation des données nécessaires pour le système intégré, à l'affichage des résultats et leurs exploitations a été faite par Arc Gis.

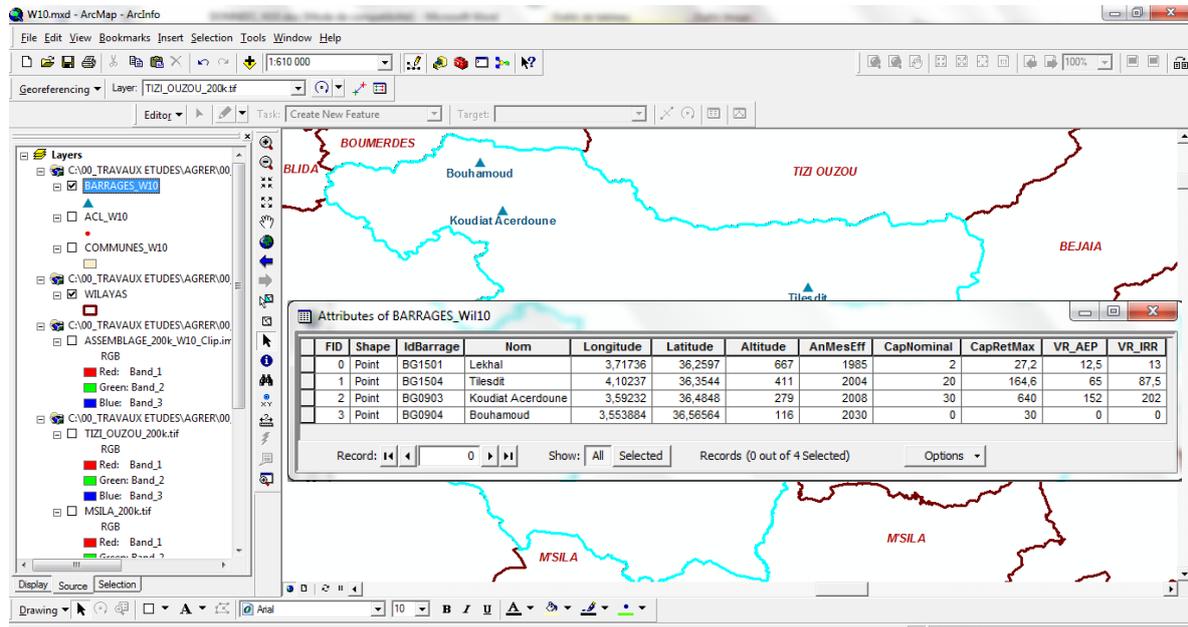


Figure V. 1: Arc Map- Exemple de fenêtre de données. (Propre élaboration).

V.3.1 Système de projection géographique adopté :

Il existe plusieurs systèmes de projection officiels utilisés en l'Algérie. Par exemple les cartes topographiques au 1/50.000 sont dans une projection Lambert spécifique à l'Algérie. Le système utilisé pour les cartes topographiques au 1/200.000 est le système géodésique Nord Sahara 1959 – Ellipsoïde de Clarke 1880 – UTM zone 30, 31 ou 32, voisin mais différent de la norme internationale UTM (WGS84).

V.4. Configuration du modèle

La modélisation sous WEAP se déroule en plusieurs étapes se regroupant en deux groupes (Droogers et al, 2011):

1. Le montage du modèle où le système à modéliser est défini (période de temps à analyser, limites spatiales de l'aire à étudier, composants du système et la calibration du modèle).
2. Le résultat recherché incluant l'évaluation instantanée de la demande réelle de l'eau.

Les hypothèses qui peuvent être intégrées dans les simulations sont en rapport : l'approvisionnement, la disponibilité de la ressource, la pollution, les coûts et des facteurs influençant la demande (Droogers et al, 2011).

Elaboration des scénarios dans le WEAP s'appuient sur l'état actuel et permettent l'exploration de l'impact des hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité

future de l'eau et l'utilisation. Ces scénarios sont évalués au regard de la disponibilité de l'eau, les coûts et avantages, la compatibilité avec les objectifs environnementaux, et la sensibilité à l'incertitude dans les variables clés (Droogers et al, 2011).

Le bilan de masse de l'eau et de pollution est calculé par le modèle WEAP en chaque point de calcul défini par l'utilisateur. L'eau est injectée dans le système pour répondre aux exigences de débit minimal et de consommation, sous réserve des priorités de la demande, les préférences de l'offre, du bilan de masse et d'autres contraintes (Droogers et al, 2011).

WEAP fonctionne sur un pas de temps mensuel. Les mois sont indépendants, sauf pour les réservoirs et stockages. Ainsi, l'eau entrant dans le système dans un mois (débit tête par exemple, alimentation des nappes souterraines ou les eaux de ruissellement en tronçons) est soit stockée ou quitte le système à la fin du mois (Droogers et al, 2011).

Selon Droogers et al. 2011, l'échelle de temps mensuelle étant relativement longue, les flux sont supposés se produire instantanément. Ainsi, un site peut retirer la demande d'eau de la rivière, de consommer certains, le retour du reste à une station de traitement des eaux usées qu'il traite et il retourne à la rivière. Ce flux de retour est disponible pour une utilisation dans le même mois à la demande en aval.

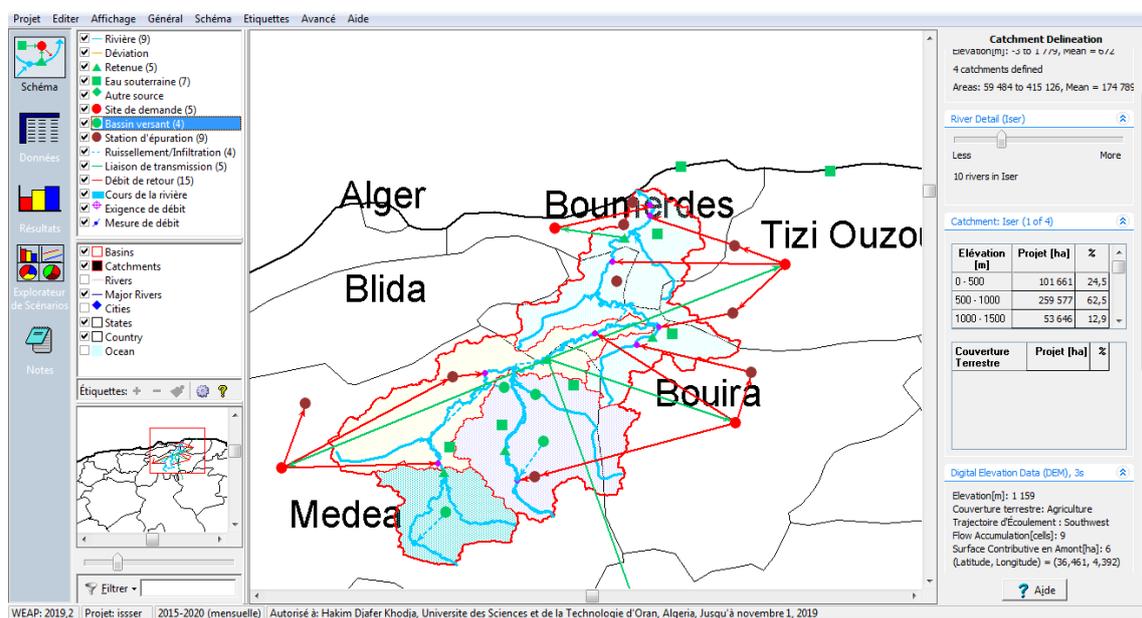


Figure V. 2: Modélisation des bassins versants Isser centre de l'Algérie à l'aide du modèle WEAP.

Chaque mois, les calculs se font pour chaque nœud selon la démarche suivante (SEI, 2011):

1. Définir la demande annuelle et de besoins d'approvisionnement mensuel.
2. Estimer les eaux de ruissellement et d'infiltration des bassins versants.

3. Quantifier les entrées et les sorties d'eau incluant les prélèvements. Durant cette étape, on vise à optimiser la gestion de la demande et les exigences de débit réservé, l'offre et d'autres contraintes.
4. Evaluer les charges polluantes et leurs concentrations engendrées sur le milieu naturel.
5. Apprécier la production hydroélectrique.
6. Jauger les coûts d'immobilisations et d'exploitation et des revenus.

Pour les besoins de la modélisation, la région d'étude a été subdivisée en sous-bassins. Pour chacun de ces sous-bassins, les données de bases suivantes ont été renseignées :

- Disponibilité de la ressource.
- Localisation des zones irriguées et leurs exigences en eau.
- Besoins en eau domestique et industrielle.
- Les réservoirs.

V.4.1. Disponibilité de la ressource

Les ressources en eau regroupent l'ensemble des eaux disponibles, ou que l'on peut mobiliser, pour satisfaire en quantité et en qualité une demande donnée en un lieu donné, pendant une période appropriée. Les ressources en eau dépendent de divers facteurs interdépendants tels que la taille du sous bassin, les conditions météorologiques, l'état d'humidité des sols, etc... (Droogers et al, 2011)

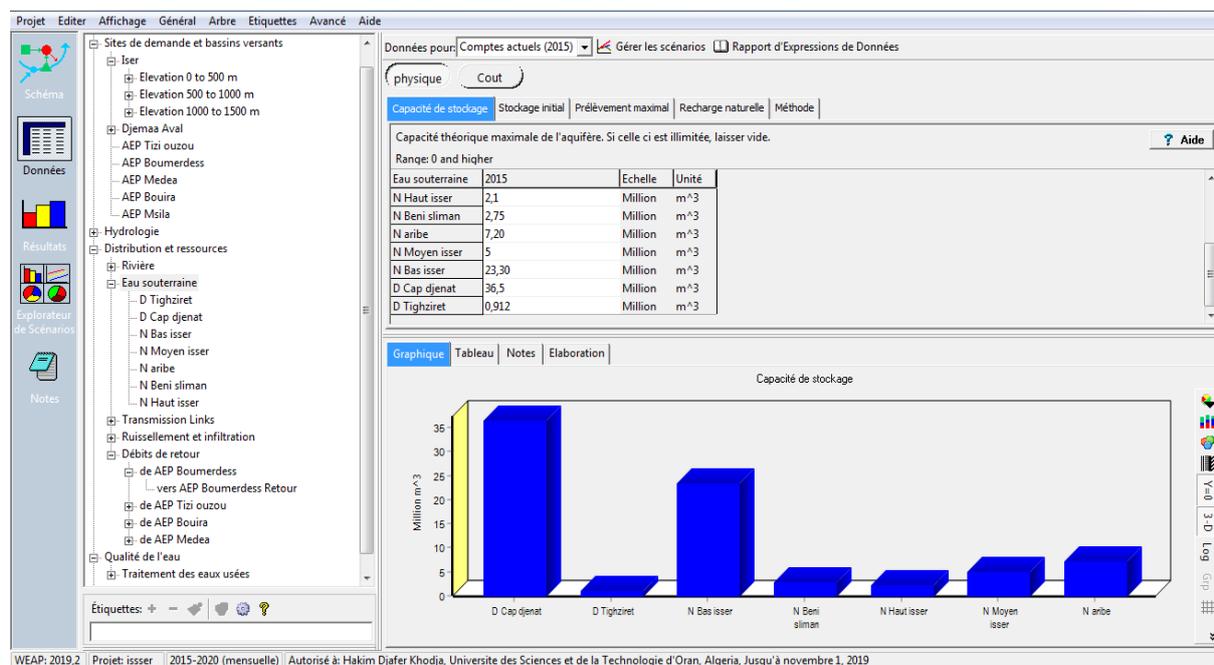


Figure V. 3: les ressources en eau modélisées dans le WEAP.

V.4.1.1. Modélisation du climat :

Les données climatiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, etc...) ont été introduites dans le modèle WEAP par l'utilisation de l'Assistant Séries Temporelles Mensuelles (Sissako et al, 2006). Qui seront utilisées par le modèle pour calculer l'évapotranspiration de référence en utilisant l'équation de Penman Montith. Ainsi les données concernant la latitude des sites ont été aussi introduites dans le modèle.

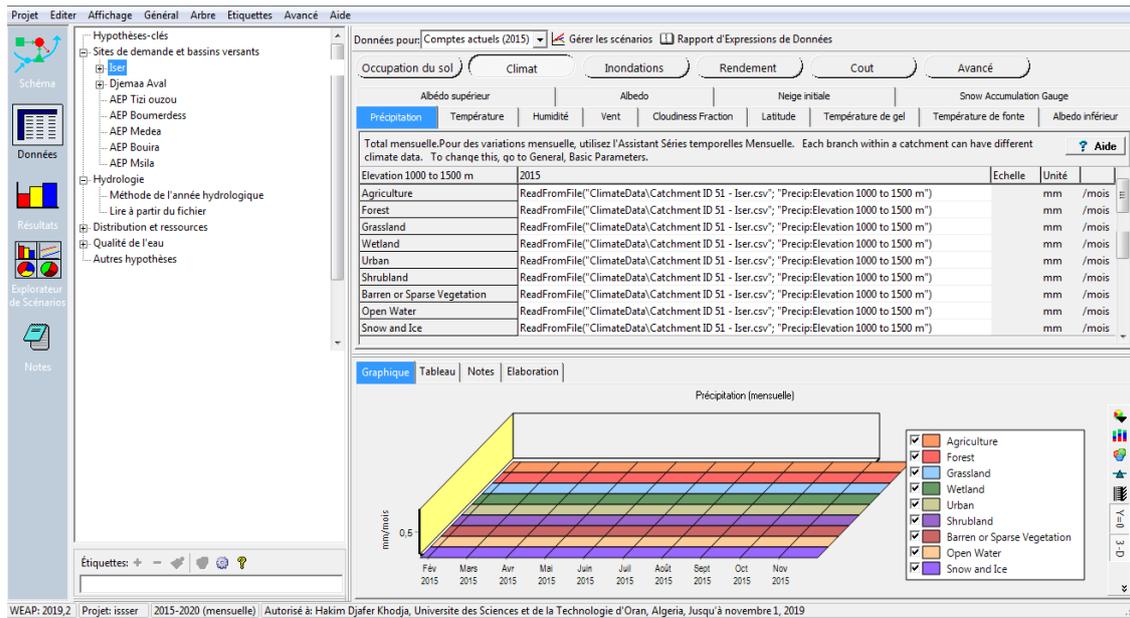


Figure V. 4: Les données des paramètres météorologiques intégrées dans le WEAP.

Avec la version actuelle de WEAP, il est possible de choisir parmi quatre méthodes pour simuler des processus de bassins versants tels que l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les demandes en eau de cultures.

On distingue (1) la méthode pluie ruissellement du FAO ; (2) la méthode FAO limitée au calcul des demandes d'irrigation ; (3) la méthode dite humidité de sol, qui propose une structure de modèle à 2 réservoirs représentant une couche superficielle et une couche profonde (Yates et al, 2005) ; (4) La méthode Mabilia, une nouvelle méthode basée sur la formulation de Cropwater.

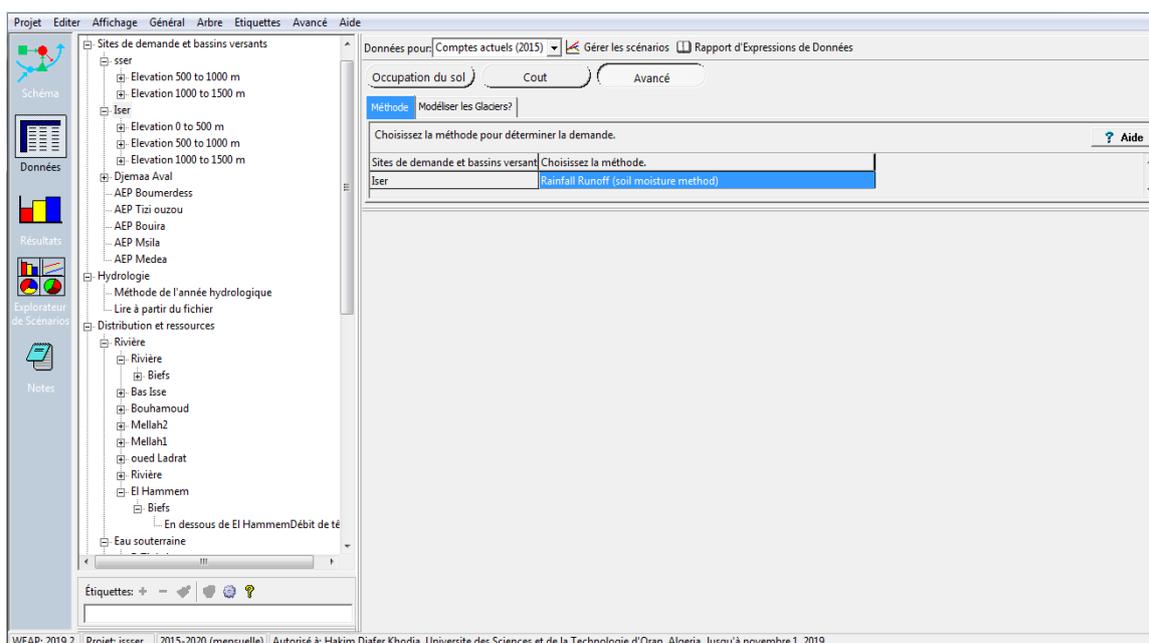


Figure V. 5: Les différentes méthodes pour simuler des processus de bassins versants.

Pour faire varier en fonction du temps les débits entrants au modèle (dans notre cas le Head flow de la rivière principale), WEAP offre deux stratégies. Si des prévisions détaillées sont disponibles, celles-ci peuvent être lues en utilisant la fonction « ReadFromFile ». Une autre méthode, est la « Méthode de l'Année Hydrologique ». Sous cette méthode, chaque année dans la durée du modèle peut être définie comme normale, humide, très humide, sec et très sec. Différents scénarios peuvent ainsi changer la séquence choisie des années sèches et humides pour tester l'impact des variations naturelles sur la gestion des ressources en eau.

La Méthode de l'année hydrologique est un moyen simple pour représenter les variations des données climatiques comme les débits de rivière, la pluviométrie et la recharge de la nappe. La méthode implique en premier comment définir les régimes climatiques (ex. Très sec, sec, très humide) en comparaison à une année normale, à qui il est attribué la valeur 1. Les années sèches ont une valeur inférieure à 1, les années très humides ont une valeur supérieure à 1.

L'analyse des archives de l'ANRH montre que les stations de jaugeage exploitées sur la zone d'étude sont suffisamment nombreuses.

Cependant les périodes et les durées d'observations sont très disparates et très hétérogènes.

Pour le calcul des apports moyens mensuels nous avons retenu une période d'observation de 39 années, pouvant être considérée comme une période de référence, représentative de la moyenne interannuelle.

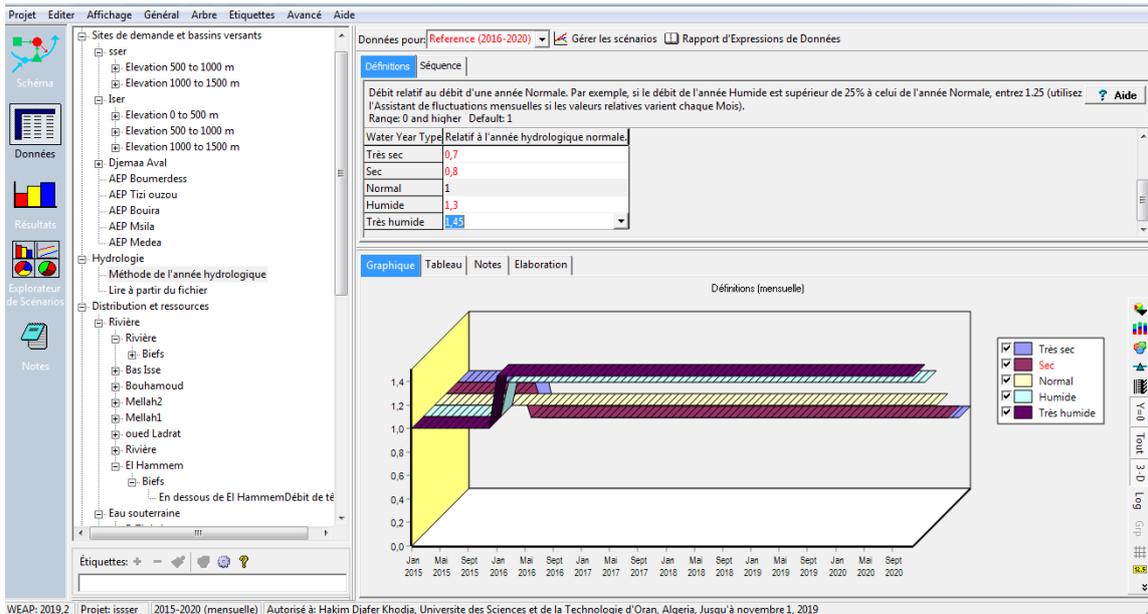


Figure V. 6: présentation de La Méthode de l'année hydrologique dans le WEAP.

V.4.2. Besoins en eau domestique et industrielle

La distribution de la population et les besoins en eau industrielle ont été supposés proportionnels par rapport à la taille des sous-bassins. Dans les phases à venir du projet, des données plus fines seront utilisées directement avec le modèle.

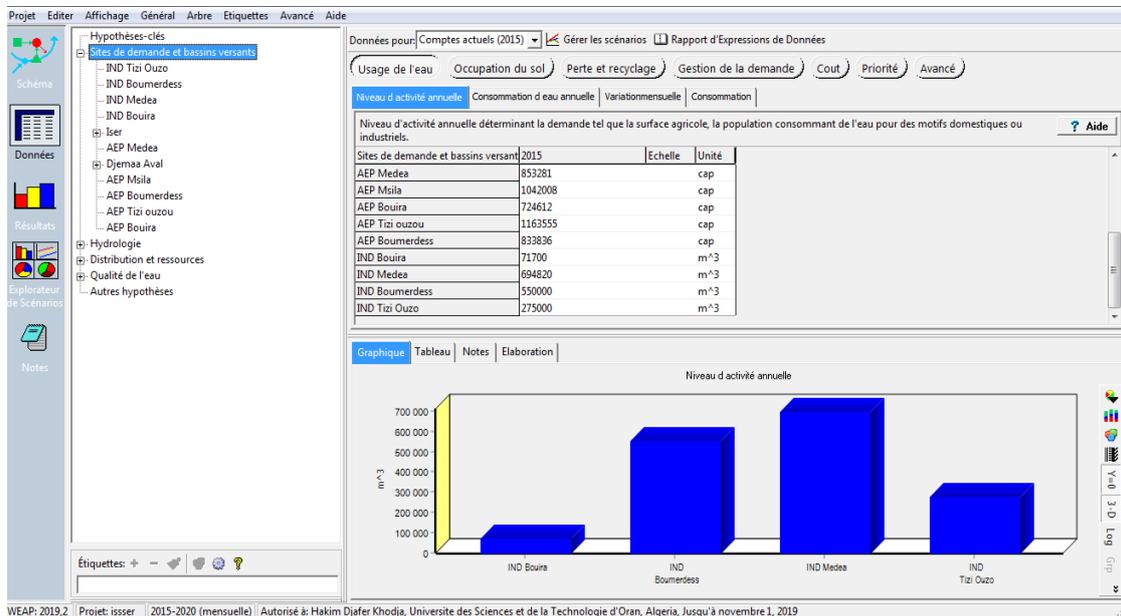


Figure V. 7: Les différentes données nécessaires de besoin en eau dans le WEAP.

La priorité de la demande peut être n'importe quel chiffre entre 1 et 99 (99 est une valeur par défaut) et permet à l'utilisateur de spécifier l'ordre de satisfaction de la demande en eau des sites de demande. WEAP va tenter de satisfaire les exigences en eau des sites de demande avec une priorité égale à 1 avant les sites de demande avec une priorité égale à 2 ou

supérieure. Si deux sites de demande présentent la même priorité, WEAP va tenter de satisfaire leurs exigences en eau équitablement. Les valeurs absolues n'ont pas de signification pour les niveaux de priorité ; seulement l'ordre relatif à un sens. Par exemple, s'il y'a deux sites de demande, le même résultat sera obtenu si les priorités de la demande sont 1 et 2 ou 1 et 99.

Les priorités de la demande permettent à l'utilisateur de représenter dans WEAP l'allocation de l'eau comme elle est dans leurs systèmes.

Pour la région d'étude, la demande domestique a la priorité sur les exigences de l'agriculture lorsque la demande domestique et agricole en concurrence pour la même ressource en eau. Conformément à l'article 2 de la Loi sur l'eau (Loi no 5-12 du 4 Août 2005), l'approvisionnement en eau domestique est considéré comme prioritaire et constitue le principe de base régissant l'allocation des ressources.

Les principes et choix d'allocation des ressources dépendent de la nature des besoins, de l'origine de la ressource et des types d'ouvrages de mobilisation.

- Les besoins domestiques sont satisfaits prioritairement en fonction des ressources en eaux conventionnelles et/ou non conventionnelles disponibles.
- La ressource mobilisée de surface (barrages et/ou transferts et interconnexions) ou issu du dessalement d'eau de mer peut être avant souterraine (forages).
- Le dessalement de l'eau de mer constitue une ressource en eau dédiée exclusivement à la satisfaction de la demande en eau domestique.

Après la satisfaction des besoins en eau domestique, les infrastructures de mobilisation et de transfert des ressources en eau de surface sont dédiées aux autres usages (industrie, agriculture) selon les choix prioritaires suivants :

- Les barrages et transferts sont dédiés principalement à l'alimentation des GPI,
- Les retenues collinaires sont dédiées à la PMH,
- La réutilisation des eaux usées épurées est exclusivement affectée à l'irrigation de périmètres spécifiques ou pour protéger l'environnement.

L'affectation des ressources des aquifères doit être considérée au cas par cas en fonction de leur situation, des autres ressources disponibles et des besoins appelés par les différents usagers.

Le principe retenu est de limiter autant que possible la pression d'exploitation des ressources en eaux souterraines pour leur préservation et leur permettre de se recharger naturellement ou artificiellement.

Ce choix stratégique se traduit par :

- Le développement et la réalisation d'usines de dessalement destinées à l'AEP,
- limiter les sollicitations de la PMH par un programme de développement de retenues collinaires,
- privilégier autant que possible les eaux superficielles pour l'AEPI.

V.4.3. Réservoirs

Les réservoirs de la région ont été inclus dans le modèle WEAP. Le modèle effectue au pas de temps mensuel les simulations de fonctionnement hydraulique de la retenue.

Les données nécessaires pour la modélisation des barrages sont comme suite:

- Des apports : La période retenue
- De la pluviosité et de l'évaporation sur le plan d'eau,
- Des besoins à satisfaire ;
- Les pertes par évaporation sont calculées en se basant sur la géométrie de la retenue, décrite par la courbe «Hauteur/Capacité/Surface».
- Les côtes caractéristiques du barrage (côte du niveau le plus bas, cote du niveau mort, cote de prise, côtes des CRN et PHE,...)
- Situation des barrages (en exploitation, en construction et en projet)
- Coordonnées
- Les pertes (Pluie – Evaporation dans la retenue).

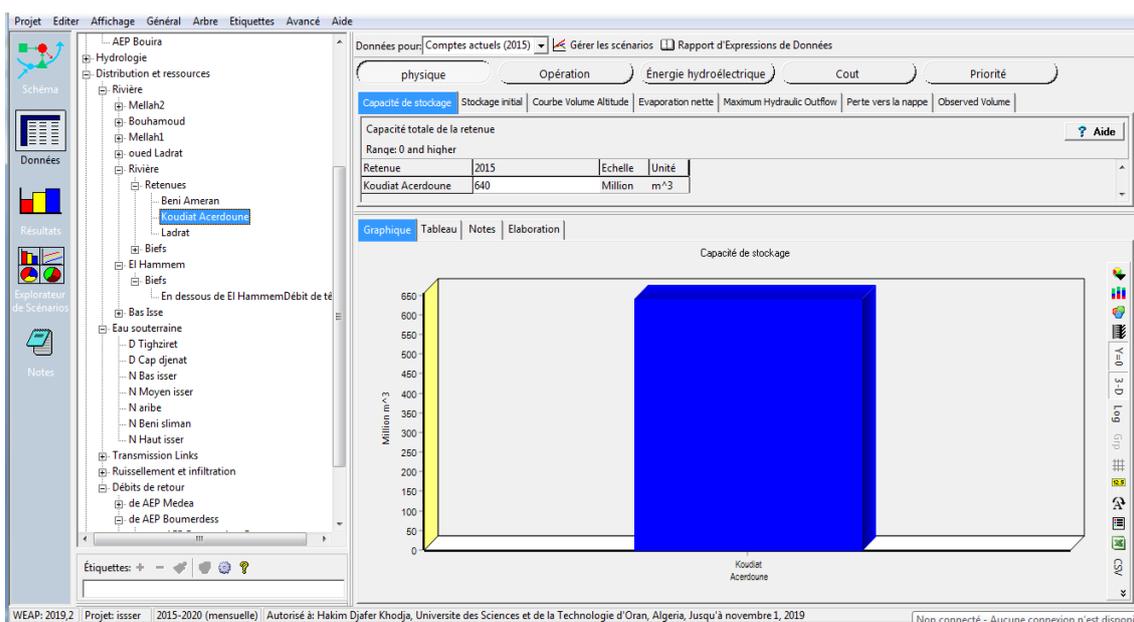


Figure V. 8: Les données des barrages intégrés dans le modèle WEAP.

V.4.4. Station d'épuration

La base de données obtenue de l'ONA, qui englobe 9 STEP, Les données nécessaires pour la modélisation des Stations d'épuration sont comme suite:

- Capacité journalier,
- consommation ou débit de retour.

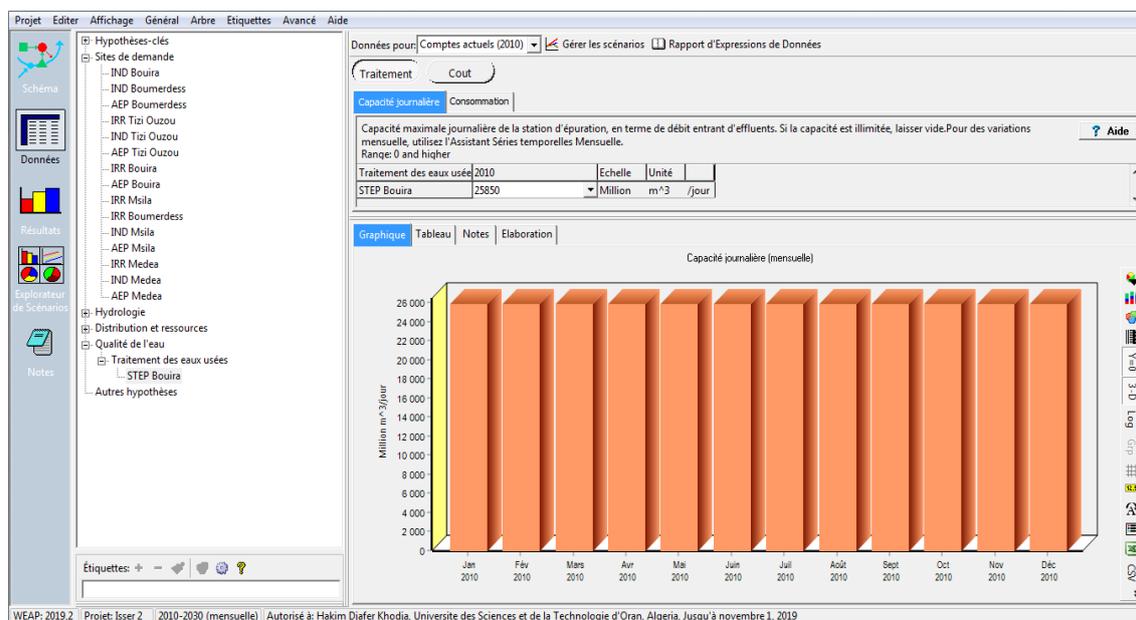


Figure V. 9: Les données des STEP intégrés dans le modèle WEAP.

V.5. Présentation des principaux scénarios

Le modèle WEAP utilisé dans le cadre de l'étude fait intervenir des multiples paramètres, ce qui a permis d'élaborer de nombreux scénarios par combinaison de ces paramètres chacune constitue de ce fait des hypothèses d'utilisation des ressources en eau ou de variation de la demande et peut être calculée avec le modèle.

Les composantes d'un scénario de simulation sont toutes globalement organisées selon trois familles de données et d'informations :

- *les données observées* qui impactent quatre grands domaines : les données naturelles, les données climatiques, les données démographiques et les données patrimoniales.
- *les données évaluées* qui reposent sur des méthodologies d'estimation et des hypothèses conditionnant l'évolution des données observées.
- *les politiques d'intervention* qui traduisent les mesures qui visent à l'amélioration du niveau de satisfaction des différents usagers et concernent trois axes d'actions :(1) politiques de mobilisation de nouvelles ressources ;(2) principes d'allocation des ressources ; (3) amélioration des conditions d'exploitation des ressources

Différents scénarios ont été définis pour déterminer les mesures qui permettent d'arriver à une situation d'équilibre hydrique pour l'horizon 2040. Ces scénarios sont basés sur les programmes actuels de développement du ministère des ressources en eau (MRE), sur les ressources et la demande en eau, et des variables techniques généralement utilisées en Algérie.

L'année 2010 a servi comme état actuel « Current Account » pour ce projet. L'année de l'état actuel a été choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information (les données de la demande et de la distribution) est introduit dans l'état actuel.

Les Scénarios sont construits sur la base de l'Etat 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 Evalués à l'égard de la suffisance de l'eau et des bénéfiques, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clefs.

L'impact de scénarios d'aménagements a été analysé à l'aide du modèle WEAP. Ces scénarios sont les suivants:

V.5.1. Scénario de référence « Business-As-Usual » (BAU)

Un scénario par défaut, la "référence" ou "business-as-usual" reprend les données du compte actuel dans la durée du projet spécifié et sert de point de comparaison pour les autres scénarios dans les quels des modifications sont apportées aux données du système (SEI, 2007). Elle décrit la situation actuelle (année 2010), et l'évolution tendancielle au niveau des ressources et de la demande en eau, jusqu'en 2040. Pour cela, il prend en compte les projets d'investissement actuellement conclus. La situation actuelle (2010) est étendue à l'avenir (2010 - 2040). Aucun changement majeur n'est imposé dans ce scénario.

V.5.2. Scénario de changement climatique : séquences sèches « Dry Climate Change (DCC scenario) »

Le scénario sécheresse (diminution probable et stochastique de la pluie) se construit à partir des séquences sèches (durées, fréquences, intensités) identifiées sur les plus longues séries pluviométriques. On introduit toutefois dans le procédé les coefficients de réduction de la pluie déterminés à partir de la moyenne des séquences sèches.

Dans ce scénario on a pris en compte les ressources en eau programmés par le MRE tel que le dessalement de l'eau de mer et le transfert Koudiat Acerdoune ; le développement des grands périmètres irrigués ne sont pas pris en compte.

Concernant le scénario sec, on calcul à partir des longues chroniques le coefficient de réduction de la pluie en considérant la moyenne des pluies des années sèches. On tient compte également de l'existence d'un gradient est/ouest d'assèchement qui réajuste spatialement le coefficient de réduction.

Dans le modèle WEAP on peut définir les régimes climatiques (séquences sèches) à l'aide de la méthode de l'année hydrologique.

V.5.3. Scénario de développement des GPI séquences humides « Wet Climate Change (WCC) scenario »

Comme pour le précédent scénario DCC, on peut définir les régimes climatiques (séquences humides) de ce scénario à travers la méthode de l'année hydrologique dans le modèle WEAP; Dans ce scénario on a pris en compte les ressources en eau programmés par le MRE tel que le dessalement de l'eau de mer et le transfert Koudiat Acerdoune; le développement des grands périmètres irrigués ne sont pas pris en compte.

V.5.4. Scénario de la gestion de la demande: Demande Management « DM scenario »

La gestion des demandes vise la réduction simultanée des " inutilisations " d'eau prélevée ou produite et des " mauvaises utilisations ", c'est à dire tous les gaspillages d'ordre physiques et/ou économiques. Dans ce scénario on a pris en compte les ressources en eau programmés par le MRE tel que le dessalement de l'eau de mer et le transfert Koudiat Acerdoune; le développement des grands périmètres irrigués n'est pas pris en compte ; en plus les programmes de la gestion de demande sont pris compte dans la modélisation.

V.5.5. Scénario du développement du niveau de vie : Développment of Standard of Living « DSL scenario »

Deux hypothèses de calcul de dotations hydriques ont été envisagées :

- Un calcul basé sur le maintien des dotations hydriques actuelles,
- Un calcul basé sur une augmentation des dotations hydriques liée à un développement au niveau de vie.

Le scénario tient compte l'accroissement de la dotation unitaire de 1% par an de 2010 jusqu'à l'horizon 2040 afin d'améliorer le niveau de vie et avec la prise en compte des projets d'investissement actuellement conclus et projetés par le MRE.

V.5.6. Scénario de développement des GPI : Development of Large Irrigation Systems « DLIS scenario »

Dans ce scénario on a pris en compte le développement des grands périmètres irrigués selon la programmation du MRE. Au niveau des GPI, la demande en eau est calculée pour chaque périmètre, à partir des dotations recueillies auprès des organismes concernés : une dotation hydrique de 8000 m³/ha/an.

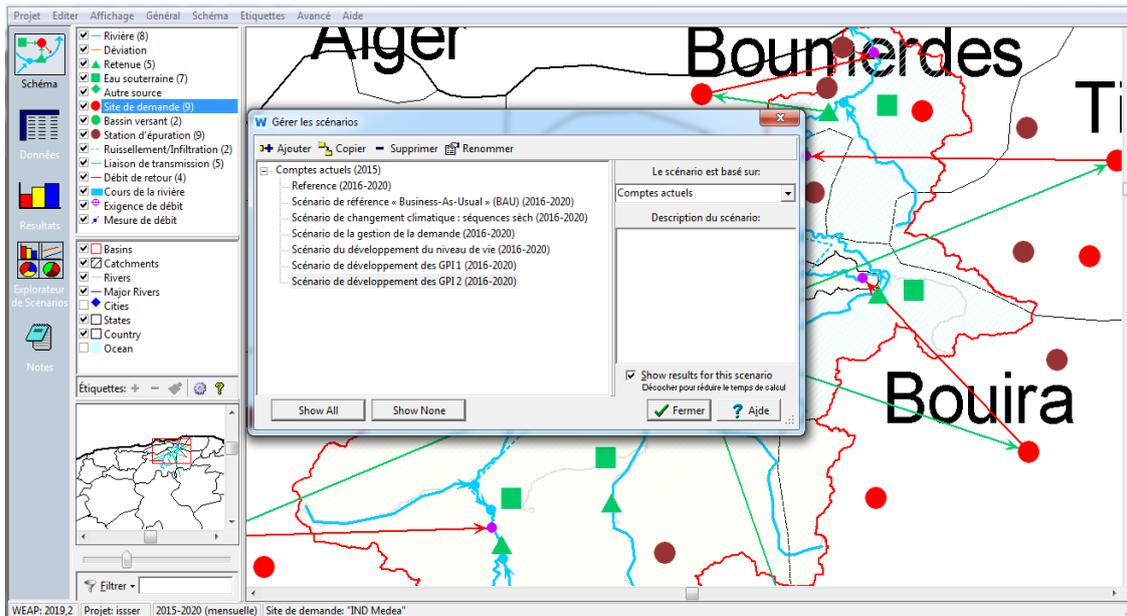


Figure V. 10: Les scénarios proposés dans le modèle WEAP.

V.5.7. Scénario d'augmentation du volume d'eau : Développement des Barrages

Ce scénario a été utilisé car la région d'isser offre plus de sites potentiels avantageux pour d'autres barrages comme Barrage Beni Slimane, Barrage Djemaa avale et Barrage Bouhamoud. (MRE, 2010).

La seule différence entre le scénario BAU, est l'augmentation des volumes d'eau et la méthode de l'année hydrologique. Leur raisonnement reste le même.

V.5.8. Scénarios de combinaisons

Dans ce scénario on a pris en compte le développement des scénarios ou on a combiné entre les différents scénarios comme développement du niveau de vie, de changement climatique développement des GPI.

V.6. Calage et validation du modèle

Le but du calage du modèle consiste à ajuster les paramètres de telle sorte que les solutions du modèle répondent aux observations de façon optimale. Il existe deux approches générales pour l'évaluation de la qualité de calage; savoir subjectives et objectives. L'évaluation subjective est basée sur une comparaison visuelle des résultats de simulation avec les données observées. En revanche, les approches objectives sont basées sur le développement des mesures quantitatives de la qualité de l'ajustement (Abrishamchi et al, 2007). Le calage du modèle a été réalisé manuellement en cherchant à minimiser l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et d'optimiser le coefficient de corrélation R (Yates et al, 2005).

Le module d'hydrologie du bassin versant dans WEAP se rapproche des processus hydrologiques critiques qui font usage de quelques paramètres clés. Ceux-ci incluent un coefficient de plantes / culture (K_c) qui, en combinaison avec une estimation de l'évapotranspiration potentielle qui détermine les pertes par évaporation, un coefficient de résistance du ruissellement conceptuel (RRF) liées à des facteurs tels que l'indice foliaire et la pente du terrain, (avec des valeurs plus élevées de RRF on obtient la réduction rapide du ruissellement), et les paramètres de la capacité de rétention d'eau et la conductivité hydraulique qui déterminent la réponse lente de l'écoulement hypodermique. Une fraction de partitionnement (sens d'écoulement préférentiel) détermine si l'eau se déplace horizontalement ou verticalement (Brian et al, 2008); (Stillwater et al, 2010).

Les paramètres d'entrée de base sont indiqués dans le tableau VII.1, ainsi que les sensibilités identifiées pour chaque paramètre qui sont le résultat de travaux de (Jantzen et al, 2006). WEAP impose une structure dans les termes de la résolution des paramètres d'entrée, ce qui signifie WEAP force certains paramètres pour décrire l'ensemble du bassin et d'autres pour décrire des zones de plus petites unités territoriales telles que la classification des sols ou de la catégorie d'utilisation de sols.

Tableau V. 1: Paramètres d'entrées et leurs sensibilités (Amato et al, 2006)

Paramètre	Unité	Désignation	Sensibilité	
Utilisation de sol	Superficie	Km ²	Bassin versant	Elevée
	Capacité de l'eau profonde	mm	Bassin versant	Elevée
	Conductivité profonde	mm/j	Bassin versant	Modérée
	Z ₂ initiale	/	Bassin versant	Pas Influence
	Capacité de l'eau du sol	mm	Sol	Modérée
	Conductivité de la zone de racines	mm/j	Sol	Modérée
	Sens d'écoulement préférentiel	/	Sol	Modérée
	Z ₁ initiale	/	Sol	Pas Influence
	Coefficient de culture Kc	/	Utilisation de sol	Elevée
	L'indice foliaire	/	Utilisation de sol	Elevée
Climat	précipitation	mm/j	Bassin versant	Elevée
	température	C	Bassin versant	Modérée
	Vent	m/s	Bassin versant	Bas
	Humidité	%	Bassin versant	Bas
	Point de font	C	Bassin versant	Non Estimée
	Point de gel	c	Bassin versant	Non Estimée
	Latitude	Dégré	Bassin versant	Non Estimée
	Niege Initiale	Mm	Bassin versant	Non Estimée

Comme critères de calage, nous adopterons les quatre suivants :

Le coefficient de Nash (NTD) : Ce coefficient est défini par (CEHQ, 2008); (Ayadi et Bargaoui, 1998):

$$NTD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - \bar{q}_o)^2} \quad (V.1)$$

Où q_{ci} et q_{oi} sont les débits calculé et observé du mois i ; \bar{q} est la moyenne de q_{oi} sur les n mois servant au calcul du coefficient.

Le coefficient de Nash a été utilisé comme critère pour quantifier la précision des simulations. Le coefficient de Nash représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés (Nash & Sutcliffe, 1970).

Le coefficient de corrélation (R) : Ce coefficient est défini par:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - \bar{q}_c)(q_{oi} - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - \bar{q}_c)^2 \sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q})^2}} \quad (V.2)$$

Où \bar{q}_c est la moyenne de q_{ci} sur n jours. L'intervalle de confiance (IC) de R est calculé à

l'aide de la variable de Fisher $Z = \frac{1}{2} \log \frac{(1+R)}{(1-R)}$ (V.3)

Z et permet de tester l'hypothèse $p = R$, p est le coefficient de corrélation théorique).

L'erreur relative quadratique moyenne (Er) L'erreur relative quadratique moyenne est définie par:

$$Er = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{oi} - q_{ci}}{q_{oi}} \right)^2 \quad (V.4)$$

L'écart type de l'erreur (Er). Ce critère est similaire à celui de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne. Il mesure le biais et la variance des estimations en même temps.

Les données de l'année 2010 ont été utilisées pour le calage du modèle et les données de l'année 2011 ont été utilisées pour la validation du modèle.

La valeur de coefficient de Nash est 89% avec un coefficient de corrélation R^2 de l'ordre de 81 % pour la même période. Ces valeurs indiquent que l'écart entre le bilan calculé et le bilan observé est faible.

V.7. Analyse des scénarios de la gestion

Le bassin versant Isser assuré de besoin en eau (AEP, Irrigation et industrielle) ; pour les deux willayas Bouira et Boumerdess assuré le besoin avec 100% et les d'autre willaya (Tizi Ouzou, M'sila et Médéa) de 20%, 20% et 50% successivement.

Les résultats du compte actuel (dans notre étude l'année 2010) sont examinés en premier lieu pour permettre au lecteur de comprendre et d'évaluer la situation actuelle ; Les résultats pour les scénarios envisagés seront présentés et discutés de manière comparative. L'année 2010 va servir comme état actuel « Current Account » pour cette étude.

V.7.1. Situation actuelle (Année 2010)

Le Bilan dans la région montre un Satisfaction en demande en eau et de la disponibilité des ressources en eau jusqu'à l'année 2022. Le déficit en eau dans l'année 2040 est 3,2 Mm³, comme indiqué dans la figure ci-dessous :

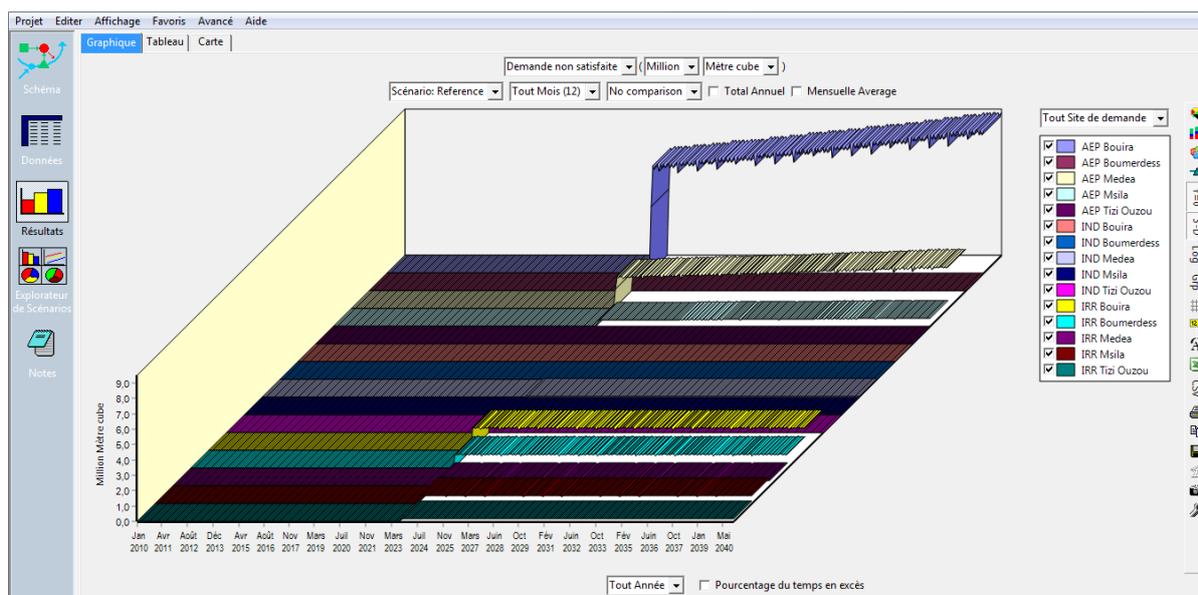


Figure V. 11: Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Situation actuelle).

V.7.2. Scenario de référence

V.7.2. 1. Evolution de la population

La population totale de la région hydrographique est estimée à environ 4617292 habitants en totalité pour les cinq willayas de bassin versant Isser (année 2010).

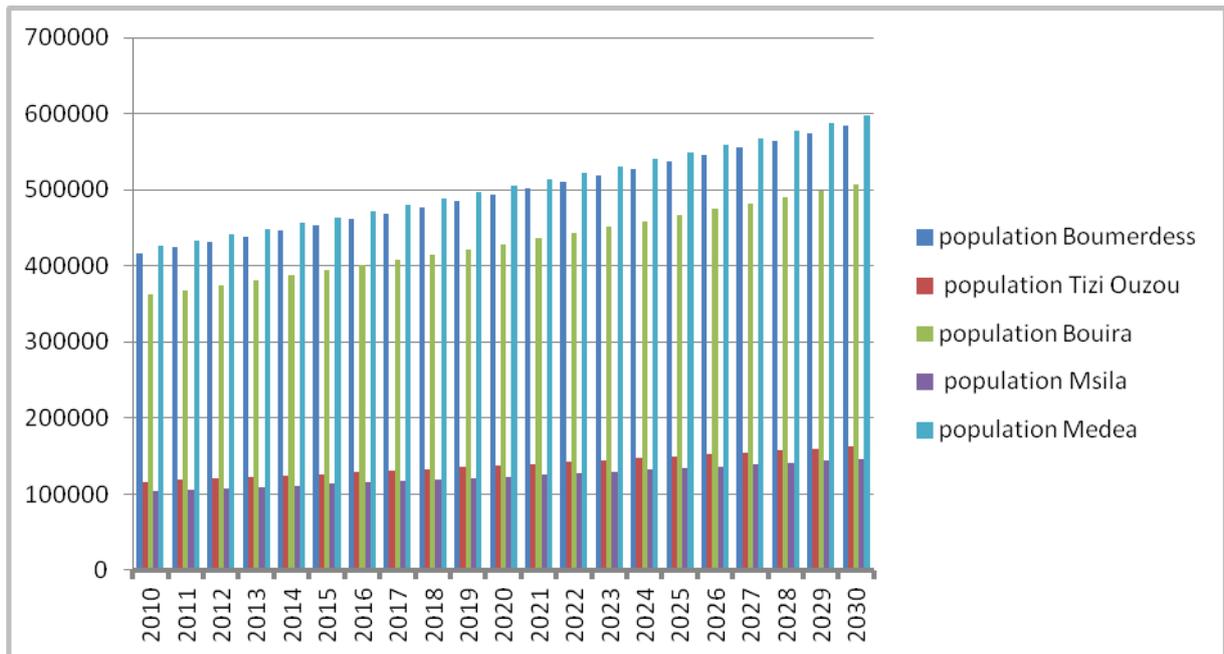


Figure V. 12: Evolution de la population de la région jusqu'au 2040.

L'augmentation de la population indique le développement industriel qu'est implique en général une augmentation de la production et ainsi des besoins en eau. Une augmentation de 1,5% /an jusqu'à l'horizon 2040 a été prise en compte.

Même chose Au niveau de l'agriculture, la demande en eau est basée sur Une augmentation de 1,5% /an jusqu'à l'horizon 2040.

V.7.2. 2. Projections de l'Offre

Selon la figure V.13, l'évolution de la demande en eau est progressive est passe de 257,54Mm³ en 2010 à 408,68Mm³ en 2040, Sauf pour Bouira et Médéa.

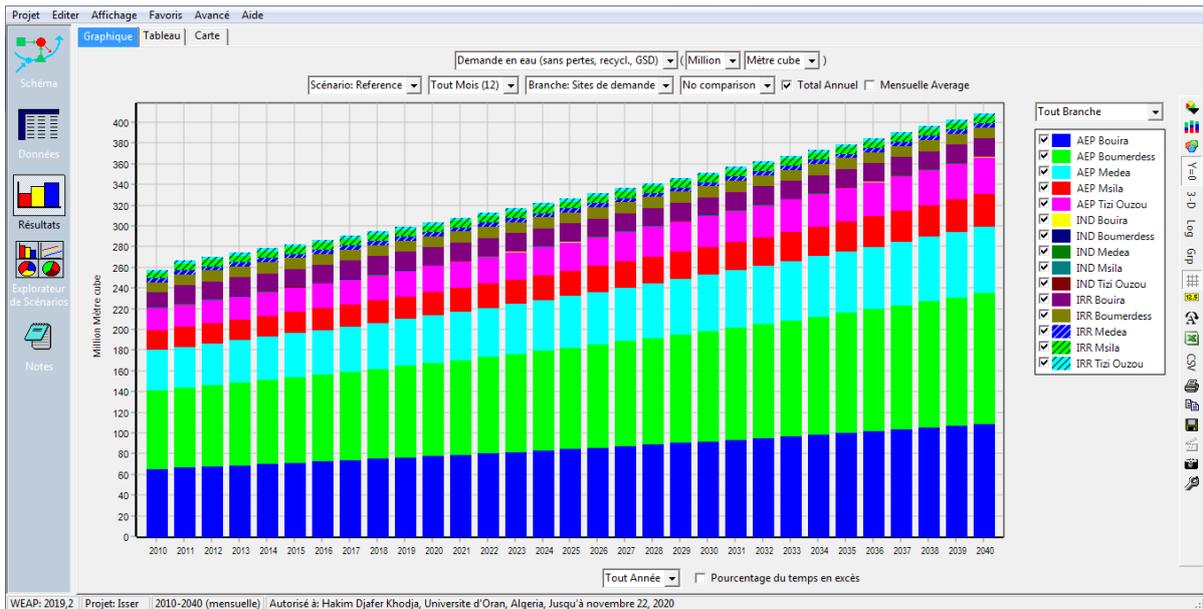


Figure V. 13 : Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040.

La demande en eau potable augmente en raison de la croissance démographique et le développement socio-économique dans la région. Les demandes en eau actuelles sont estimées à 257,54Mm³ et sont réparti comme suit: 221,39Mm³ pour l'eau potable 35,47Mm³ pour l'irrigation et 0,62Mm³ pour l'industrie.

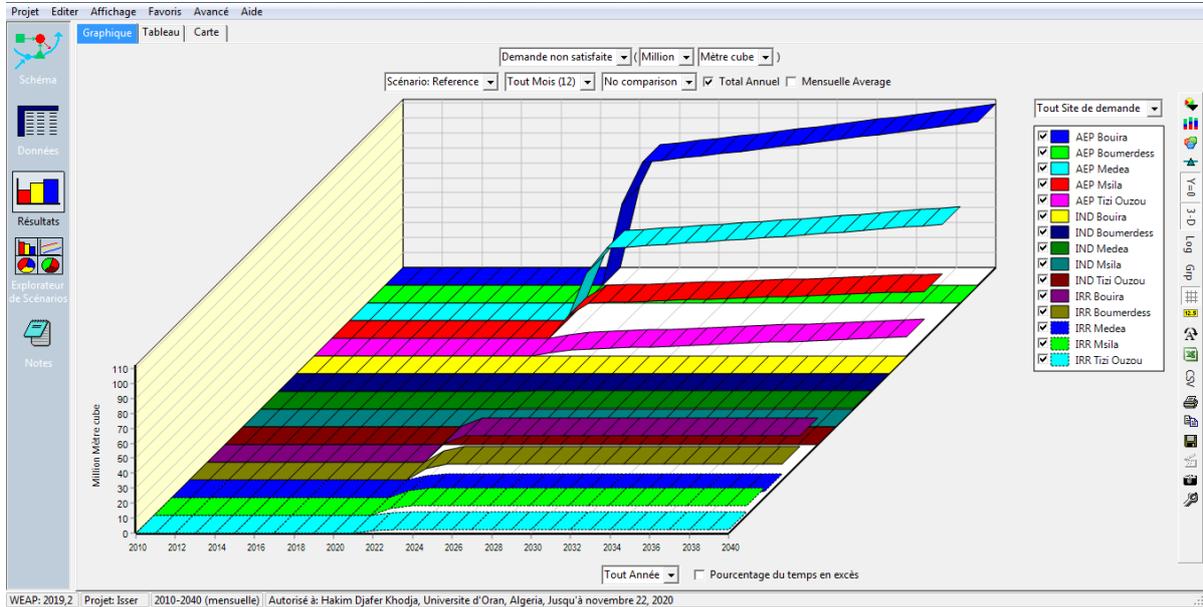


Figure V. 14: Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Scenario de référence).

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2022 sauf pour les willayas de Bouira et Médéa qui atteint 109,64Mm³ et 64,55Mm³ respectivement en 2040. Quand à l'irrigation le déficit d'eau en 2040 sera de l'ordre de 17,49Mm³ et 10,75Mm³ pour les willayas de Bouira et Boumerdes respectivement.

V.7.3. Scenario de Fort Accroissement de la Population

Ce scénario pour évaluer l'impact d'un taux d'accroissement de la population plus important que 1,7% à 5% pour la période 2010 à 2040.

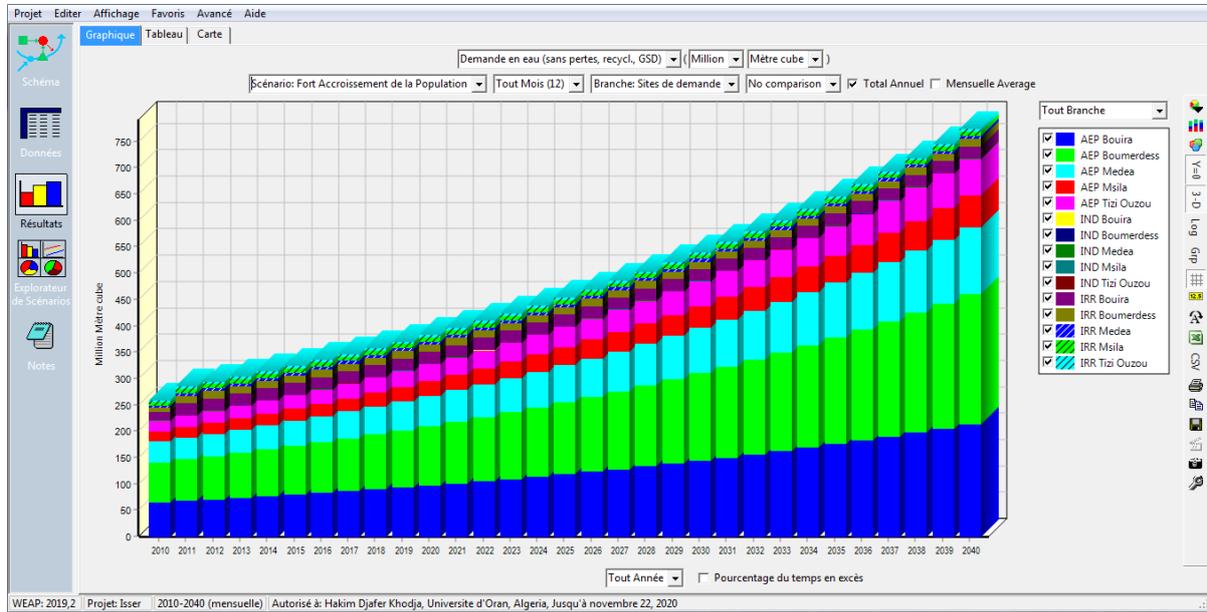


Figure V. 15 : Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 (Scenario de Fort Accroissement de la Population).

Il y a une forte demande pour l'eau potable en raison de la croissance démographique et le développement socio-économique dans la région. On doit noter que L'évolution de la demande en eau est progressive et passe de 257,54Mm³ en 2010 à 772,29Mm³ en 2040.

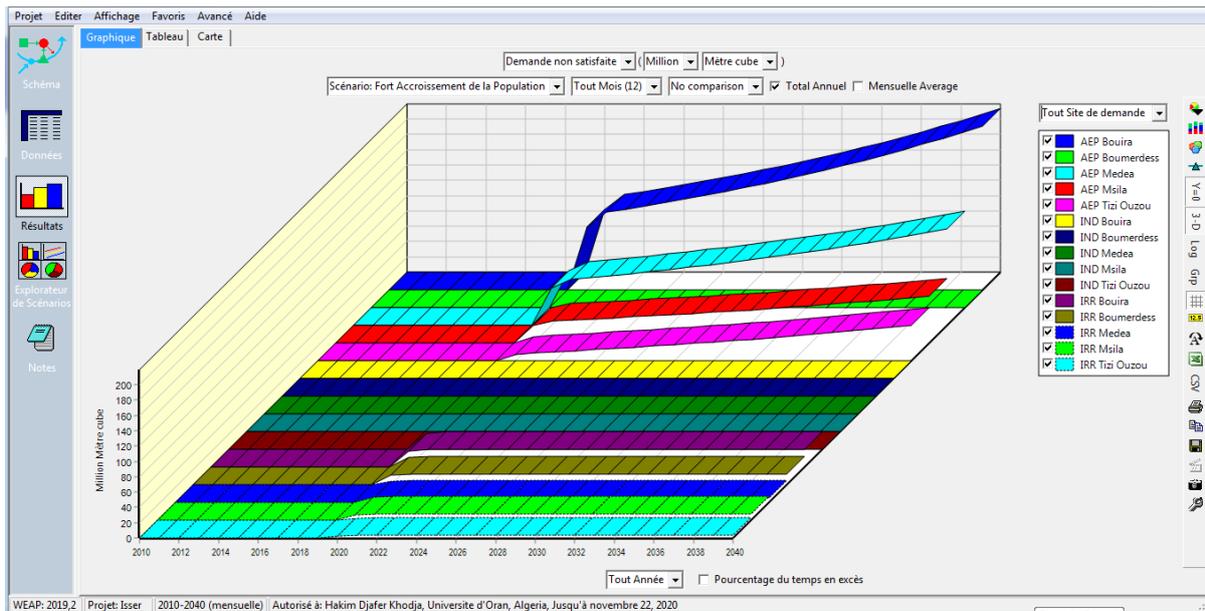


Figure V. 16 : Résultat WEAP Demande non satisfait en eau par willaya (Scenario de Fort Accroissement de la Population).

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020 et le déficit persiste dans les willayas de Bouira, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou en 2040 avec $214,46\text{Mm}^3$, $126,27\text{Mm}^3$, $61,68\text{Mm}^3$ et $46,47\text{Mm}^3$ respectivement. Quand à l'irrigation le déficit en 2040 sera de l'ordre de $22,28\text{Mm}^3$, $14,03\text{Mm}^3$, $5,25\text{Mm}^3$, $8,25\text{Mm}^3$ et $2,98\text{Mm}^3$ pour les willayas de Bouira, Bomerdess, Médéa, m'sila et Tizi ouzou respectivement.

Le déficit pour les besoins industrielle sera de l'ordre de $0,11\text{Mm}^3$, $0,52\text{Mm}^3$, $0,2\text{Mm}^3$ et $0,08\text{Mm}^3$ en 2040, pour la willaya de Bouira, Médéa, m'sila et Tizi ouzou respectivement .

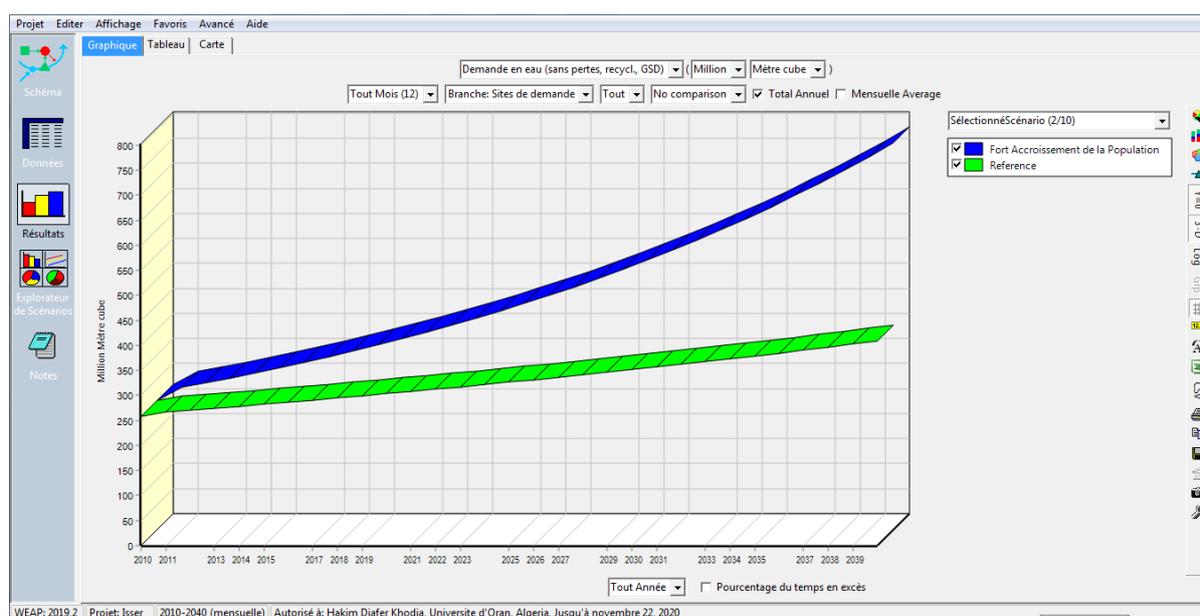


Figure V. 17: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population par rapport au scenario référence.

Selon l'accroissement de la population, la demande en eau augmente progressivement de $257,54\text{Mm}^3$ en 2010 à $772,29\text{Mm}^3$ par rapport au scénario référence $408,68\text{Mm}^3$ à l'horizon 2040 par rapport ou scenario de référence. (Voir tableau annexe).

V.7.4. Scénario de développement des GPI : Développent of Large Irrigation Systems « DLIS scenario »

Ce scénario pour évaluer l'impact de développement des GPI de 100% de la surface plus important que la surface existe pour la période 2010 à 2040.

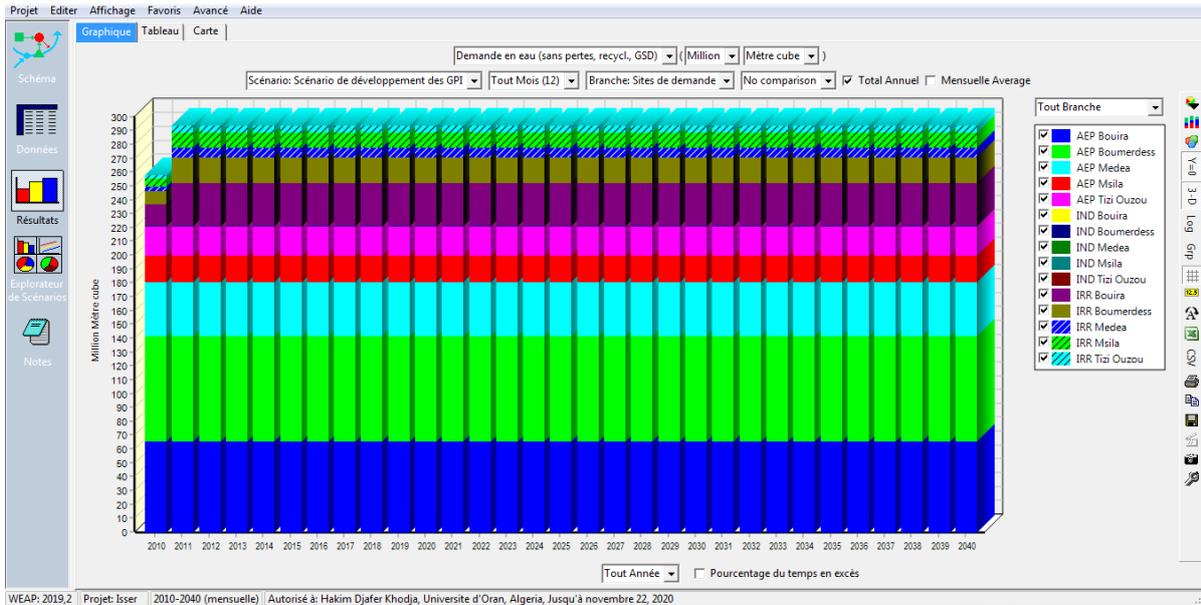


Figure V. 18: Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 (Scenario de développement des GPI).

L'évolution de la demande en eau de 257,54Mm³ en 2010 directe a partir de l'année 2011 et reste constante jusqu' à l'année 2040, avec une demande en eau de 293,08Mm³.

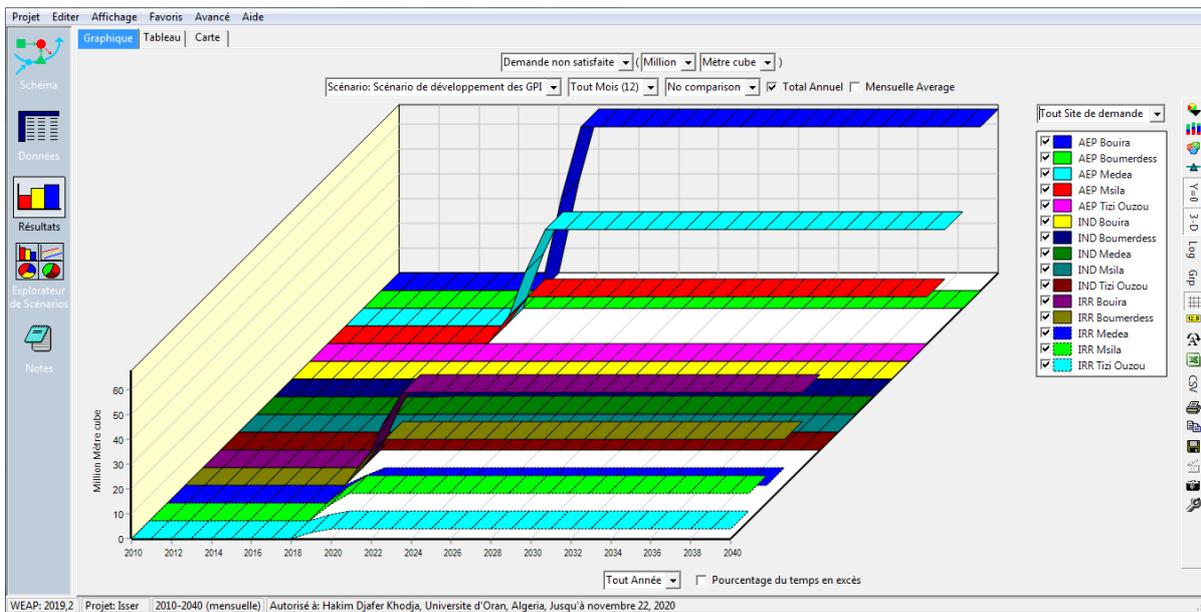


Figure V. 19 : Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Scenario de développement des GPI).

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020. le déficit est enregistré en 2040 au niveau des willayas de Bouira, Médéa, Boumerdès et M'sila, avec 66,22Mm³, 38,93Mm³, 19,02Mm³ et 46,47Mm³.

Pour l'irrigation, le déficit enregistré en 2040 est de l'ordre de 30,42Mm³, 18,70Mm³, 7Mm³, 11Mm³ et 3,96Mm³ pour les willayas de Bouira, Bomerdès, Médéa, M'sila et Tizi-

Ouzou respectivement. Quand aux besoins industriels, le déficit en 2040 sera : $0,7\text{Mm}^3$, $0,35\text{Mm}^3$, $0,13\text{Mm}^3$ et $0,06\text{Mm}^3$ pour les willayas de Bouira, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

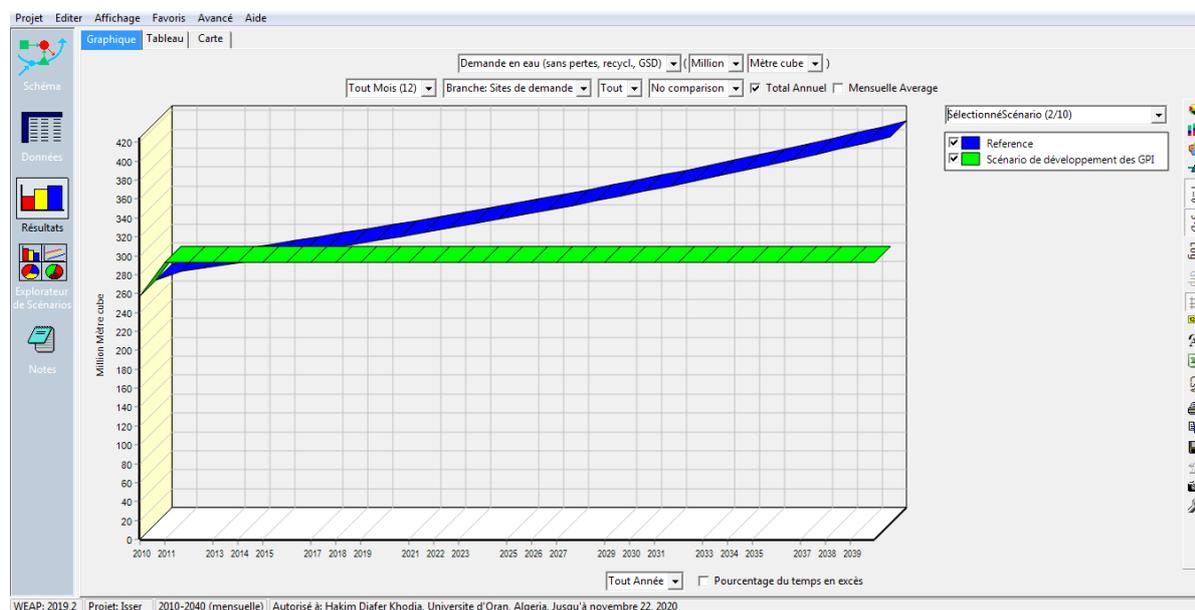


Figure V. 20: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenarior de développement des GPI par rapport ou scenarior référence.

La demande en eau augmente progressivement de $257,54\text{Mm}^3$ en 2010 à $293,08\text{Mm}^3$ en 2040. Par rapport au scénarior référence $408,68\text{Mm}^3$ à l'horizon 2040 par rapport ou scenarior de référence. (Voir tableau annexe).

V.7.5. Scénarior de changement climatique « séquences humides »

La Méthode de l'Année Hydrologique est un moyen simple pour représenter les variations des données climatiques comme les Débits de rivière, la pluviométrie et la recharge de la nappe. La méthode implique en premier comment définir les régimes climatiques (Très sec, sec, très humide) en comparaison à une année normale, à qui il est attribué la valeur 1. Les années sèches ont une valeur inférieure à 1, les années très humides ont une valeur supérieure à 1.

En sélectionnant le scénarior « Référence » passez à la vue Données et cliquer sur la branche « Méthode de l'Année Hydrologique », sous l'arborescence des données « Hydrologie ».

L'utilisation de la « Méthode de l'Année Hydrologique » est la création d'une séquence de variations climatiques pour la période du scénarior. Pour chaque année de la

période est assigné une des catégories du climat Humide. Comme présenter dans la figure suivante :

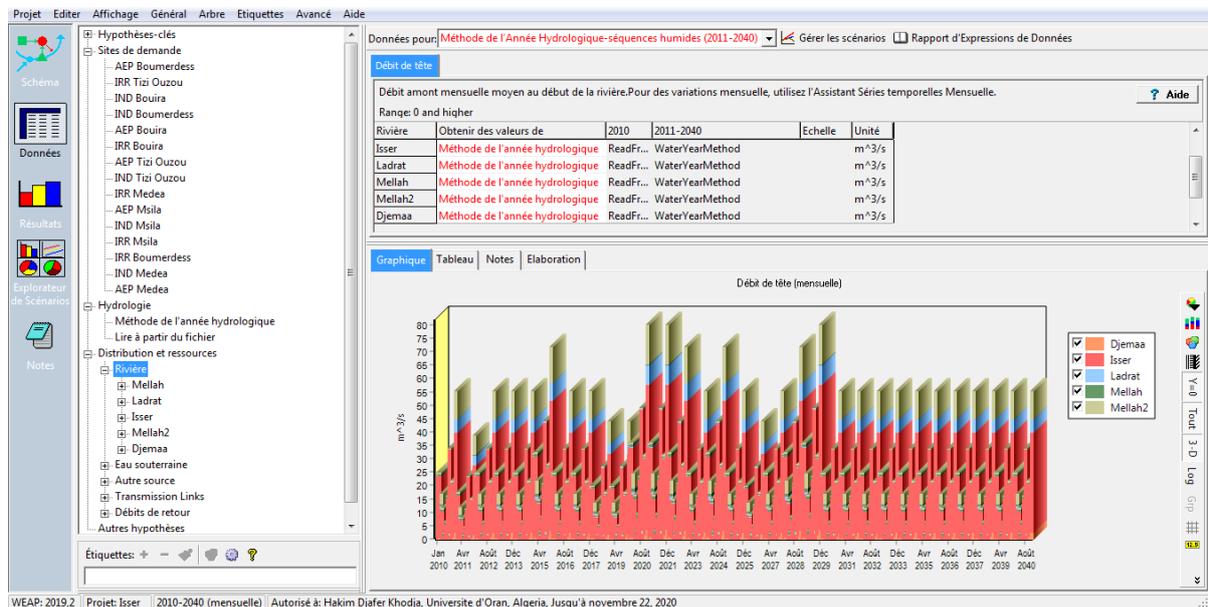


Figure V. 21 : Montage du Scenario de Changement climatique « séquences humides».

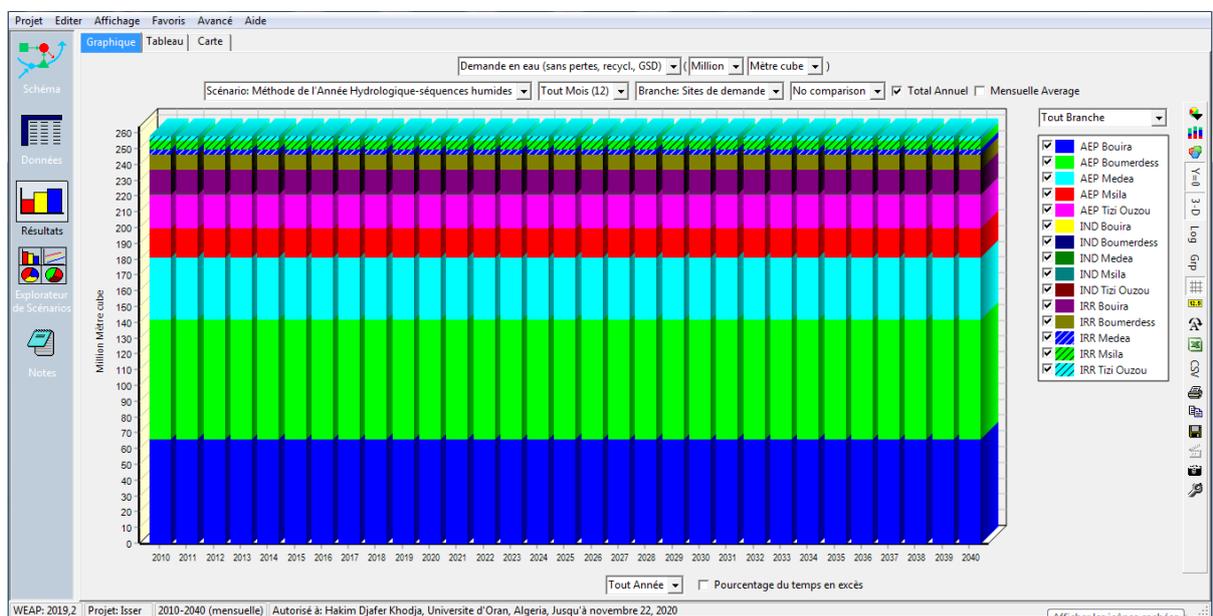


Figure V. 22: Résultat WEAP Demande en eau de 2010 à 2040 Scenario de Changement climatique « Séquences Humides».

La demande en eau dans ce cas (Scenario de Changement climatique « Séquences Humides») reste constante pour toutes les années avec une valeur de 257,54Mm³.

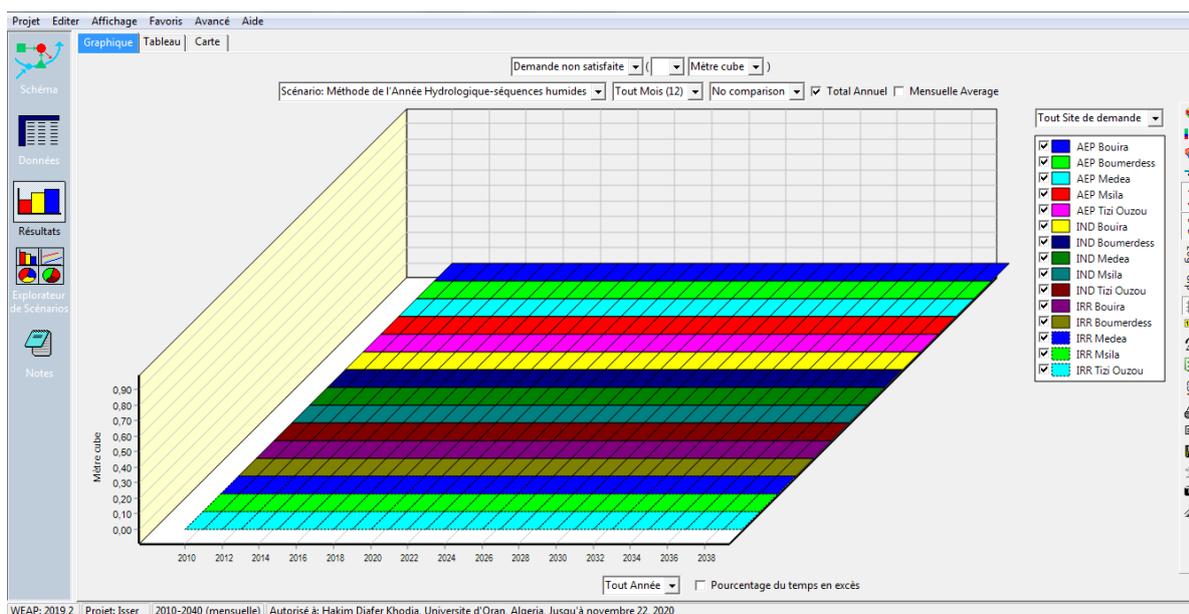


Figure V. 23 : Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Scenario de Changement climatique « Séquences Humides»).

La demande en eau pour l’AEP, l’irrigation et l’industrie est assurées jusqu’à l’année 2040 dans ce cas (Scenario de Changement climatique « Séquences Humides»).

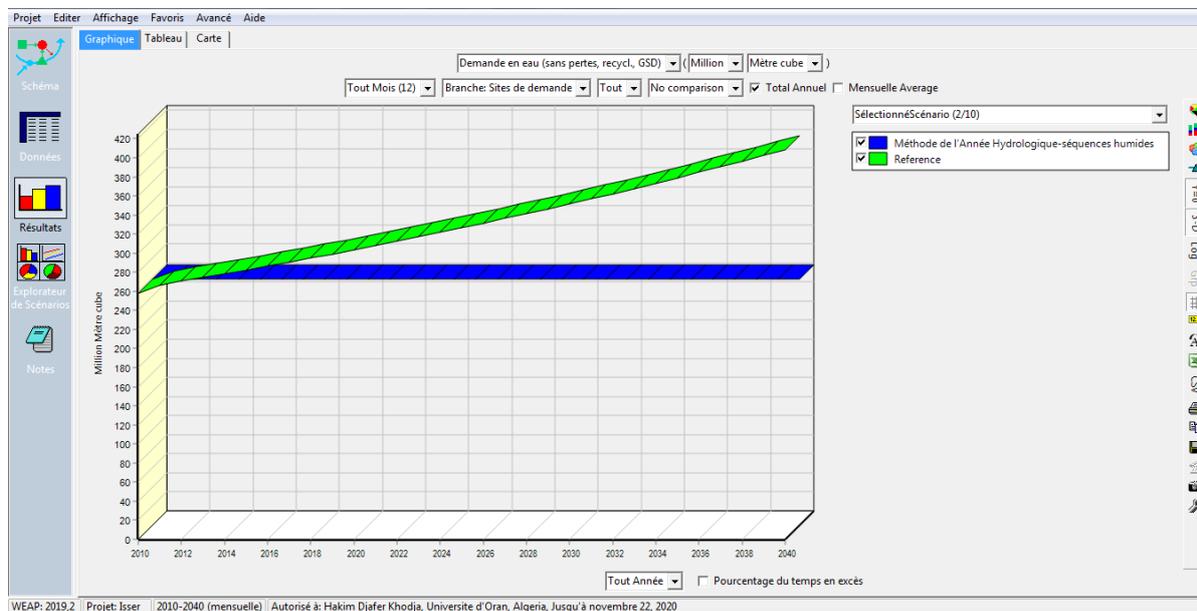


Figure V. 24 : Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Changement Climatique «Séquences Humides» par rapport ou scenario référence.

La demande en eau pour le Scenario de changement climatique «séquences humides» diminue par rapport au scenario référence, car le climat humide influe directement sur la demande pour l’AEP et l’irrigation.

V.7.6. Scénario de changement climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé»

Même chose que le Scénario de changement climatique « séquences humides » est la création d'une séquence de variations climatiques pour la période du scénario. Pour chaque année de la période est assigné une des catégories du climat Sec.

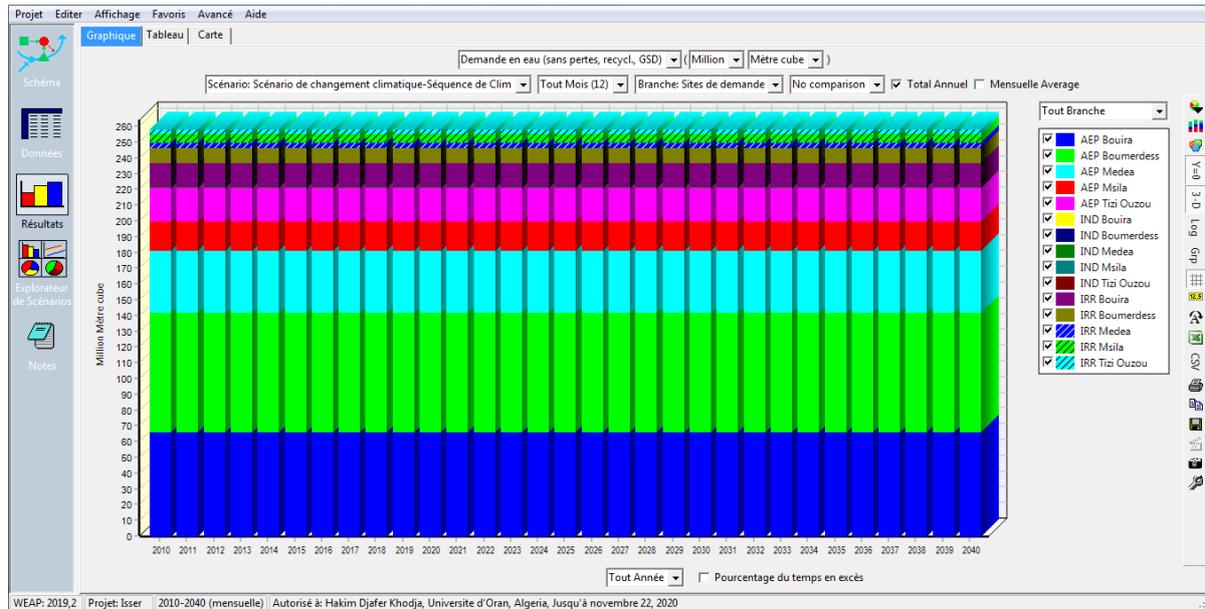


Figure V. 25: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Changement Climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé».

L'évolution de la demande en eau de $257,54\text{Mm}^3$ en 2010 jusqu' à l'année 2040, avec une augmentation $257,54\text{Mm}^3$.

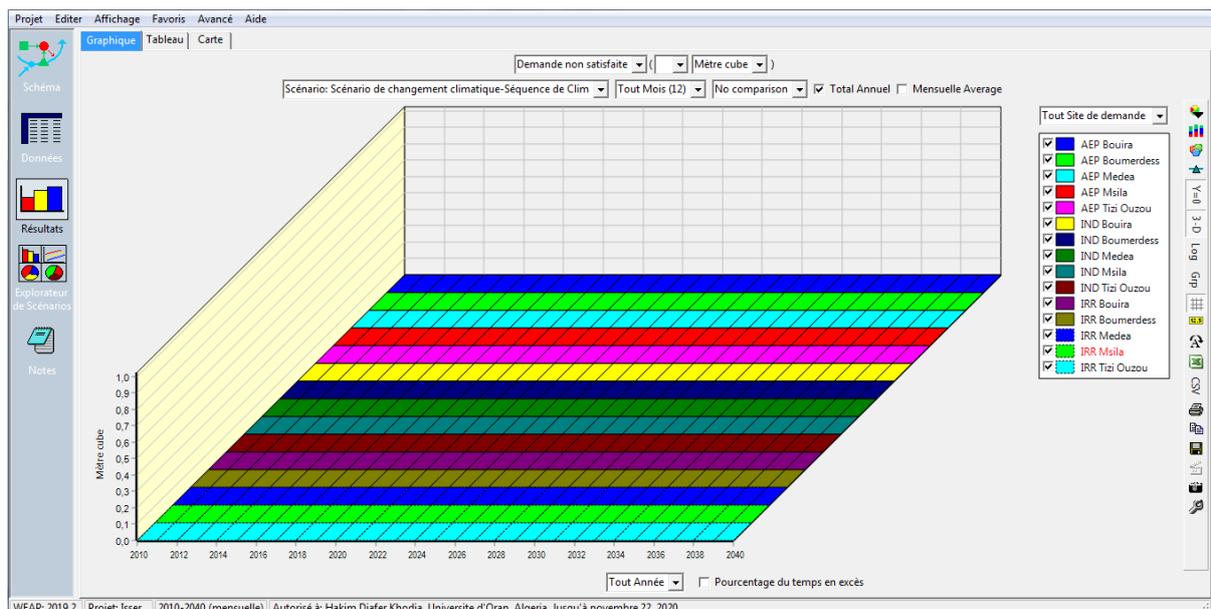


Figure V. 26: Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Demande Scenario de Changement Climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé»).

La demande en eau pour l'AEP, l'irrigation et l'industrie sont saturée jusqu'à l'année 2040 dans ce cas Demande Scenario de Changement Climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé».

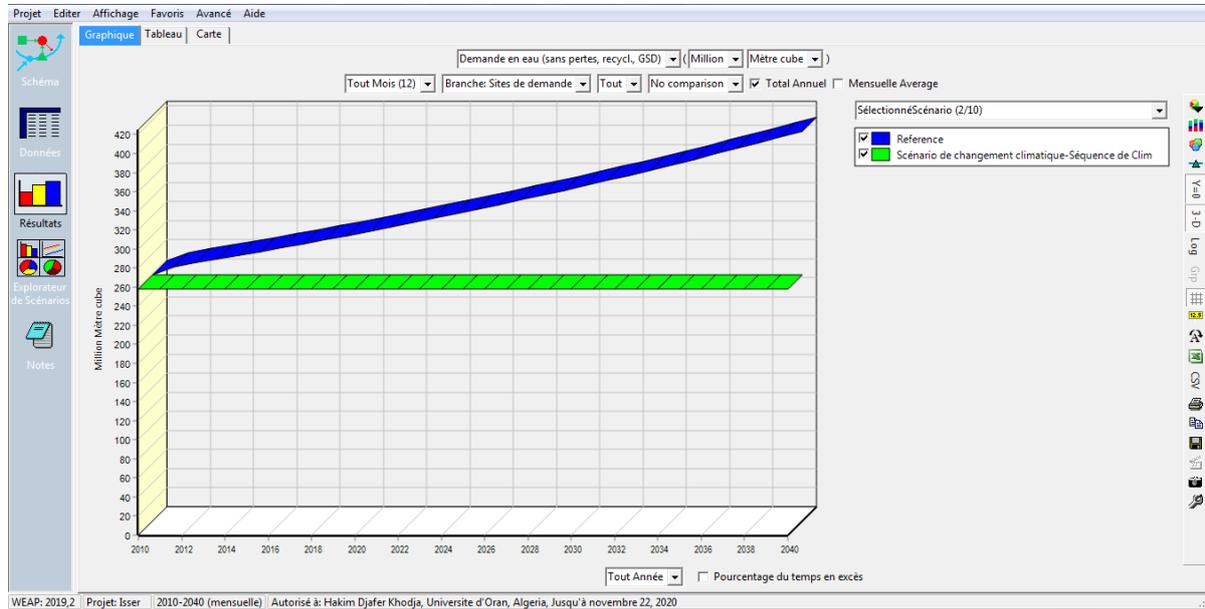


Figure V. 27 : Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Changement Climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé» par rapport ou scénario référence.

Dans le Scénario de changement climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé», la demande en eau par rapport au scénario référence n'est pas assurée et augmente avec le temps vu que le climat est sec, cette demande concerne l'AEP et l'irrigation.

V.7.7. Scénario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume»

La création d'une grande retenue permet le stockage des eaux « excédentaires » durant les périodes de grands débits pour couvrir les demandes durant les périodes de faibles débits. Cependant, le prix à payer est un large impact sur le régime hydrologique de la rivière en aval de la Retenue. Les variables de gestion de la retenue et les exigences en débit peuvent être utilisés pour apaiser l'impact en aval de la retenue.

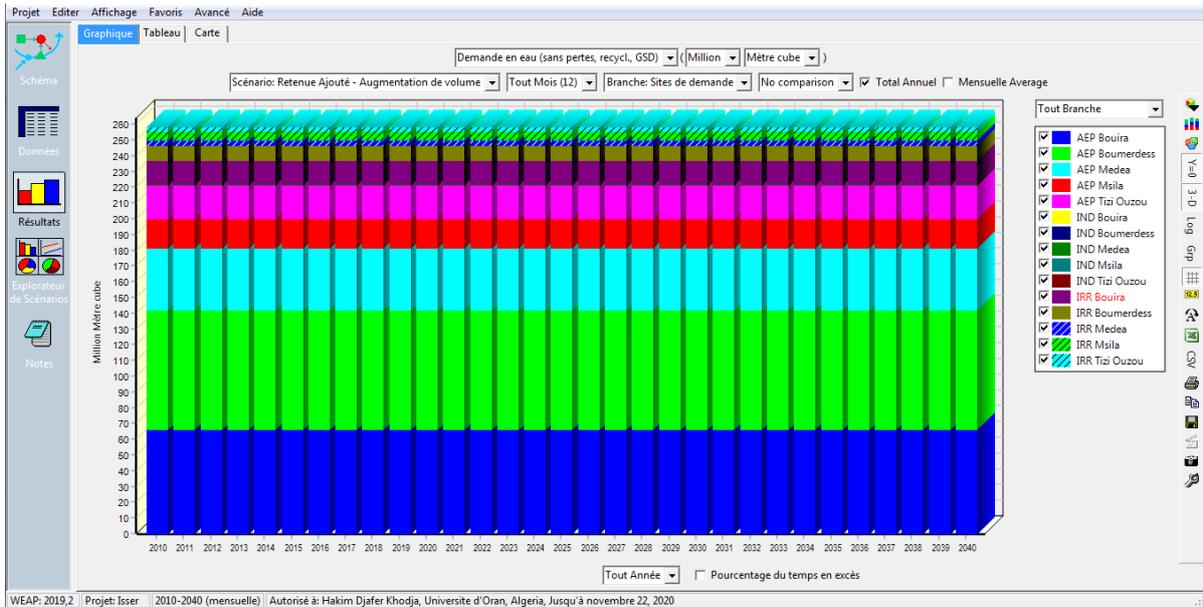


Figure V. 28: Résultat WEAP Demande en eau Scenario Retenue Ajouté «Augmentation de volume».

Dans ce cas «Augmentation de volume», la demande en eau reste constante pour toutes les années avec une valeur de 257,54Mm³.

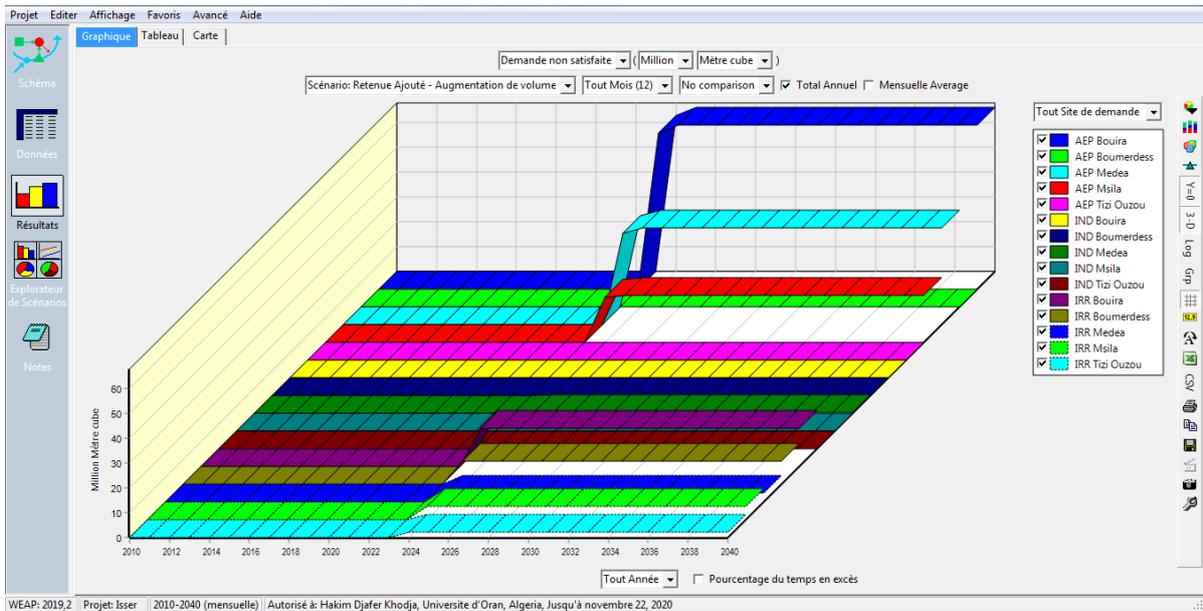


Figure V. 29: Résultat WEAP Demande non satisfaite en eau par willaya (Scenario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume»).

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020. le déficit est enregistré dans les 20 ans qui suit avec 66,22Mm³, 38,93Mm³ et 19,02Mm³ pour les willayas de Bouira, Médéa et M'sila respectivement.

Pour l'irrigation, le déficit enregistré pour les willayas de Bouira, Bomerdess, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou est de l'ordre de 15, 21Mm³, 9,35Mm³, 3,50Mm³, 5,50Mm³ et 1,98Mm³ respectivement.

Quand aux besoins industriels pour l'année 2040, le déficit est de l'ordre de $0,07\text{Mm}^3$, $0,35\text{Mm}^3$, $0,13\text{Mm}^3$ et $0,06\text{Mm}^3$ pour les willayas de Bouira, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

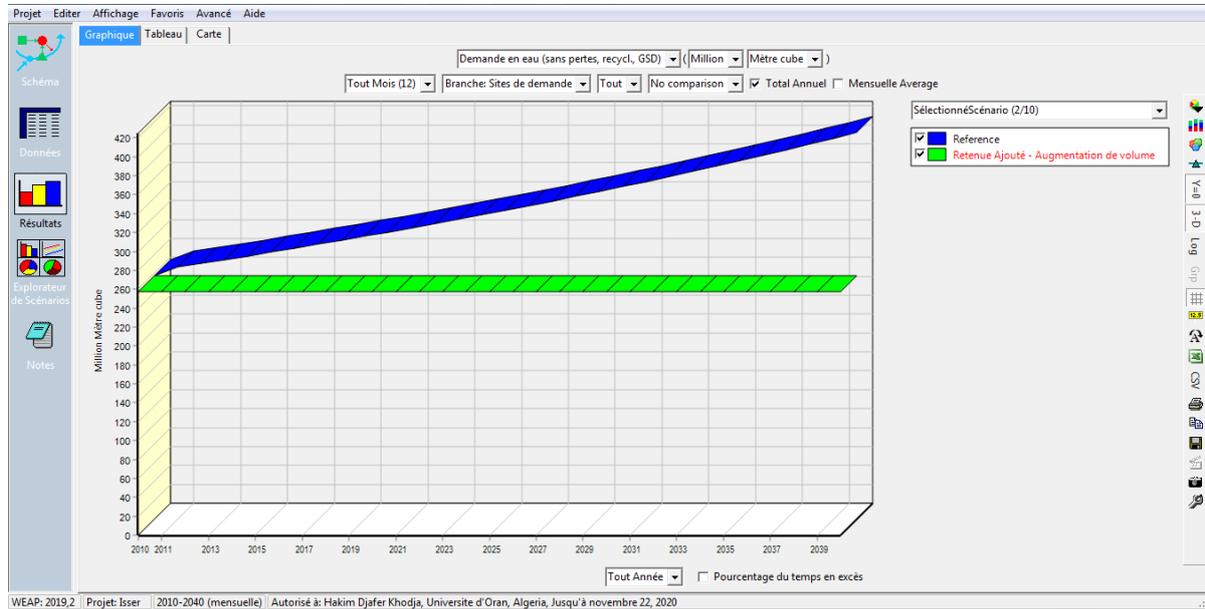


Figure V. 30: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume» par rapport ou scenario référence.

La demande en eau dans le Scenario de Retenue Ajouté «Augmentation de volume» par rapport au scenario référence diminue car la réserve de stockage des deux réservoirs pocheté.

V.7.8. Scénario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé

Ce scénario pour évaluer l'impact de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé pour la période 2010 à 2040.

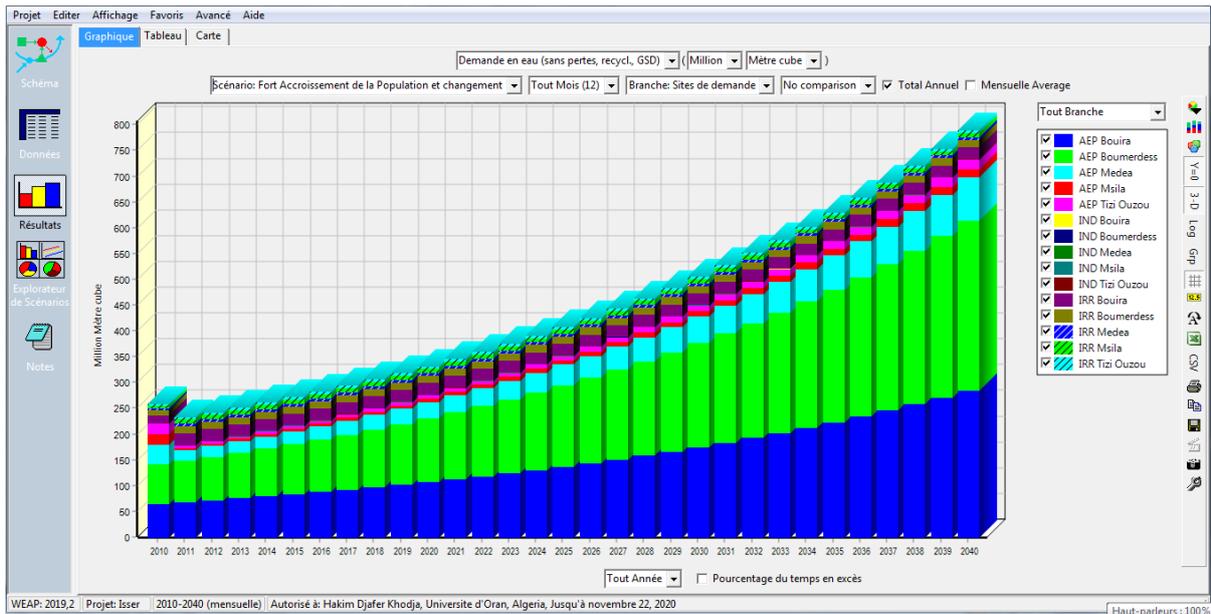


Figure V. 31: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé.

Il y a une forte demande pour l'eau potable en raison de la croissance démographique et le climat sec dans la région. La demande en eau augmente progressivement de 257,54 Mm³ en 2010 à 787,77Mm³ en 2040.

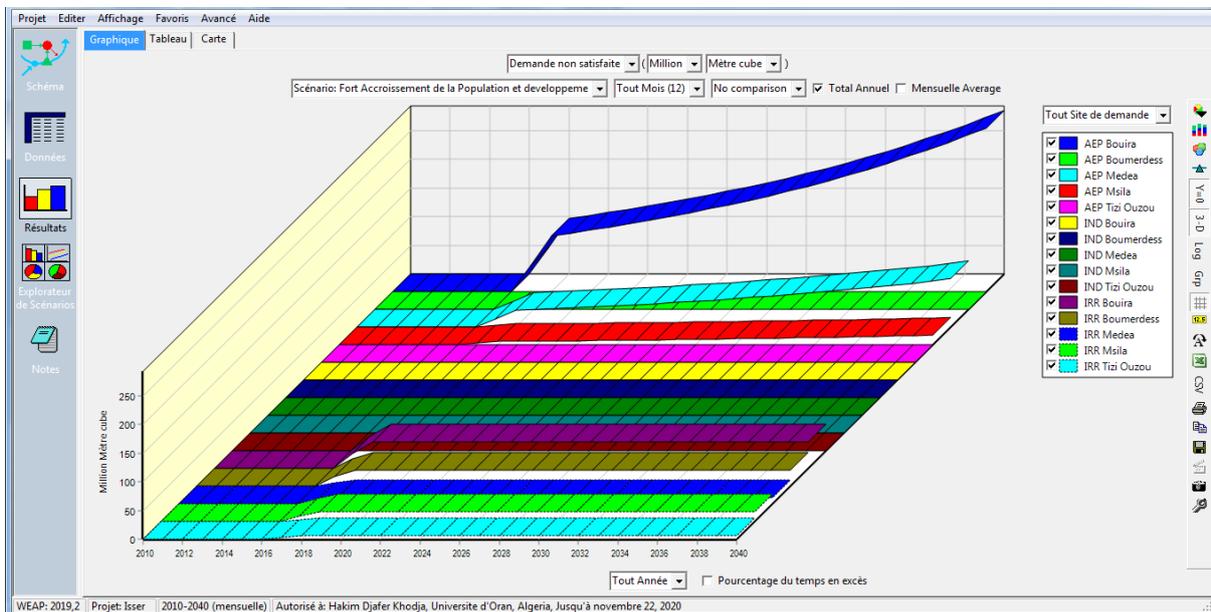


Figure V. 32: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé.

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020. a partir ce cette année les willayas de Bouira, Médéa et M'sila enregistrent les déficits de : 285,77Mm³, 84,13Mm³ et 16,44Mm³ respectivement jusqu'à l'année 2040.

Pour l'irrigation, le déficit enregistré est de l'ordre de 45,63Mm³, 28,05Mm³, 10,49Mm³, 16,50Mm³ et 5,94Mm³ pour les willayas de Bouira, Bomerdess, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

Quand à l'industrie le déficit enregistré est de l'ordre de 0,11Mm³, 0,52Mm³, 0,2Mm³ et 0,08Mm³ pour les willayas de Bouira, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

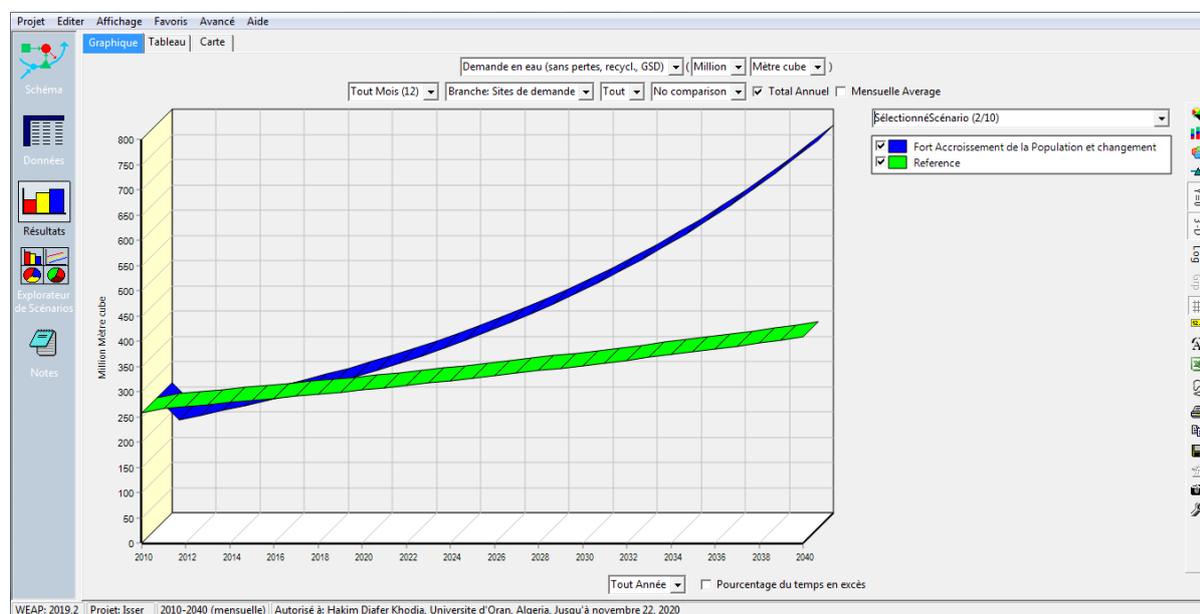


Figure V. 33: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé et scénario référence.

La demande en eau pour le Scenario Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé par rapport au scénario référence n'est pas assurée, et varie de 257,54Mm³ en l'an 2010 à 787,77Mm³ en 2040.

V.7.9. Scénario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé

Ce scénario pour évaluer l'impact de développement des GPI et le changement climatique - Climat Sec Prolongé pour la période 2010 à 2040.

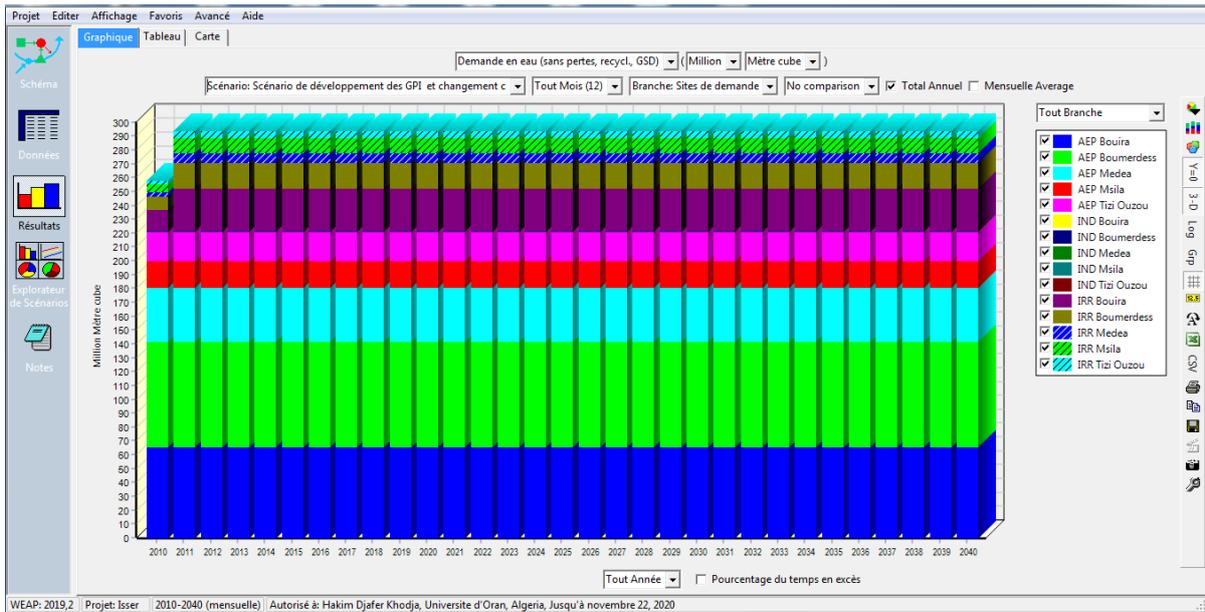


Figure V. 34: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de développement des GPI et le changement et changement climatique - Climat Sec Prolongé.

La demande en eau varie de 257,54Mm³ en 2010 à 293,08Mm³ en 2011 et reste constante jusqu'à l'année 2040.

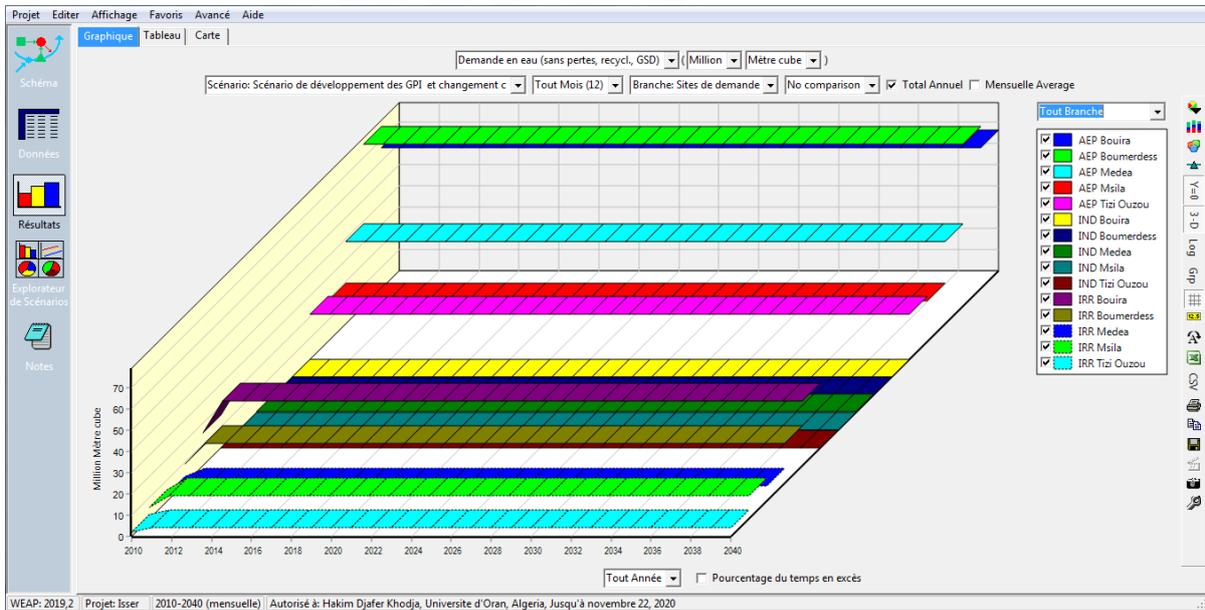


Figure V. 35: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé.

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020. mais a partir de cette année on enregistre un déficit d'eau pour les willayas de : Bouira, Boumerdes, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou 66,12Mm³, 76,09Mm³, 38,93Mm³, 19,02Mm³ et 21,23Mm³ jusqu'à l'année 2040.

La demande en eau pour l'irrigation n'est pas assurée durant la période de 2010-2040 et elle est de l'ordre de : $15,21\text{Mm}^3$, $9,35\text{Mm}^3$, $10,49\text{Mm}^3$, $3,50\text{Mm}^3$ et $1,98\text{Mm}^3$ pour les willayas de Bouira, Boumerdes, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

Durant la même période, le déficit en eau dans l'industrie est de l'ordre de $0,07\text{Mm}^3$, $0,01\text{Mm}^3$, $0,35\text{Mm}^3$, $0,13\text{Mm}^3$ et $0,06\text{Mm}^3$ pour les willayas de Bouira, Boumerdes, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement

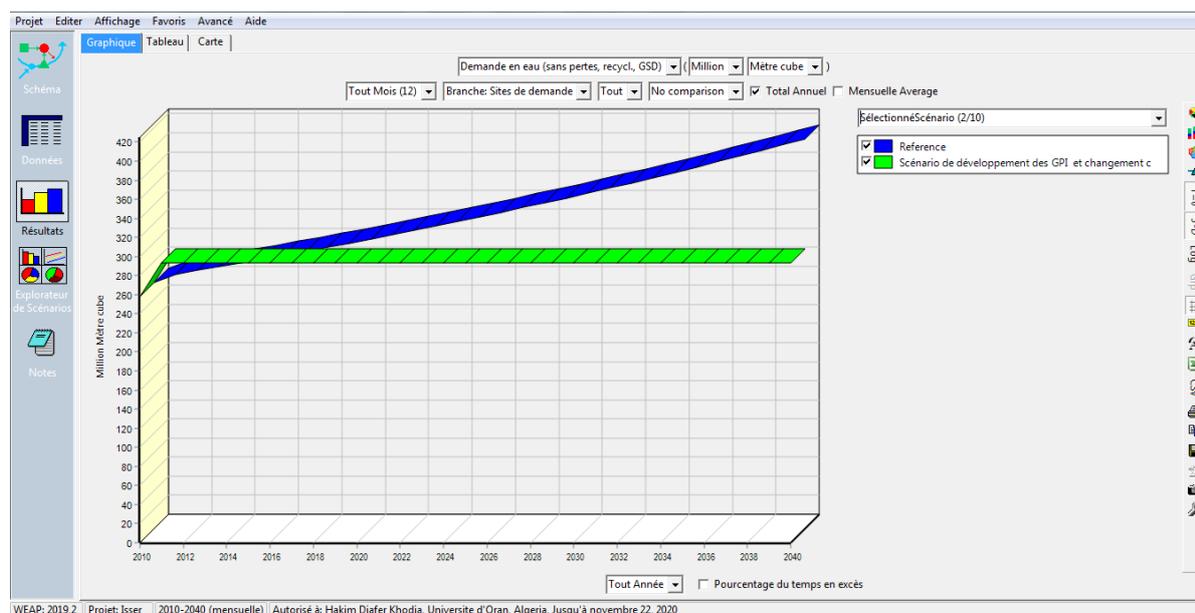


Figure V. 36: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé.

A partir de 2012, la demande en eau dans le Scenario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé par rapport au scénario référence n'est pas assurée après il reste constante, la demande varie de $257,54\text{Mm}^3$ de l'année 2010 a $293,08\text{Mm}^3$ a l'année 2040. On aura un couvremnt total de besoin jusqu'a l'année 2024 après il ya une Rupture directe.

V.7.10. Scénario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI

Ce scénario pour évaluer l'impact de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI pour la période 2010 à 2040.

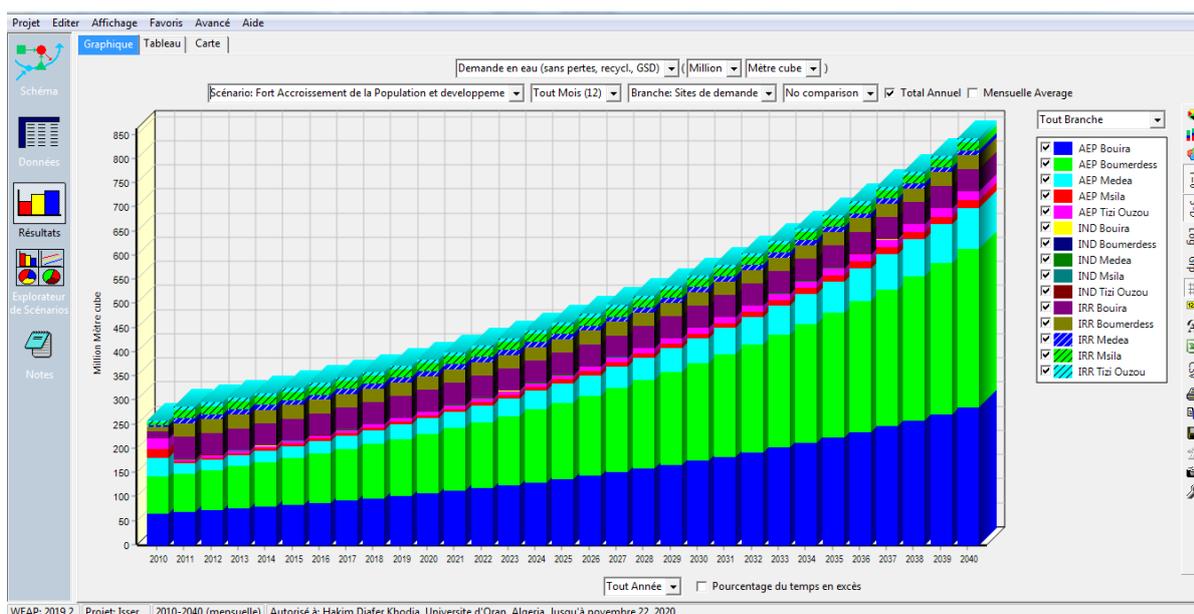


Figure V. 37: Résultat WEAP Demande en eau Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.

Il y a une forte demande pour l'eau potable et passe de 257,54Mm³ en 2010 à 841,08Mm³ en 2040 en raison de la croissance démographique et le développement des périmètres d'irrigation dans la région.

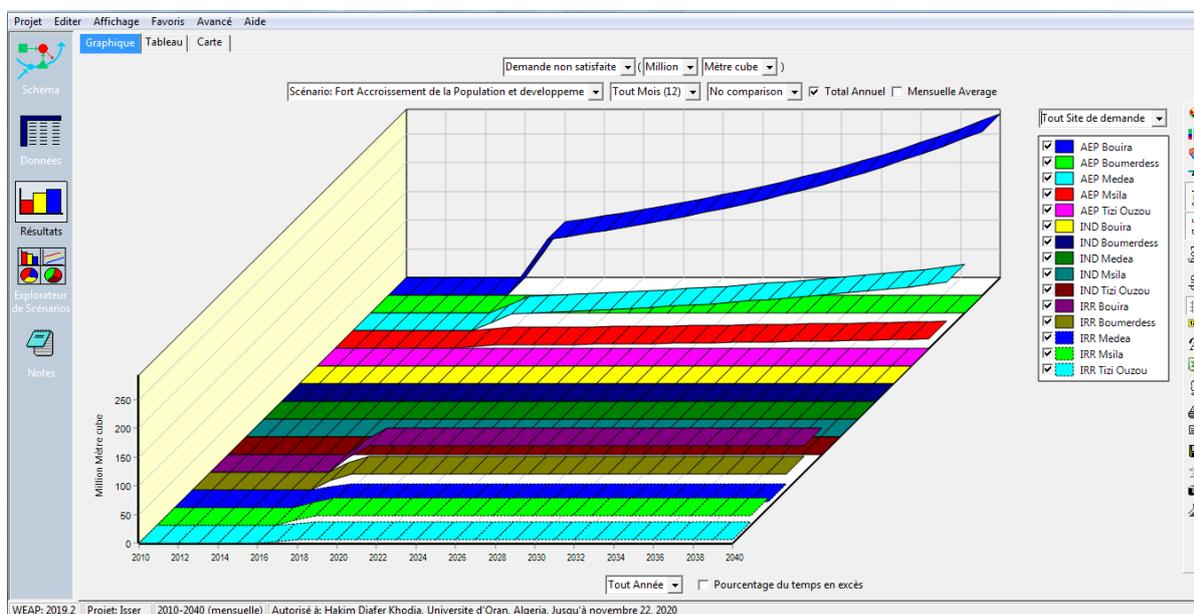


Figure V. 38: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.

La demande en eau pour l'AEP est assurée jusqu'à l'année 2020, mais à partir de cette année le déficit persiste dans les wilayas de : Bouira, Médéa et M'sila avec 285,77Mm³, 84,13Mm³ et 16,44Mm³ respectivement j'jusqu'a l'année 2040.

Pour l'irrigation, le déficit enregistré est de l'ordre de : 45,63Mm³, 28,05Mm³, 10,49 Mm³, 16,50Mm³ et 5,94Mm³ pour les willayas de : Bouira, Boumerdes, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement durant toute la période d'étude. Quand aux besoins industriels le déficit enregistré est de l'ordre de 0,11Mm³, 0,52Mm³, 0,2Mm³ et 0,08Mm³ pour les willayas de Bouira, Médéa, M'sila et Tizi Ouzou respectivement.

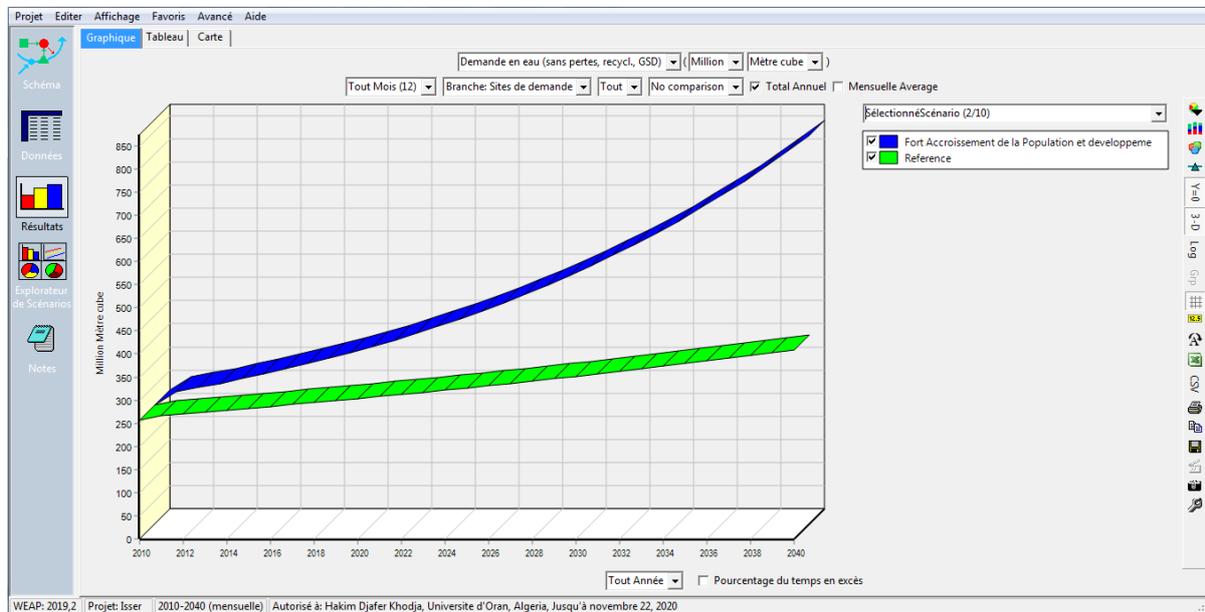


Figure V. 39: Résultat WEAP Comparaison de la Demande Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.

La demande en eau pour le Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI par rapport ou scenario référence n'est pas assurée augmente progressivement de l'année 2010 à 2040, la demande varie de 257,54Mm³ de l'année 2010 a 841,08Mm³ a l'année 2040. On aura un couverture total de besoin jusqu'a l'année 2020 après il ya une Rupture directe 0 couverture ou l'année 2040.

V.7.11. Comparaison des scénarios

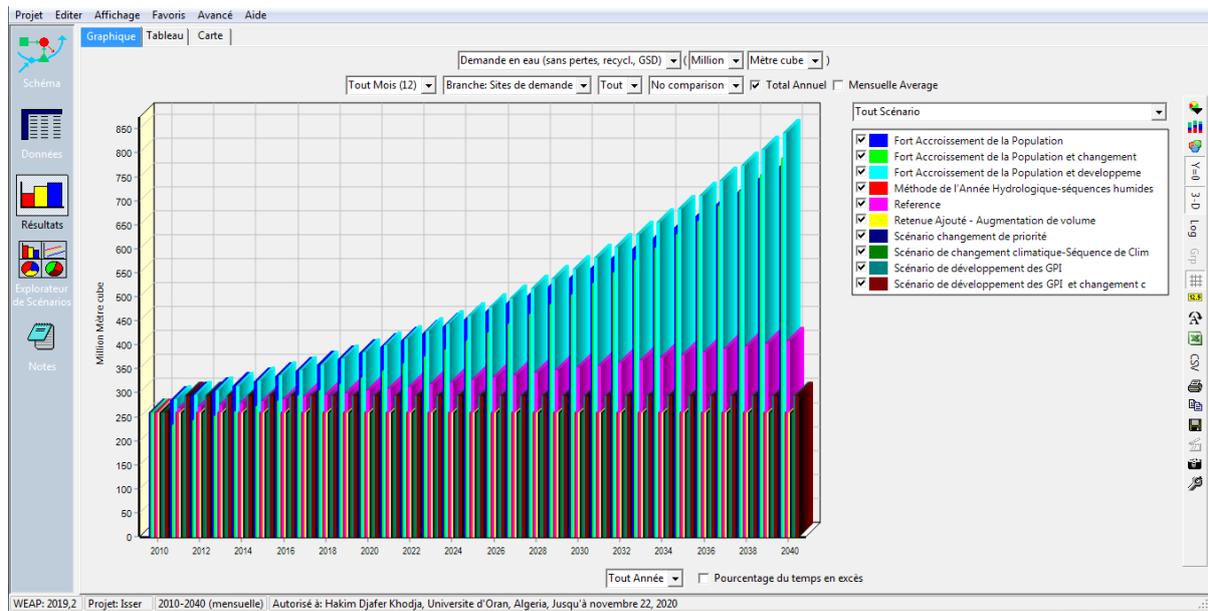


Figure V. 40: Résultat WEAP Demande en eau des différents Scenarios.

Les résultats des besoins en eau pour les différents Scenarios montrent que la demande est très forte dans le cas de : Scenario de Fort Accroissement de la Population, Scenario de Fort Accroissement de la Population et le changement climatique sec prolongés et Scenario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI.

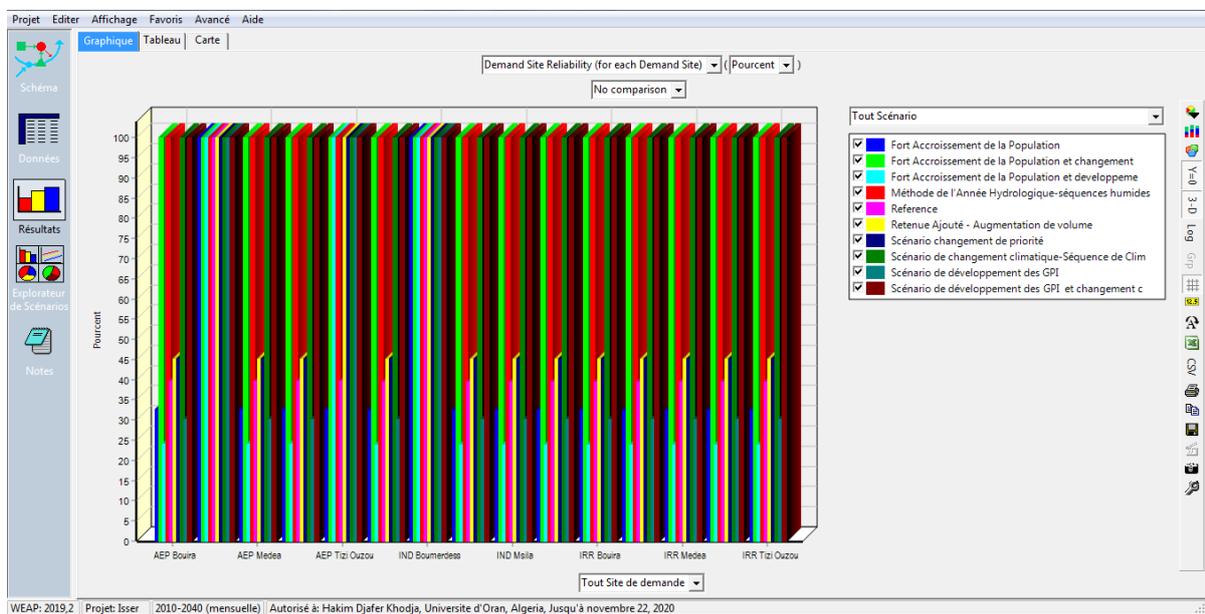


Figure V. 41: Résultat WEAP Demande de fiabilité du site des différents Scenarios.

La demande en eau pour l’AEP, l’irrigation et l’industrie du scénario référence (dans notre cas l’année 2010) est assurée jusqu’à l’année 2040.

Scénarios sont montrés dans le l'annexe. Ce tableau de l'annexe montre que pour le Méthode de l'Année Hydrologique-séquences humides, Scénario de changement climatique-Séquence de Clim et Retenue Ajouté - Augmentation de volume la satisfaction est établie pour tous les Années. Et pour les scénarios Fort Accroissement de la Population et Référence la demande de non satisfaction varie de 140Mm³ à 650Mm³.

V.8. Conclusion

Les résultats de simulation obtenus, pour les Scenarios de Fort Accroissement de la Population, Scénario de développement des GPI, Scenarios Augmentation de volume et le scénario changement climatique - séquences humides : montrent que la demande augmente progressivement mais elle est totalement assurée jusqu'a l'année 2040. Par contre pour les Scénarios Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé, Scénario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé et Scénario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI : on enregistre une insuffisance d'eau pour couvrir la demande qui augmente jusqu'a l'année 2040.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La gestion intégrée et durable des ressources en eau requiert une bonne connaissance des systèmes naturels et des interactions entre ces systèmes complexes et leurs utilisations. Cette gestion passe par l'usage d'outils d'aide à la décision afin de représenter la variabilité spatio-temporelle des données : Systèmes d'Information Géographiques et Modèles Hydrologiques et gestion comme WEAP, MIKE BASIN, SWAT.....

L'intégration de la variabilité spatiale des données améliore la connaissance des processus hydrologiques et des enjeux de la gestion des ressources en eau. Les Systèmes d'Information Géographique constituent l'outil indispensable pour prendre en compte cette variabilité. Outre leur fonction de base de données, les SIG offrent un moyen d'analyser les relations spatiales entre les différents éléments d'une ressource en eau, cette analyse est réalisée aussi bien sur des données quantitatives que qualitatives.

Le bilan hydrique représente l'instrument fondamental de la planification relatif à la gestion des eaux. Il a pour objectif de comparer l'offre, la demande et ainsi en dépendance des interventions existantes et prévues, d'identifier les déficits et excédents. Le bilan hydrique se traduit par une confirmation entre les différentes catégories de ressources et de demandes en eau, à l'échelle d'une spatiale et à différents horizons.

Une gestion intégrée d'un bassin versant ou d'une nappe souterraine ne peuvent plus être envisagés dans le WEAP qui permet à la fois une représentation des phénomènes spatiaux mais aussi une structure de mise à jour pour garantir une pérennité aux données.

Dans une optique de gestion intégrée des ressources en eau, les modèles de gestion constituent des outils adaptés à la prévision des données sur des cours d'eau jaugés et à l'estimation des données future. Le modèle de gestion WEAP offre de bons résultats en termes d'extrapolation de paramètres, des résultats et de combinaisons des scénarios.

La confrontation entre ressources- besoins est un indicatif révélateur et très significatif qui nous oriente quant à l'avenir de la politique de l'eau que nous menons afin d'atténuer l'effet du déficit. Il est clair que le centre de l'Algérie enregistre d'un côté, un manque énorme en ressources au moment même où les besoins augmentent et d'un autre côté. Le volume d'eau mobilisable est en diminution. Ceci est dû aux différents problèmes naturels et humains qui touchent les sites susceptibles de capter les eaux.

Les résultats de simulation obtenus avec le modèle WEAP sur le bassin versant d'Isser sont satisfaisants jusqu'à l'année 2022 des demandes en eau et traduisent de sa capacité à simuler les scénarios de gestion au niveau du bassin versant de la zone d'étude. L'observation des valeurs du critère de Nash-Sutcliffe a été performante pour les différentes stations utilisées (Oumaria, Beni Slimane, Dechemia, Goumar et Lakhedaria.). En effet, les valeurs du critère de Nash-Sutcliffe obtenues sont supérieures à 70%.

Le modèle WEAP a été appliqué pour simuler le bilan hydrique actuel et évaluer les stratégies de gestion des ressources en eau dans la région de centre selon différents scénarios jusqu'en 2040. Le modèle a été calé pour l'année 2010 et validé pour l'année 2011. Les différents scénarios construits dans cette approche reflètent l'effet des tendances futures de la demande en eau en tenant compte des différents politiques d'exploitation et les facteurs qui peuvent influencer la demande et d'évaluer l'impact de la disponibilité des ressources par le changement climatique probables dans la région.

Les simulations effectuées avec le modèle WEAP ont montré que pour : le Scenarios de Fort Accroissement de la Population, Scénario de développement des GPI, Scenarios Augmentation de volume et le scénario changement climatique - séquences humides : la demande augmente progressivement mais elle est totalement assurée jusqu'à l'année 2040. Et pour les Scénarios Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé, Scénario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec Prolongé et Scénario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI : on enregistre une insuffisance d'eau pour couvrir la demande qui augmente jusqu'à l'année 2040.

Reconnaissons que cette étude ne touche que le côté urbain de la problématique. Pour prendre des décisions plus complètes, il va falloir soumettre le milieu rural à une analyse similaire afin d'estimer correctement la demande en eau des communautés rurales. Et pour couvrir les besoins en eau dans les cas rare de notre bassin versant Isser , on recommande la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.

Pour la modélisation hydrogéologique des ressources souterraines, on peut combiner le WEAP avec d'autre logiciel comme le MODEFLOW afin d'assurer la bonne gestion intégrée des ressources en eau.

Le logiciel WEAP réutilise la série des débits des années précédentes pour prévoir les données des années future, il faut donc le combiner avec d'autres logiciels hydrologiques tels que le Réseau de neurones artificiels, GR2M pour avoir des résultats efficaces.

Les conclusions générales pour la mise en œuvre de la GIRE ont été obtenues par l'intermédiaire du bilan de l'offre et de la demande en eau comme un outil pour déterminer les temps de la gestion et les exigences futures en eau.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE:

- A. Abrishamchi, H. Alizadeh et M. Tajrishy, Proceedings of the 2007 American Institute of Hydrology, Annual Meeting and International Conference "Integrate Watershed Management: Partnerships in Science, Technology and Planning".
- A. Benkaddour, N. Laftouhi, J.Abaoui, A. Tavernier, G. Boulet, V. Simonneaux, F. Driouech, M. El Adnani, A. El Fazziki, N. Amenzou, F. Raibi, A. El Mandour, H. Ibouh, V. Dantec, F. Habets, Y. Trambly, B. Mougnot, M. Leblanc, M. El Faïz, L. Drapeau, B. Coudert, O. Hagolle, N. Filali, S. Belaqqiz, A. Marchane, C. Szczypta, J. Toumi, A. Diarra, G. Aouade, Y. Hajhouji, H. Nassah, G. Bigeard, J. Chirouze, K. Boukhari, A. Abourida, B. Richard, P. Fanise, M. Kasbani, A. Chakir, H. Marah, A. Naimi, A. Mokssit, Y. Kerr, 2015. Remote sensing of water resources in semi-arid mediterranean areas: the joint international laboratory TREMA. International Journal of Remote Sensing. 36 (19) : 4879-4917. Doi.org/10.1080/01431161.2015.1093198.
- ADE, 2012, Journée d'information et d'initiation « STRATEAU», En ligne : <http://euro-mediterranee.blogspot.com/2012/02/mediterranee-journee-dinformation-et.html>.
- A. Hamlat, 2014, Thèse de doctorat, theme contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest algérien a l'aide d'un système informatise, USTO.
- A. Hamlat, M. Errih, A. Guidoum, 2013, Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model, Arabian Journal of Geosciences 6 (7), 2225-2236.
- A. Larbi, 2012, Thèse Magister, Utilisation d'un sig et d'un modele mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau a l'échelle du bassin côtier algérois 02a.
- ANRH, 2006, Annuaire hydrologique, Agence National des Ressources Hydrique, Algérie.
- ANRH, 2010, Annuaire hydrologique, Agence National des Ressources Hydrique, Algérie.
- ANRH, 2012, Annuaire hydrologique, Agence National des Ressources Hydrique, Algérie.
- ANRH, 2014, Annuaire hydrologique, Agence National des Ressources Hydrique, Algérie.
- A.N. Rousseau, A. Mailhot & G. Gangbazo, 1998, Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau. Revue des sciences de l'eau, Volume 11, numéro hors-série, 1998, p. 5-18.
- A.N. Rousseau, et R. Quilb 1998, Guide de l'utilisateur du logiciel GIBSI. Rapport no R462-g1, 106 p.

- Banque Africaine De Développement, 2000,
<https://www.afdb.org/fr/documents/document/african-development-report-2000-8784>.
- Beven, 2002, Towards an Alternative Blueprint for a Physically Based Digitally Simulated Hydrologic Response Modeling System, Special Issue: The Future of Distributed Hydrological Modelling.
- B. Remini, L. Sayah, 2009, 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.
- C. Amato, C. McKinney, L. Teasley, Smith, 2006, WEAP Hydrology Modeling Applied: The Upper Rio Florido Rive Basin.
- C. Bialès, 2013, La gestion, En ligne : <http://www.christianbiales.net/documents-/Gestion.pdf>.
- C. Poirier, J. François, R. Turcotte, 2010, Étude d'impact hydrologique de la production de canneberges le bassin versant de la rivière Bécancour, Définition de pistes de solutions pour l'approvisionnement en eau.
- Conseil de l'Eau Gaspésidé sud, 2012, Gestion Intégrée des ressources en eau.
- D. Yates, KM. Strzepak , 1998, Modeling the Nile Basin under Climatic Change, Journal of Hydrologic Engineering, 3.
- D. Yate, J. Sieber, D. Purkey, A. Huber-Lee, 2005, WEAP21-a demand-, priority-, and preference-driven water planning model: Part 1, model characteristics, Water International 30 (4): 487-500.
- Environmental Software and Services GmbH AUSTRIA (ESS), 2010, WaterWare: Water resource management system. En ligne : <http://www.ess.co.at/waterware>.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2013, BASINS (Better Assessment Science Integrating point & Non-point Sources). En ligne : <http://water.epa.gov/scitech-/datait/models/basins/index.cfm>.
- FAO, 2019, <http://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2019/fr/>.
- F. Laurent, 1996, Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Thèse Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

- Global Water Partnership (GWP), 2005, Plan de gestion intégrée des ressources en eau, manuel de formation et guide opérationnel, United Nations Development Programme (UNDP), Global Water Partnership (GWP). 107 pages.
- Global Water Partnership (GWP), 2009, Manuel de gestion intégrée des ressources en eau par bassin. Partenariat mondial de l'eau, Stockholm, Suède.
- Global Water Partnership, 2000, Tac Background Papers, Integrated Water Resources Management.
- H. Assaf et M. Saadeh 2008, Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system, Environmental Modelling and Software 23(10-11):1327-1337 .
- H. Djafer Khodja, E A. Cherif , Y. Elmeddahi (2016); Contribution to the Management of Water Resources Watershed of Isser (Algeria), International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering, Vol. 91 (2016), DOI: 10.7763/IPCBE. 2016. V91. 13.
- J.C. Pouget, 2002, HyD2002 Aide à l'aménagement et la gestion des ressources en eau, En ligne : <https://www.mpl.ird.fr/divha/fr/soft/hyd2002/docs/user/ref/HydPlaqt.htm>.
- J.C. Pouget, F. Bellaubi, DE. SA. Aurélien, H. Zaigham, P. Goulven, 2003, Un environnement de modélisation pour tester l'allocation de ressources en eau HyD2002 et ses applications. Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant", session Gestion de la ressource en eau, Montpellier, France.
- J.C. Pouget, C. Cudennec, C.Leduc, P.Le Goulven, P. Le Grusse, J.C Poussin, 2005, Co-construction d'un outil de gestion intégrée sur le bassin du Merguellil (Tunisie) - Articulation et cohérence de modèles, Proc. Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant, Montpellier.
- J.C. Pouget, 2009, Notes sur des perfectionnements potentiels de WEAP. Rencontres à SEI-US Boston, J.C. Pouget, ligne : <https://www.mpl.ird.fr/divha/aguandes/doc/prod-inf/weap-discus-Boston-march-2009-fr.pdf>.
- J.P. Villeneuve, J.P.Fortin, S. Duchesne, M. Bernier, H.K. Huong, 1998, Guide de l'utilisateur du logiciel GIBSI, Rapport no R462-g1, 106 p.
- J.Y. Beziau, M.V. Kritz, 2010, Théorie et Modèle I Point de vue général et abstrait. Cadernos UFS Filosofia, Fasc. XIII, vol. 8, agosto a dezembro de 2010.

- Loi n° 5-12 du 4 Août 2005, modifiée et complétée, relative aux eaux, Journal officiel de la République algérienne.
- M. Ayadi et Z. Bargaoui, 1998, Modélisation des écoulements de l'oued Miliane par le modèle CEQUEAU. Hydrological Sciences Journal, 43(5), 741-758.
- MRE, 2010, Ministère des Ressources en Eau. plan national de l'eau PNE 93, Ministère de ressources en eau.
- MRE, 2010, Ministère des Ressources en Eau. plan national de l'eau PNE 1998, Ministère de ressources en eau.
- MRE, 2010, Ministère des Ressources en Eau. plan national de l'eau PNE 2006, Ministère de ressources en eau.
- MRE, 2010, Ministère des Ressources en Eau. plan national de l'eau PNE 2010, Ministère de ressources en eau.
- MRE, 2010, Ministère des Ressources en Eau, Actualisation du plan national de l'eau, Travaux d'études en cours réalisés par le groupement Sofreco/ Grontmij-Carl Bro/ OIE. Rapports provisoires : Ressources et Demandes.
- Nash & Sutcliffe, (1970). Hydrologic Modeling Using SWAT and GIS, Application to Subwatershed Bab-Merzouka (Sebou, Morocco). Journal of Geographic Information System, Vol.8 No.1, February 19, 2016.
- Onema, 2012, Office national de l'eau et des milieux aquatiques, STRATEAU : Pour une gestion quantitative de l'eau efficiente, En ligne : <http://www.onema.fr/Strateau>.
- P. Droogers et W. Bastiaanssen, 2002, Irrigation Performance using Hydrological and Remote Sensing Modeling.
- P. Hubert, M. MEDDI, 2003, Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions, IAHS, 278:229–235.
- R. Allen, S. Pereira, D. Raes, M. Smith 1998, Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome.
- R. Mahmood et G. Hubbard, 2002, Effect of Time of Temperature Observation and Estimation of Daily Solar Radiation for the Northern Great Plains, USA.
- S. Deltares, RIBASIM : River Basin Planning and Management. En ligne: <http://www.deltares.nl/en/software/101928/ribasim>.

- S.E. Null, J.H. Viers, J.F. Mount, 2010, Hydrologic Response and Watershed Sensitivity to Climate Warming in California's Sierra Nevada. (doi :10.1371/journal.pone.0009932.g002).
- SEI, 2005, WEAP: user's guide, Stockholm Environment Institute, Boston, USA.
- SEI, 2007, WEAP: user guide for WEAP21, Stockholm Environment Institute, Boston USA.
- SEI, 2008, WEAP: Système d'évaluation et de planification des ressources en eau, tutorial: une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP, Tellus Institute, Boston.
- SEI, 2011, WEAP: Water Evaluation and Planning System, Stockholm Environment Institute, Boston, USA.
- SEI, 2019, WEAP: User's guide, Stockholm Environment Institute, Boston, USA.
- Sissako, 2006, Identification et sélection de technologies appropriées de gestion des ressources en eau, Ministère de l'environnement et de l'assainissement, République du Mali.
- S.r.l. Progea, 2003, Deliverable 10, Report on models, tools and DSS for water management. WaterStrategyMan EVK1-CT-2001-00098.
- S. Seytre, 2010, Catalogue de modèles de qualité des cours d'eau, Revue des principaux outils de modélisation de la qualité des cours d'eau.
- Stillwater Sciences. SEI, San Gregorio Environmental Resource Center, 2010, San Gregorio Creek watershed management plan, San Francisco, California.
- T.C. Winter, J.W. Harvey, O.L. Franke, W.M. Alleyet, 1998, Ground Water and Surface Water A Single Resource, U.S. Geological Survey Circular 1139. En ligne : <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ1139.pdf>.
- T. Jantzen, B .Klezendorf, J. Middleton, J. Smith, 2006, WEAP Hydrology Modeling Applied: The Upper Rio Florido Rive Basin.
- Winfred B. Mbungu^{1*}, Japhet J. Kashaigili¹⁹⁹⁸, Assessing the Hydrology of a Data-Scarce Tropical Watershed Using the Soil and Water Assessment Tool: Case of the Little Ruaha River Watershed in Iringa, Tanzania. Open Journal of Modern Hydrology, Vol.7 No.2.

Sites internet :

<http://www.ambassade-eau.com/strateau>

<https://www.deltares.nl/app/uploads/2015/03/Brochure-RIBASIM-2009-Deltares>.

<https://www.mpl.ird.fr/divha/fr/soft/hydefix/index.htm>

<http://www.weap21.org/index.asp?action=200>

<https://swat.tamu.edu/software/>.

<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ1139.pdf>.

<http://water.epa.gov/scitech/datait/models/basins/index.cfm>.

<https://www.mpl.ird.fr/divha/fr/soft/hydefix/index.htm>

ANNEXES

ANNEX 01:

Les Stations Hydrométriques :

Nom station : Beni Slimane

Code station : 090302

Année	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2001	1,4	3,01	1,44	0,54	0,13	0,06	0,12	0,04	0,03	0,34	0,21	0,86
2002	36,7	164,7	0	0	0,09	0	0	0	0,01	0,03	0,02	0
2003	103,1	29	0,02	0,2	0,03	0	0	0	0,07	0,05	0	0,57
2004	0	37	0,05	0,09	0,55	0,31	0,56	0,18	0,19	0,07	0,01	0
2005	0,21	0,54	0,84	0,64	0,33	0,13	0,04	0	0,21	0,22	0,13	0,18
2006	0,88	0,3	0,3	2,04	1,61	0,58	0,34	0,15	0,02	0,23	0,06	0,07
2007	0,65	0,65	0,61	0,59	0,36	0	0	0,28	0,22	0,33	1,04	0,57
2008	0,27	0,27	0,11	0,11	0,02	0	0	0	0,28	0,01	0	0,01
2009	2,45	1,07	2,31	0,87	0,52	0,27	0,04	0,12	0,24	0,79	0,01	0,03
2010	0,33	0,75	0,8	0,69	0,81	0,98	0,69	0,02	0	0,37	0,16	0,22
2011	0,26	0,26	0,18	0,31	0,3	0,06	0	0	0,03	0,09	0,11	0,19

Nom station : Lakhedaria

Code station : 90309

année	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
1989	87,2	28,8	89	102,3	39,5	0	1,2	4,6	73,7	54,1	97,7	37,7
1990	28,2	52,7	40,1	49,8	22,9	4,5	0,4	19,7	7,7	32,3	49,8	161,8
1991	163,7	88,9	29,8	39,8	57,2	12,9	1,2	3,9	1,5	29,6	11,2	67,7
1992	1	41,6	22,8	33,9	16,5	0	13	22,3	38,3	94,1	126,4	91,7
1993	72,1	114,6	29,1	46,5	50,4	16	7,2	3,6	0	16,9	36,6	36,1
1994	57,7	39,4	140,2	13,2	58,3	1,6	2,7	1,3	16,7	87,8	33,3	123,2
1995	48,6	36,7	164,7	20,1	18,7	8,9	0,4	1,8	30,1	38,4	56	71,1
1996	67	103,1	29	16,1	14	24,1	1,4	3	27,6	42,9	60,4	125,6
1997	34,9	36,2	34,8	74,3	33,9	11,7	0,8	2,3	12,6	18,1	49,8	84,4
1998	38,5	41,1	53,8	75,7	25,9	10,4	4,1	8,1	13,5	8,1	43,2	170,2
1999	75,1	0	48,3	28,8	70,4	4,4	36,7	1	38,6	25,3	27,4	14,5
2000	73,4	77,7	70,8	59,5	63,4	12,2	7,5	5,1	16,5	40,6	26,5	74,5
2001	97,5	47,6	44,5	65,5	55,7	6,4	1,7	15	25,3	64,2	45,2	74,5
2002	30,9	47,5	33,2	62,5	34,8	2,9	0,3	7,4	6,2	50,2	106	81,6
2003	145,3	40,9	50,5	27,6	1,2	21,4	0	8,4	49,7	44,4	31,4	72,5
2004	135,9	89,3	63,9	37,7	11,5	10,7	3,8	16,5	45,7	38,6	20,1	47,3
2005	58,7	124,6	37,8	101	38,7	23,3	6,4	10,3	23,8	33,8	33,2	40,2
2006	26,4	27,2	16,2	61,5	41,4	2,5	0,3	10,1	32,4	25,7	41,6	44,6
2007	31,1	56	36,5	56	114,7	1,6	7,7	3,4	66,5	76,3	111,3	68
2008	75	95,5	63,7	34,2	16,6	6,8	0,3	2,2	23,9	58,8	90,7	67,9
2009	15,8	4,5	16	23,6	29,2	0	0,1	5,7	29,3	26,6	48,8	139,9
2010	152,8	49,6	2,1	59,4	19,6	2,1	0	1,9	5,8	43,7	38,9	35,8
2011	37,3	23,6	23,1	11,1	10,4	1,2	5,6	15,4	33,6	1,5	20,6	20

Nom station : Goumar

Code station : 090416

Année	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
1974	0,08	0,58	1,06	1,02	0,35	0,13	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02	0,11
1975	0,02	0,63	0,85	0,94	0,42	0,21	0,13	0,08	0,22	0,28	0,12	0,03
1976	0,67	2,75	0,97	0,69	0,70	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,46	0,57
1977	0,26	0,16	0,06	0,14	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,43	0,16	0,20
1978	0,38	0,10	0,23	0,41	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07
1979	0,09	0,21	1,08	0,08	0,02	0,04	0,14	0,11	0,00	0,19	0,05	0,02
1980	0,47	0,11	1,08	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00	0,69	0,14	0,14	0,18
1981	0,11	0,27	0,16	0,16	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39
1982	0,03	0,17	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,10	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,23	0,30	0,46
1984	0,16	0,11	0,05	0,02	0,05	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,02
1985	0,08	0,13	0,17	0,06	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,21	0,22
1986	0,60	0,79	0,75	0,16	0,07	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00	0,04	0,01
1987	0,47	1,55	0,32	0,08	0,01	0,01	0,07	0,00	0,00	0,21	0,04	0,13
1988	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00
1989	0,00	0,01	0,37	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,27
1990	0,02	0,00	0,05	0,09	0,02	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
1991	0,01	0,02	0,28	0,04	0,01	0,03	0,00	0,00	0,24	0,14	0,01	0,12
1992	0,21	0,00	0,06	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
1994	0,01	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
1995	0,52	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,55	0,18	0,04	0,07
1996	0,09	0,54	0,60	0,09	0,04	0,10	0,03	0,00	0,08	0,26	0,01	0,00
1997	0,01	0,04	0,02	0,16	0,15	0,00	0,00	0,05	0,10	0,11	0,00	0,00
1998	0,02	0,02	0,01	0,01	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,46	0,11
1999	0,03	0,13	0,23	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
2001	0,43	0,07	0,02	0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,31	0,04
2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,02	0,11	0,15	0,00
2003	0,34	0,81	0,16	0,15	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,00
2004	0,07	0,07	0,13	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,11	0,19	0,11	0,12
2005	0,04	0,14	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,13	0,09
2006	0,02	0,17	0,09	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,07
2007	0,00	0,00	0,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
2009	0,18	0,11	0,25	0,30	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,48
2010	0,10	0,87	0,26	0,05	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04
2011	0,27	0,68	0,41	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02
2012	0,00	0,42	0,36	0,72	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
2013	0,06	0,50	0,22	0,06	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00

Nom station : EL OMARIA

Code station : 090205

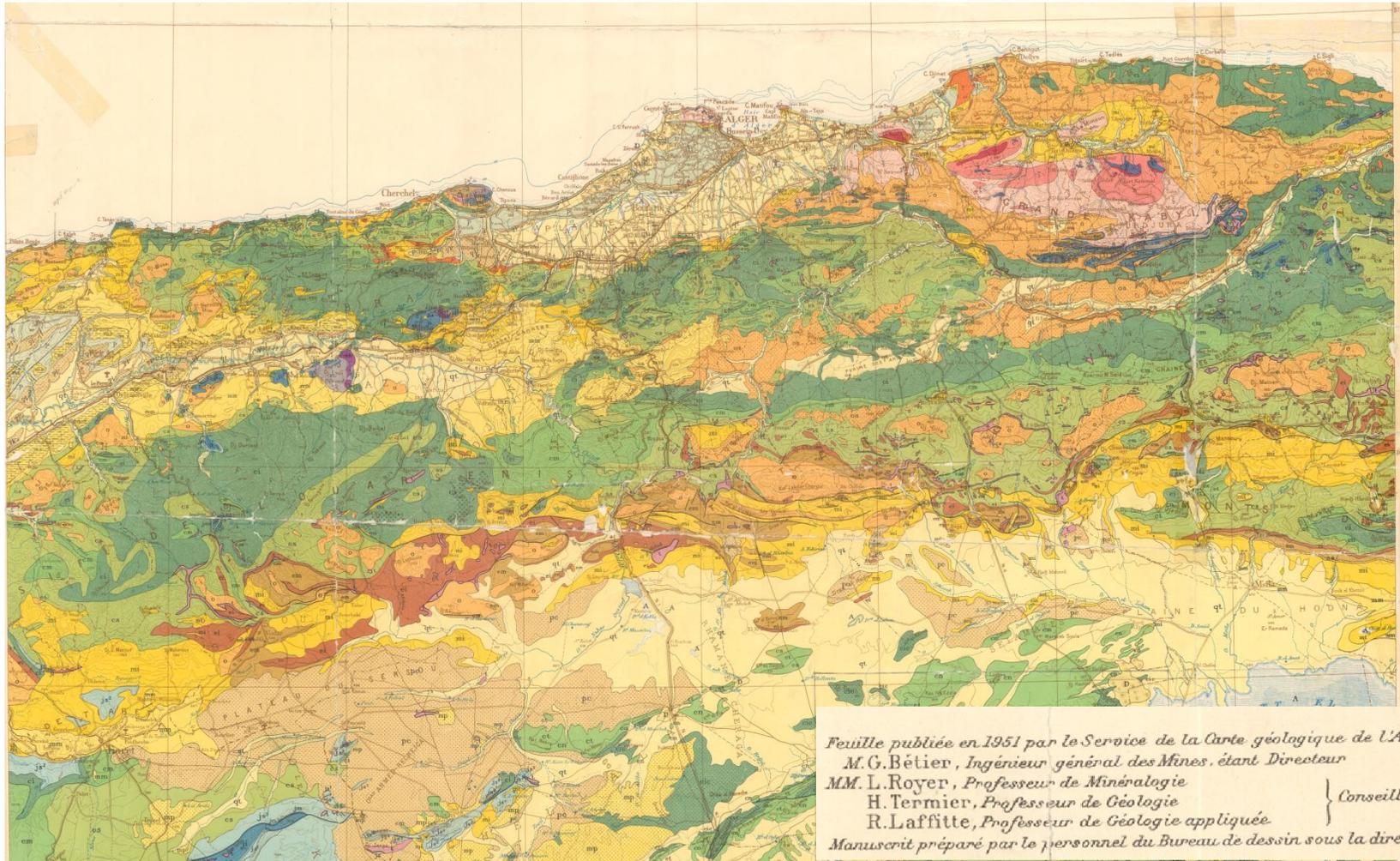
Année	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2004	0,05	0,29	4,06	3,31	0,17	0,06	0,02	0,01	0,38	0,36	0,42	0,17
2005	0,04	0,22	0,51	0,14	0,06	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,08	0,04
2006	0,13	1,74	0,50	0,23	0,15	0,02	0,02	0,00	0,13	0,04	0,19	0,19
2007	0,31	0,17	0,04	0,08	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,22	0,22
2008	0,06	0,02	0,22	0,49	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
2009	0,04	0,56	0,30	0,19	1,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	0,04
2010	0,30	0,06	0,89	0,14	0,14	0,01	0,00	0,00	0,10	0,14	0,25	0,13
2011	0,20	0,31	0,16	0,08	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,42
2012	6,00	0,22	0,12	0,05	0,04	0,05	0,20	0,00	0,00	0,90	0,02	0,98

Nom station : DECHMIA

Code station : 090309

Année	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2002	1,05	0,06	0,73	1,06	7,71	0,08	1,49	0,02	0,02	0,01	0,01	3,06
2003	2,04	3,26	19,58	0,26	0,14	0,05	0,02	0,01	0,86	0,01	2,00	4,04
2004	0,07	0,13	0,71	7,73	0,12	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	5,00
2005	4,26	7,69	29,77	5,61	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,08	0,04	2,56
2006	6,59	0,50	15,49	0,26	0,15	0,07	0,03	0,01	0,07	0,03	0,04	4,06
2007	12,35	17,17	0,93	4,81	0,12	0,03	0,01	0,00	0,04	0,03	0,03	2,60
2008	11,04	25,57	1,54	0,83	5,92	0,03	0,00	0,00	0,05	0,92	0,03	9,46
2009	0,20	0,24	0,16	0,07	0,15	0,10	1,04	0,02	0,15	0,16	2,90	8,66
2010	0,10	0,24	3,66	0,19	0,11	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	10,06
2011	12,86	4,55	12,00	0,11	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	1,58	5,08	6,25

ANNEX 02:



ANNEX 03:

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Situation Référence) :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	67244899,4	68388062,7	69550659,7	70733020,9	71935482,3	73158385,5	74402078	75666913,4	76953250,9
AEP Boumerdess	76087535	77381023,1	78696500,5	80034341	81394924,8	82778638,5	84185875,4	85617035,3	87072524,8	88552757,8
AEP Medea	38930945,6	39592771,7	40265848,8	40950368,2	41646524,5	42354515,4	43074542,2	43806809,4	44551525,2	45308901,1
AEP Msila	19016646	19339929	19668707,8	20003075,8	20343128,1	20688961,3	21040673,6	21398365,1	21762137,3	22132093,6
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21595871,7	21963001,5	22336372,5	22716090,9	23102264,4	23495002,9	23894418	24300623,1	24713733,7
IND Bouira	71700	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455
IND Boumerdess	10000	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500
IND Medea	347410	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5
IND Msila	131844	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6
IND Tizi Ouzou	55000	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250
IRR Bouira	15210000	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500
IRR Boumerdess	9350000	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500
IRR Medea	3498000	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700
IRR Msila	5500000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000
IRR Tizi Ouzou	1980000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000
Sum (m³)	257544804	266731542	270559168	274451864	278410736	282436909	286531527	290695753	294930771	299237784

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	92631234,8	94205965,8	95807467,2	97436194,2	99092609,5	100777184	102490396	104232733	106004689	107806769	109639484
AEP Boumerdess	106593954	108406051	110248954	112123187	114029281	115967778	117939231	119944198	121983249	124056964	126165933
AEP Medea	54539859	55467036,7	56409976,3	57368945,9	58344218	59336069,7	60344782,8	61370644,1	62413945,1	63474982,2	64554056,9
AEP Msila	26641150,8	27094050,3	27554649,2	28023078,2	28499470,6	28983961,6	29476688,9	29977792,6	30487415,1	31005701,2	31532798,1
AEP Tizi Ouzou	29748758,4	30254487,2	30768813,5	31291883,4	31823845,4	32364850,7	32915053,2	33474609,1	34043677,5	34622420	35211001,1
IND Bouira	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455	82455
IND Boumerdess	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500
IND Medea	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5	399521,5
IND Msila	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6	151620,6
IND Tizi Ouzou	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250	63250
IRR Bouira	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500	17491500
IRR Boumerdess	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500	10752500
IRR Medea	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700	4022700
IRR Msila	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000	6325000
IRR Tizi Ouzou	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000	2277000
Sum (m³)	351732004	357004639	362366908	367820335	373366471	379006891	384743199	390577023	396510023	402543883	408680320

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scenario de Fort Accroissement de la Population) :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	68765678,8	71516306	74376958,2	77352036,5	80446118	83663962,7	87010521,2	90490942,1	94110579,7
AEP Boumerdess	76087535	79131036,4	82296277,9	85588129	89011654,1	92572120,3	96275005,1	100126005	104131046	108296287
AEP Medea	38930945,6	40488183,5	42107710,8	43792019,2	45543700	47365448	49260065,9	51230468,5	53279687,3	55410874,8
AEP Msila	19016646	19777311,8	20568404,3	21391140,5	22246786,1	23136657,5	24062123,9	25024608,8	26025593,2	27066616,9
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	22084273,9	22967644,9	23886350,7	24841804,7	25835476,9	26868895,9	27943651,8	29061397,8	30223853,8
IND Bouira	71700	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	10000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	347410	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	131844	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	55000	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	15210000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000
IRR Boumerdess	9350000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000
IRR Medea	3498000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000
IRR Msila	5500000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000
IRR Tizi Ouzou	1980000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000
Sum (m³)	257544804	284477415	293687275	303265529	313226912	323586752	334360985	345566187	357219597	369339144

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	144878914	150674070	156701033	162969074	169487837	176267351	183318045	190650767	198276797	206207869	214456184
AEP Boumerdess	166717159	173385845	180321279	187534130	195035495	202836915	210950392	219388407	228163944	237290502	246782122
AEP Medea	85302495,9	88714595,8	92263179,6	95953706,8	99791855,1	103783529	107934870	112252265	116742356	121412050	126268532
AEP Msila	41667813,2	43334525,7	45067906,7	46870623	48745447,9	50695265,8	52723076,4	54831999,5	57025279,5	59306290,7	61678542,3
AEP Tizi Ouzou	46528234,3	48389363,6	50324938,2	52337935,7	54431453,1	56608711,3	58873059,7	61227982,1	63677101,4	66224185,4	68873152,9
IND Bouira	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000
IRR Boumerdess	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000
IRR Medea	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000
IRR Msila	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000
IRR Tizi Ouzou	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000
Sum (m³)	539325547	558729332	578909268	599896401	621723020	644422703	668030374	692582352	718116409	744671828	772289464

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de développement des GPI : Développement of Large Irrigation Systems « DLIS scenario » :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000
IRR Boumerdess	9350000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000
IRR Medea	3498000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000
IRR Msila	5500000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000
IRR Tizi Ouzou	1980000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000
Sum (m³)	257544804	293082804								

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000
IRR Boumerdess	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000
IRR Medea	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000
IRR Msila	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000
IRR Tizi Ouzou	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000
Sum (m³)	293082804										

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de changement climatique « séquences humides ») :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum (m³)	257544804									

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum	257544804										

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de changement climatique «Séquence de Climat Sec Prolongé») :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum	257544804									

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum	257544804										

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de développement des Retenues Ajouté «Augmentation de volume») :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum (m3)	257544804									

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000	15210000
IRR Boumerdess	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000	9350000
IRR Medea	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000	3498000
IRR Msila	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000	5500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000	1980000
Sum (m3)	257544804										

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de Fort Accroissement de la Population et changement climatique - Climat Sec Prolongé) :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	69426887,3	72898231,6	76543143,2	80370300,4	84388815,4	88608256,1	93038668,9	97690602,4	102575133
AEP Boumerdess	76087535	79891911,8	83886507,3	88080832,7	92484874,3	97109118,1	101964574	107062803	112415943	118036740
AEP Medea	38930945,6	20438746,5	21460683,8	22533718	23660403,9	24843424,1	26085595,3	27389875	28759368,8	30197337,2
AEP Msila	19016646	3993495,66	4193170,44	4402828,97	4622970,41	4854118,93	5096824,88	5351666,12	5619249,43	5900211,9
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	4459324,54	4682290,76	4916405,3	5162225,57	5420336,85	5691353,69	5975921,37	6274717,44	6588453,31
IND Bouira	71700	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	10000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	347410	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	131844	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	55000	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	15210000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000
IRR Boumerdess	9350000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000
IRR Medea	3498000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000
IRR Msila	5500000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000
IRR Tizi Ouzou	1980000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000
Sum	257544804	232441297	241351815	250707859	260531706	270846744	281677535	293049865	304990812	317528806

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	175438286	184210201	193420711	203091746	213246333	223908650	235104083	246859287	259202251	272162364	285770482
AEP Boumerdess	201882882	211977026	222575877	233704671	245389905	257659400	270542370	284069489	298272963	313186611	328845942
AEP Medea	51647694,3	54230079,1	56941583	59788662,2	62778095,3	65917000	69212850	72673492,5	76307167,2	80122525,5	84128651,8
AEP Msila	10091364,6	10595932,9	11125729,5	11682016	12266116,8	12879422,6	13523393,8	14199563,4	14909541,6	15655018,7	16437769,6
AEP Tizi Ouzou	11268491	11831915,6	12423511,3	13044686,9	13696921,3	14381767,3	15100855,7	15855898,5	16648693,4	17481128,1	18355184,5
IND Bouira	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000	22815000
IRR Boumerdess	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000	14025000
IRR Medea	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000	5247000
IRR Msila	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000	8250000
IRR Tizi Ouzou	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000	2970000
Sum	504559649	527076085	550718343	575542714	601608303	628977171	657714483	687888661	719571547	752838578	787768961

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de développement des GPI et changement climatique - Climat Sec

Prolongé) :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	15210000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000
IRR Boumerdess	9350000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000
IRR Medea	3498000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000
IRR Msila	5500000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000
IRR Tizi Ouzou	1980000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000
Sum	257544804	293082804								

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845	66120845
AEP Boumerdess	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535	76087535
AEP Medea	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6	38930945,6
AEP Msila	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646	19016646
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8	21234878,8
IND Bouira	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700	71700
IND Boumerdess	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
IND Medea	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410	347410
IND Msila	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844	131844
IND Tizi Ouzou	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
IRR Bouira	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000	30420000
IRR Boumerdess	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000	18700000
IRR Medea	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000	6996000
IRR Msila	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000	11000000
IRR Tizi Ouzou	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000	3960000
Sum	293082804										

Résultat WEAP Besoin Demande en eau par willaya (Scénario de Fort Accroissement de la Population et de développement des GPI) :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AEP Bouira	66120845	69426887,3	72898231,6	76543143,2	80370300,4	84388815,4	88608256,1	93038668,9	97690602,4	102575133
AEP Boumerdess	76087535	79891911,8	83886507,3	88080832,7	92484874,3	97109118,1	101964574	107062803	112415943	118036740
AEP Medea	38930945,6	20438746,5	21460683,8	22533718	23660403,9	24843424,1	26085595,3	27389875	28759368,8	30197337,2
AEP Msila	19016646	3993495,66	4193170,44	4402828,97	4622970,41	4854118,93	5096824,88	5351666,12	5619249,43	5900211,9
AEP Tizi Ouzou	21234878,8	4459324,54	4682290,76	4916405,3	5162225,57	5420336,85	5691353,69	5975921,37	6274717,44	6588453,31
IND Bouira	71700	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	10000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	347410	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	131844	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	55000	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	15210000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000
IRR Boumerdess	9350000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000
IRR Medea	3498000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000
IRR Msila	5500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000
IRR Tizi Ouzou	1980000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000
Sum	257544804	285748297	294658815	304014859	313838706	324153744	334984535	346356865	358297812	370835806

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
AEP Bouira	175438286	184210201	193420711	203091746	213246333	223908650	235104083	246859287	259202251	272162364	285770482
AEP Boumerdess	201882882	211977026	222575877	233704671	245389905	257659400	270542370	284069489	298272963	313186611	328845942
AEP Medea	51647694,3	54230079,1	56941583	59788662,2	62778095,3	65917000	69212850	72673492,5	76307167,2	80122525,5	84128651,8
AEP Msila	10091364,6	10595932,9	11125729,5	11682016	12266116,8	12879422,6	13523393,8	14199563,4	14909541,6	15655018,7	16437769,6
AEP Tizi Ouzou	11268491	11831915,6	12423511,3	13044686,9	13696921,3	14381767,3	15100855,7	15855898,5	16648693,4	17481128,1	18355184,5
IND Bouira	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550	107550
IND Boumerdess	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
IND Medea	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115	521115
IND Msila	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766	197766
IND Tizi Ouzou	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500	82500
IRR Bouira	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000	45630000
IRR Boumerdess	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000	28050000
IRR Medea	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000	10494000
IRR Msila	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000	16500000
IRR Tizi Ouzou	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000	5940000
Sum	557866649	580383085	604025343	628849714	654915303	682284171	711021483	741195661	772878547	806145578	841075961

Résultat WEAP Besoin en eau de chaque scenario :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Fort Accroissement de la Population	257544804	284477415	293687275	303265529	313226912	323586752	334360985	345566187	357219597	369339144
Fort Accroissement de la Population et changement	257544804	232441297	241351815	250707859	260531706	270846744	281677535	293049865	304990812	317528806
Fort Accroissement de la Population et developpeme	257544804	285748297	294658815	304014859	313838706	324153744	334984535	346356865	358297812	370835806
Méthode de l'Année Hydrologique-séquences humides	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Reference	257544804	266731542	270559168	274451864	278410736	282436909	286531527	290695753	294930771	299237784
Retenue Ajouté - Augmentation de volume	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario changement de priorité	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario de changement climatique-Séquence de Clim	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario de développement des GPI	257544804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804
Scénario de développement des GPI et changement c	257544804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Fort Accroissement de la Population	539325547	558729332	578909268	599896401	621723020	644422703	668030374	692582352	718116409	744671828	772289464
Fort Accroissement de la Population et changement	504559649	527076085	550718343	575542714	601608303	628977171	657714483	687888661	719571547	752838578	787768961
Fort Accroissement de la Population et developpeme	557866649	580383085	604025343	628849714	654915303	682284171	711021483	741195661	772878547	806145578	841075961
Méthode de l'Année Hydrologique-séquences humides	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Reference	351732004	357004639	362366908	367820335	373366471	379006891	384743199	390577023	396510023	402543883	408680320
Retenue Ajouté - Augmentation de volume	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario changement de priorité	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario de changement climatique-Séquence de Clim	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804	257544804
Scénario de développement des GPI	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804
Scénario de développement des GPI et changement c	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804	293082804

Résultat WEAP Comparaison de la Demande non satisfaction des différents Scenarios :

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Fort Accroissement de la Population	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fort Accroissement de la Population et changement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fort Accroissement de la Population et developpeme	0	0	0	0	0	0	0	125420905	239512226	246115699
Méthode de l'Année Hydrologique-séquences humides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reference	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Retenue Ajouté - Augmentation de volume	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scénario changement de priorité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scénario de changement climatique-Séquence de Clim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scénario de développement des GPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112429024
Scénario de développement des GPI et changement c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Année	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Fort Accroissement de la Population	350518788	363253886	376437889	390272671	404597924	419496188	434929883	451104345	467862865	485291726	503357242
Fort Accroissement de la Population et changement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fort Accroissement de la Population et developpeme	344700276	356559144	369010954	382085355	395813477	410228004	425363257	441255274	457941891	475462839	493859834
Méthode de l'Année Hydrologique-séquences humides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reference	222979521	226512487	229971353	233611049	237251090	240953013	244657368	248546726	252440674	256400819	260367787
Retenue Ajouté - Augmentation de volume	160120343	160087082	160179376	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391
Scénario changement de priorité	160165319	160150710	160196178	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391	160212391
Scénario de changement climatique-Séquence de Clim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scénario de développement des GPI	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391	195750391
Scénario de développement des GPI et changement climatique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0