



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Hydraulique

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme :

Ingénieur d'état en Hydraulique

Intitulé :

**Approche Intégrée de la Gestion de la
Ressource en eau de l'Algérois 02A,
Utilisation des Outils d'Aide à la Décision**

Réalisé par :

BENBOUHRIT Tarek

Proposé et dirigé par :

Mlle F.AOUR Hydrogéologue SEAAL

Mr.S.BENZIADA, ENP

Promotion juin 2012

ENP- 10, Avenue Hassen Badi, El Harrach, Alger

DEDICACES

A Mes parents

A Mes Grands Parents

A Ma Défunte Grande Mère

A Mes Frères et Sœurs

A Mes Nièces et Neveux

A Tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A Tous Mes enseignants tout au long de mes études.

A Tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

À Tous ceux qui luttent pour une Algérie Meilleure.

Tarek BENBOUCHRIT

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement pour sa confiance et pour son aide, ma Directrice de thèse, Mademoiselle Fairouz AOUAR, Hydrogéologue. Elle a su me faire bénéficier de ses connaissances et de son expérience tout en m'accordant une certaine liberté d'évolution.

Je remercie Mr Mourad Boukrouna chef de Département des Projets et Etudes de l'Agence de Bassin Hydrographique Algerois Hodna Soummam pour m'avoir communiqué des données indispensables pour ma thèse et ses innombrables conseils à la fois scientifiques et pratiques m'ont été forts précieux.

Merci aussi aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner.

Ma reconnaissance s'adresse également à Mlle Fairouz Aouar et Monsieur Hamdane Tizekrat, Ingénieurs Hydrogéologue à SEAAL pour m'avoir initié à l'utilisation du modèle mathématique de gestion de la nappe de la Mitidja.

Merci à mes supérieurs au sein de SEAAL qui m'ont soutenu tout au long de ce travail.

Je tiens à adresser ma gratitude à tous mes amis de l'USTHB et de l'ENSH, qui, de près ou de loin, m'ont soutenu pendant ce travail.

ملخص

تنفيذ الإدارة المتكاملة لمستجمعات المياه هو الالتزام الرئيسي للسياسة الوطنية للمياه . هناك ما يقارب خمسة عشر عاما، أصبحت جميع الجهات المعنية بالمياه في الجزائر تدرك الحاجة إلى إصلاح النظام الشامل لإدارة المياه. سرعان ما أدرك أنه على الرغم من الاستثمارات الضخمة في ثلاثين عاما من قبل الدولة لا تزال تلبية الاحتياجات غير كافية أيضا ، علاوة على ذلك، الحماية الكمية والنوعية للموارد لا تزال غير كافية. أمام هذه المشاكل والصراعات الناشئة، يمكننا النظر في ضرورة إنشاء إدارة متكاملة للمياه. بهذا الأسلوب يمكن للسلطات اتخاذ الخيارات الأفضل بين المستخدمين ومنحهم دورا أكبر في إدارة الموارد المائية من خلال تطوير أساليب التشاور.

هذا العمل ينصب في هذا المحور و له كأهداف، واستخدام نموذج محاكاة لسقوط الأمطار وجريان المياه، وهو عنصر المعونة في سلسلة من عملية صنع القرار لتقييم حجم تعبيء السدود و كذلك استخدام نموذج رياضي للموارد المائية الجوفية للمنتجة عنصر مهم لتلبية الاحتياجات على المدى القصير والمتوسط والطويل لاستخدام أفضل للموارد المائية.

مفاتيح: الإدارة المتكاملة لمستجمعات المياه ، نموذج رياضي، نموذج سقوط الأمطار وجريان المياه ،تقييم حجم ملء السدود ، نظم دعم اتخاذ القرار، نظام المياه الجوفية ، الحوض الهيدروغرافي 02 أ، متيجة.

RESUME

La mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau constitue un engagement majeur de la Politique Nationale de l'Eau. Depuis près de quinze ans, l'ensemble des acteurs de l'eau en Algérie ont pris conscience de la nécessité de réformer le système général de gestion de l'eau. Il est apparu que malgré les importants investissements consentis durant trente années, le pays n'a pas réussi à satisfaire ses besoins, et que, la pérennité des ressources n'était assurée ni en quantité, ni en qualité. Face à ces problèmes et aux conflits qui en découlent, il apparaît fondamental de mettre en place une gestion intégrée de l'eau. Celle-ci pourrait sans doute

permettre aux pouvoirs publics d'effectuer de meilleurs arbitrages entre les utilisateurs et de donner à ces derniers une implication accrue à la gestion de la ressource en eau en facilitant les conditions de la concertation.

Ce travail s'inscrit dans cette logique avec pour objectifs, l'utilisation des modèle de simulation pluie-débit, un élément d'aide dans la chaîne de prise de décision permettant l'évaluation des volumes de remplissage des barrages et l'utilisation d'un modèle de gestion de la ressource en eau souterraine de la Mitidja qui doit répondre à des besoins à court, moyen et long termes pour une meilleure exploitation de la ressource.

Mots clés: Gestion intégrée des ressources en eau, modèle mathématique, modèle pluie-débit, Evaluation des volumes de remplissage des Barrages, outils d'aide à la décision, système aquifère, bassin hydrographique 02A, Mitidja.

ABSTRACT

The implementation of integrated management of water is a major commitment of the National Water Policy. About fifteen years ago, all water stakeholders in Algeria became aware of the need to reform the overall water management policy. It appeared that despite heavy investment over thirty years the country failed to meet its needs, and that water sustainability could not be achieved neither in quantity nor in quality. Faced with these problems and arising conflicts, it seems crucial to implement an integrated water management. This would probably allow governments to make better choices between users and give them greater involvement in the management of water resources by facilitating dialogue conditions.

This work is part of this logic with the objectives, the use of model rainfall-runoff simulation, an aid element in the chain of decision making for evaluating the volume filling of dams and the use of a model for managing the groundwater resource of Mitidja must meet needs in the short, medium and long term for better exploitation of the resource.

Key words: Integrated management of water resources, mathematical model, rainfall-runoff model, evaluation of volume filling of Dams, tools for decision support, aquifer, watershed 02A, Mitidja.

LISTE D'ANNOTATIONS

SEAAL : Société de l'Eau et l'Assainissement d'ALger

ABH AHS : Agence de Bassin Hydrographique Algérois Hodna Soummam

ADE : Algérienne des Eaux

AEP : Alimentation en Eau Potable

AEPI : Alimentation en Eau Potable et Industrielle

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transfert

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

DRE : Direction des Ressources en eau

ENP : Ecole Nationale Polytechnique

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources enEau

GPI : Grands Périmètres Irrigués

MRE : Ministère des Ressources en Eau

ONID : Office National de l'irrigation et Drainage

PNE : Plan National de l'Eau

REUE : Réutilisation des Eaux Usées Epurées

PPP : Partenariat Public-Privé

SPA : Société Publique Par Actions

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 Wilayas dans le bassin Côtier Algérois 02A	27
Tableau II.2 Codes et superficies des sous bassins.....	27
Tableau II.3. Ressources potentielles en eau superficielle du bassin	29
Tableau II.4 Les principaux bassins versants de l'Algérois 2A et leurs caractéristiques.	32
Tableau II.5 Unités aquifère. <i>Tableau II.5 Unités aquifère</i>	32
Tableau II.6 Usines de dessalement de l'Algérois 2A.....	34
Tableau II.7 Stations de Traitement des Eaux Usées.....	36
Tableau II.8 Systèmes projetés de réutilisation des eaux usées épurées.	37
Tableau III.1 Caractéristique des Barrages sélectionnés et leurs bassins versant	61
Tableau III.2 Caractéristique principales des stations pluviométriques	62
Tableau III.3 Caractéristique de la station de Larbaa Nathirathen	62
Tableau III.4 Corrélation entre les séries mensuelles de précipitation.....	63
Tableau III.5 Caractéristique principales des stations hydrométrique 02.17.15	64
Tableau III.6 ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tizi Ouzou (1995-2004) 66	
Tableau III.7 Caractéristique principales des stations pluviométriques	67
Tableau III.8 Caractéristique de la station de meurad barrage.....	68
Tableau III.9 Corrélation entre les séries mensuelles de précipitation.....	68
Tableau III.10 Caractéristique principales des stations hydrométrique 02.03.01	69
Tableau III.11 ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tipaza (1992-2007).....	71
Tableau III.12 Période de Calage et Validation pour les deux barrages.....	72
Tableau III.13 Les intervalles du critère de Nash et leur Performances.....	73
Tableau III.14 bilan d'exploitation du Barrage Taksebt avec apport simulé par GR2M.....	83

Tableau III.15 bilan d'exploitation du Barrage Taksebt avec apport simulé par GR2M.....	85
Tableau III.16 bilan d'exploitation du Barrage Boukourdane avec apport simulé par GR2M	88
Tableau III.17 bilan d'exploitation du Barrage Boukourdane avec apport simulé par GR2M	89
Tableau VI.1 Transmissivité de la nappe de l'Astien (Mac Donald, 1992).....	106
Tableau VI.2 Bilan hydraulique obtenu en régime permanent	124
Tableau V.1 modification des prélèvements sur les champs de captage de la Mitidja Est.....	137
Tableau V.2 modification des prélèvements sur les champs de captage de la Mitidja Est	140

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 schéma du contrat SEAAL.....	13
Figure II.1. Carte des bassins versants de l'Algérois 2A	28
Figure II.2 Wilayas et communes du bassin 02A	30
Figure II.3 Carte hydrogéologique de l'Algérois 2A.....	31
Figure II.4 Inventaires des aquifères	33
Figure II.5 Inventaire des stations de dessalement.....	35
Figure II.6 Inventaire des STEP existantes et en cours de réalisation	38
Figure II.7 Les prélèvements d'eau souterraine pour l'alimentation de l'Algérois 02A.....	39
Figure II.8 Les prélèvements d'eau dans les différentes ressources de l'Algérois 02A.....	40
Figure II.9 Schéma du système SPIK.....	41
Figure II.10 Système SPIK	42
Figure II.11 Schéma du système Bouroumi - Ghrib - Douera.....	43
Figure II.12 Système Bouroumi	45
Figure II.13 Barrage Boukourdane.....	46
Figure II.14 Barrage Taksebt.....	47
Figure III.1. Cycle de l'eau.....	50
Figure III.2 Schéma de la structure du modèle GR2M	57
Figure III.3. Pluie mensuelle de la station 02-17-05 après comblement des lacunes	63
Figure III.4 Apport mensuelle de la station 02-17-15.....	64
Figure III.5 Apport mensuelle de l'oued Aissî avant la construction du barrage Taksebt.....	65
Figure III.6 Evaluation de l'ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tizi Ouzou (1995-2004)	67
Figure III.7. Pluie mensuelle de la station 02-03-06 après comblement des lacunes	69

Figure III.8 Apport mensuelle de la station 02-03-01.....	70
Figure III.9 Apport mensuelle de l'oued El Hachem du barrage de Boukourdane.....	70
Figure III.10 Evaluation de l'ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tipaza (1992-2007)	71
Figure III.11 Calibration du modèle GR2M pour les apports du Barrage Taksebt	74
Figure III.12 Validation du modèle GR2M pour les apports du Barrage Taksebt.....	75
Figure III.13 Corrélation entre les apports observés et calculés par le GR2M (Barrage Taksebt)	76
Figure III.14 Extension de la série de données du barrage taksebt par le modèle GR2M	77
Figure III.15 Extension de la série de données du barrage taksebt par le modèle GR2M	77
Figure III.16 Simulation du volume de remplissage du barrage de Taksebt	78
Figure III.17 : Calibration du modèle GR2M pour les apports du Barrage Boukourdene	79
Figure III.18 Validation du modèle GR2M pour les apports du Barrage Boukourdene	79
Figure III.19 Reproduction par le modèle GR2M des apports du Barrage Boukourdene	80
Figure III.20 Corrélation entre les apports observés et calculés par le GR2M (Barrage Boukourdane)	80
Figure III.21 Simulation du volume de remplissage du barrage de Boukourdane	82
Figure III.22 Pluie annuel de la station 02-03-06 après comblement des lacunes.....	83
Figure III.23 Simulation du remplissage du barrage Taksebt pour l'année sèche	84
Figure III.24 Simulation du remplissage du barrage Taksebt pour l'année humide	86
Figure III.25 Pluie annuel de la station 02-03-06 après comblement des lacunes.....	87
Figure III.26 Simulation du remplissage du barrage Boukourdane pour l'année sèche	88
Figure III.27 Simulation du remplissage du barrage Boukourdane pour l'année humide	90
Figure VI.1 Limites administratives de la Mitidja (ANRH)	94
Figure VI.2 Carte géologique simplifiée (Mac Donald 1992)	95
Figure VI.3 Coupe hydrogéologique transversale de la Mitidja (Carte hydrogéologique ANRH 1973)	97
Figure VI.4 Modèle conceptuel – Schématisation du fonctionnement global de l'aquifère.....	100
Figure VI.5 Fenêtre principale du Modèle Feflow	102
Figure VI.6 Extension verticale du modèle	105

Figure VI.7 Extension carte des perméabilités des alluvions quaternaires	106
Figure VI.8 Points d'observation suivis par l'ANRH	108
Figure VI.9 Exemple de piézomètres de contrôle pour le secteur du Mazafran	108
Figure VI.10 Exemple de prélèvement AEP pour le puits 25.....	109
Figure VI.11 Schématisation des conditions aux limites	110
Figure VI.12 Exemple du point de recharge n°=12.....	110
Figure VI.13 Pluie moyenne annuelle et moyenne mobile sur la région de la Mitidja	111
Figure VI.14 Représentation des oueds de la Mitidja	112
Figure VI.15 Représentation de chaque forage/puits de la Mitidja dans le maillage	114
Figure VI.16 Illustration de la discrétisation du maillage au niveau des forages	114
Figure VI.17 Représentation des oueds dans le maillage (Mazafran).....	115
Figure VI.18 Prise en compte des limites géologiques dans le maillage	115
Figure VI.19 Représentation globale du maillage du modèle	117
Figure VI.20 Coupe sud-sud-est/nord-nord-ouest au niveau du Mazafran	118
Figure VI.21 Coupe sud-ouest/nord-est	118
Figure VI.22 Coupe sud-sud-est/nord-nord-ouest au niveau de Baraki.....	119
Figure VI.23 Recharge directe introduite dans le modèle en régime transitoire (station de Boufarik)	120
Figure VI.24 Recharge directe introduite dans le modèle en régime transitoire.....	120
Figure VI.25 Recharge des oueds introduite dans le modèle en régime transitoire (oued Chiffa)...	122
Figure VI.26 Piézométrie de référence 1982 (Mac Donald et Partners, 1992)	124
Figure VI.27 Calage en régime permanent : comparaison piézométries observée et simulée de 1982	126
Figure VI.28 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Mazafran Centre	127
Figure VI.29 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Mazafran périphérie	128
Figure VI.30 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur de Baraki.....	128
Figure VI.31 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Hamiz (périphérie)	129
Figure VI.32 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Hamiz (centre).....	129

Figure VI.33 Comparaison entre les prélèvements agricoles modélisés et les volumes recensés dans les études antérieures.....	130
Figure V.1 Evolution de la pluviométrie intégrée dans les scénarios entre 1982 et 2020.....	133
Figure V.2 Evolution des autres prélèvements (Irrigation +Industries + AEP autres) intégrés dans le scénario de référence entre 1982 et 2020.....	133
Figure V.3 Evolution des prélèvements SEAAL intégrés dans les scénarios entre	134
Figure V.4 Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran pour le scénario de référence	134
Figure V.5 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario de référence.....	135
Figure V.6 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario de référence....	135
Figure V.7 Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran pour le scénario 01.....	138
Figure V.8 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario 01	139
Figure V.9 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 01	139
Figure V.10 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario 02	141
Figure V.11 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 02	142
Figure V.12 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 03	143
Figure V.13 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 04	144

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET DE L'OBJECTIF DU STAGE	13
1. INTRODUCTION	13
2.OBJECTIFS DU PREMIER CONTRAT	14
3.BILAN SUR LES OBJECTIFS FIXES A LA SEAAL A LA FIN DE SON 1 ^{ER} CONTRAT	14
4.BILAN GENERALE	15
5.ENGAGEMENT SUR LES OBJECTIFS STRATEGIQUE DE LA SEAAL 2011-2014.....	16
6.CONTEXTE DU TRAVAIL	16
7.DEFINITION DE LA GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (GIRE)	17
8.POURQUOI LA GIRE ?	18
9.QUESTION CLES DANS LA GESTION DE L'EAU	18
9.1.Crise de gouvernance de l'eau	18
9.2. Garantir l'eau pour les populations.....	19
9.3. Garantir l'eau pour la production alimentaire	19
9.4. Protection des Écosystèmes indispensables	19
9.5. Contexte mondial (enjeu planétaire)	20
9.6. La gestion par bassin	21
10.CADRE DE CONCERTATION EN MATIERE DE GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU EN ALGERIE	22
11.AGENCE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (AGIRE)	23
12.CONCLUSION	24
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	25
1.INTRODUCTION	25
2.CADRE NATUREL.....	25
2.1Situation géographique du Bassin Côtier-Algérois (O2a).....	25

2.2 Découpage administratif	26
2.3 Découpage hydrographique	27
3.Ressources en eau de l'Algérois O2A (Aspects quantitatifs)	29
3.1 Ressource superficielle.....	29
3.2 Ressource souterraine potentielle	32
4.Les prélèvements d'eau souterraine.....	39
5.Les ressources exploitées.....	39
6.Ouvrages existants, en cours de réalisation ou programmés pour l'alimentation de l'Algérois O2A	40
6.1Le système production Isser Keddara (SPIK)	40
6.2Le système (Bouroumi - Ghrib - Douera).....	42
6.3Le barrage de Boukourdane	45
6.4Le système Taksebt – Tizi Ouzou – Alger.....	45
7.Conclusion	46

CHAPITRE III : MODELISATION DU VOLUME DE REMPLISSAGE DES BARRAGE UTILISATION DU

MODELE GR2M	48
1.INTRODUCTION	48
2.DEFINITION DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT	48
3.OBJET ET ENJEUX DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT	50
4.MISE EN ŒUVRE DES MODELES	51
5.CHOIX ET USAGE DES MODELES.....	51
6.DEFINITION DES MODELES CONCEPTUELS	52
7.QUELQUES MODELES CONCEPTUELS AU PAS DE TEMPS MENSUEL	52
8.CHOIX DU MODELE.....	54
9.DESCRPTION DU MODELE GR2M	55
9.1Description mathématique	55
9.2Le calage du modèle GR2M.....	57
9.3Initialisation du système et période de mise en route.....	58
9.4.Domaines d'applications du modèle GR2M.....	58
10.DESCRPTION DE L'ECHANTILLON DE DONNEES	59
10.1Choix des Barrages	59
10.2Caractéristiques des barrages sélectionnés.....	59
10.3Etude climatologique des barrages sélectionnés.....	60

11.APPLICATION DU MODELE AU BARRAGE SELECTIONNES	71
11.1Mise en œuvre du modèle	71
11.2Choix de la période de calage et de validation	71
11.3Choix de la fonction critère du calage et de validation.....	72
11.4Détermination des paramètres et optimisation	72
11.5Présentation des résultats numériques	73
12.PREVISION DES VOLUMES DE REMPLISSAGE DES BARRAGES.....	80
13.CONCLUSION	87
CHAPITRE VI : MODELISATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE LA MITIDJA	88
1.INTRODUCTION	88
2.CONTEXTE.....	89
2.1Situation géographique	89
2.2 Contexte géologique et hydrogéologique.....	90
3. MODELE CONCEPTUEL	95
3.1 Introduction.....	95
3.2 Proposition de modèle conceptuel	95
4. CHOIX DU SYSTEME DE MODELISATION	96
4.1 Critères de choix.....	96
4.2 Les différents systèmes de modélisation existant (MODFLOW, FEFLOW)	97
4.3 Le système de modélisation adapté à la problématique	97
5. ELABORATION DU MODELE CONCEPTUEL	98
5.1 Equations de base	98
5.2 Extension du modèle et géométrie du modèle.....	99
5.2.1. Formations prises en compte.....	99
5.2.2. Epaisseurs des différentes formations.....	100
5.2.3. Extensions du système modélisé.....	100
5.3 PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES.....	100
5.3.1 Transmissivité – Perméabilité	101
5.3.2 Coefficient D’Emmagasinement.....	102
5.4. POINTS DE CONTROLE	102
5.5. CONDITIONS AUX LIMITES.....	104
5.5.1. Définitions	104
5.5.2. Limites supérieures	106

5.5.3 Limites latérales.....	108
d. Limites inférieures.....	109
6. ELABORATION DU MODELE NUMERIQUE : DISCRETISATION DE L'ESPACE ET DU TEMPS	109
6.1 Réalisation d'un maillage adapte à la problématique.....	109
6.2. Discrétisation des pas de temps.....	115
7 REPRESENTATION DES CONDITIONS AUX LIMITES	115
7.1. Limites supérieures	115
7.2. Limites latérales.....	118
7.3. Limites inférieures.....	119
7.4. Prélèvements.....	119
8. CALAGE EN REGIME PERMANENT	119
8.1. Calage par rapport à la piézométrie de 1982.....	119
8.2. Bilan hydraulique.....	120
8.3. Calage en régime transitoire	120
8.4. Paramètres issus du calage	125
9. CONCLUSION	126
CHAPITRE V : SCENARII DE GESTION DE LA NAPPE DE LA MITIDJA	128
1. INTRODUCTION	128
2. SCENARIO DE REFERENCE	128
3. SCENARII DE GESTION	132
3.1 Scénario 1 : réduction de 14% des pompages AEP	132
3.2 Scénario 2 : réduction de 21% des pompages AEP	136
3.3 Scénario : réduction de 50% des pompages AEP+IRR sur le secteur Hamiz	138
3.4 Scénario : réduction de 50% des pompages AEP+100%IRR sur le secteur Hamiz	139
4 Conclusion	140
CONCLUSION GENERALE.....	141
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	143

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement, l'enjeu hydraulique auquel est confronté l'Algérie est le suivant : comment mieux répondre aux besoins des utilisateurs (AEP, Industrie, agriculture) avec des ressources en eau relativement limitées. A long terme, face à la croissance des besoins en eau, les volumes mobilisables risquent de ne pas être totalement garantis compte tenu des aléas climatiques et de la dégradation de la qualité des eaux tant superficielles que souterraines. Dans ce contexte, le concept de gestion intégrée des ressources dans un cadre multisectoriel permet d'actionner au même temps sur divers facteurs.

La gestion de l'eau pratiquée jusqu'à présent en Algérie a montré ses limites tant du point de vue des politiques d'offre (dans la mobilisation et la production de l'eau) que du point de vue des mesures portant sur la demande. De plus, la résolution des conflits d'usage nés de l'aridité du climat se heurte, notamment dans la zone littorale, à des mécanismes de reproduction de la pénurie de l'eau. Face à ces problèmes et aux conflits qui en découlent, on peut s'interroger sur l'opportunité de mettre en place une gestion intégrée de l'eau. Celle-ci pourrait sans doute permettre aux pouvoirs publics d'effectuer de meilleurs arbitrages entre les utilisateurs et de donner à ces derniers une implication accrue à la gestion de la ressource en eau à travers la mise en place de modalités de concertation

Cette gestion intégrée de l'eau s'organise à plusieurs niveaux d'espace et implique des partenaires avec des problématiques et des priorités différentes. Qu'il s'agit de préserver l'eau pour l'irrigation, d'aménager un bassin versant ou de réduire le recourt systématique aux eaux souterraines, il est clair que n'importe quelle stratégie, pour développer une solution durable pérenne et évolutive même partielle pour cette problématique, doit être basée sur une approche intégrée qui considère les relations de cause à effet et qui évalue de manière systématique les diverses solutions.

Notre objectif est de développer un outil de gestion et d'aide à la décision pour une meilleure connaissance de la ressource et pour soutenir les décisions de planification dans les services des eaux. L'outil permettra une exploitation contrôlée des ressources en eau pour enrayer la surexploitation des ressources disponibles.

L'application sur tout le bassin côtier algérois va nous permettre de transposer sur le terrain le concept de gestion des eaux préconisées et tester l'aptitude des modèles mathématiques à répondre aux besoins d'aide à la décision.

A noter que ce bassin est actuellement étudié par une équipe pluridisciplinaire Algéro-Belge dans le cadre du programme GIRE.

Ce programme a pour objectif globale de gérer Les ressources en eau d'une manière rationnelle et équitable dans une perspective de développement durable et pour objectif spécifique de mettre en place les mécanismes de gestion intégrée des ressources en eau du bassin Côtier -Algérois 02A, de les tester et de les valider par les acteurs concernés.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET DE L'OBJECTIF DU STAGE

1. INTRODUCTION

SEAAL est une Société publique Par Actions (SPA) 100% algérienne en charge du service des Eaux et de l'Assainissement, sur l'ensemble de la Wilaya d'Alger et d'une partie de Tipaza. Ses actionnaires sont, exclusivement, l'ADE (Algérienne des Eaux) et l'ONA (Office National de l'Assainissement).

C'est une société d'environ **5000** salariés, employés du Secteur Public. Elle concerne les 3,2 millions d'habitants de la Capitale et de Tipaza récemment.

En 2006, les Autorités Algériennes ont créé cette structure dédiée au Service de l'Eau et de l'Assainissement du Grand Alger et, à titre d'opération pilote, ont signé avec SUEZ Environnement (Groupe International spécialisé dans la gestion des services de l'Eau), un Contrat de Management par lequel SUEZ Environnement assure (Figure I.1)

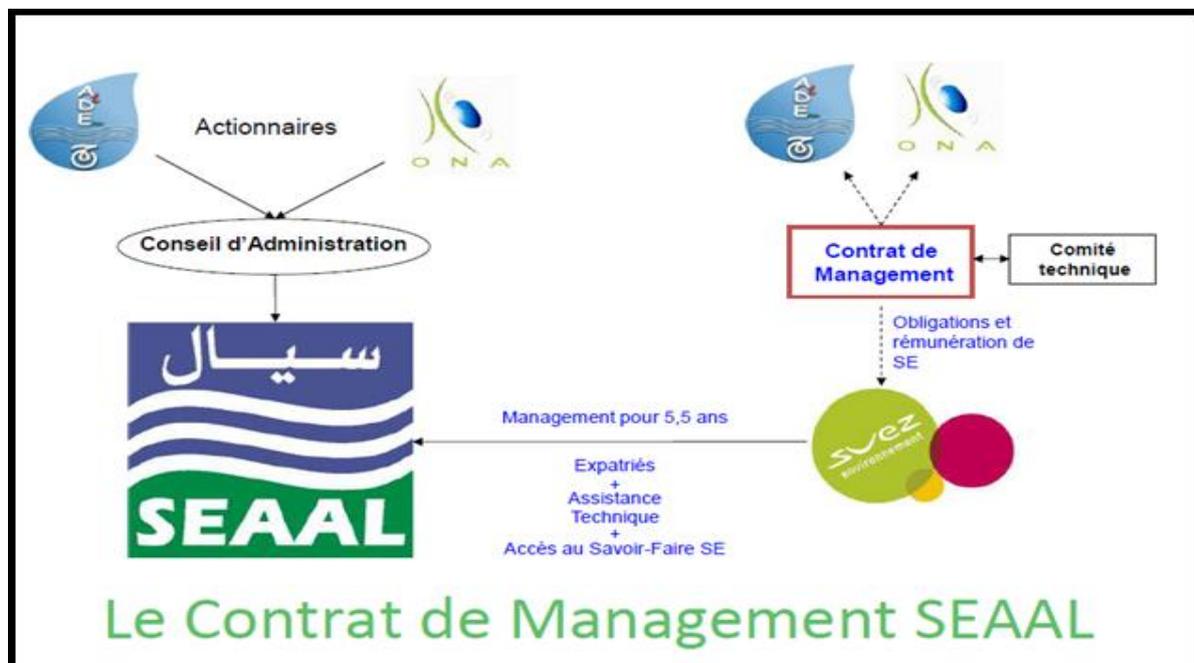


Figure I.1 schéma du contrat SEAAL

En pratique pour son 1^{er} contrat, 27 experts internationaux ont été détaché à Alger pour le bon déroulement du 1^{er} contrat. Un tiers d'entre eux assure le management de l'Entreprise (par exemple le Directeur Général), deux tiers sont en position d'experts en appui, dans des domaines métier pointus (par exemple un expert en Systèmes d'Informations géographiques). En complément à ces experts en poste à Alger, SUEZ Environnement apporte de l'assistance technique et l'accès à l'ensemble de son savoir-faire (réseau d'experts, documentation, veille technologique...).

Le contrat détaille très précisément les objectifs, le planning de leur déploiement et les moyens alloués pour les atteindre. Il y a lieu de souligner, notamment, que l'Etat a vraiment mobilisé les moyens financiers nécessaires à la mise à niveau attendue.

2.OBJECTIFS DU PREMIER CONTRAT

Fondamentalement, les grands objectifs fixés par le premier contrat sont les suivants :

- Sécuriser la distribution d'eau de qualité 24h/24 à Alger et faire progresser le H24 à Tipaza ;
- Renforcer la prise en charge et le fonctionnement des systèmes d'assainissement et contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de baignade du littoral de l'Algérois ;
- Remettre à niveau et gérer durablement le patrimoine technique eau et assainissement ;
- Mettre en place une gestion clientèle moderne et efficace pour améliorer la satisfaction des clients ;
- Transférer le savoir-faire managérial et opérationnel du SUEZ Environnement à SEAAL, par la modernisation du management et l'accès aux connaissances métiers de SUEZ Environnement.

3.BILAN SUR LES OBJECTIFS FIXES A LA SEAAL A LA FIN DE SON 1^{ER} CONTRAT

Les objectifs fixés par les Autorités, pour les 5 ans et demi, en termes d'accès à l'eau et de qualité de service sont atteints à près de 99% aujourd'hui :

- ❖ Le H24 est passé de 8% des clients en 2006, à 100% aujourd'hui.

- ❖ L'eau est 100% potable depuis mai 2008.
- ❖ Le taux de traitement des eaux usées sur Alger est passé de 7% en 2006 à 53% aujourd'hui. Il atteindra plus de 70% en 2015 et 100% vers 2020.
- ❖ Le Centre d'Appels téléphoniques SEAAL traite actuellement plus de 200.000 appels par an, avec 98% de taux de prise d'appels en moins de 15 secondes.
- ❖ Près de 50.000 jours de formation ont été dispensés et aujourd'hui, la majorité des formations est mise en œuvre par des formateurs internes algériens.
- ❖ Le niveau de Savoir Faire métier est atteint conformément à la feuille de route.
- ❖ Plus de 1000 chantiers ont été réalisés pour remettre à niveau les installations
- ❖ les cadres algériens sont intégrés à des réseaux internationaux d'experts de l'eau et s'illustrent par les projets qu'ils mettent en œuvre à Alger. Plusieurs Trophées internationaux de l'Innovation ont été remportés par SEAAL
- ❖ Les usagers se déclarent satisfaits ou très satisfaits du service à 89%
- ❖ Enfin, le budget a été respecté : Les financements de l'Etat sont un peu inférieurs aux prévisions.

4.BILAN GENERALE

Pour le management de Le Partenariat public-privé (PPP) entre les Autorités Algériennes et SUEZ Environnement SEAAL constitue aujourd'hui une référence internationale de modernisation de service public de l'eau.

De nombreuses délégations internationales de l'Eau s'intéressent au cas d'Alger et envisagent de le reproduire ailleurs.

Le projet SEAAL a reçu des mains de Kofi Annan, en avril 2011, le Grand Prix « Water Performance Of The Year » récompensant la meilleure performance d'amélioration d'un service public de l'eau.

C'est donc un PPP triplement gagnant : Pour l'Etat qui démontre la pertinence de ses choix stratégiques, pour les citoyens qui voient le service s'améliorer très sensiblement et pour l'opérateur qui fait la preuve de sa valeur ajoutée sur un projet à forte visibilité.

Pour cela La Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) a obtenu un deuxième contrat de gestion de l'eau et de l'assainissement de la ville d'Alger

La SEAAL a été également chargée, dans le cadre de ce nouveau marché, de la gestion du secteur de la wilaya de Tipasa.

5.ENGAGEMENT SUR LES OBJECTIFS STRATEGIQUE DE LA SEAAL 2011-2014

1. Sécuriser durablement le H24 à Alger et l'améliorer sensiblement à Tipaza, faire de la réduction des ENF (Eaux Non Facturés) un enjeu majeur de la SEAAL.
2. Améliorer la qualité de vie et l'environnement des Citoyens : Réduire l'impact des arrêts d'eau, améliorer la qualité des travaux, améliorer la qualité de l'eau distribuée, réduire les rejets directs d'eaux usées dans les Milieu Naturel, et certifier les laboratoires.
3. Mettre les clients au cœur des préoccupations, leur offrir un accueil exemplaire, mettre à leur disposition une information fiable et claire, développer des offre de service.
4. Améliorer les performances opérationnelles et l'efficacité économique du service : systématiser la démarche d'amélioration continue de la performance, sécuriser et développer les systèmes d'information, déployer une politique de gestion patrimoniale, réduire fortement les créances clients, construire une relation exemplaire avec les fournisseurs, adapter la stratégie d'achats de la SEAAL aux contraintes réglementaires.
5. Mobiliser l'ensemble de la SEAAL pour en faire la vitrine de modernisation du Service Public et faire reconnaître ses valeurs : Le Dynamisme, le professionnalisme et la confiance.
6. Améliorer les conditions de travail : Mériter la Convention Collective, développer la politique d'Hygiène et sécurité, promouvoir un dialogue social constructif.
Développer et structurer le transfert de savoir faire managérial, afin d'autonomiser durablement la gestion de la SEAAL.

6.CONTEXTE DU TRAVAIL

Proposer des modèles de gestion de la ressource en eau superficielle et souterraine du bassin Algérois 02A qui doivent répondre à des besoins à court, moyen et long termes pour une meilleure exploitation de la ressource en eau. Nos sous-objectifs sont :

- ❖ D'avoir une meilleure connaissance de la ressource en général et du fonctionnement des phénomènes naturels en particulier ;

- ❖ D'anticiper le comportement de la ressource vis-à-vis des contraintes externes ;
- ❖ De proposer une exploitation et une surveillance raisonnée de la ressource et de faciliter l'activité du gestionnaire d'aquifère souhaitant sa préservation.

7.DEFINITION DE LA GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (GIRE)

Au plus simple, la gestion intégrée des ressources en eau est un concept logique et séduisant. Sa base est que les nombreuses différentes utilisations des ressources en eau sont interdépendantes. Ceci est évident pour nous tous. De fortes demandes en irrigation et des flots de drainage fortement pollués signifient moins d'eau douce pour la boisson ou pour l'utilisation industrielle; les eaux usées municipales et industrielles contaminées polluent les fleuves et menacent les écosystèmes; si on doit laisser de l'eau dans un fleuve pour protéger la pêche et les écosystèmes, on pourra en prélever moins pour la production agricole. Il y a une abondance d'exemples par rapport à ce thème de base pour soutenir que l'utilisation non régulée des ressources en eau rares est un gâchis et en soi non durable.

Gestion Intégrée veut dire que toutes les différentes utilisations des ressources en eau sont prises en compte ensemble. Les attributions et les décisions de gestion de l'eau prennent en compte les effets de chaque utilisation sur les autres. Elles sont en mesure de tenir compte des objectifs sociaux et économiques globaux, y compris la réalisation du développement durable. Ceci signifie également assurer une prise de décision politique logique liée à tous les secteurs. La Gestion est employée dans son sens le plus large. Elle souligne que nous devons non seulement nous concentrer sur la mise en valeur des ressources en eau mais que nous devons gérer consciemment la mise en valeur de l'eau de manière à assurer son utilisation durable à long terme pour les générations futures.

La gestion intégrée des ressources en eau est donc un processus systématique pour le développement durable, l'attribution et le suivi de l'utilisation des ressources en eau dans le contexte des objectifs sociaux, économiques et environnementaux. Elle diffère de l'approche sectorielle qui s'applique dans de nombreux pays dont le notre.

Quand la responsabilité de l'eau potable repose sur une agence, sur une autre pour l'irrigation et encore une autre pour l'environnement, le manque de relations intersectorielles entraîne une gestion et une mise en valeur non coordonnées des ressources en eau, ayant pour résultat des conflits, du gaspillage et des systèmes non durables.

8. POURQUOI LA GIRE ?

L'eau est vitale à la survie, à la santé et à la dignité humaine et elle est une ressource fondamentale au développement humain. Les ressources en eau douce du monde sont sous pression croissante, et jusqu'à présent, de nombreuses personnes manquent encore d'accès adéquat à l'approvisionnement en eau pour leurs besoins de base. La croissance de la population, une activité économique en plein essor et des niveaux de vie améliorés mènent à une concurrence accrue et à des conflits pour une ressource en eau douce limitée. Voici quelques raisons pour lesquelles beaucoup de gens pensent que le monde fait face à une crise imminente de l'eau :

- ❖ Les ressources en eau sont sous la pression croissante de la croissance démographique, de l'activité économique et de la concurrence grandissante pour l'eau entre les différents utilisateurs;
- ❖ Les extractions d'eau ont augmenté à un rythme deux fois plus rapide que celui de la croissance de la population et actuellement un tiers de la population du monde vit dans des pays qui éprouvent un stress hydrique allant de moyen à élevé;
- ❖ La pollution augmente davantage la pénurie de l'eau en réduisant l'utilité de l'eau en aval;
- ❖ Des imperfections dans la gestion de l'eau, une concentration sur la mise en valeur de nouvelles sources plutôt que de mieux gérer celles qui existent, et des approches sectorielles de gestion de l'eau du sommet à la base aboutissent en une mise en valeur et une gestion non coordonnés de la ressource.
- ❖ Une plus grande mise en valeur signifie de plus grands impacts sur l'environnement.
- ❖ Les préoccupations actuelles relatives à la variabilité du climat et au changement climatique exigent une gestion améliorée des ressources en eau pour faire face à des inondations et à des sécheresses plus intenses.

9. QUESTION CLES DANS LA GESTION DE L'EAU

9.1. Crise de gouvernance de l'eau

Les approches sectorielles à la gestion des ressources en eau ont prévalu par le passé et règnent encore. Ceci aboutit à une gestion et à une mise en valeur non coordonnées et fragmentées de la ressource. D'ailleurs, la gestion de l'eau se fait habituellement par les

institutions du sommet à la base, des institutions dont la légitimité et l'efficacité ont été de plus en plus remises en question. Ainsi, une gouvernance insuffisante aggrave la concurrence accrue pour une ressource finie. La GIRE apporte une coordination et une collaboration parmi les différents secteurs, en plus d'une gestion locale rentable.

9.2. 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 du monde n'a pas accès à l'eau potable saine et la moitié de la population n'a pas accès à un assainissement adéquat.

Ces insuffisances de service affectent principalement les segments les plus pauvres de la population des pays en développement. Dans ces pays, la satisfaction des besoins d'approvisionnement en eau et de l'assainissement en faveur des zones rurales et urbaines représente un des défis les plus sérieux pour les années à venir. La réduction de moitié de la proportion de population qui ne dispose pas de services d'eau et d'assainissement d'ici 2015 est un des Objectifs du Millénaire pour le développement. Pour ce faire, il faudra une réorientation substantielle des priorités d'investissements, ce qui sera réalisé beaucoup plus aisément dans ces pays qui mettent aussi la GIRE en œuvre.

9.3. Garantir l'eau pour la production alimentaire

Les projections de population indiquent qu'au cours des 25 années à venir, il faudra de la nourriture pour encore 2 ou 3 milliards de personnes. L'eau est de plus en plus perçue comme une contrainte majeure pour la production alimentaire, équivalent sinon plus cruciale que la pénurie de terre. L'agriculture irriguée est déjà responsable de plus de 70% de toutes les extractions d'eau (plus de 90% de toute l'utilisation à la consommation de l'eau). Même avec une estimation de 15-20% de besoins additionnels d'eau d'irrigation au cours des 25 années à venir- ce qui est probablement minoré – de sérieux conflits sont susceptibles d'arriver entre l'eau pour l'agriculture irriguée et l'eau pour les autres utilisations des hommes et de l'écosystème. La GIRE offre la perspective d'une plus grande efficacité de conservation de l'eau et de gestion de la demande équitablement partagées entre les utilisateurs de l'eau, et une plus grande réutilisation et un plus grand recyclage des eaux usées pour compléter la mise en valeur de ressources nouvelles.

9.4. Protection des Écosystèmes indispensables

Les écosystèmes terrestres dans les zones en amont d'un bassin sont importants pour l'infiltration des eaux pluviales, la recharge des eaux souterraines et des régimes de débit des

fleuves. Les écosystèmes aquatiques produisent une gamme d'avantages économiques, y compris des produits tels que le bois de construction, le bois de chauffage et les plantes médicinales, ils fournissent également des habitats à la faune et des lieux de reproduction. Les écosystèmes dépendent des écoulements de l'eau, du caractère saisonnier et des fluctuations de la nappe phréatique et ils sont menacés par la mauvaise qualité de l'eau. La gestion foncière des ressources en eau doit assurer que les écosystèmes indispensables seraient maintenus et que les effets nuisibles sur les autres ressources naturelles sont pris en compte et si possible réduits en prenant les décisions de gestion et de mise en œuvre.

9.5. Contexte mondial (enjeu planétaire)

Le consensus international sur la gestion intégrée des ressources en eau s'est développé au cours d'un certain nombre d'années, et a été influencé par un certain nombre d'événements importants. Un des plus significatifs est la décennie internationale d'adduction d'eau potable et de l'assainissement des Nations Unies (1981-1990), également appelée la « Décennie de l'eau ».

Suite à la décennie de l'eau, une conférence internationale sur l'eau et l'environnement s'est tenue à Dublin en 1992. C'était la conférence la plus significative depuis celle de Nations Unies tenue 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), tenues à Rio de Janeiro en juin 1992. La CNUED visait à élaborer des stratégies et des mesures en vue de freiner et d'inverser les effets de la dégradation de l'environnement et de promouvoir ainsi la gestion intégrée des ressources en eau.

Un autre événement important c'est la création du Partenariat Mondial de l'Eau en anglais « Global Water Partnership (GWP) » et le conseil mondial de l'eau en 1996 en vue d'améliorer la coordination des activités dans le secteur de l'eau au niveau international. Les deux institutions ont pour mission, la coordination de la mise en œuvre des principes et pratiques de GIRE à travers le monde. Un plan d'action global pour les années 90 et se poursuivant au 21^{ème} siècle, appelé Action 21, a été élaboré.

Le consensus international sur la GIRE, né de ces nouveaux développements, porte essentiellement sur les quatre principes de Dublin, qui sont généralement considérés comme fondamentaux dans ces domaines. Ces principes sont les suivants:

1. L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle pour préserver la vie, le développement et l'environnement ;
2. L'exploitation et la gestion de l'eau doivent se fonder sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux ;
3. Le rôle des femmes dans l'alimentation en eau, la gestion et la conservation des ressources en eau doit être reconnu et renforcé;
4. L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et doit donc être reconnue comme un bien économique.

Les mesures prioritaires recommandées par l'Action 21 pour l'utilisation durable et efficace des ressources en eau douce sont:

- ❖ Exploitation et gestion intégrée des ressources en eau ;
- ❖ Evaluation des ressources en eau ;
- ❖ Protection de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques ;
- ❖ Fourniture d'eau salubre pour la boisson, la production alimentaire, le développement rural et l'assainissement ;
- ❖ Compréhension et surveillance des impacts du changement climatiques sur les ressources en eau.

9.6. La gestion par bassin

Une réflexion d'envergure a été menée sur le thème de la gestion par bassin dans le cadre du deuxième Forum mondial sur l'eau. Un atelier technique a été organisé à La Haye en octobre 1999, en préparation au Forum; le compte rendu est particulièrement intéressant, d'abord par la diversité des études de cas présentées, mais surtout parce qu'il constitue une synthèse remarquable des débats entourant toute la question de la gestion par bassin (Mostert, 1999). Les résultats de cette réflexion ont ensuite été regroupés sous forme de recommandations et présentés lors du deuxième Forum mondial de l'eau de La Haye en mars 2000 (Pays-Bas, 2000).

Il s'agit de deux documents importants parce qu'ils regroupent à la fois des points de vue théoriques et des exemples concrets d'application. Un tour d'horizon presque complet a

donc été réalisé à l'échelle internationale au cours des années 1999 et 2000 sur la gestion par bassin.

L'utilisation du bassin versant comme territoire le plus approprié pour la gestion des ressources en eau n'est pas récente, mais il s'agit maintenant d'un principe universellement reconnu. La Déclaration ministérielle sur la sécurité de l'eau au IIe siècle, partie intégrante du rapport du deuxième Forum mondial sur l'eau, présente la gestion par bassin comme un des défis associés à la question de la sécurité: Partager les ressources en eau : promouvoir la coopération pacifique et développer des synergies entre les différentes utilisations de l'eau à tous les niveaux, chaque fois que possible et dans le cas des ressources en eau frontalières et transfrontalières, entre les États concernés, par une gestion durable des bassins versants et d'autres méthodes appropriées.

Il est intéressant de remarquer ici la flexibilité laissée aux gestionnaires quant à la méthode à employer; la gestion par bassin n'apparaît donc pas comme une règle absolue mais comme une des voies intéressantes pour promouvoir la coopération. Cette dimension politique, associée de près au maintien de la paix, est une autre des dimensions de la gestion de l'eau qui ont été mises de l'avant dans de nombreux forums au cours des deux dernières années.

L'expérience de la gestion par bassin, sous sa forme institutionnelle la plus formelle, a été tentée dans plusieurs pays. L'Académie de l'eau a réalisé une étude comparative de la gestion par bassin dans le monde en 2000 en s'appuyant sur neuf cas répartis entre l'Europe, l'Amérique latine et l'Indonésie. Ces expériences ont appliqué un modèle inspiré de celui des Agences de l'eau françaises. Les conclusions de cette étude sont intéressantes puisqu'elles résument bien l'état d'avancement d'un modèle parmi les plus connus de la gestion par bassin.

10.CADRE DE CONCERTATION EN MATIERE DE GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU EN ALGERIE

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.

11.AGENCE NATIONALE DE GESTION INTEGREE DE LA RESSOURCE EN EAU (AGIRE)

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.

12.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 SEAAL possède aujourd'hui tous les moyens financiers et humains pour une gestion optimale de la ressource en eau de la wilaya d'Alger et de Tipaza.

Le travail présenté dans ce document vient appuyer les efforts des intervenants du métier «Gestion intégrée de la ressources en eau » qui œuvrent dans le but d'élever le niveau de service aux standards internationaux.

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.INTRODUCTION

Le bassin hydrographique, ou bassin versant, est l'unité ou le cadre de toute hydrologique. Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux qui le séparent des bassins adjacents, elles sont facilement repérables dans les régions où le relief est bien marqué. Il n'en est pas de même dans les régions très planes, dans celles où les écoulements temporaires se perdent dans les sables ou dans les cuvettes désertiques. Lorsqu'un karst souterrain est bien développé, la circulation des eaux suit souvent des trajectoires indépendantes des réseaux de surface et les eaux fuient d'un bassin à un autre. Les limites souterraines d'un bassin ne coïncident donc pas toujours avec les lignes de partage des eaux du bassin de surface.

L'aire ou superficie d'un bassin hydrographique est fort variable, elle peut aller de quelques kilomètres carrés à plusieurs centaines de milliers de kilomètres carrés et même plusieurs millions de kilomètres carrés.

Dans le bassin hydrographique, la topographie, ou le système de pentes, commande la trajectoire des écoulements et l'organisation du drainage ou réseau hydrologique. Celui-ci dépend de l'alimentation en eau. Le terme de bassin hydrographique est parfois remplacé par celui de bassin versant, qui désigne la surface d'interception des précipitations alimentant un cours d'eau. On parle de bassin ruisselant quand il s'agit d'un réseau d'oueds.

2.CADRE NATUREL

La zone d'étude est le bassin versant 02A, qui s'étend sur une superficie de **4585 Km²** et qui fait partie du bassin côtier algérois qui s'étend, quant à lui sur **8471 Km²** et qui englobe entre autre le bassin (**02B**) dont la superficie est de **3886 Km²** (Fig II.1).

2.1 Situation géographique du Bassin Côtier-Algérois (02a)

Le bassin Côtier-Algérois (**02A**), d'une superficie de **4 585 Km²**, est situé entre le bassin de Dahar à l'Ouest et l'embouchure de l'Isser à l'Est. Il est délimité au Sud par le Cheliff et l'Isser et au Nord par la mer méditerranée (Fig II.1).

La zone dénommée « Algérois 02A » s'étend sur de nombreux bassins versants. Les principaux d'entre eux, en termes de ressources en eau, font l'objet d'une description ci-dessous, elle comprend aussi de nombreux sous bassins versants côtiers de quelques hectares et qui n'ont pas beaucoup d'importance en termes de ressources en eau et qui ne seront pas décrits davantage.

a. Le sous bassin versant du Oued Mazafran

L'Oued Mazafran est le principal oued de la zone, tant par le bassin versant (**1 900 Km²**) que par le débit. Il collecte les eaux de nombreux affluents provenant de l'Atlas de Blida, dont l'oued Chiffa, oued Bouroumi et oued El Affroun.

b. Le sous bassin versant du Oued El Harrach

L'Oued El Harrach a un bassin versant plus petit que celui de l'oued Mazafran (**1 207 Km²**), mais il a une importance particulière, parce qu'il traverse des zones très habitées, qu'il impacte fortement, parce que ses eaux sont de très mauvaise qualité.

c. Les petits sous bassins versants côtiers

L'Algérois 2A recouvre une dizaine de petits bassins versants côtiers, dont les principaux sont :

- ❖ oued Hachem, à l'est de Cherchell ;
- ❖ oued Nador, près de Tipaza ;
- ❖ oued Hamiz (équipé d'un barrage et dont le bassin versant est très densément peuplé);
- ❖ oued Reghaia, qui revêt une importance particulière en termes de ressources naturelles, il alimente le lac de Reghaia qui constitue la principale zone humide de tout l'Algérois 2A ;
- ❖ oued Boudouaou ;
- ❖ oued Corso.

2.2 Découpage administratif

Le bassin versant 02A englobe la totalité des wilayas d'Alger et de Blida, et une partie des wilayas de Boumerdès, Tipaza, Médéa et Ain Defla (Tab II.1). Les communes faisant partie de ce bassin sont représentées dans la Figure II.2

Tableau II.1 Wilayas dans le bassin Côtier Algérois 02A

Wilaya	Surface de la Wilaya (km ²)	Part de la wilaya dans le bassin (%)	Surface de la wilaya dans le bassin (km ²)
Alger	809	100	809
Blida	1696	100	1696
Tipaza	2166	40,5	878
Boumerdès	1 591	29,0	462
Médéa	8 866	4,6	409
Ain Defla	4897	6,8	331
Total	-	-	4585

Source : PNE 2010

2.3 Découpage hydrographique

Le bassin Côtier-Algérois 02A présente un réseau hydrographique dense dont la mer Méditerranée constitue l'exutoire (Fig II.3). Il draine les apports de 09 sous bassins présentés dans le tableau suivant:

Tableau II.2 Codes et superficies des sous bassins

Sous Bassin	Oueds du SBV	Code ABH	Superficie totale (km ²)	Part du 02A (%)
Côtier Cherchell	Oued Hachem	0203	317	6,91
	Oued Nador			
Côtier Sahel	Nomreaux petits oueds	0204	112	2,44
Oued Mazafran	Oueds Mazafran	0212	427	9,31
	Oued Chiffa	0211	585	12,76
	Côtier Djer Bouroumi	0210	900	19,63
Côtier Bouzareah	Nomreaux petits oueds	0205	208	4,54
Oued El Harrach	Harrach amont / maritime	0213/14	1207	26,33
Côtier Cap Matifou	Oued Hamiz	206	829	18,08
	Oued Réghaia			
	Oued Boudouaou			
	Oued Corso			
Total		-	4585	100

Source : ABH, 2010



Figure II.1. Carte des bassins versants de l'Algérois 2A (ABH. 2010).

3. Ressources en eau de l'Algérois 02A (Aspects quantitatifs)

3.1 Ressource superficielle

La ressource superficielle potentielle est caractérisée principalement par les apports (ruissellements naturels) moyens annuels du bassin versant. Cette notion est à différencier de la ressource en eaux disponible qui est la part de la ressource potentielle effectivement mobilisable et mobilisée au moyen d'ouvrages hydrauliques (barrages, prises au fil de l'eau, pompes...)

- **La ressource superficielle potentielle**

D'après le PNE 2010, la pluie moyenne annuelle sur le bassin 02a est de l'ordre de 735 mm, avec une pluviométrie décroissante de l'Est en Ouest.

Les ressources superficielles potentielles, caractérisées par les apports moyens annuels sont de l'ordre de 848 Hm³. Les débits spécifiques y sont assez constants et de l'ordre de 4 à 5 l/s/km². De ces apports, 63,32% sont contrôlés par des ouvrages de mobilisation implantés dans la zone d'étude (Tab II.3) :

Tableau II.3. Ressources potentielles en eau superficielle du bassin

BV (km ²) 02a	Pluie moyenne annuelle (mm)	Lame d'eau ruisselée (mm)	Apports moyens annuels (Hm ³)	BV contrôlé (km ²)	Apport moyen annuel contrôlé (Hm ³)	Part contrôlée de	
						BV (%)	Apports (%)
4 585	735	185	848	3 461	537	75,48	63,32

Source : PNE 2010

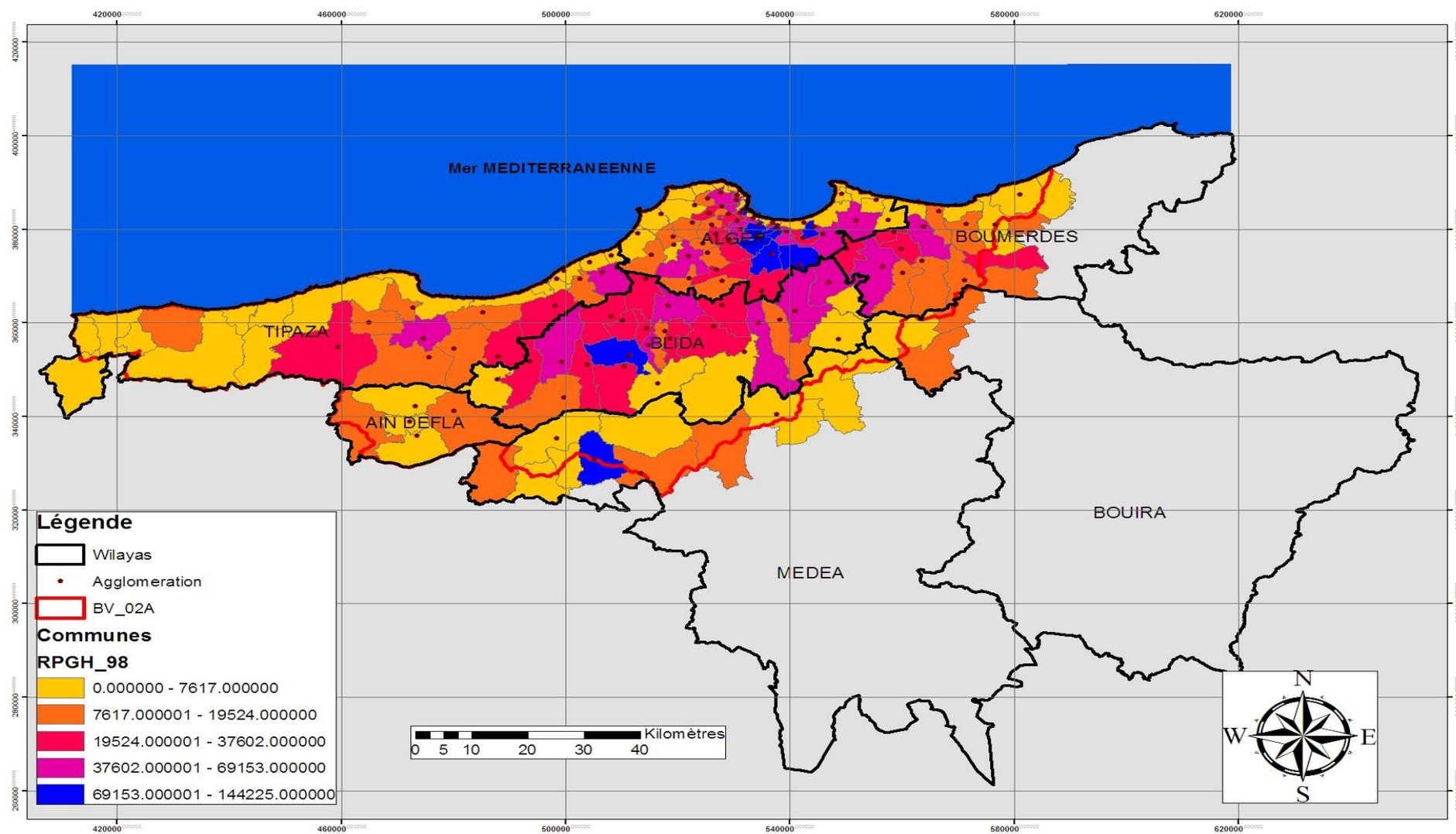


Figure II.2 Wilayas et communes du bassin 02A

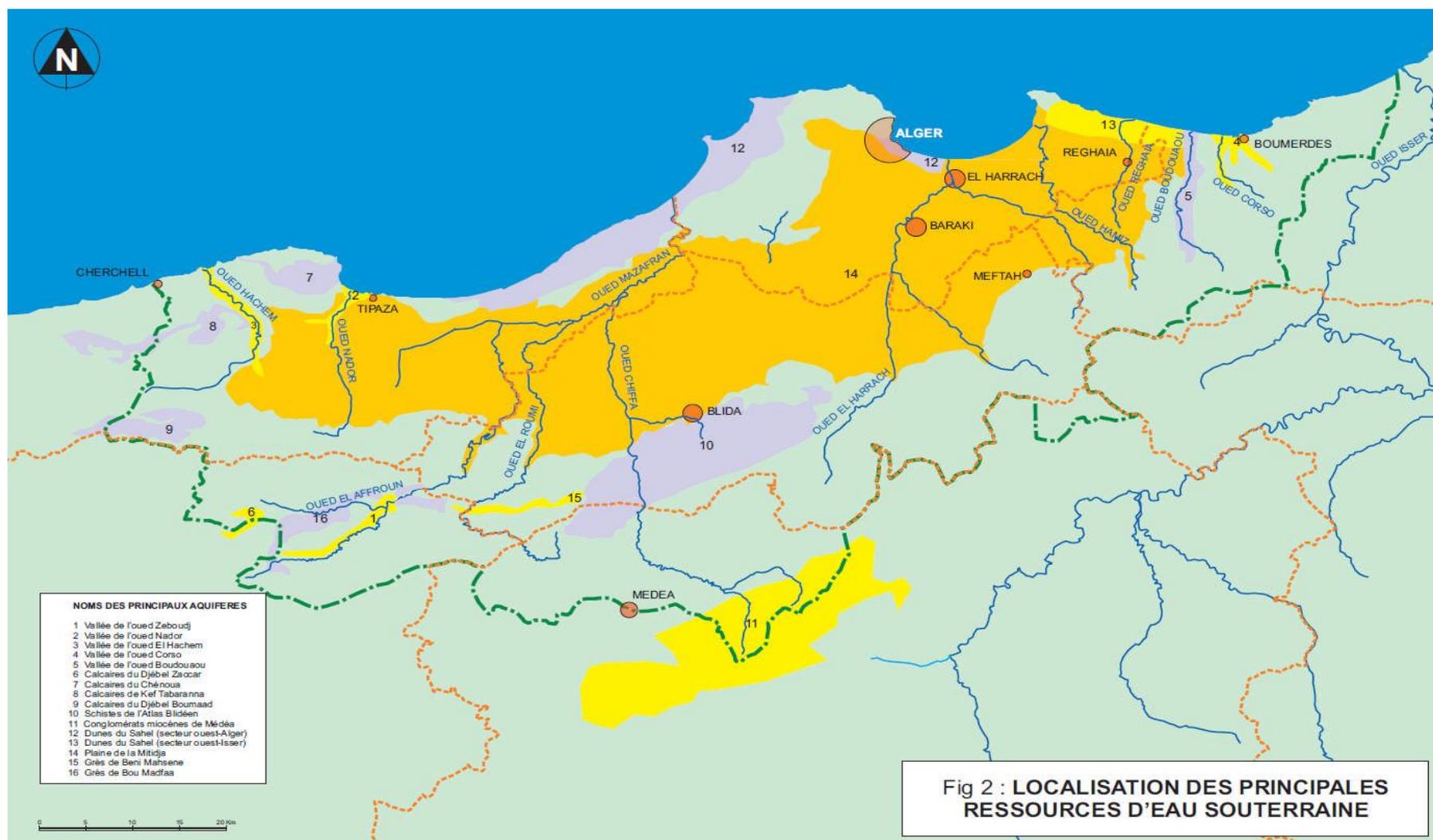


Figure II.3 Carte hydrogéologique de l'Algérois 2A (ABH/BCEOM, 2010).

Ci-dessous un tableau (Tab II.4) qui illustre plus en détail les sous bassins versant de l'algérois 02A et leurs principaux caractéristiques

Tableau II.4 Les principaux bassins versants de l'Algérois 2A et leurs caractéristiques

	Code	Superficie totale	Oueds du SBV	S (km ²)	P moy mm/an	Pluie Mm ³ /an	Ruissellement	
							mm/an	Mm ³ /an
Côtier Cherchell	203	317	Oued Hachem	167	735	123	185	31
			Oued Nador	150	735	110	185	28
Côtier Sahel	204	112	Nomreux petits oueds	112	735	82	185	21
Oued Mazafran	212	1912	Oueds Mazafran	427	735	314	185	79
			Oued Chiffa	585	735	430	185	108
			Côtier Djer Bouroumi	900	735	662	185	167
Côtier Bouzareah	205	208	Nomreux petits oueds	208	735	153	185	38
Oued El Harrach	0213/14	1207	Harrach amont et maritime	1207	735	887	185	223
Côtier Cap Matifou	206	829	Oued Hamiz	200	735	147	185	37
			Oued Réghaia	229	735	168	185	42
			Oueds Boudouaou	200	735	147	185	37
			Oued Corso	200	735	147	185	37
Total				4585	-	3370	-	848

Source : ABH/BCEOM-EGIS, 2010.

3.2 Ressource souterraine potentielle

Sur la base des données présentées dans le Plan National de l'Eau en mars 2010, les unités aquifères inscrites dans le sous bassin 02A sont récapitulées dans le Tableau II.5 et représentées dans la Figure II.4.

Tableau II.5 Unités aquifère

N°	Nom d'Unité aquifère	Ressource potentielle (Hm ³ /an)	Part de la production totale (%)
1	Nappe de la Mitidja	107	79,1
2	Dune du Sahel 1	14,6	6,8
3	Dune du Sahel 2	3,9	1,8
4	Conglomérat miocènes de Médea	7,6	3,5
5	Schistes de l'Atlas blidéen	7	3,3
6	Autre petits aquifères	11,8	5,5
Total		214,9	100

Source : PNE 2010

Soit une capacité de production annuelle de près de **214,9 Millions m³** dont près de **80%** se concentre dans la plaine de la Mitidja.

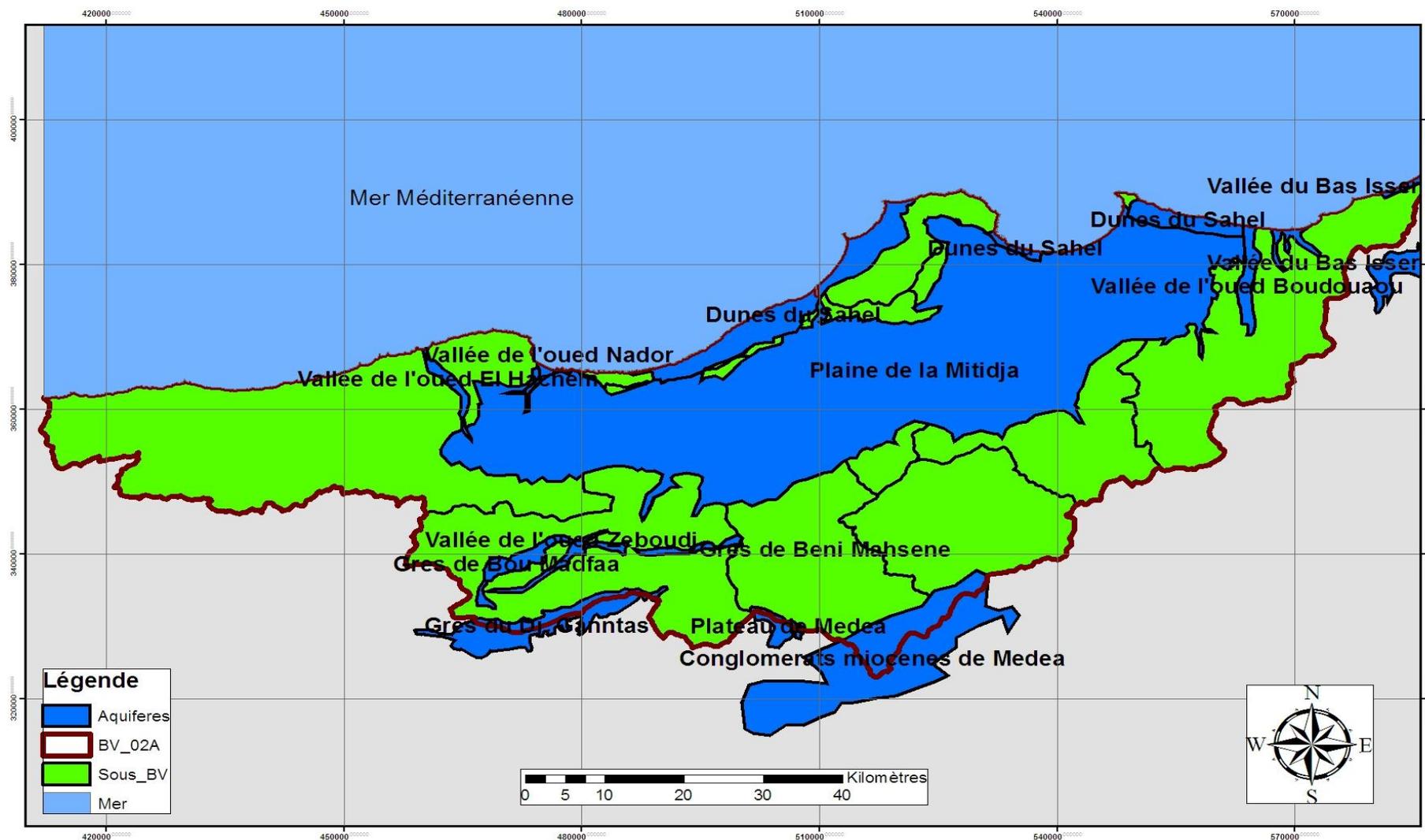


Figure II.4 Inventaires des aquifères

3.3 Ressource en eau non conventionnelle

3.3.1 Dessalement d'eau de mer

Pour faire face au déficit en eau disponible dans les grandes villes côtières, l'Algérie s'est lancée depuis une dizaine d'années dans un programme très ambitieux de dessalement d'eau de mer. 6 stations sont déjà opérationnelles (Tab II.6), avec une capacité de 337 500 m³/jour (123 Mm³/an) et 2 autres sont en construction, ce qui porterait la capacité journalière à 537 500 m³ soit (180 Mm³/an) (Fig. II.5).

Tableau II.6 Usines de dessalement de l'Algérois 2A

N°	Désignation	Centre urbain	Capacité	Statut
1	El Hamma	Agglomération d'Alger	200 000	Opérationnelle
2	Ain Benian	Agglomération d'Alger	5 000	Opérationnelle
3	Zeralda	Agglomération d'Alger	5 000	Opérationnelle
4	Palm Beach	Agglomération d'Alger	2 500	Opérationnelle
5	Bousmaïl	Bousmaïl/Tipaza	5 000	Opérationnelle
6	Cap Djinet	Bourmerdès	100 000	En construction
7	Fouka (Douaouda)	Tipaza	120 000	Opérationnelle
8	Oued Sebt	Tipaza	100 000	En projet

Source : MRE, juillet 2009

Remarque

La station de dessalement d'Oued Sebt est située hors du bassin côtier Algérois 02A, mais l'eau produite sera utilisée en majorité dans le bassin

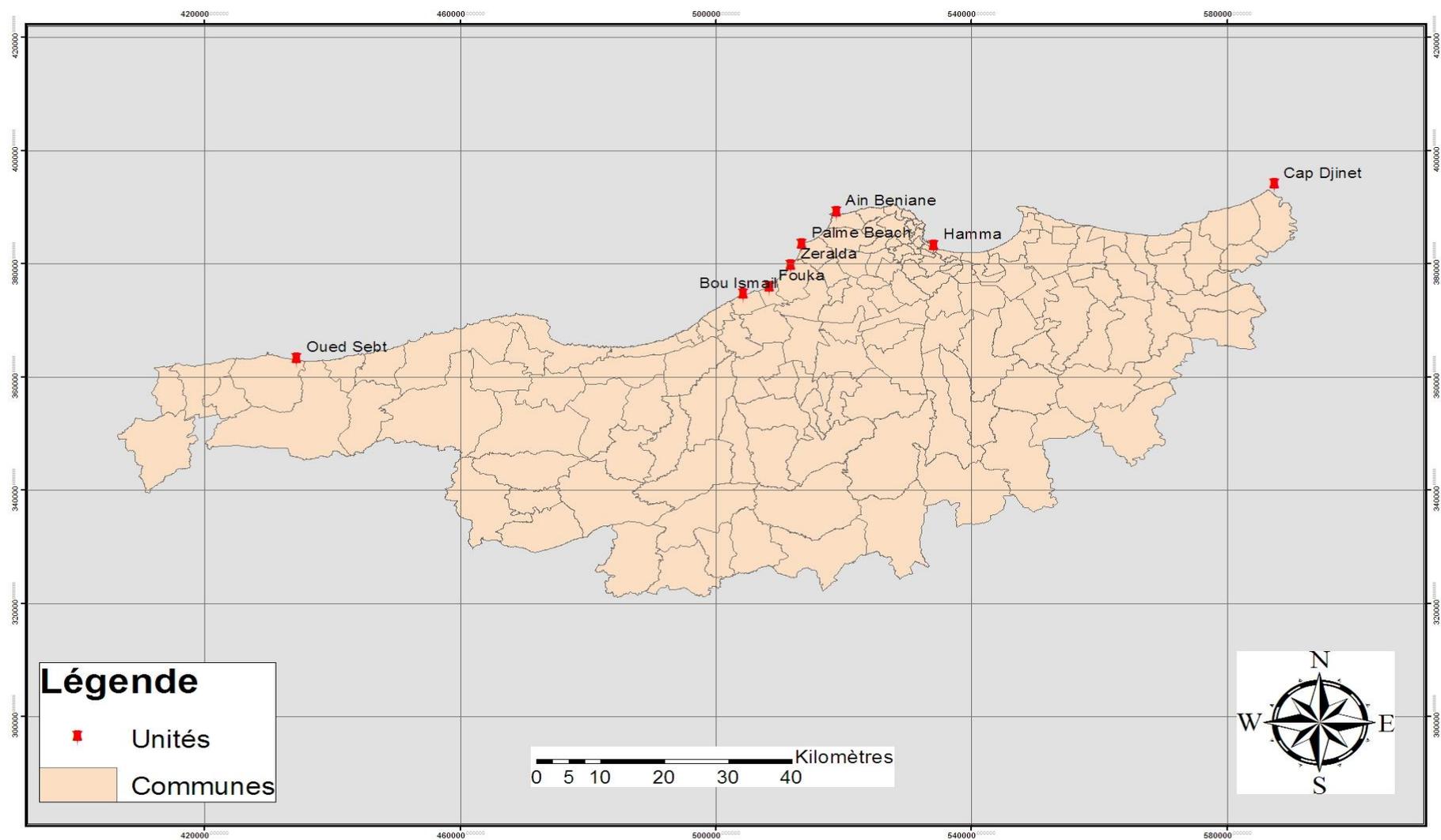


Figure II.5 Inventaire des stations de dessalement

3.3.2 Réutilisation des Eaux Usées Epurées (REUE)

Un autre effort important de l'Etat Algérien consiste dans la construction ou la réhabilitation de stations de traitement des eaux usées urbaines (STEP). Cet effort s'étend sur l'ensemble du pays; pour le bassin côtier 02A, la liste des STEP en service et en projet est indiquée dans le tableau suivant (Tab II.7) et représentée sur la Figure II.6.

Tableau II.7 Stations de Traitement des Eaux Usées

N°	Désignation	Centre urbain	Capacité nominale (m ³ /jour)	Volume moyen traité (m ³ /jour)	Statut
1	Baraki	Aggl. Alger	150 000	50 000	Opérationnelle
2	Réghaïa	Réghaïa+ZI	80 000	44 000	Opérationnelle
3	Beni Messous	Alger Est	50 400	27 000	Opérationnelle
4	Staouali	Staouali	3 000	-	En réhabilitation
5	Boumerdès	Boumerdès	15 000	9 577	Opérationnelle
6	Thénia	Thénia	3 000	1 195	Opérationnelle
7	Zemmouri	Zemmouri	5 000	1 175	Opérationnelle
8	Koléa	Koléa	7 000	2 548	Opérationnelle
9	Hadjout	Hadjout	11 200	3 708	Opérationnelle
10	Tipaza	Tipaza	10 500	3 560	Opérationnelle
11	Médéa	Médéa	26 000	10 600	Opérationnelle
12	Blida	Blida	70 000	-	En réhabilitation
13	Bousmaïl	Bousmaïl	(150.000 eq. hab)		En réhabilitation

Source : MRE, 2009

Quelques stations ont été désignées pour produire des effluents de qualité suffisante pour qu'ils puissent être réutilisés. Dans notre bassin 02A, il s'agit des STEP de Boumerdès et Koléa.

- La STEP de Boumerdès fournit de l'eau épurée pour l'irrigation des domaines Rahmoune (73 ha) et Fliss (49 ha), entre les mois de Janvier et Août. Le volume écoulé est d'environ 344 000 m³ par saison, soit 17% des volumes produits par la STEP.

- Quant à la STEP de Koléa, elle fournit une partie de ses effluents traités à une usine d'emballages pour ses processus industriels.

- La STEP de Baraki vient d'être l'objet d'une remise à niveau technique et d'une extension, de manière que depuis l'année 2008 sa capacité a été élevée à 900.000 équivalents habitants.

La REUE est promise à un fort développement selon les plans du MRE, et doit passer au niveau national de 350 Hm³ en 2008 à 900 Hm³ en 2020, (Tab. II.8).

Tableau II.8 *Systèmes projetés de réutilisation des eaux usées épurées*

N°	Désignation	Volume REUE projeté (m ³ /jour)	Stockage	Usage
1	Baraki	30 000	Barrage de Barek	Mitidja Est 6000 ha
2	Beni Messous	360 000	Lagunes de Béni Messous	Irrigation de forêts et parcelles 360 ha
3	Réghaïa	80000	Bassin de stockage	Irrigation Côtier Est 290 / 490 / 1200 ha
4	Tipaza + Hadjout	3000 + 5000	Bassin commun 8 ha	Irrigation Sahel Algérois 1120 ha
5	Boumerdès	3 000	Flici 18 962 m ³ Ramoune 18 000	Irrigation 123 ha arboriculture
6	Médéa	13 000	Bassin 3 500 m ³	Irrigation Vallée Oued Lahrach 255 ha

Source : MRE, 2009

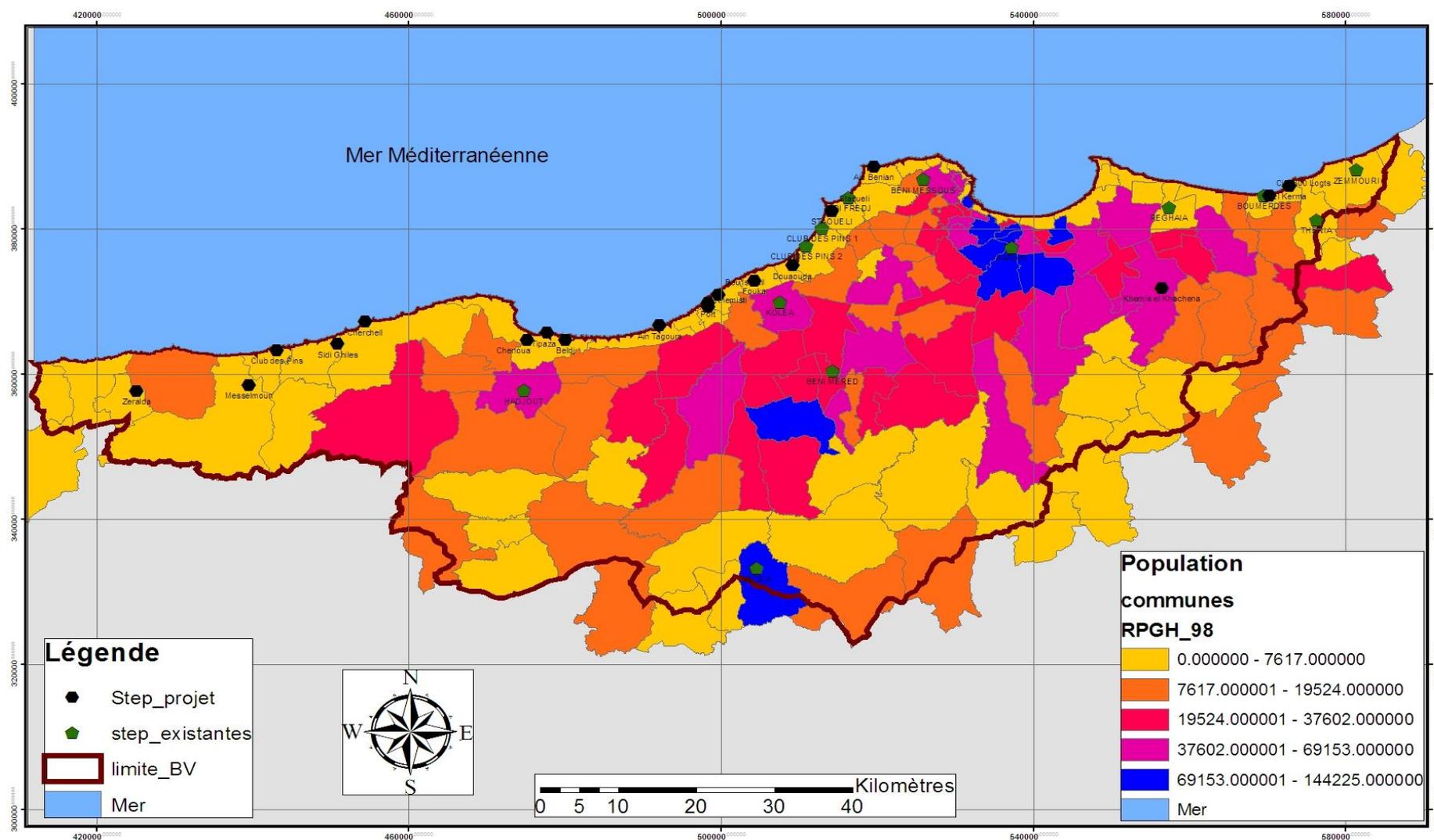


Figure II.6 Inventaire des STEP existantes et en cours de réalisation

4. Les prélèvements d'eau souterraine

Les prélèvements d'eau dans l'Algérois 2A sont estimés à 700 Mm³ par an (Fig. II.7):

- les prélèvements les plus importants sont destinés à l'AEP et en particulier celle de la métropole d'Alger (41%) et dans une moindre mesure ceux des autres wilayas (20%).
- la deuxième composante importante des prélèvements est l'irrigation (36%), dont l'essentiel pour la Plaine de la Mitidja.
- les prélèvements spécifiques à l'industrie (forages industriels privés) ne pèsent pas beaucoup dans le total des prélèvements.

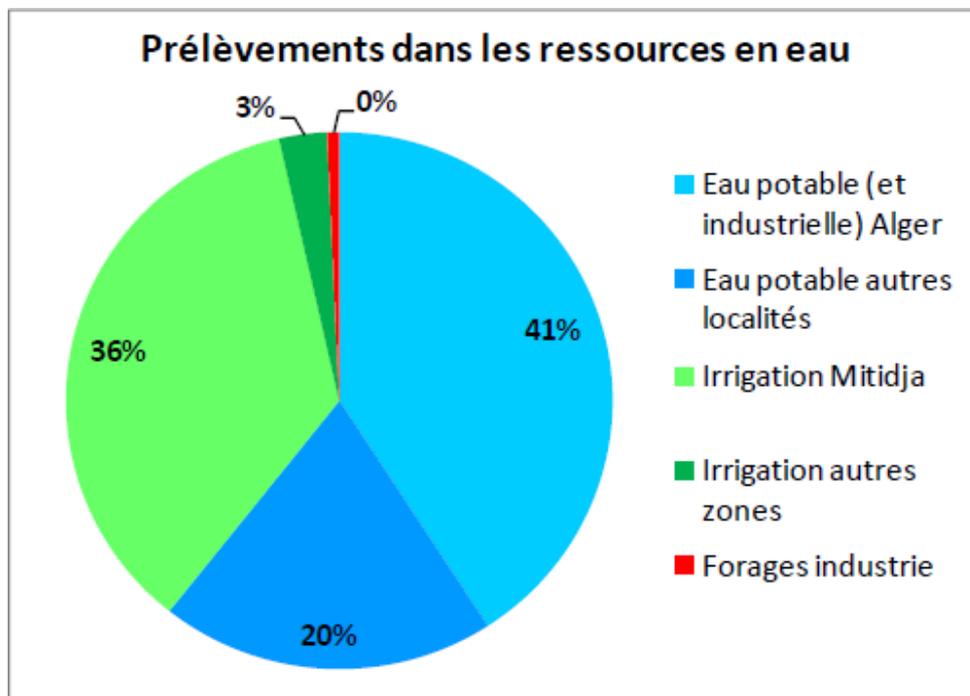


Figure II.7 Les prélèvements d'eau souterraine pour l'alimentation de l'Algérois 02A
Source : calculs HYDROCONSEIL à partir des données ABH, 2010.

5. Les ressources exploitées

Pour produire ces quelques 700 Mm³/an, les exploitants publics et privés basés dans le bassin Algérois 02A ont sollicité les ressources en eau superficielle et souterraine, ainsi que des ressources non conventionnelles.

Les prélèvements dans les différents types de ressource ont été estimés comme suite (Fig. II.8) :

- 36 % ressource en eau de surface (barrages et grands transferts), pour un total annuel de 345 Mm³ (soit 43% du total) ;
- 54% ressource en eau souterraines pour un total annuel de 380 Mm³ (dont 365 Mm³/an pour la seule nappe de la Mitidja (48% du total) ;
- 10% ressource en eau non conventionnelle, pour un total de 74 Mm³/an (pour l'essentiel, il s'agit de l'usine de dessalement du Hamma à Alger).

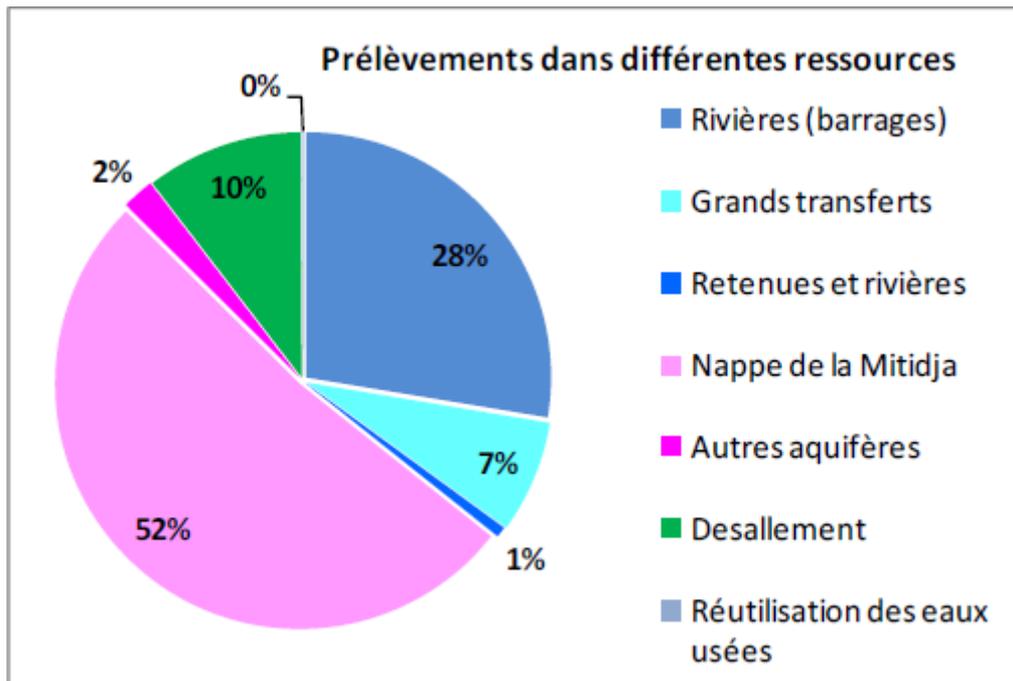


Figure II.8 Les prélèvements d'eau dans les différentes ressources de l'Algérois 02A

Source : calculs HYDROCONSEIL à partir des données ABH, 2010.

6.Ouvrages existants, en cours de réalisation ou programmés pour l'alimentation de l'Algérois 02A

Les infrastructures de mobilisation des eaux de surface existantes sont constituées de 8 barrages dont trois sont situés à l'extérieur de notre région d'étude (Taksebt, Ghib et Koudiet Acerdoune).

6.1Le Système Production Isser Keddara (SPIK)

Dans la partie orientale du bassin, le système SPIK est constitué de plusieurs barrages interconnectés (Hamiz, Keddara, Beni Amrane, Koudiet Acerdoune) (Fig. II.9). Il permet de mobiliser un volume annuel de 225 Mm³, essentiellement pour l'AEP (simulation réalisée dans le cadre du PAC sur la base des apports 1975-2002).

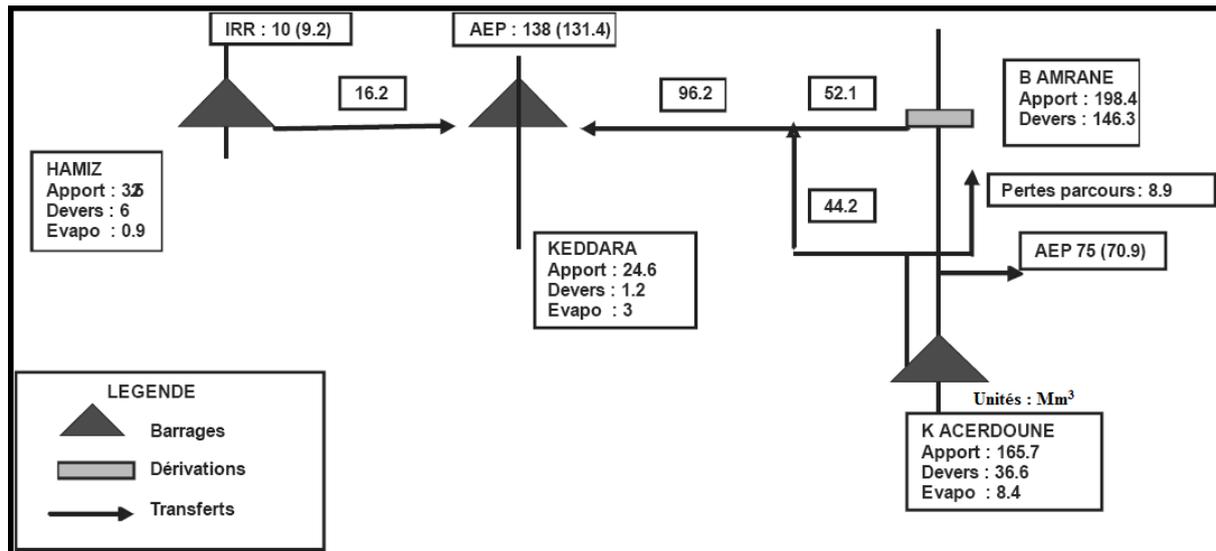


Figure II.9 Schéma du système SPIK

Source : PAC (cité dans ABH, 2010)

a. Le Barrage du Hamiz :

Construit en 1879 puis surélevé et remis en service en 1935, est situé sur l'oued Arbatache et contrôle un bassin versant de 139 km².

Sa capacité utile mesurée en 2004 était de 15,5 Hm³ contre 21 Hm³ au moment de la surélévation, ce qui représente un envasement moyen annuel de 0,35Hm³. La capacité actuelle couvre 28% des apports moyens annuels (55 Hm³). Le barrage régularise 12 Hm³/an, soit 22% des apports.

Le barrage est destiné à l'irrigation du périmètre du Hamiz dans la plaine de la Mitidja Est, avec une dotation annuelle pour l'irrigation de 9 Hm³ en 2007, 2008 et 2009. Depuis 1987, il dérive, par une galerie, ses eaux excédentaires vers le barrage Keddara sur l'oued Boudouaou. Le volume du transfert est estimé par le PAC à 18,6 Hm³.

b. Le Barrage de Keddara

Construit à partir de 1982 et mis en eau en 1986, est situé sur l'oued Boudouaou et contrôle un bassin versant de 93 km².

Sa capacité utile en 2004 était de 142,39 Hm³ (contre 145,60 Hm³ à l'origine, soit un envasement annuel de 0,05 Hm³) ce qui correspond à plus de 4 fois ses apports moyens annuels (32,3 Hm³). Ceci s'explique par le fait qu'il reçoit outre son propre bassin, des apports en provenance de la prise Beni Amrane par pompage et du barrage du Hamiz par dérivation.

Il existerait aussi un projet de transfert direct depuis le barrage de Koudiat Acerdoune vers le barrage de Keddara au moyen d'une galerie.

Le barrage est destiné à l'AEP d' Alger et de Boumerdès.

c. Le Barrage de Beni Amrane

Il est situé à 15 km à l'Est de la ville de Boumerdès, hors du bassin côtier 02A; il fait partie du système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger. Construit en 1984 et mis en eau en 1988, il a été surélevé en 2003.

Situé sur l'Oued Isser, il intercepte un bassin versant de 3710 km² dont l'apport annuel moyen est de 414 Hm³. Sa capacité initiale de 16 Hm³ s'est trouvée réduite à 11,85 Hm³ en 2004, perdant 25% environ en un an.

Le transfert vers la retenue de Keddara d'une capacité nominale de 7 m³/s, est en réalité de 5 m³/s. de cette manière en 2006 le volume transféré a été de 83,96 Hm³.

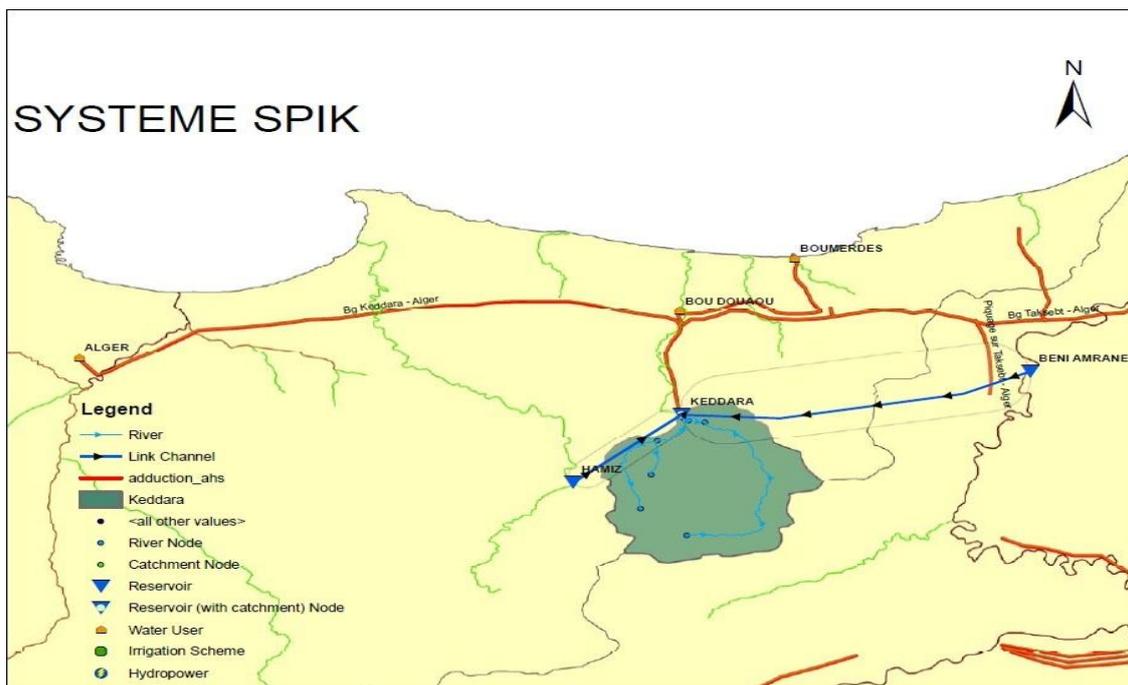


Figure II.10 Système SPIK

Source : PNE 2010

6.2 Le Système (Bouroumi - Ghrib - Douera)

Le système est constitué par les barrages de Bouroumi et Douera et de plusieurs prises interconnectés (Djer, Chiffa, Mazafran, El Harrach) (dans le bassin 02A), le barrage Ghrib et la prise Harbil (hors bassin versant 02A).

Ce système est destiné à l'alimentation en eau potable de Cherchell, Tipaza et Nador, à l'irrigation de la vallée de l'oued El Hachem, des régions de Hadjout, du Sahel Algérois Ouest et du périmètre Mitidja Ouest. Une partie a été réaffectée à des usages AEP dans le cadre du Système d'alimentation d'Alger (SAA), projet d'interconnexion des barrages de Bouroumi et Ghrib avec le système d'AEP de la wilaya d'Alger mis en service en 2002 suite de la pénurie d'eau qu'a connue la capitale après que les réserves d'eau au niveau du barrage de Keddara aient été totalement épuisées.

Il permet de mobiliser un volume annuel de 170 Mm³ en année moyenne (simulation réalisée dans le cadre du PAC sur la base des apports 1975-2002). 60% de la ressource est utilisée pour l'AEP et 40% pour l'irrigation, mais ces dix dernières années, la quantité allouée à l'irrigation était nettement plus faible parce que les apports ont été bien inférieurs à la moyenne 1975-2002).

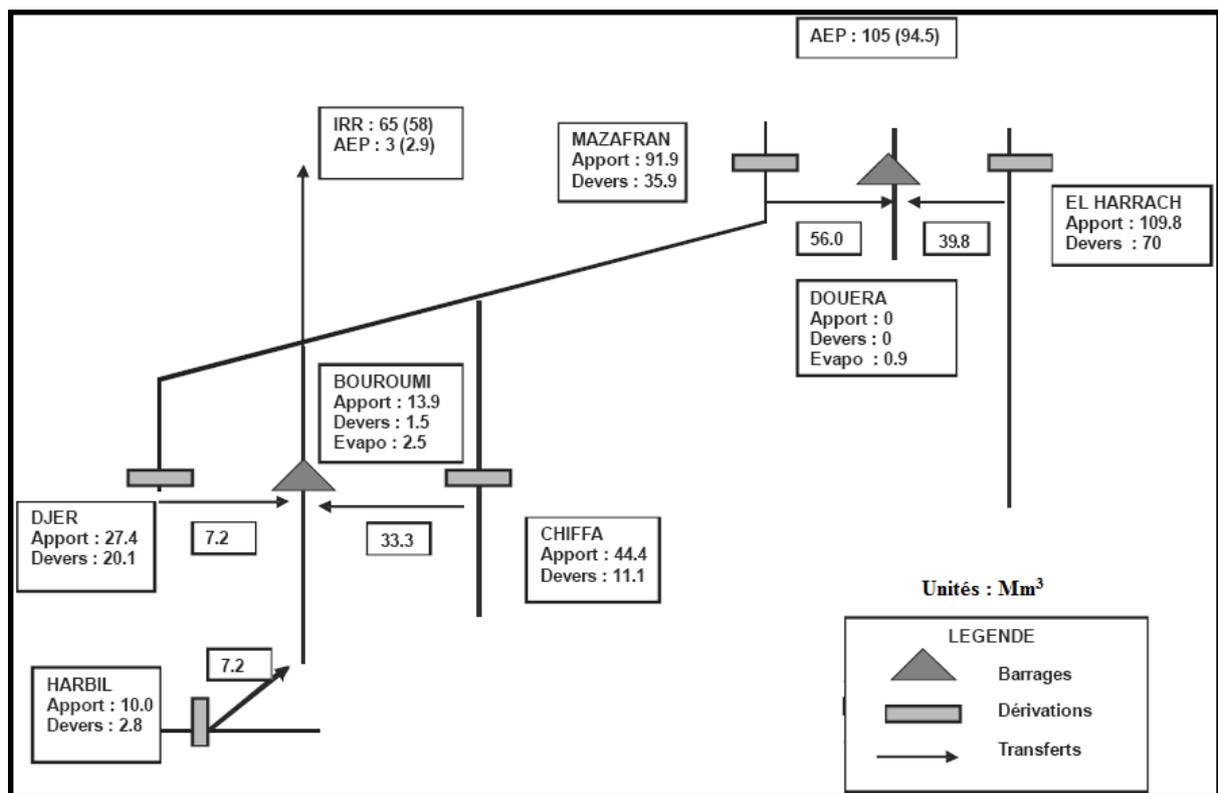


Figure II.11 Schéma du système Bouroumi - Ghrib - Douera

Source : PAC (cité dans ABH , 2010)

a. Le Barrage du Douera

Il a été achevé au courant de 2009 et n'a pratiquement pas de bassin propre (10 km²). Sa capacité utile est de 110 Hm³. Il est prévu pour régulariser 101 Hm³/an (105 Hm³ d'après le PAC). Les apports devaient être assurés par les transferts en provenance de la prise

sur l'Oued El Harrach et sa capacité sera de $72 \text{ Hm}^3/\text{an}$. Il est également prévu de stocker les eaux épurées provenant de la station de Baraki.

b. Le Barrage du Bouroumi

Il a été mis en service en 1985, est situé sur l'oued Bouroumi et contrôle un bassin versant de 150 km^2 .

Sa capacité utile est de 188 Hm^3 ce qui correspond à 9,6 fois les apports annuel du bassin ($19,5 \text{ Hm}^3$). Il régularise un volume annuel de 102 Hm^3 . Les apports doivent être complétés par les transferts en provenance de la prise Djer ($20 \text{ Hm}^3/\text{an}$ par pompage), en provenance de la prise Chiffa ($51 \text{ Hm}^3/\text{an}$ par gravité) et en provenance de la prise Harbil située hors du bassin 02A ($20 \text{ Hm}^3/\text{an}$ par gravité). Il reçoit également un transfert depuis le barrage du Ghrib (hors bassin 02A) depuis 2002 en vue d'assurer un appoint à l'alimentation en eau potable de l'agglomération d'Alger.

D'après le PAC, le volume annuel régularisé pour l'irrigation est de $58,5 \text{ Hm}^3$ et pour l'AEP de 44 Hm^3 .

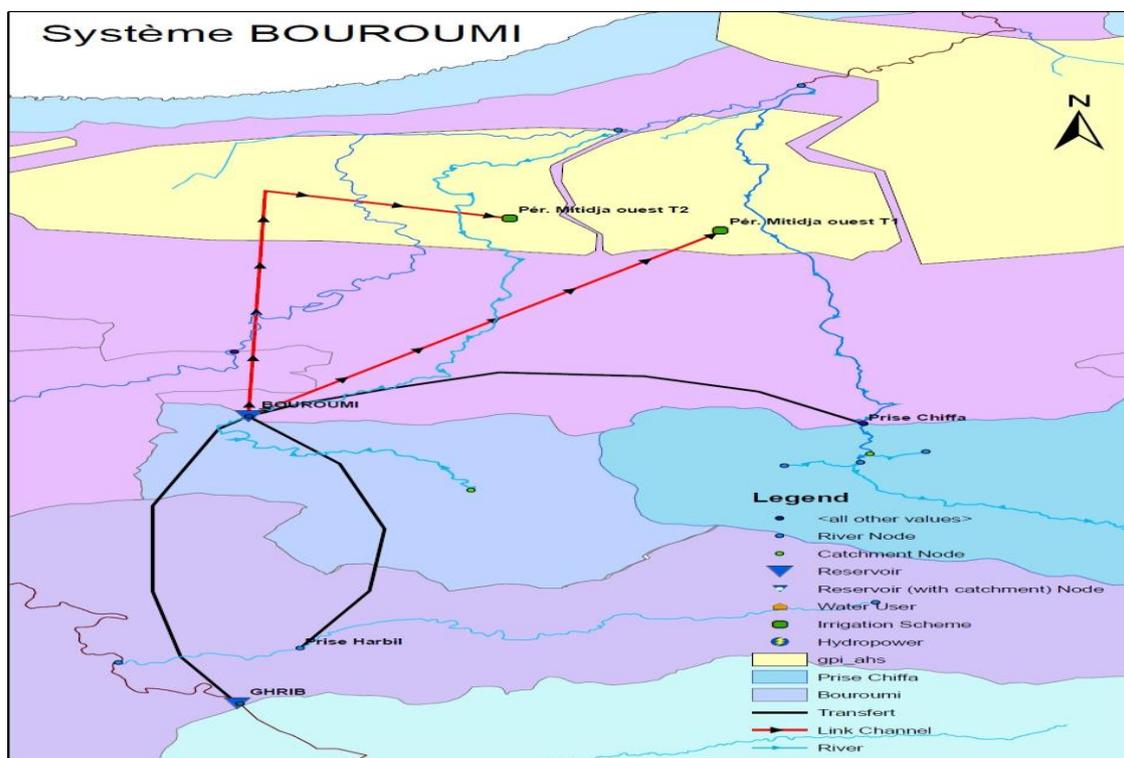


Figure II.12 Système Bouroumi

Source : PNE 2010

c. Barrage du Ghrib :

Il est destiné à l'irrigation du Haut Cheliff et à l'alimentation en eau potable de Médéa et Berrouafhia. Depuis 2002, le barrage est relié au barrage de Bouroumi en vue d'assurer un appoint, avec le barrage de Boukourdane, à l'alimentation en eau potable de l'agglomération d'Alger (150.000 m³/j).

6.3 Le barrage de Boukourdane

Il a été construit en 1986 et mis en eau en 1992, il est situé sur l'oued El Hachem et contrôle un bassin versant de 156 km². Sa capacité initiale de 97 Hm³ est soumise à un ensablement annuel de 0,21 Hm³. Cette capacité correspond à près de 3 fois les apports du bassin (35,0 Hm³). Il régularise un volume annuel de 28 Hm³. Les apports sont complétés par les transferts par pompage en provenance de la prise Nador (20 Hm³/an).

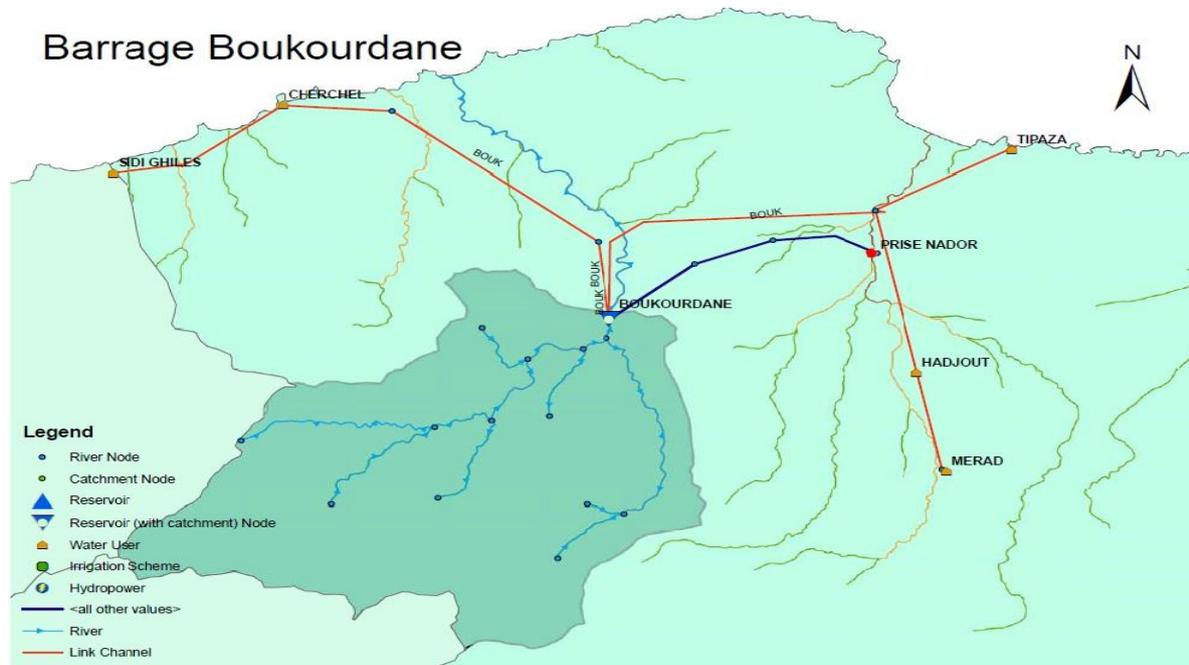


Figure II.13 Barrage Boukourdane

Source : PNE 2010

6.4 Le système Taksebt – Tizi Ouzou – Alger

Ce système de transfert interbassin est le plus important et ambitieux de ces dernières années. Il a une importance cruciale pour l'AEP des villes d'Alger, Boumerdès et Tizi Ouzou. Sa structure principale est le barrage de Taksebt, situé sur l'Oued Aïssi (bassin de l'Oued Sebaou) dans la wilaya de Tizi Ouzou.

Construit à partir de 1997 et mis en eau en 2004, le barrage intercepte un bassin versant de 448 km² dont l'apport moyen annuel est de 180 Hm³. la capacité initiale de la retenue est de 175 Hm³, soit 97% des apports moyens.

Les débits sont transférés à la station de traitement des eaux de Boudouaou, puis distribués.



Figure II.14 Barrage Taksebt

Source : PNE 2010

7. Conclusion

En conclusion, on peut dire que selon les sources et les dates des données, les valeurs concernant la ressource superficielle mobilisée varient assez sensiblement. Ceci pourrait être dû à plusieurs raisons :

- ❖ Les hypothèses prises en compte pour la détermination des apports aux bassins contrôlés et donc des apports effectivement contrôlés varient suivant les organismes responsables des études. Il conviendra dans le futur de trouver un accord sur les méthodes et hypothèses pour effectuer les différents calculs ;
- ❖ Les valeurs des volumes régularisés par les barrages sont des estimations basées sur des calculs ou des simulations et ce à cause de la difficulté actuelle d'obtenir des informations sur les volumes effectivement régularisés et l'usage qui en est fait : AEP, irrigation ;

- ❖ Un manque d'homogénéité des données et valeurs de référence utilisées par les différentes administrations.

Néanmoins, on peut faire état du bilan suivant :

- ❖ Le bassin côtier algérois 02A, d'une superficie totale de 4 585 km², représente une ressource potentielle moyenne annuelle de 848 Hm³;
- ❖ La superficie contrôlée par les barrages ou en passe d'être contrôlée très prochainement est de 3 461 km², soit 76% de la superficie totale ;
- ❖ Les apports annuels contrôlés sont de 537 Hm³/an, ce qui représente 63% de la ressource potentielle ;
- ❖ Les volumes régularisés moyens annuels varient, selon les sources entre 260 Hm³/an et 363 Hm³/an, ce qui représente un pourcentage de régularisation entre 48% et 68%, et un pourcentage de mobilisation entre 31% et 43% ;
- ❖ Le volume annuel moyen importé varie, selon les sources, de 70 à 103 Hm³.

CHAPITRE III : MODELISATION DU VOLUME DE REMPLISSAGE DES BARRAGES UTILISATION DU MODELE GR2M

1.INTRODUCTION

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, la surface terrestre reçoit quotidiennement en moyenne des centaines de milliers de m³ d'eau sous forme de précipitations. A cause de la répartition hétérogène de ces dernières, il existe aussi bien des régions dont le climat est très sec que des régions bénéficiant d'apports pluviométriques intenses. On peut donc assister quotidiennement dans différentes parties de la terre à une vingtaine de drames où l'eau quitte le lit des cours d'eau et devient un élément dangereux pour l'homme et ses biens.

Le cours d'eau constitue donc, un objet d'intérêt privilégié, du fait que la connaissance de son débit est un instrument indispensable, de nos jours, à la gestion de la ressource en eau et des systèmes aquatiques, notamment pour la gestion d'ouvrages de retenue, le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques et pour la prévision de débits. Dans ce contexte, de nombreuses recherches se sont attachées, depuis plus de cent ans, à essayer de comprendre les processus de génération des débits et le fonctionnement du bassin versant, et ceci en remontant à leur cause première, les pluies. Ces recherches ont donné naissance aux modèles hydrologiques appelés, modèles pluie-débit, dont le but est d'étudier le lien entre la pluie et le débit, dans un système hydrologique qui est le bassin versant.

On se propose, dans ce chapitre, de définir la modélisation hydrologique, de situer quelques exemples de modèle pluie-débit et de présenter le modèle pluie-débit choisi pour notre cadre d'étude.

2.DEFINITION DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT

La modélisation est la représentation mathématique simplifiée d'un phénomène physique permettant d'en simuler le fonctionnement pour étudier l'effet de certains paramètres,

ou faire des prévisions. Lorsque l'on veut décrire, d'une manière rationnelle, le phénomène, on réalise au moins les deux opérations suivantes:

- Mettre un nom sur des objets, définir des groupes d'objets dans un langage clair;
- Relier ces différents éléments au moyen de relations.

La représentation de l'ensemble des phénomènes hydrologiques et des systèmes hydrauliques d'une manière simple et précise, constitue une modélisation pouvant avoir une interprétation mathématique. En effet, l'ensemble du processus illustré dans la figure (X.1) est une structure dynamique dans l'espace et dans une échelle de temps bien définie entre: une entrée: cause (pluie) et une sortie: effet (écoulement ou débit)

Considérons une pluie d'intensité $P(t)$ tombant sur une surface S est désignons par $E(t)$ et $I(t)$ les intensités d'évaporation et d'infiltration.

Le volume $W(t)$ d'eau entrée dans le cours d'eau ou le réseau à l'instant t vérifie l'équation:

$$W(t + \Delta t) - W(t) = S[P(t) - E(t) - I(t)]. \Delta t \quad \text{Eq(III.1)}$$

Ou en notation différentielle :

$$\frac{dW}{dt} = S[P(t) - E(t) - I(t)] \quad \text{Eq(III.2)}$$

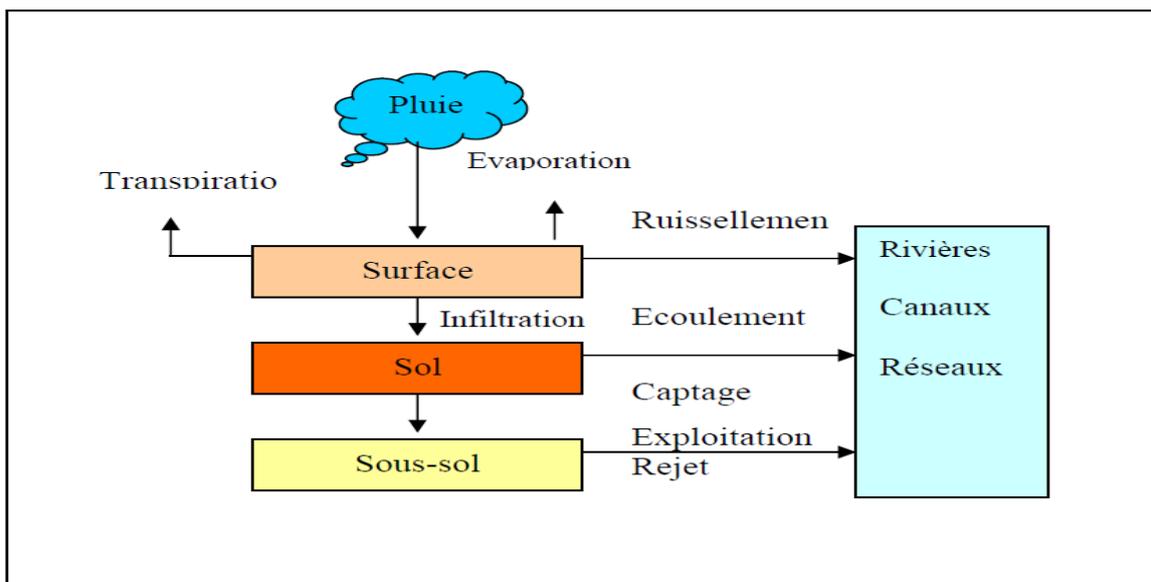


Figure III.1. Cycle de l'eau

3.OBJET ET ENJEUX DE LA MODELISATION PLUIE-DEBIT

L'objet d'étude des modèles pluie-débit est le bassin versant ; défini relativement à un point sur un cours d'eau, comme l'ensemble des terres drainées par le réseau hydrologique situé en amont de ce point. Le bassin versant est un système ouvert, avec des échanges d'eau et d'énergie avec l'atmosphère, le sous-sol et l'aval du cours d'eau ou la mer.

Les objectifs d'un modèle hydrologique permettent de connaître le fonctionnement d'un bassin versant, prévoir des débits en fonction des scénarii météorologiques ou d'aménagement, simuler des débits sur des cours d'eau où les mesures sont insuffisantes, modéliser le transport de polluants. L'applicabilité de la modélisation dépend de l'étalonnage (l'ajustement aux paramètres d'entrée), de la validation (qui permet d'évaluer les possibilités d'utilisation) et de la mesure de la sensibilité du modèle (l'étude de l'influence des variations des paramètres d'entrée sur les paramètres de sortie). Ceci dit, on peut distinguer les problématiques suivantes :

- Simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans les séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques ;
- Prédétermination des débits de crue ou d'étiage qui peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagement dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau ;
- Prévision des crues et des étiages ; il s'agit d'évaluer en avance, connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiage pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource en eau ;
- Influence d'aménagement sur l'hydrologie : on désire pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications des caractéristiques du bassin d'origine humaine ou à des changements environnementaux.

Ces problématiques font ressortir deux aspects importants, celui de l'évaluation du risque et celui de la gestion de la ressource. La pertinence des réponses que l'on peut leur apporter est conditionnée par celle du modèle dans sa représentation du bassin relativement aux objectifs fixés.

4.MISE EN ŒUVRE DES MODELES

La mise en œuvre des modèles de simulation implique un certain nombre de phases, conduisant à un modèle opérationnel capable de simuler le système réel. Il s'agit de la construction, la détermination des paramètres internes, le calage, le test et l'exploitation du modèle;

- **La construction** : qui consiste à schématiser le système réel par le biais d'une série d'hypothèses simplificatrices et à en donner une formulation symbolique.
- **La détermination des paramètres internes** : celle-ci pose un problème ardu à cause de la complexité des mesures in situ.
- **Le calage du modèle** : permet de déterminer les paramètres d'ajustement (paramètres internes qui n'ont pas de sens physique direct) à partir d'un jeu de données et de réponses mesurées sur le système réel.
- **Le test du modèle** : est une opération indispensable qui consiste à vérifier l'aptitude du modèle calé à simuler la réalité et cela sur un jeu de données et de réponses mesurées sur le système réel, différent du jeu de données de calage.
- **Exploitation du modèle** : est la phase opérationnelle du processus pour son utilisation pratique. Dans le cas de la prévision des crues, l'exploitation du modèle étudié consiste en l'extension d'une série de débits à partir de la pluviométrie enregistrée sur le bassin versant.

5.CHOIX ET USAGE DES MODELES

Le choix du type de modèle dépend de l'objectif et des moyens disponibles, et passe par l'analyse et la comparaison de leurs domaines de validité et d'application. En pratique, un critère de choix important est leur coût total de mise en œuvre (temps de calcul

et ressources informatiques, temps et coût d'acquisition et de mise en forme des données, temps d'interprétation), augmentant vite avec leur degré de sophistication.

Un modèle simple donne souvent de meilleurs résultats qu'un modèle complexe, mais pour un nombre beaucoup plus limité de variables et de conditions. Néanmoins, mieux un modèle intègre la physique des phénomènes, plus le cadre conceptuel qu'il fournit est évolutif, permettant d'intégrer toute nouvelle connaissance. De plus le véritable choix se pose entre des modèles physiques très détaillés, plus « universels » mais moins optimisés, et des modèles plus simplifiés mais spécialisés (en fonction d'un processus, facteur ou objectif dominant).

Enfin, la modélisation hydrologique est encore trop souvent freinée par une disponibilité insuffisante d'interfaces informatiques permettant une modélisation plus aisée et interactive facilitant la manipulation des données, la discrétisation du bassin, la représentation graphique et cartographique des données et résultats, et donc aussi la validation visuelle des simulations.

Dans une première approche de notre modélisation des eaux de surface nous avons axé notre choix sur des modèles de type simplifié à pas de temps mensuel essentiellement pour des raisons de disponibilité et de facilité d'utilisation (gestion mensuel des barrages).

6. DEFINITION DES MODELES CONCEPTUELS

Ces modèles tentent de reproduire la réponse d'un bassin versant en remplaçant la réalité de l'écoulement par une idéalisation fort simplifiée de la géométrie du bassin versant et de l'écoulement par rapport à la situation réelle. En hydrologie, les deux concepts de modélisation principalement utilisés sont :

- la représentation de la géométrie des surfaces d'écoulement par des plans rectangulaires de pentes constantes ;
- la représentation de l'écoulement par des réservoirs fictifs.

7. QUELQUES MODELES CONCEPTUELS AU PAS DE TEMPS MENSUEL

Dans la bibliographie, les modèles pluie-débit conceptuels globaux ne sont pas très nombreux au pas de temps mensuel. Certains ont été mis au point pour une application particulière nous citons quelques exemple ci-dessous :

a. Modèle ABCD (Thomas, 1981)

Ce modèle, à quatre paramètres (A, B, C, D), s'articule autour de deux réservoirs : un réservoir sol de capacité maximale A et un réservoir linéaire de vidange caractérisé par le paramètre D . La transformation pluie-débit s'effectue en deux phases : Une phase de production et une phase de transfert (**Chirifi, 2006**).

b. Modèle de Vandewiele et al. (1991)

Ce modèle correspond à une des variantes proposées par Vandewiele et al. (1991). Il a été appliqué sur un échantillon de 79 bassins : 65 bassins du nord de la Belgique, six bassins des Ardennes, six autres bassins du Sud de la Chine et deux bassins de Birmanie. Il s'agit d'un modèle à trois paramètres avec un seul réservoir qui assure à la fois la régulation de la production et le routage (**Chirifi, 2006**).

c. Modèle de Gardner (Bhaskar, 1999)

Le modèle de Gardner est un modèle conceptuel pluie-débit basé sur la formule d'évaporation d'Ol'dekop datant de 1911. Il s'agit d'un modèle à 2 paramètres avec un seul réservoir. Ce réservoir dont le contenu en eau est R reçoit la pluie mensuelle P , est soumis à l'évapotranspiration potentielle E . L'évapotranspiration E est ajustée avec un paramètre B (**Chirifi, 2006**).

d. Modèle de Guo (2002)

Guo et al. (2002) ont proposé un modèle pluie-débit au pas de temps mensuel à deux paramètres. Il a été testé et validé sur 100 bassins chinois de petite et moyenne taille. Il a été utilisé pour prédire les impacts des changements climatiques en Chine. Il s'agit d'un modèle conceptuel pluie-débit basé sur la formule d'évaporation d'Ol'dekop datant de 1911 comme pour le cas du modèle de Gardner avec 2 paramètres (A et C) et un seul réservoir. Ce réservoir dont le contenu en eau est S reçoit la pluie mensuelle P et est soumis à l'évapotranspiration potentielle E (**Chirifi, 2006**).

e. Modèle GR2M (Mouelhi et al, 2003)

Le modèle GR2M (modèle du Génie Rural à 2 paramètres Mensuel) est un modèle pluie-débit global à deux paramètres. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des

étiages. Ce modèle a connu plusieurs versions, proposées successivement par Kabouya (1990), Kabouya et Michel (1991), Makhlouf (1994), Makhlouf et Michel (1994), Mouelhi (2003) et Mouelhi *et al.* (2006), qui ont permis d'améliorer progressivement les performances du modèle. La version présentée ici est celle de Mouelhi *et al.*(2005) qui paraît la plus performante.

Sa structure, bien qu'empirique, l'apparente à des modèles conceptuels à réservoirs, avec une procédure de suivi de l'état d'humidité du bassin qui semble être le meilleur moyen de tenir compte des conditions antérieures et d'assurer un fonctionnement en continu du modèle. Sa structure associe un réservoir de production et un réservoir de routage ainsi qu'une ouverture sur l'extérieur autre que le milieu atmosphérique. Ces trois fonctions permettent de simuler le comportement hydrologique du bassin.

8.CHOIX DU MODELE

L'aspect 'complexe' d'un modèle pluie-débit conceptuel global peut-être mesuré par le nombre de paramètres laissés libres lors du calage. Un modèle est d'autant plus 'complexe' qu'il présente un nombre de paramètres plus élevé. Cependant, la performance et la fiabilité d'un modèle ne sont pas forcément liées au degré de complexité d'un modèle, c'est-à-dire qu'un modèle conceptuel complexe n'est pas nécessairement plus efficace qu'un modèle moins complexe.

Notre choix a été le modèle GR2M à deux paramètres dans sa nouvelle version modifiée, conceptualisé selon le schéma de la Figure III.2. Notre choix est motivé par les raisons suivantes:

- L'indisponibilité des données hydrométéorologiques (pluviométriques et hydrométriques) a un pas de temps inférieur à (01) un mois (données non continues), pour les bassins versants à étudier.
- ce modèle a donné de bons résultats sur les bassins versants du sud de la France, et vu que les conditions climatiques de ces bassins sont relativement proches de ceux de notre zone d'étude (bassins Algérois 2A), on estime que le GR2M donnera un bon calage en l'appliquant sur les données de ces bassins versants.
- Une étude des apports du nord de l'Algérie, réalisée par l'ANRH et le bureau d'études Allemand 'GTZ' dans le cadre d'un projet Algéro-Allemand « Etude des Ecoulements

Moyens Annuels sur le Nord de l'Algérie » achevée en 2003, et ce en utilisant le logiciel LOIEAU basé sur le modèle mensuel à deux paramètres, a donné des résultats très satisfaisants.

Toutes ces raisons nous ont incités à choisir le modèle conceptuel GR2M avec deux paramètres de calage.

9. DESCRIPTION DU MODELE GR2M

9.1 Description mathématique

Un schéma de la structure est donné à la Figure III.2, P_k est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

Les équations qui régissent le modèle sont les suivantes:

- **Production**

La fonction de production du modèle repose sur un réservoir de suivi d'humidité du sol. Une partie P_s de la pluie P_k va être ajoutée au contenu S_k dans le réservoir en début de pas de temps :

$$P_s = \frac{X_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{S_k}{X_1}\right)^2\right) \cdot \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)}{1 + \frac{S}{X_1} \cdot \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)} \quad \text{Eq(III.3)}$$

Le paramètre X_1 , capacité du réservoir, est positif et exprimé en mm. La pluie en excès, P_1 est donnée par :

$$P_1 = P - P_s' \quad \text{Eq(III.4)}$$

Et le contenu du réservoir est actualisé :

$$S' = S_k + P_s \quad \text{Eq(III.5)}$$

Du fait de l'évapotranspiration, une quantité E_s est prélevée du réservoir :

$$E_s = \frac{S' \cdot \left(2 - \frac{S'}{X_1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S'}{X_1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)} \quad \text{Eq(III.6)}$$

E est l'évapotranspiration potentielle moyenne du mois calendaire considéré. Le niveau S' devient S'' :

$$S'' = S' - Es \quad \text{Eq(III.7)}$$

- **Percolation**

Le réservoir de suivi d'humidité du sol se vidange ensuite selon une percolation P_2 :

$$P_2 = S'' \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{S''}{X_1} \right)^3 \right]^{-1/3} \right\} \quad \text{Eq(III.8)}$$

Et son niveau S_{k+1} , prêt pour les calculs du mois suivant, est alors donné par :

$$S_{k+1} = S'' - P_2 \quad \text{Eq(III.9)}$$

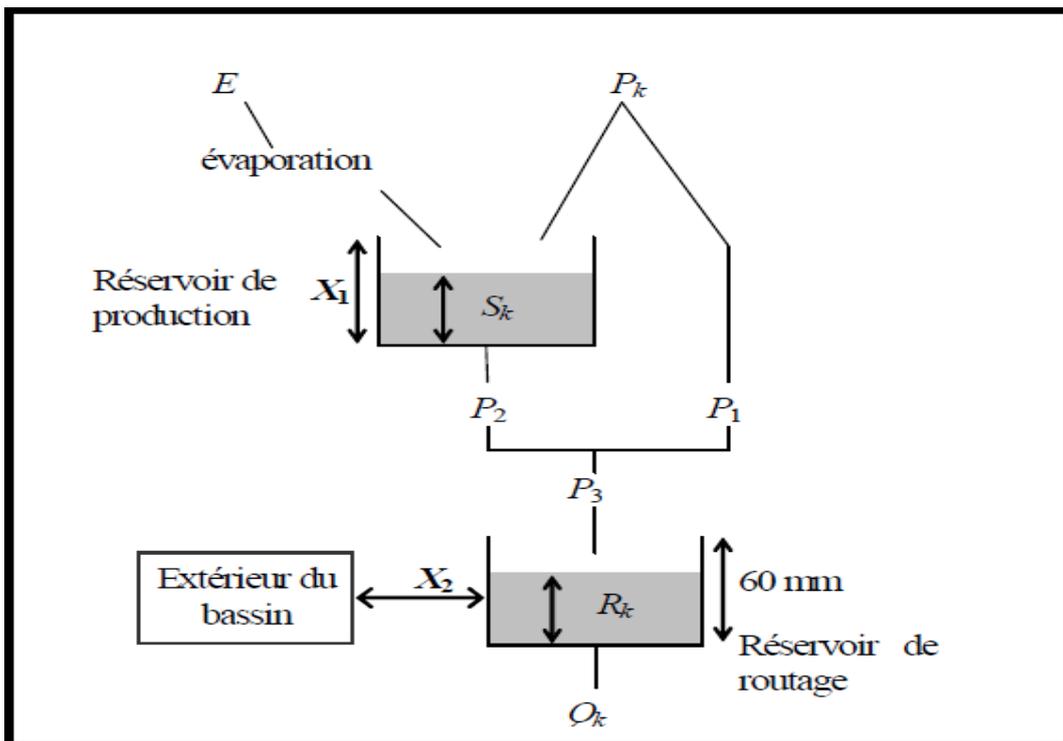


Figure III.2 Schéma de la structure du modèle GR2M

- **Routage et échange avec l'extérieur non atmosphérique**

La quantité d'eau totale P_3 qui atteint le réservoir de routage est donnée par :

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad \text{Eq(III.10)}$$

Le niveau R_k dans le réservoir devient alors R' :

$$R' = P_k + P_3 \quad \text{Eq(III.11)}$$

Un terme d'échange en eau souterrain F a été imposé par les données des nombreux bassins utilisés. Ignorer cette ouverture sur l'extérieur non atmosphérique conduit à une baisse considérable de l'efficacité du modèle. F est alors calculé par :

$$F = (X_2 - 1) \cdot R' \quad \text{Eq(III.12)}$$

Le paramètre X_2 est positif et adimensionnel. Le niveau dans le réservoir devient :

$$R'' = X_2 \cdot R' \quad \text{Eq(III.13)}$$

Le réservoir, de capacité fixe égale à 60 mm, se vidange pour donner le débit Q_k selon l'équation suivante:

$$Q_k = \frac{R''^2}{R'' + 60} \quad \text{Eq(III.14)}$$

Le contenu du réservoir est enfin actualisé par :

$$R_{k+1} = R'' - Q_k \quad \text{Eq(III.15)}$$

Paramètres

Le modèle a deux paramètres à optimiser :

X_1 (mm) : capacité du réservoir de production

X_2 (mm) : paramètre d'échanges souterrains

9.2 Le calage du modèle GR2M

Le modèle retenu (GR2M) fonctionne au pas de temps mensuel. Ce modèle, de type conceptuel, est réglé par deux paramètres (GR pour Génie Rural, 2 pour deux paramètres, M pour le pas de temps Mensuel). Ces deux paramètres, X_1 et X_2 règlent la génération des débits mensuels (figure III.2). Les valeurs de ces deux paramètres sont déduites d'une période d'apprentissage durant laquelle sont comparés les débits observés et ceux calculés par le modèle grâce à la seule connaissance des pluies et l'ETP de chaque mois. A travers ces valeurs, on vise à réduire l'écart entre débits observés et débits calculés.

9.3 Initialisation du système et période de mise en route

La mise en œuvre d'un modèle pluie-débit, l'évaluation de sa performance ainsi que l'optimisation des paramètres nous oblige à partir d'un état initial du système. Elle consiste à prédéfinir des valeurs initiales pour les paramètres du modèle avant de passer à la phase d'optimisation ou autrement dit avant sa confrontation à la réalité hydrologique observée (données). Cependant, le choix d'un état initial peut influencer le jeu optimal de paramètres du modèle ainsi que sa performance. Pour remédier à cette contrainte, on choisit généralement une période de mise en route. La période de mise en route est donc une solution au problème du choix arbitraire des niveaux initiaux des réservoirs au début de la période test.

Elle consiste à ne prendre en compte que les résultats après une durée d'observation fixée au préalable. Pour cela, nous utiliserons dans notre travail une période de mise en route d'un an pour le pas de temps mensuel.

9.4 Domaines d'applications du modèle GR2M

Les modèles présentés précédemment peuvent être utilisés pour un certain nombre d'application d'ingénierie ou de gestion de l'eau. A titre d'exemples, on peut citer :

- ❖ la reconstitution ou l'extension de séries de débit : après calage, le modèle est appliqué en simulation sur une période sur laquelle on dispose de données pluviométriques observées ;
- ❖ la prédétermination : les séries de débit observé étant souvent courte, il peut être intéressant de les étendre à l'aide d'un modèle pluie-débit. On peut pour cela soit utiliser des séries de pluie observée si elles sont suffisamment longues, soit utiliser un générateur stochastique de pluie qui permettra d'obtenir des séries probables de pluie sur le bassin (un tel générateur demandant un calage préalable sur des séries de pluie observée) ;
- ❖ la prévision à moyen ou long terme (quelques mois) : elle est intéressante pour les problématiques d'étiage et de gestion de la ressource. Dans ce cas, se pose le problème de l'incertitude sur les pluies futures. Pour en tenir compte, on doit adopter un cadre de prévision probabiliste en utilisant de nombreux scénarios de pluie future à partir de l'instant de prévision, scénarios issus soit de prévisions d'ensemble de modèle météorologiques, soit d'archives météorologiques si elles existent, soit d'un générateur stochastique de pluie ;

- ❖ la détection de tendance dans le comportement hydrologique du bassin versant : l'utilisation d'un modèle hydrologique permet d'identifier dans la variabilité des séries de débit ce qui vient de la variabilité naturelle des conditions climatiques de ce qui vient de changements de caractéristiques du bassin versant;
- ❖ la gestion ou le dimensionnement d'ouvrages : grâce au modèle, on peut dans une étude de dimensionnement simuler en continu des apports au réservoir et ainsi optimiser son dimensionnement pour des objectifs particuliers (soutien d'étiage, écrêtement de crue, etc.) en tenant compte ainsi de la variabilité naturelle de ces apports. En conditions opérationnelles, la prévision des apports peut permettre en mieux gérer l'ouvrage.

10.DESCRPTION DE L'ECHANTILLON DE DONNEES

10.1Choix des Barrages

Le choix d'étudier que deux barrage est dicté par un objectif méthodologique, dans une première approche, la généralisation à l'ensemble des barrages alimentant l'Algérois 02A par la suite pourra se faire aisément dans un cadre d'étude plus globale.

Les deux barrages choisis sont le barrage de Taksebt et le barrage de Boukourdane, les raisons de notre choix sont les suivants :

- 1) La disponibilité des données sur ces deux barrages
- 2) La simplicité d'exploitation (ils collectent les eaux de leurs propres bassins)
- 3) Importance du leurs volume régularisé.
- 4) La position géographique (l'un à l'Est du bassin 02A et l'autre à l'ouest)

10.2Caractéristiques des barrages sélectionnés

Les aires d'application du modèle GR2M sont les deux bassins contenant les deux barrages Taksebt et Boukourdane, situé dans le Nord-Est et le Nord-Ouest algérien. Ils sont alimentés par les oueds Aissî et El hachem respectivement. Les caractéristiques principales de ses deux bassins sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1 Caractéristique des Barrages sélectionnés et leurs bassins versant

Caractéristique	Taksebt	Boukourdane
Superficie du Bassin versant	448 km ²	177 km ²
Périmètre	99 km	58 km
Oued	Aissi	El Hachem
Longueur du thalweg principale	39 km	24 km
Altitude moyenne	655 m	-
Pluviométrie moyenne annuelle	958 mm	627 mm
Type du Barrage	En terre avec noyau d'argile	En terre et en enrochements avec noyau d'argile
Nature des fondations	alluvions/schistes	Alluvions
Capacité utile	181,02 Hm ³	49,3 Hm ³
Cote de la retenue normale	-	111,50 m
Volume régularisable	AEP : 153 Hm ³	AEP : 30 Hm ³ IRR : 40,5 Hm ³
Apport moyen annuel	167,5 Hm ³	39 Hm ³
Apport annuel de sédiment	265000 T	312000T/an
Crue de travaux (T=20 ans)	Q= 1250 m ³ /s	-
Crue centennale (T=100 ans)	Q= 1850 m ³ /s	Q= 900 m ³ /s
Crue projet (T=1000 ans)	Q= 2450 m ³ /s	Q= 1000 m ³ /s
Crue dix-millénaire (T=10000 ans)	Q= 3200 m ³ /s	Q= 3000 m ³ /s
Taux de dégradation spécifique du BV	600T/km ²	2000T/km ²

10.3 Etude climatologique des barrages sélectionnés

Nous présentons ci-dessous notre démarche de collecte et de comblement des données qui sont nécessaires au fonctionnement du modèle de simulation (Pluie, ETP, Débit)

10.3.1 Données sur Taksebt

Dans cette phase de développement de la thèse, on a utilisé les données disponibles de différentes origines, soit fournies directement par l'ANRH, contenues dans l'APD et

monographie des deux barrages, dans les études MRE-Programme GIRE (pour Boukourdane) ou dans l'étude d'avant projet détaillé du barrage de Zaouia (Tizi ousou) Avril 2012 (Barrage près de Taksebt).

a. Pluviométrie

Dans le tableau ci-dessous (Tab. III.3), sont présentés les caractéristiques des différentes stations pluviométriques disponibles pour le bassin du barrage de Taksebt.

Tableau III.2 Caractéristique principales des stations pluviométriques

Code de la station	Nom de la station	Date de début de fonctionnement	Nbre mois complet de sept 1970-dec 2011	Nbre lacune de sept 1970 - dec 2011	% des mois complet
02.17.01	Ouadhias	Janvier 1971	384	112	71
02.17.05	Larbaa Nathirathen	Septembre 1970	474	22	95
02.17.12	Beni Yenni	Avril 1973	460	36	92
02.17.16	Ait Ouabane	Novembre 1988	273	223	18
02.17.17	Ait Djemaa	Décembre 1988	276	220	20

Source : ANRH

La station retenue dans le cadre de cette étude est la station de **Larbaa Nathirathen** (Tizi Ouzou) toujours fonctionnelle. Les caractéristiques de cette station sont présentées dans le tableau (Tab. III.4).

Tableau III.3 Caractéristique de la station de Larbaa Nathirathen

Code	station	Coordonnées			Date de début de fonctionnement
		X	Y	Z	
02.17.05	Larbaa Nathirathen	634,9	370,8	980	Septembre 1970

On a essayé de compléter la série de précipitation 02.17.05 par corrélation avec les valeurs observées aux stations voisines. Les valeurs des corrélations obtenues entre les séries de précipitations mensuelles sont indiquées dans le tableau III.5.

Tableau III.4 Corrélation entre les séries mensuelles de précipitation

Stations	OUADHIAS 02.17.01 (Alt=400 m)	BENI YENNI 02.17.12 (Alt=760 m)	AIT OUABANE 02.17.16 (Alt=960 m)	AIT DJEMAA 02.17.17 (Alt=840 m)
LARBAA NATH IRATHEN 02.17.05 (Alt=980 m)	0,94	0,96	0,88	0,94

On complète la station 02.17.05 par la station 02.17.12 et la station 02.17.17 selon les données disponibles (le comblement des lacunes se fait par remplacement direct des données manquantes par les données disponibles des stations voisines retenues après la corrélation).

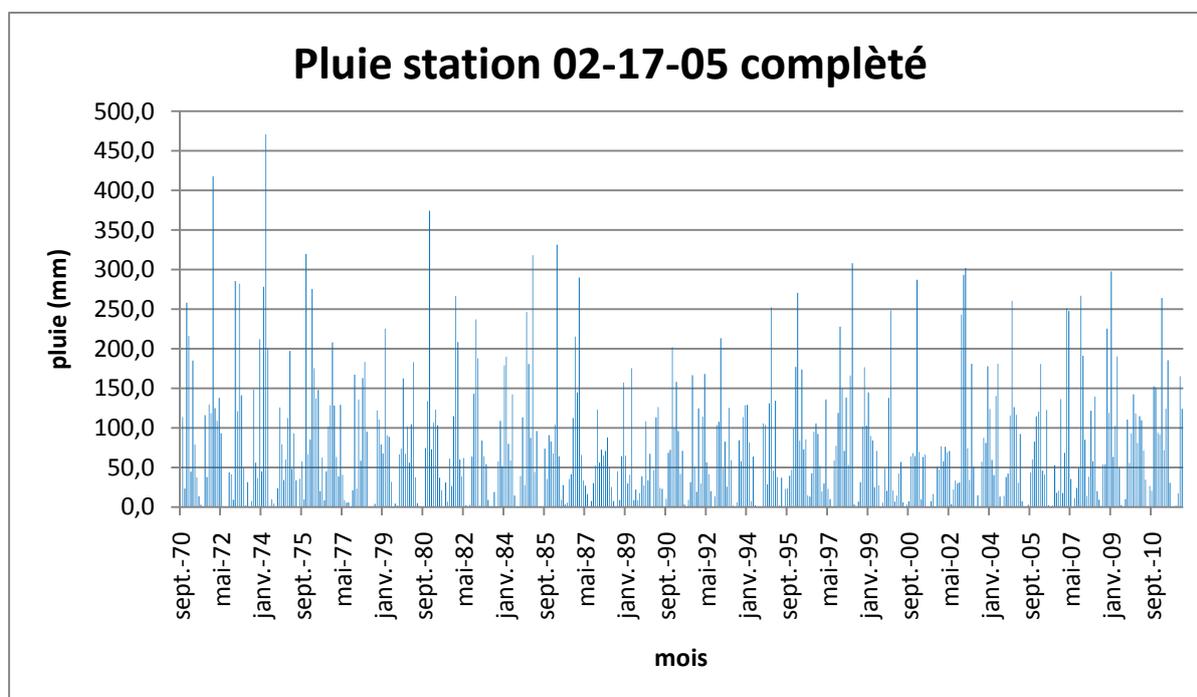


Figure III.3. Pluie mensuelle de la station 02-17-05 après comblement des lacunes

b. Hydrométrie (débit)

La station hydrométrique récoltée est la station de RN30. Ses principales caractéristique sont résumé dans ci-dessous (Tab. III.5)

Tableau III.5 Caractéristique principales des stations hydrométrique 02.17.15

Code de la station	Sous Bassin	Station	Début de fonctionnement	Fin de mesure	Nombre de mois complet
02.17.15	Dis	RN 30	septembre 1979	Aout 1986	84

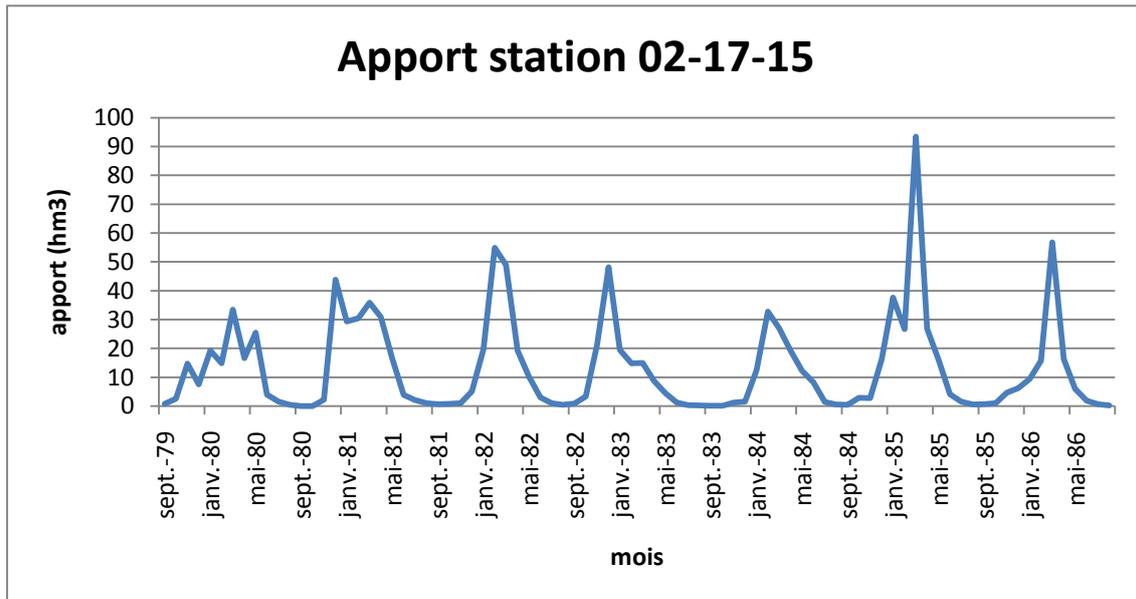


Figure III.4 Apport mensuelle de la station 02-17-15

Nous remarquons que la période d'observation des débits est très petites (84 mois soit 7 ans) et la fiabilité des données de cette station n'est pas assuré. Pour cela, nous ne pouvons pas l'utiliser dans le cadre de notre étude. Et vu la mise en eau récente du barrage (2004) nous avons décidé de prendre la série de débits/apports qui est présenté dans la monographie de Taksebt (Volume 1a) comme donnée pour faire tourner notre modèle (série de donnée [septembre 1970-aout 1990]).

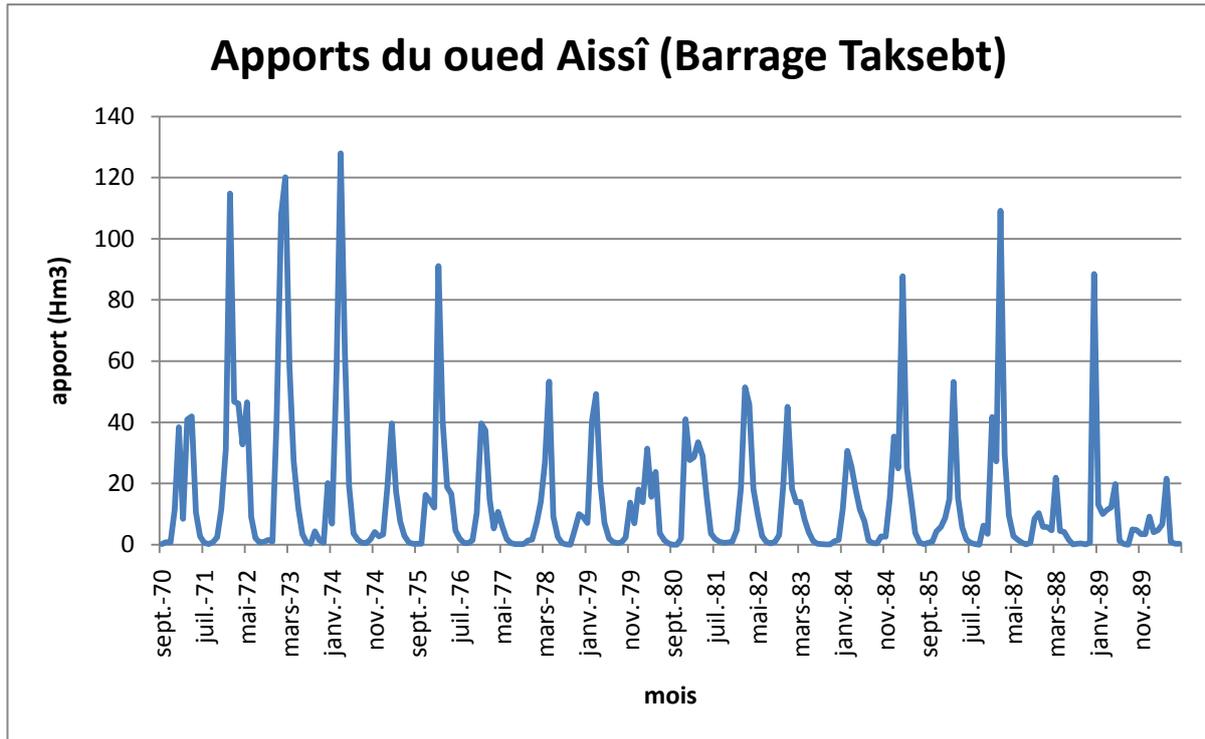


Figure III.5 Apport mensuelle de l'oued Aissî avant la construction du barrage Taksebt

c. Calcul de l'ETP :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau maximale susceptible de s'évaporer au niveau d'un sol.

- Application de la méthode de Thornthwaite :

La méthode de Thornthwaite se base essentiellement sur les données de précipitations et de températures mensuelles. Elle consiste à calculer pour chaque mois par des formules ou abaques donnés par l'auteur une évapotranspiration potentielle, que l'on peut assimiler au pouvoir évaporant de l'atmosphère sur le bassin considéré.

L'ETP est calculée par la formule :

$$ETP = 16(10 T/I)^a \quad \text{Eq(III.16)}$$

$$a = 1.6 I/100 + 0.5 \quad \text{Eq(III.17)}$$

$$ETP_c = ETP \times K \quad \text{Eq(III.18)}$$

$$I = \text{Somme des indices mensuelles de l'année, } I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Eq(III.19)}$$

avec $i = (T/5)^{1.514}$ Eq(III.20)

i= Indice thermique mensuelle

T= Température moyenne mensuelle en °C

ETP doit être corrigée en fonction d'un coefficient de correction K qui dépend de la latitude de la zone donc de la durée d'insolation.

**Tableau III.6 ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tizi Ouzou
(1995-2004)**

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Tmoy mens °C	25,1	21,1	15,3	11,8	11	11,8	14,2	16,1	20,1	25,4	28,4	29,2
I	11,50	8,85	5,44	3,67	3,30	3,67	4,86	5,87	8,22	11,71	13,87	14,47
I	95,42											
A	2,03											
ETP (mm)	114,0	80,1	41,7	24,6	21,4	24,6	35,9	46,3	72,6	116,8	146,4	154,9
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
ETPc (mm)	117,4	77,7	35,9	20,7	18,6	20,9	36,9	50,9	87,8	142,4	181,6	179,7

Source : ONM

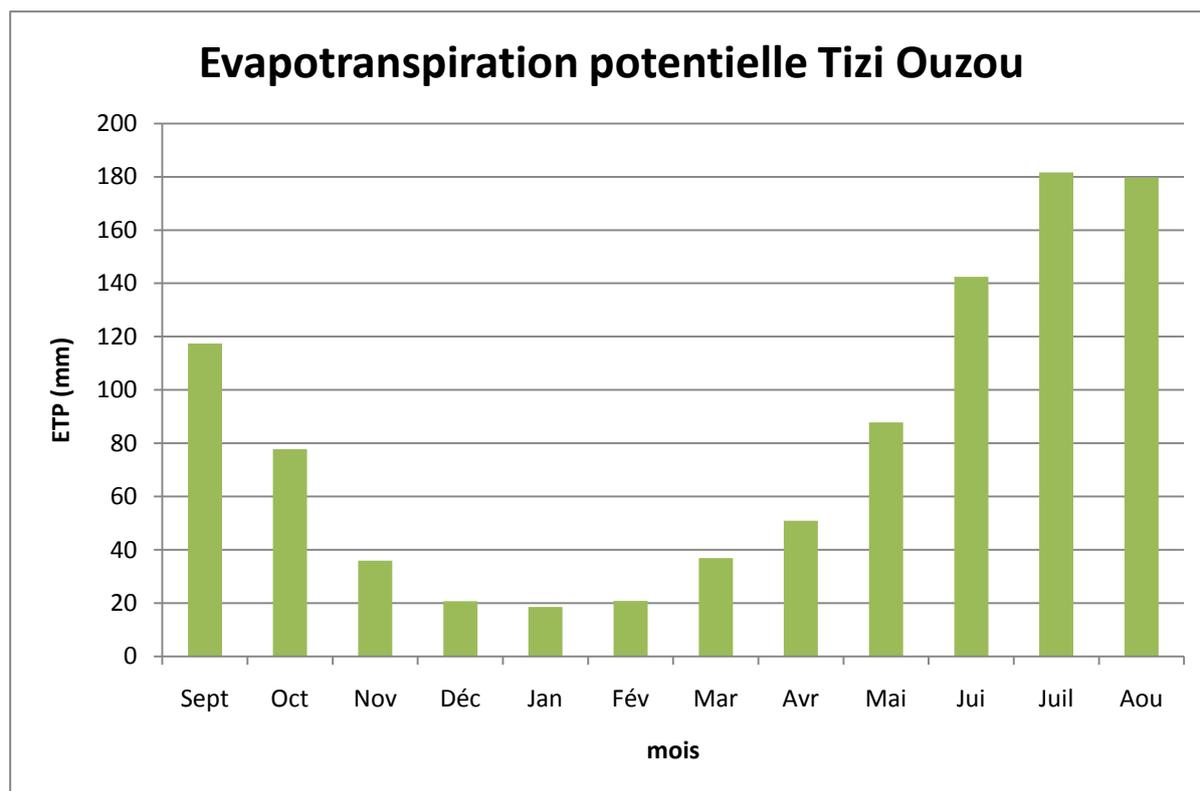


Figure III.6 Evaluation de l'ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tizi Ouzou (1995-2004)

10.3.2 Donnée sur Boukourdane

a. Pluviométrie

Dans le tableau ci-dessous (Tab. III.7), sont présentés les caractéristiques des différentes stations pluviométriques disponibles pour le bassin du barrage de Boukourdane.

Tableau III.7 Caractéristique principales des stations pluviométriques

Code de la station	Nom de la station	Date de début fonctionnement	Nbre mois complet de sept 1970-dec 2011	Nbre lacune de sept 1970 - dec 2011	% des mois complet
02.03.01	Bordj Ghobrini	septembre 1970	468	28	94
02.03.06	meurad barrage	septembre 1970	486	10	98
02.03.07	Djebabra	septembre 1970	476	20	96
02.03.13	Sidi ghiles	juin 1973	460	36	92
02.03.25	Pont CW 7 Hadjout	novembre 1972	426	70	84

Source : ANRH

La station retenue dans le cadre de cette étude est la station de **meurad barrage** (Tipaza) toujours fonctionnelle. Les caractéristiques de cette station sont présentées dans le tableau (Tab. III.8)

Tableau III.8 Caractéristique de la station de meurad barrage

Code	station	Coordonnées			Date de début de fonctionnement
		X	Y	Z	
02.03.06	meurad barrage	473.8	349.9	300	septembre 1970

On a essayé de compléter la série de précipitation de la station 02.03.06 par corrélation avec les valeurs observées aux stations voisines. Les valeurs des corrélations obtenues entre les séries de précipitations mensuelles sont indiquées dans le tableau III.9.

Tableau III.9 Corrélation entre les séries mensuelles de précipitation

Stations	Bordj Ghobrini 02.03.01 (Alt=15 m)	Djebabra 02.03.07 (Alt=440 m)	Sidi ghiles 02.03.13 (Alt=15 m)	Pont CW 7 Hadjout 02.03.25 (Alt=59 m)
meurad barrage 02.03.06 (Alt=300 m)	0,82	0,86	0,83	0,90

On complète la station 02.03.06 par la station 02.03.07 et la station 02.03.25 selon les données disponibles (le comblement des lacunes se fait par remplacement direct des données manquantes par les données disponibles des stations voisines retenues après la corrélation).

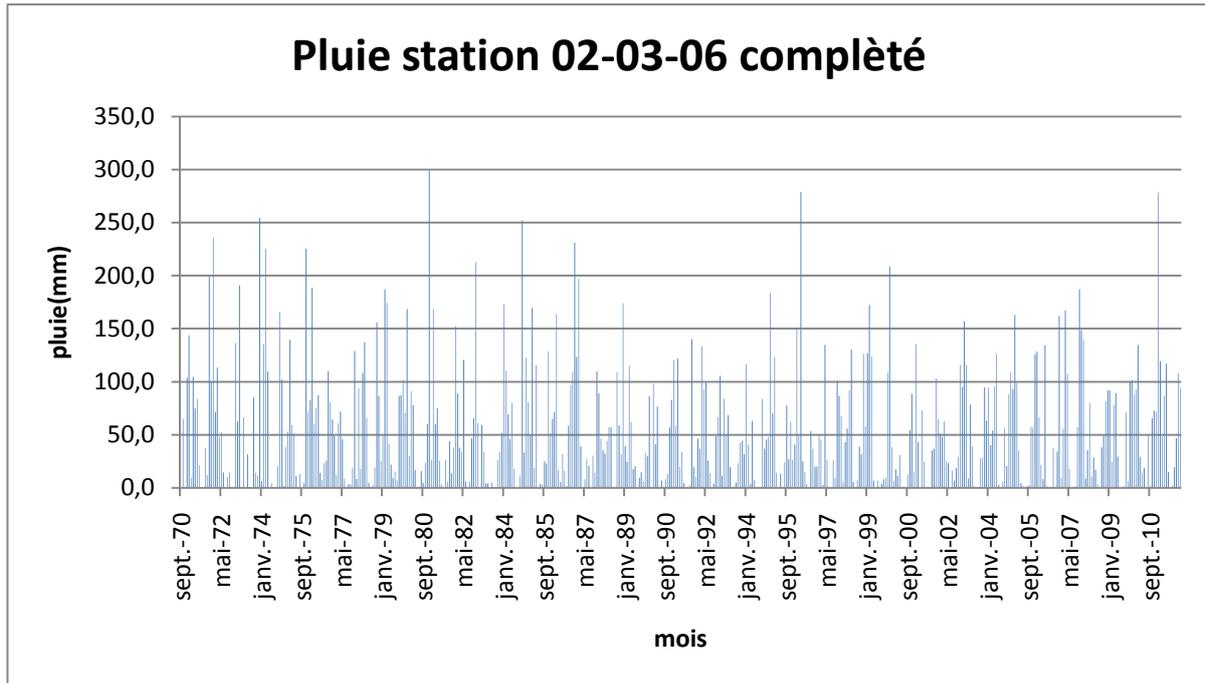


Figure III.7. Pluie mensuelle de la station 02-03-06 après comblement des lacunes

b. Hydrométrie (débit)

La station hydrométrique récoltée est la station de B. Ghobrini. Ses principales caractéristique sont résumées ci-dessous (Tab. III.10)

Tableau III.10 Caractéristique principales des stations hydrométrique 02.03.01

Code de la station	Sous Bassin	Station	Début de fonctionnement	Fin de mesure	Nombre de mois complet
02.03.01	Côtier Cherchel	B. Ghobrini	Janvier 1977	Aout 1988	260

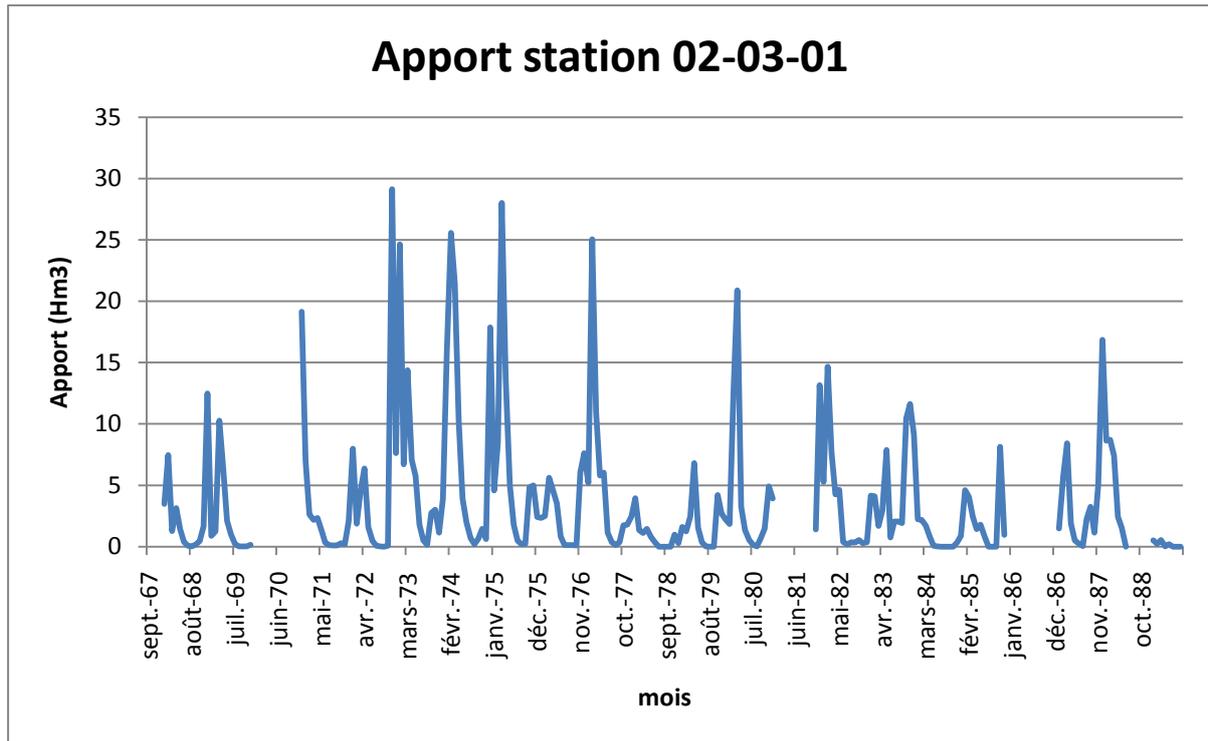


Figure III.8 Apport mensuelle de la station 02-03-01

Nous remarquons que la période d'observation des débits est relativement grande par rapport a la station de Taksebt, mais elle contient beaucoup de lacunes, pour cela nous ne pouvons pas l'utiliser dans le cadre de notre étude. Nous avons décidé de prendre la série des apports qui est présentée dans le bulletin d'exploitation du barrage de Boukourdane comme donnée pour faire tourner notre modèle (série de donnée [janvier 1996-décembre 2011]).

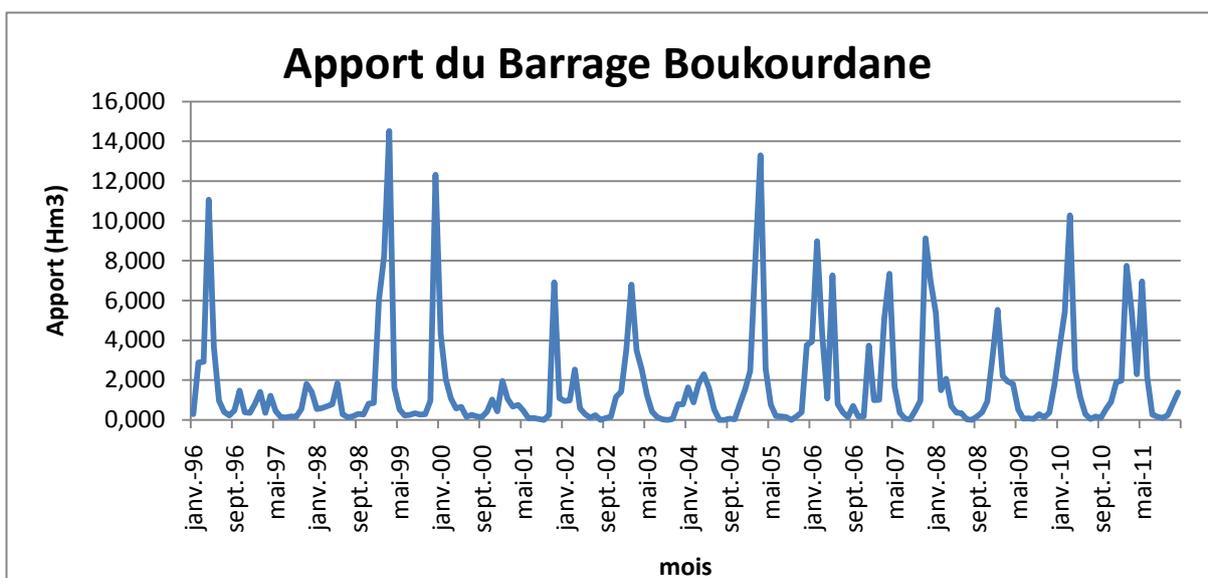


Figure III.9 Apport mensuelle de l'oued El Hachem du barrage de Boukourdane

c. Calcul de l'ETP :

Tableau III.11 ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tipaza (1992-2007)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
T° moy mens	23,7	20,6	16,8	14,4	13,1	13,2	15,4	17,2	19,9	23,1	25,6	26,5
i	10,57	8,51	6,27	4,97	4,30	4,35	5,48	6,46	8,12	10,14	11,82	12,48
I	93,47											
a	2,00											
ETP (mm)	103,2	77,5	51,7	38,1	31,4	31,9	43,3	53,9	72,8	97,6	119,6	128,5
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
ETPc	106,3	75,1	44,5	32,0	27,4	27,1	44,6	59,3	88,1	119,1	148,2	149,1

Source : ONM

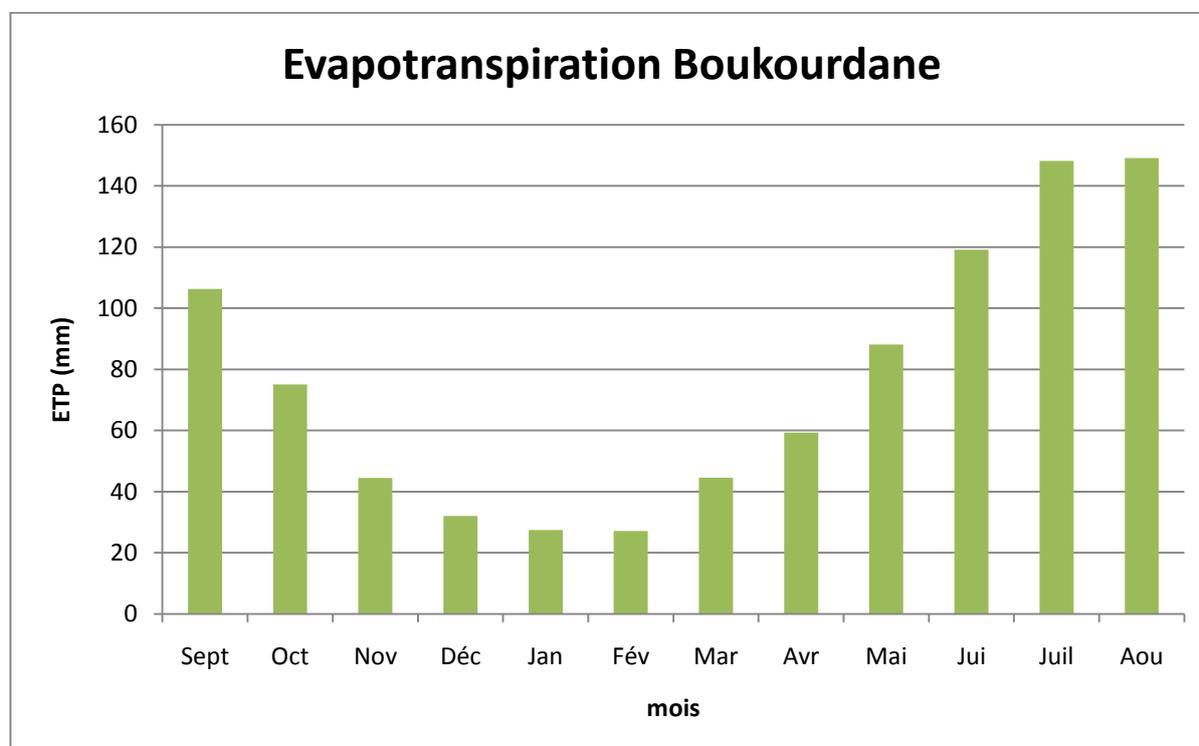


Figure III.10 Evaluation de l'ETP mensuelle par la Formule de Thornthwaite à la station de Tipaza (1992-2007)

11. APPLICATION DU MODELE AU BARRAGE SELECTIONNES

11.1 Mise en œuvre du modèle

Elle se fait en deux étapes :

- La calibration ou le calage consiste à déterminer les paramètres du modèle c'est-à-dire ceux qui restitue le mieux la réponse du bassin aux sollicitations. On définit une fonction critère qui permet de juger de la qualité du travail. Cela passe par une optimisation des paramètres afin d'obtenir le meilleur critère objectif.
- La validation sera l'opération inverse du calage permettant d'évaluer la performance du modèle (muni des paramètres déterminés en calibration) à décrire fidèlement le processus hydrologique au sein du bassin versant. Pour ce faire, on fait tourner le modèle pendant la période retenue qui est autre que celle ayant servi à la calibration.

On compare ensuite les résultats ainsi obtenus aux valeurs observées.

Avant de se lancer dans ce processus, il nous faudra opérer un certain nombre de choix notamment les périodes de calage et de validation, la fonction critère...

11.2 Choix de la période de calage et de validation

Pour la période du calage et validation du modèle, nous avons pris 2/3 de la période des données pour faire le calage et 1/3 pour faire la validation (Tableau III.12).

Tableau III.12 Période de Calage et Validation pour les deux barrages

	Taksebt			Boukourdane		
	Début	Fin	Nbre mois	Début	Fin	Nbre mois
Période de données	Septembre 1970	Aout 1990	240	Janvier 1996	Décembre 2011	192
Calage	Septembre 1970	Décembre 1983	160	Janvier 1996	Aout 2006	128
Validation	Janvier 1984	Aout 1990	80	Septembre 2006	Décembre 2011	64

11.3 Choix de la fonction critère du calage et de validation

Pour juger la qualité du calage ou la validation, il nous faudra faire appel à des fonctions objectives ou fonctions de critères qui permettent d'estimer, l'écart entre les sorties calculées et les débits observés. Pour ce qui est de notre étude, nous avons utilisé dans un premier temps, un critère visuel qui consiste à représenter sur un graphique les valeurs observées des débits en fonction des valeurs simulées. Ensuite, ce critère visuel a été quantifié par la fonction critère de Nash qui est incorporée à la feuille de calcul Excel réalisé par Cemagref (Octobre 2006). La fonction de critère de Nash est donnée par l'expression suivante :

$$\text{Critère de Nash} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{\text{Cal}}^i - Q_{\text{Obs}}^i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{\text{Cal}}^i - Q_{\text{Obs-moy}}^i)^2} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq(III.22)}$$

Q_{cal} : débit calculé

Q_{obs} : débit observé

$Q_{\text{obs-cal}}$: débit observé moyen

Le tableau ci-dessous montre les différentes performances des intervalles du Critère de NASH.

Tableau III.13 Les intervalles du critère de Nash et leur Performances

Intervalle Critère Nash	75% < NSH < 100	65% < NSH < 75%	50% < NSH < 65%	NSH < 50%
Performance	Très Bien	Bien	Satisfaisant	Insatisfaisant

NB : la modélisation est dite parfaite pour critère de Nash=100%

11.4 Détermination des paramètres et optimisation

L'optimisation des paramètres a pour but de trouver le jeu de paramètres qui rapproche le plus possible le comportement du modèle à celui du bassin modélisé, le degré de similitude étant évalué par le critère de Nash. La méthode d'optimisation employée est celle avec la fonction "solveur" de Microsoft Excel. Cette fonction permet une rapide recherche de la valeur optimale de la fonction de critère de Nash localisée dans une cellule appelée cellule cible. Les paramètres X1 et X2 sont contenus dans des cellules liées indirectement à la cellule cible. La détermination du critère de NASH Optimale passera par une variation des paramètres X_1 et X_2 .

11.5 Présentation des résultats numériques

Dans le cadre de la simulation des apports mensuels des deux barrages nous avons pris comme données d'étude les données étudiées ci-dessus (pluie, ETP, Apport/débit).

Avant d'introduire nos données dans le modèle, nous convertissons nos apports mensuels (Hm3) en débits mensuels surfaciques (mm) d'après la relation suivante :

$$\text{Débit (mm)} = \frac{\text{App. } 1000}{S_{\text{contrôle}}} \quad \text{Eq(III.23)}$$

App : Apport du barrage en million m3

$S_{\text{contrôle}}$: la surface ou la pluie sera collecté par le barrage

$S_{\text{contrôle}}(\text{Taksebt}) = 448 \text{ km}^2$

$S_{\text{contrôle}}(\text{Boukourdane}) = 160 \text{ km}^2$

➤ BARRAGE TAKSEBT

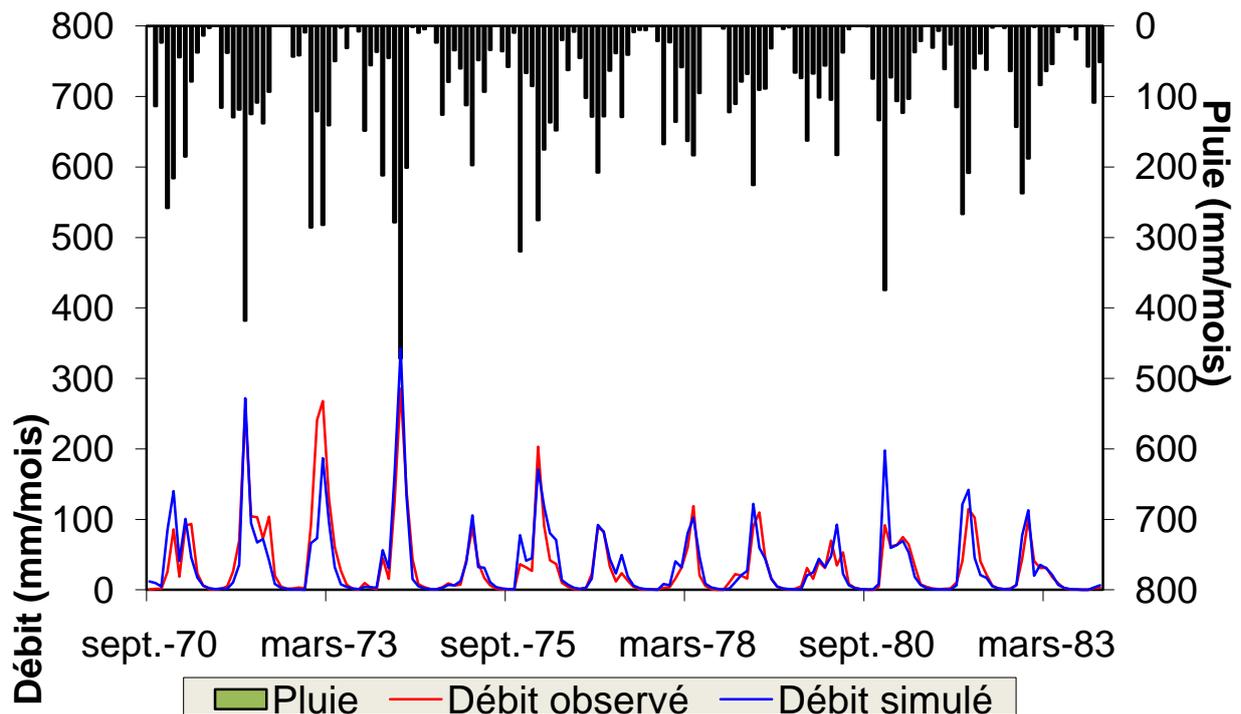


Figure III.11 Calibration du modèle GR2M pour les apports du Barrage Taksebt

Pour $X1=5,56$ et $X2=0,81$ on a : **critère Nash = 82,5%** (Degré : Très bien)

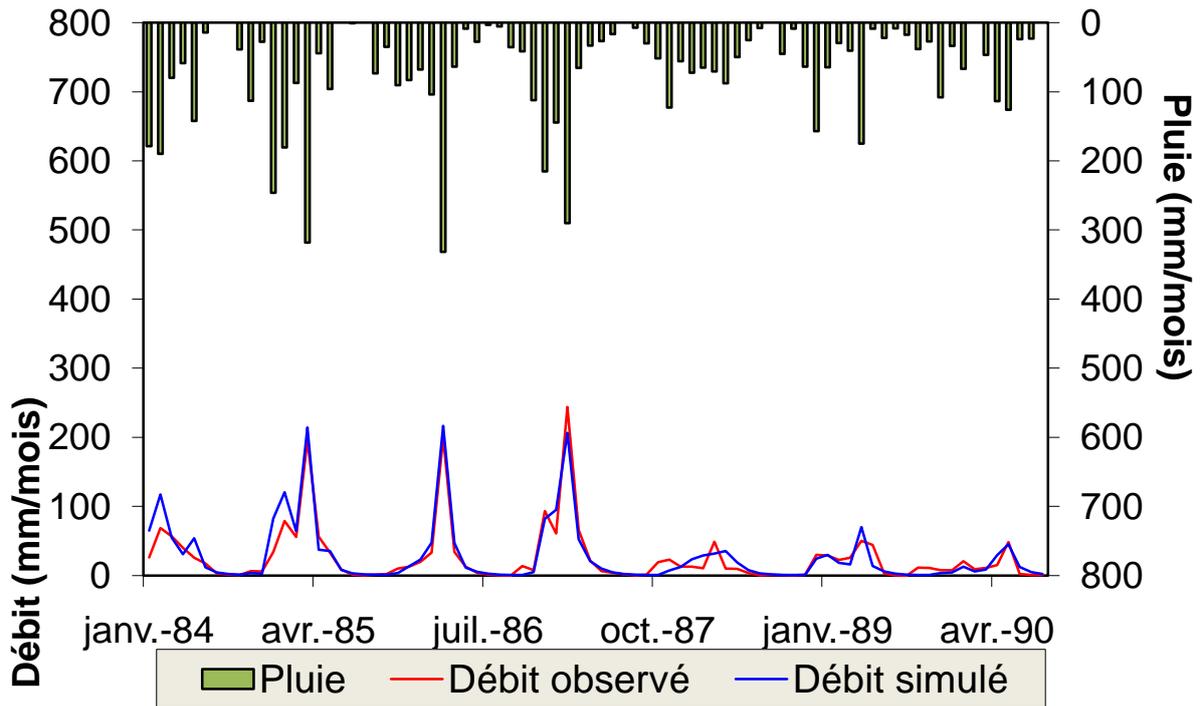


Figure III.12 Validation du modèle GR2M pour les apports du Barrage Taksebt
Pour $X1=5,56$ et $X2=0,81$ on a : critère Nash = 78,2% (Degré : Très bien)

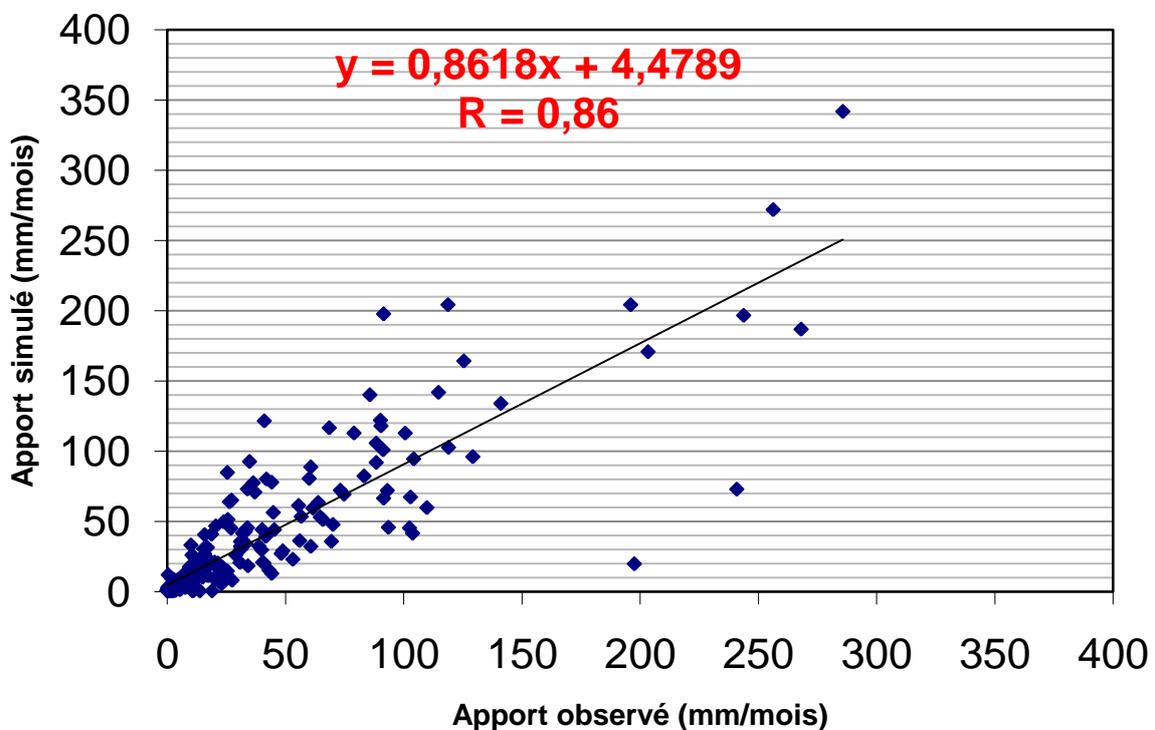


Figure III.13 Corrélation entre les apports observés et calculés par le GR2M
(Barrage Taksebt)

Après avoir calé et simulé le modèle GR2M pour le barrage de Taksebt, nous avons procédé à l'extension des séries de débit en gardant les mêmes données pour l'évapotranspiration potentielle moyenne pour chaque mois et les paramètres de calage du modèle obtenus ci-dessus ($X1=5,56$ et $X2=0,81$), et en utilisant les données pluviométriques de l'ANRH [septembre 1990- Décembre 2011] pour simuler les apports du barrage de septembre 1990 jusqu'à décembre 2011 (figure III.14 et III.15). Ces résultats vont être utilisés dans la simulation du volume de remplissage du barrage depuis sa mise en service en décembre 2007 jusqu'à la fin de nos données pluviométriques en décembre 2011.

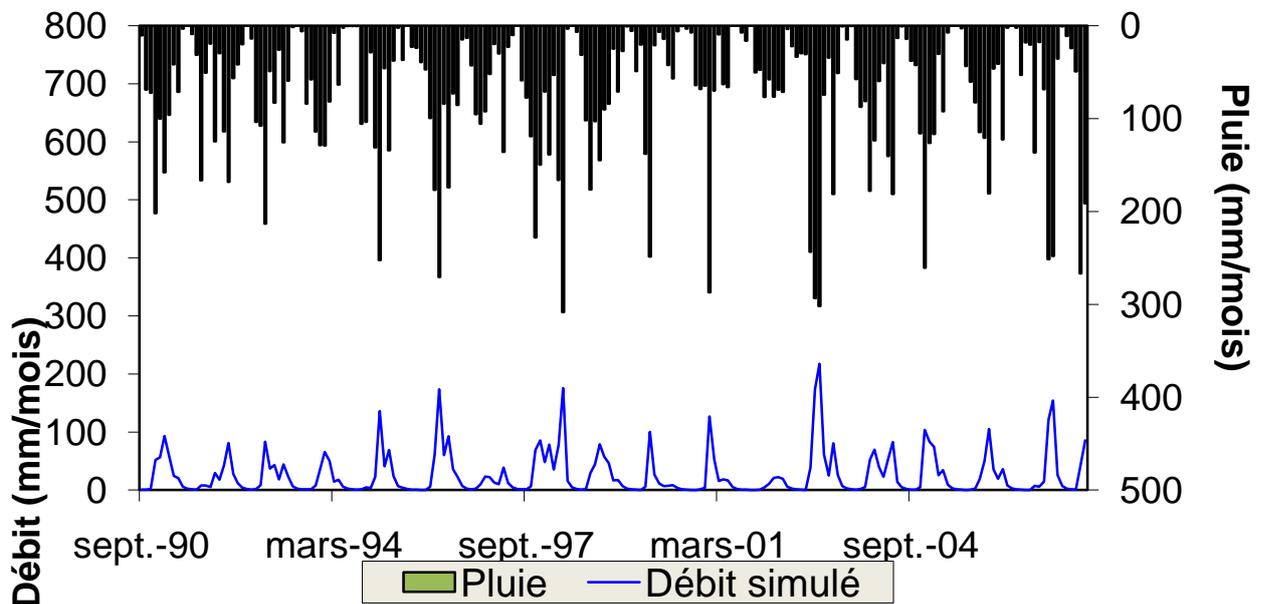


Figure III.14 Extension de la série de données du barrage Taksebt par le modèle GR2M (septembre 1990-novembre 2007)

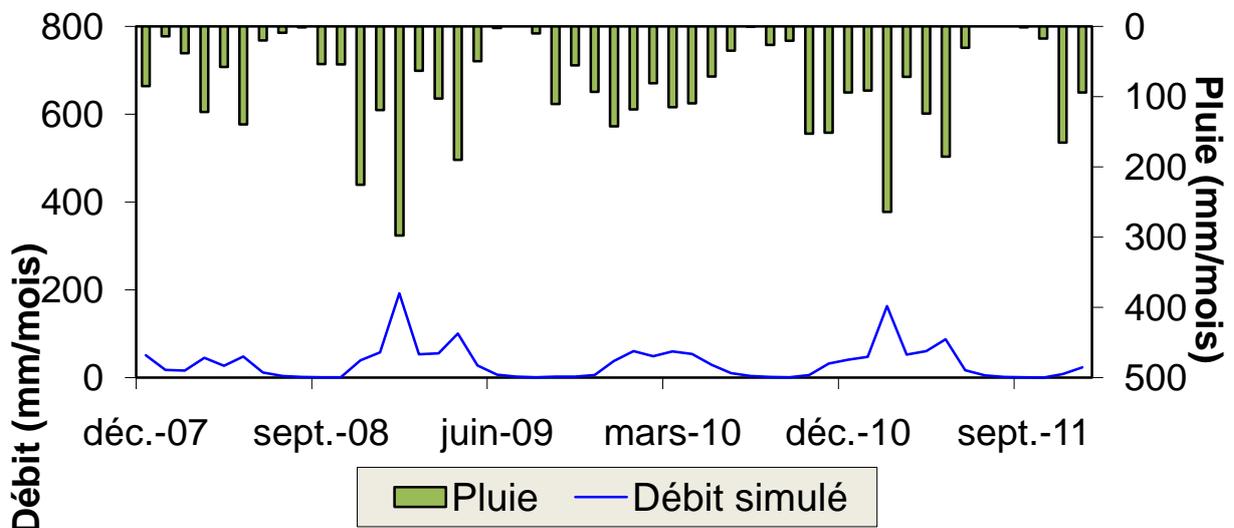


Figure III.15 Extension de la série de données du barrage Taksebt par le modèle GR2M

(Décembre 2007- Décembre 2011)

f. Méthodologie de la simulation du volume de remplissage de Taksebt

A fin de simuler le volume de remplissage nous allons utiliser les bulletins d'exploitation mensuels des barrages fourni par l'ANBT et nous allons reproduire le bilan mensuel de remplissage du barrage avec les Apport simulés et nous le comparons au volume réel du barrage (Figure III.16).

$$V_f = V_d + \text{App}_{\text{simulé}} - \text{AEP} - \text{EVAP} - \text{Autre} \quad \text{Eq(III.21)}$$

V_f Volume début du mois

V_d Volume fin du mois

$\text{App}_{\text{simulé}}$ Apport simulé par le GR2M

AEP Volume distribué pour l'alimentation en eau potable

EVAP Evaporation du barrage

$\text{Autre} = \text{Fuite} + \text{Lame déversé} + \text{transfert} + \text{Vidange de fond}$

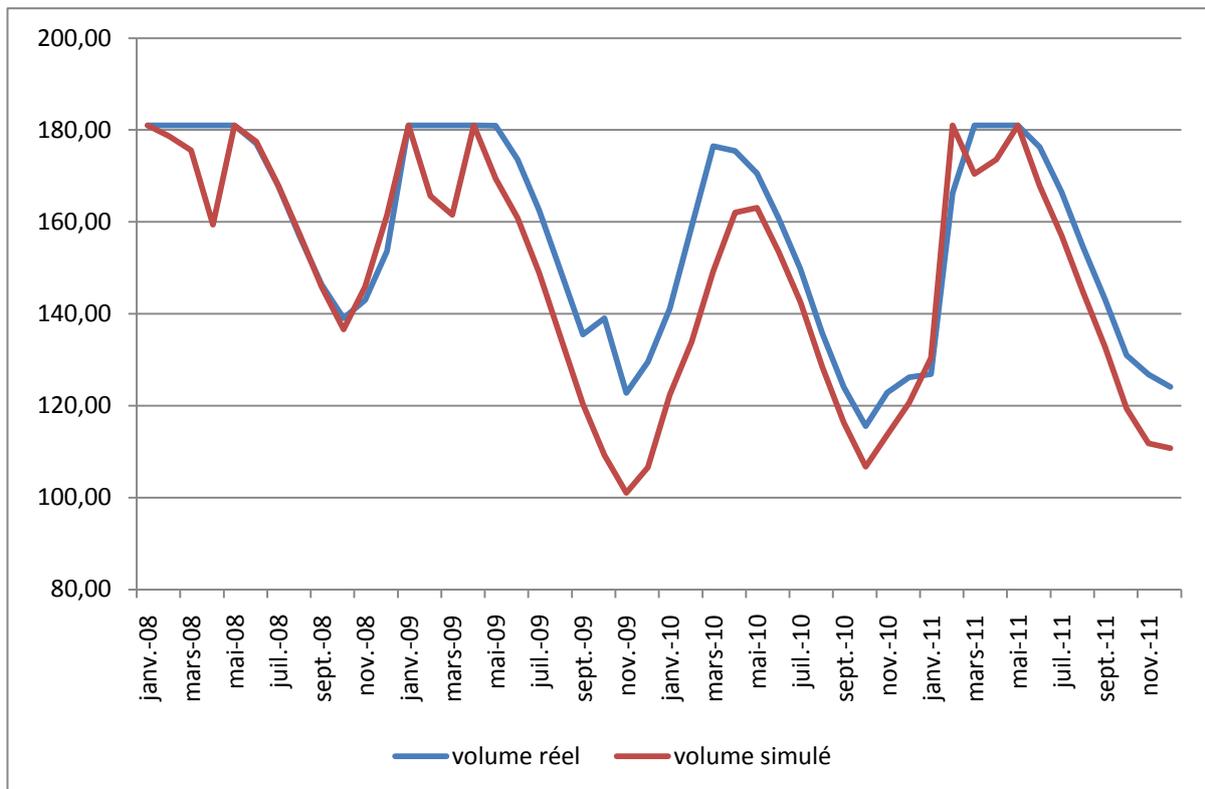


Figure III.16 Simulation du volume de remplissage du barrage de Taksebt

➤ BARRAGE DE BOUKOURDENE

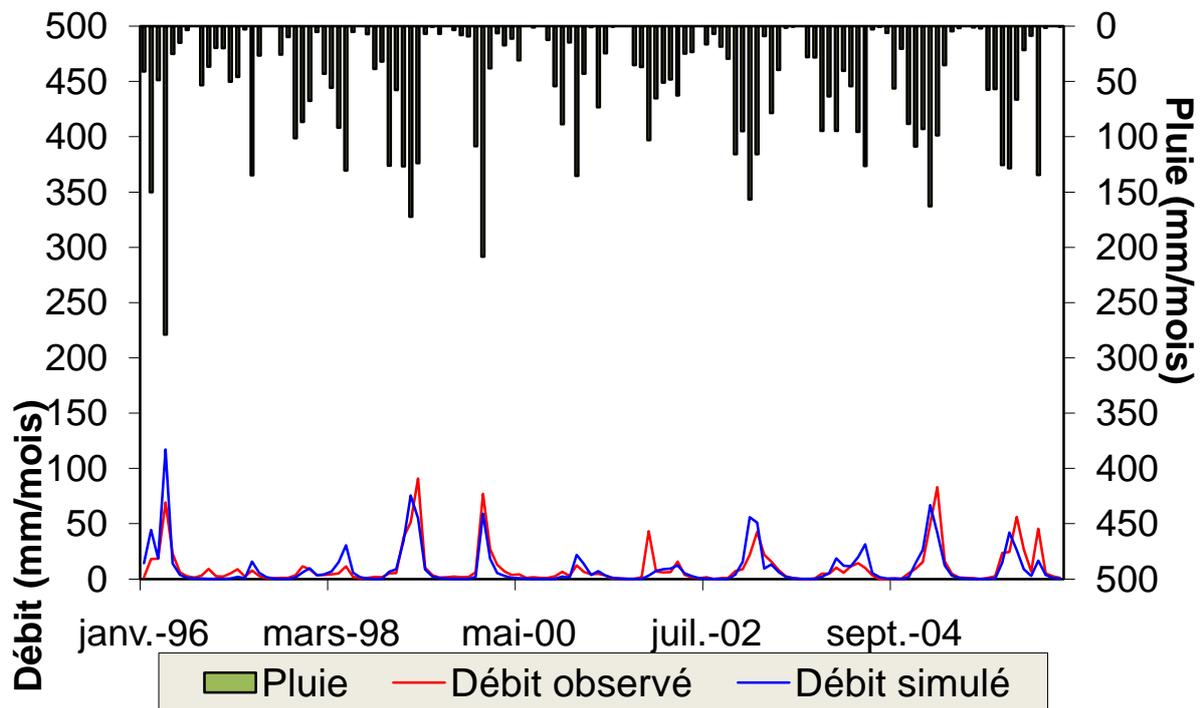


Figure III.17 : Calibration du modèle GR2M pour les apports du Barrage Boukourdene

Pour $X1=5,12$ et $X2=0,68$ on a : critère Nash = 79,4% (Degré : Très bien)

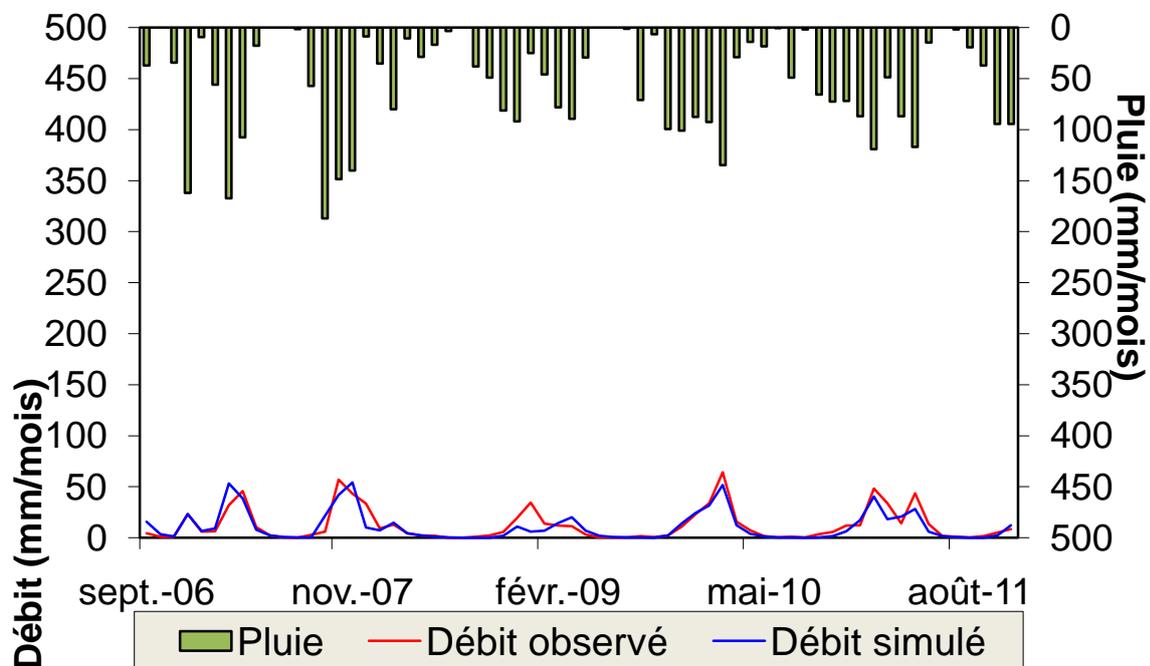


Figure III.18 Validation du modèle GR2M pour les apports du Barrage Boukourdene

Pour $X1=5,12$ et $X2=0,68$ on a : critère Nash = 74,6% (Degré : Bien)

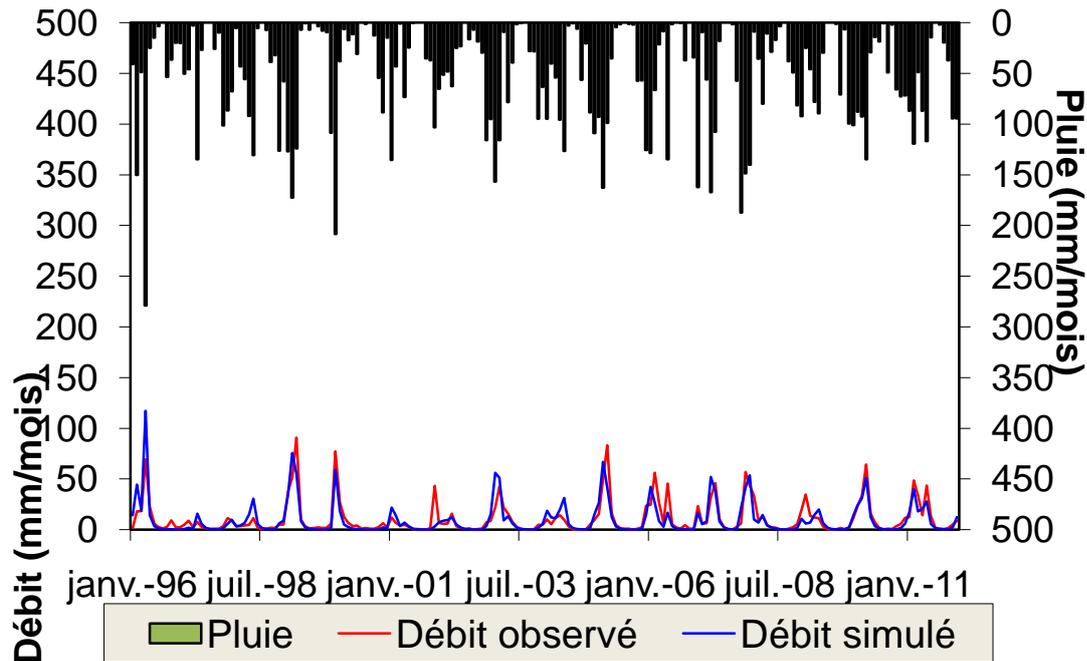


Figure III.19 Reproduction par le modèle GR2M des apports du Barrage Boukourdane

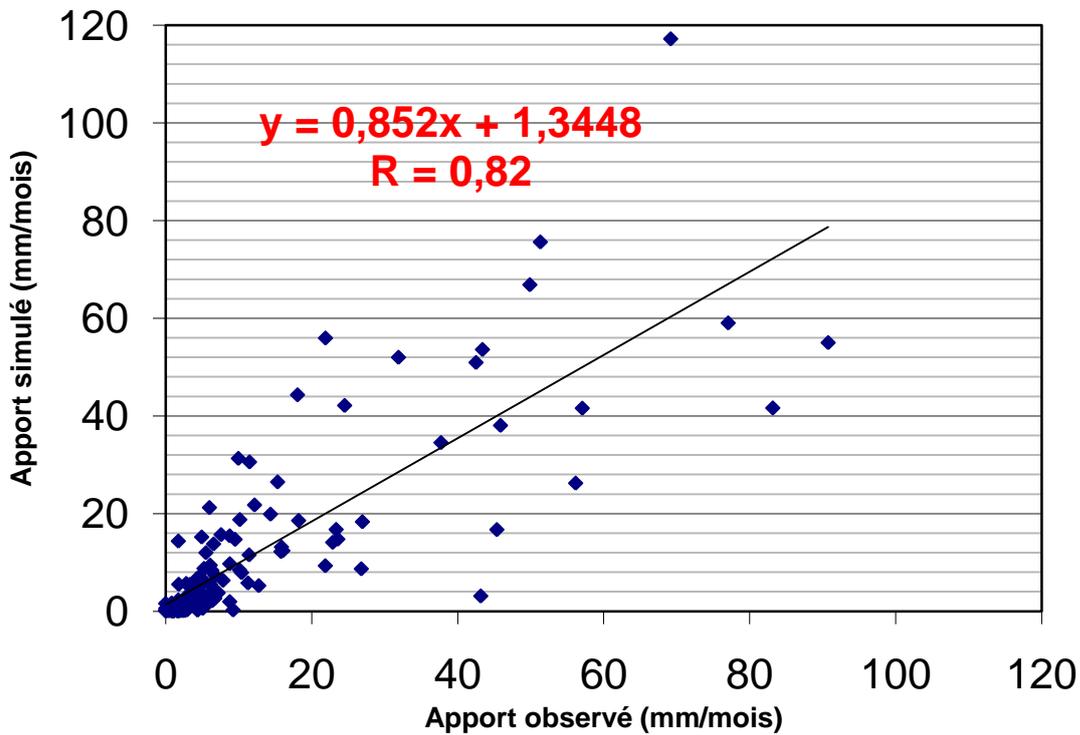


Figure III.20 Corrélation entre les apports observés et calculés par le GR2M
(Barrage Boukourdane)

g. Méthodologie de la simulation du volume de remplissage de Boukourdane

Dans ce cas de figure, pour simuler le volume de remplissage du barrage de Boukourdane nous allons utiliser les bulletins d'exploitation mensuels de ce barrage fourni par l'ANBT pour reproduire le bilan mensuel de remplissage du barrage en utilisant les apports simulés par le modèle GR2M comme nous l'avons fait pour le barrage de Taksebt.

$$V_f = V_d + App_{simulé} - AEP - EVAP - Autre$$

Eq(III.22)

V_f : Volume début du mois

V_d : Volume fin du mois

App_{simulé} : Apport simulé par le GR2M

AEP : Volume distribué pour l'alimentation en eau potable

EVAP : Evaporation du barrage

Autre = Fuite + Lame déversé + transfert + Vidange de fond

Après la reproduction du bilan d'exploitation du barrage, nous le comparons au volume réel du barrage comme le montre la figure ci-dessous (Figure III.21).

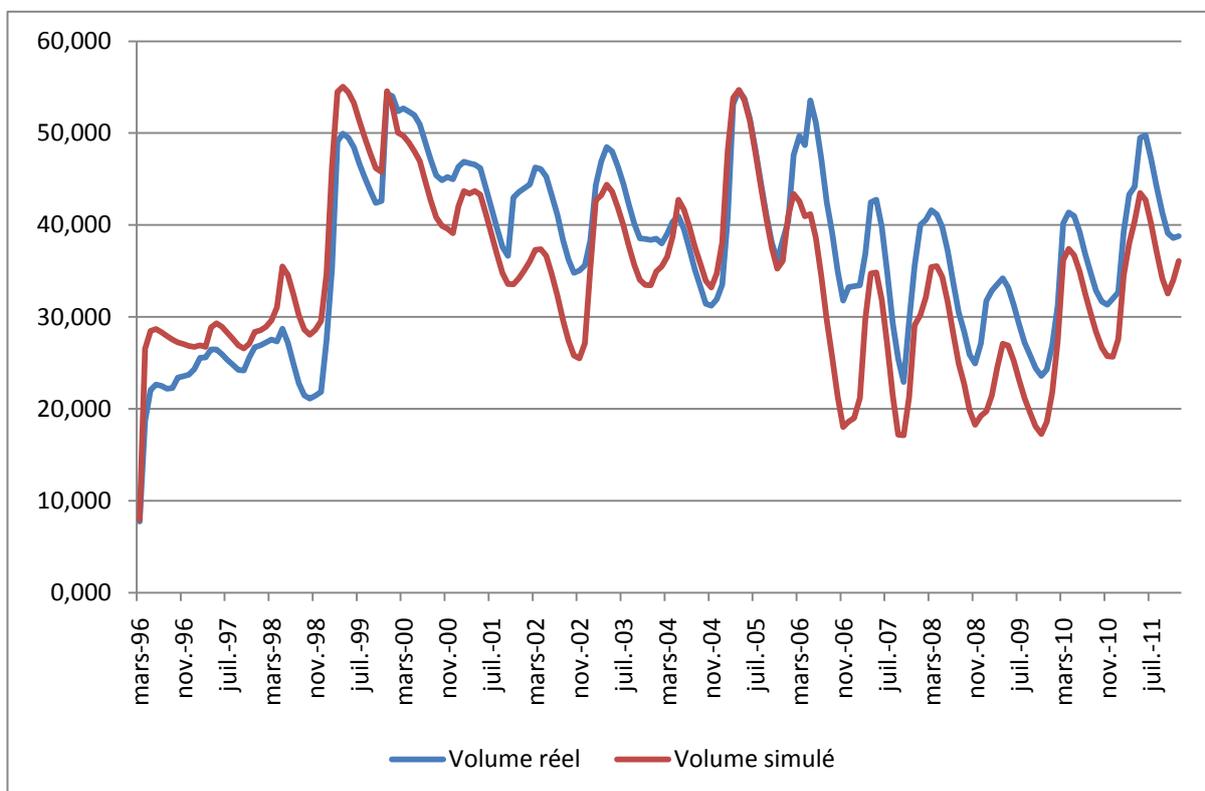


Figure III.21 Simulation du volume de remplissage du barrage de Boukourdane

12.PREVISION DES VOLUMES DE REMPLISSAGE DES BARRAGES

Dans ce qui suit nous allons prédire les volumes de remplissage des barrages Taksebt et Boukourdane pour cela nous allons simuler grâce au modèle GR2M les apports au deux barrage en prenant deux cas de figures le 1^{er} c'est que l'année 2012 sera l'année la plus sèche de l'échantillon [1971-2011] et dans le deuxième cas on la prendra comme la plus humide en supposant que les sorties des barrages sont les même que pour l'année 2011 et ainsi simuler le volume du barrage pour cette année en reproduisant le bilan d'exploitation.

➤ BARRAGE DE TAKSEBT

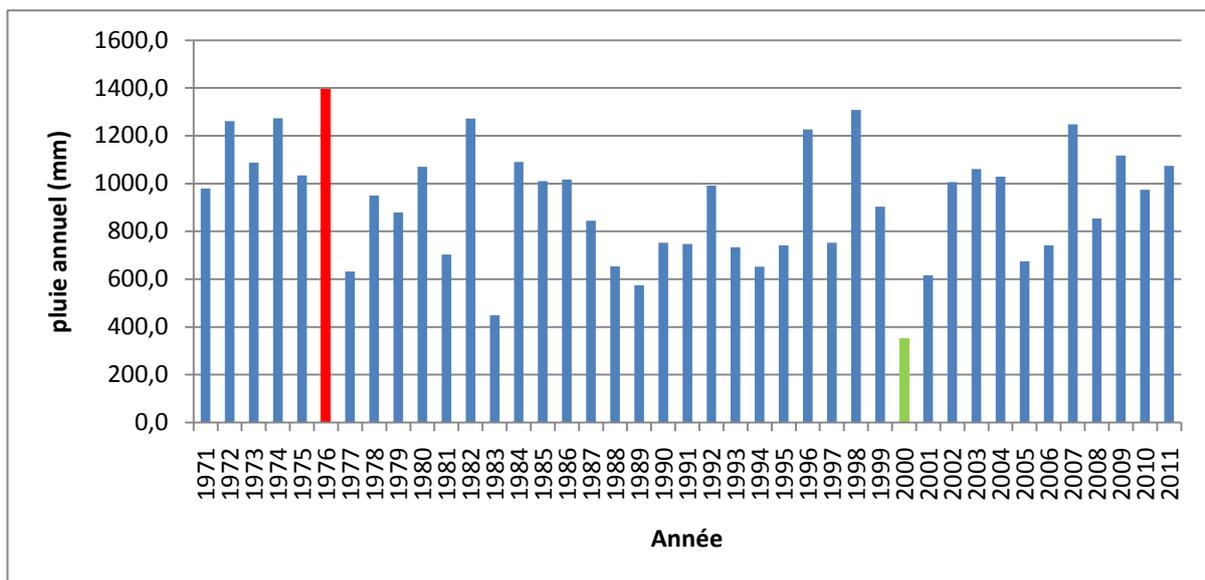


Figure III.22 Pluie annuel de la station 02-03-06 après comblement des lacunes

D'après la figure ci-dessus l'année la plus sèche c'est 2000 avec une précipitation annuel de 353 mm, et l'année la plus humide c'est 1975 avec une précipitation annuel de 1394,8 mm.

Le volume du barrage a la fin du mois de décembre 2011 est de 124,12 H m³.

*CHAPITRE III : MODELISATION DU VOLUME DE REMPLISSAGE DES BARRAGES
UTILISATION DU MODELE GR2M*

Prévision

1^{er} cas : l'année 2012 est supposé la plus sèche avec une précipitation annuel de 353 mm et les sorties du barrage sont les mêmes que l'année 2011.

Tableau III.14 bilan d'exploitation du Barrage Taksebt avec apport simulé par GR2M

N°	Volume fin du mois sans réduction	Volume fin du mois avec réduction	Apport simulé (mm)	Apport simulé (h m ³)	Défluent du mois					
					AEP (h m ³)	-50% AEP (hm ³)	Evap (hm ³)	L _{VF} (hm ³)	Total defluent SR	Total defluent AR
déc.-11	124,12	124,12	-	-	-	-	-	-	-	-
janv.-12	118,68	131,52	13,34	5,978	10,970	5,485	0,083	0,372	11,43	5,940
févr.-12	111,28	132,85	6,77	3,033	9,97	4,985	0,12	0,34	10,43	5,441
Mar.-12	101,83	131,31	4,49	2,011	10,88	5,440	0,22	0,37	11,47	6,029
avri.-12	92,83	130,70	5,44	2,439	10,77	5,383	0,31	0,36	11,43	6,051
mai.-12	83,75	131,08	6,84	3,063	11,38	5,690	0,40	0,37	12,15	6,459
juin.-12	70,07	126,01	2,82	1,263	14,10	7,049	0,49	0,35	14,94	7,890
juil.-12	57,61	120,22	1,30	0,583	11,88	5,942	0,78	0,37	13,04	7,097
aout.-12	44,55	113,57	0,67	0,301	12,08	6,042	0,91	0,37	13,36	7,321
sept.-12	32,40	107,36	0,37	0,166	11,47	5,736	0,49	0,36	12,32	6,583
octo.-12	-	99,88	0,38	0,171	11,56	5,778	0,23	1,85	13,63	7,857
nov.-12	-	95,12	1,13	0,504	10,81	5,403	0,13	0,36	11,30	5,895
dec.-12	-	93,31	4,28	1,917	11,26	5,631	0,08	0,37	11,71	6,082

Le tableau ci-dessus récapitule le bilan d'exploitation du barrage de Taksebt avec les apports simulés pour la pluviométrie de l'année sèche en utilisant le modèle GR2M. Nous constatons qu'avec les mêmes prélèvements AEP que l'année 2011 le barrage ce vide a la fin du mois de septembre 2012, ce qui nous pousse a faire un exemple de scénario de réduction de prélèvement AEP de 50% ce qui donne un volume du barrage 93,31 Hm³ a la fin du mois de décembre 2012.

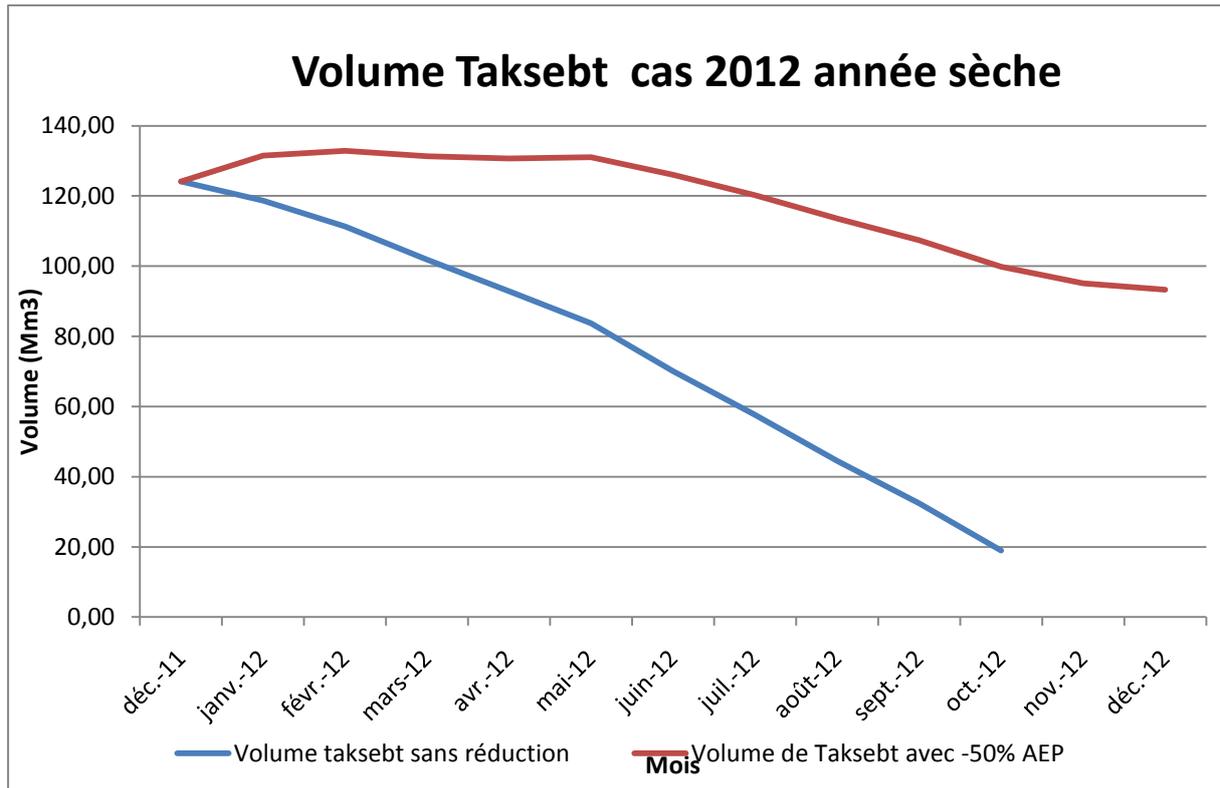


Figure III.23 Simulation du remplissage du barrage Taksebt pour l'année sèche

2^{ème} cas : l'année 2012 est supposé la plus Humide avec une précipitation annuel de 1394,8 mm et les sorties du barrage sont les mêmes que l'année 2011.

Tableau III.15 bilan d'exploitation du Barrage Taksebt avec apport simulé par GR2M

N°	Volume fin du mois sans augm.	volume déversé sans Augm.	Volume Fin du mois avec augm. (hm ³)	Apport du mois (mm)	Apport du mois (hm ³)	Défluent du mois					
						AEP (hm ³)	AEP AA (hm ³)	Evap (hm ³)	L _{VF} (hm ³)	Total defluent SA	Total defluent AA
déc.-11	124,12	0,00	124,12	-	-	-	-	-	-	-	-
janv.-12	128,98	0,00	128,98	36,34	16,280	10,970	10,970	0,083	0,372	11,43	11,43
févr.-12	181,02	11,51	181,01	165,12	73,973	9,97	21,479	0,12	0,34	10,43	21,94
mars-12	181,02	41,16	181,01	117,47	52,628	10,88	52,040	0,22	0,37	11,47	52,63
avr.-12	181,02	24,45	181,01	80,09	35,880	10,77	35,216	0,31	0,36	11,43	35,88
mai-12	181,02	19,56	181,01	70,79	31,713	11,38	30,939	0,40	0,37	12,15	31,71
juin-12	172,35	0,00	172,34	13,99	6,267	14,10	14,097	0,49	0,35	14,94	14,94
juil.-12	162,59	0,00	162,58	7,32	3,279	11,88	11,884	0,78	0,37	13,04	13,04
août-12	150,49	0,00	150,48	2,82	1,264	12,08	12,083	0,91	0,37	13,36	13,36
sept.-12	138,84	0,00	138,83	1,49	0,667	11,47	11,471	0,49	0,36	12,32	12,32
oct.-12	126,53	0,00	126,52	2,95	1,322	11,56	11,555	0,23	1,85	13,63	13,63
nov.-12	122,44	0,00	122,44	16,10	7,213	10,81	10,805	0,13	0,36	11,30	11,30
déc.-12	151,93	0,00	151,92	91,96	41,197	11,26	11,261	0,08	0,37	11,71	11,71
Total						137,120	233,800				

Le tableau ci-dessus récapitule le bilan d'exploitation du barrage de Taksebt avec les apports simulés pour la pluviométrie de l'année humide en utilisant le modèle GR2M. Nous constatons que le barrage commence à débordé à partir du mois de février au mois de mai, et dans notre logique de gestion intégrée, nous pouvons augmenter les volumes destinés à l'AEP ou transférer l'excédant de l'eau afin d'utiliser au mieux la ressource disponible et éviter qu'elle ne se perde pour rien. Nous pouvons dans cet exemple augmenter le volume annuel d'alimentation en eau potable de 233,8 Hm³, soit 70% de plus que pour l'année 2011.

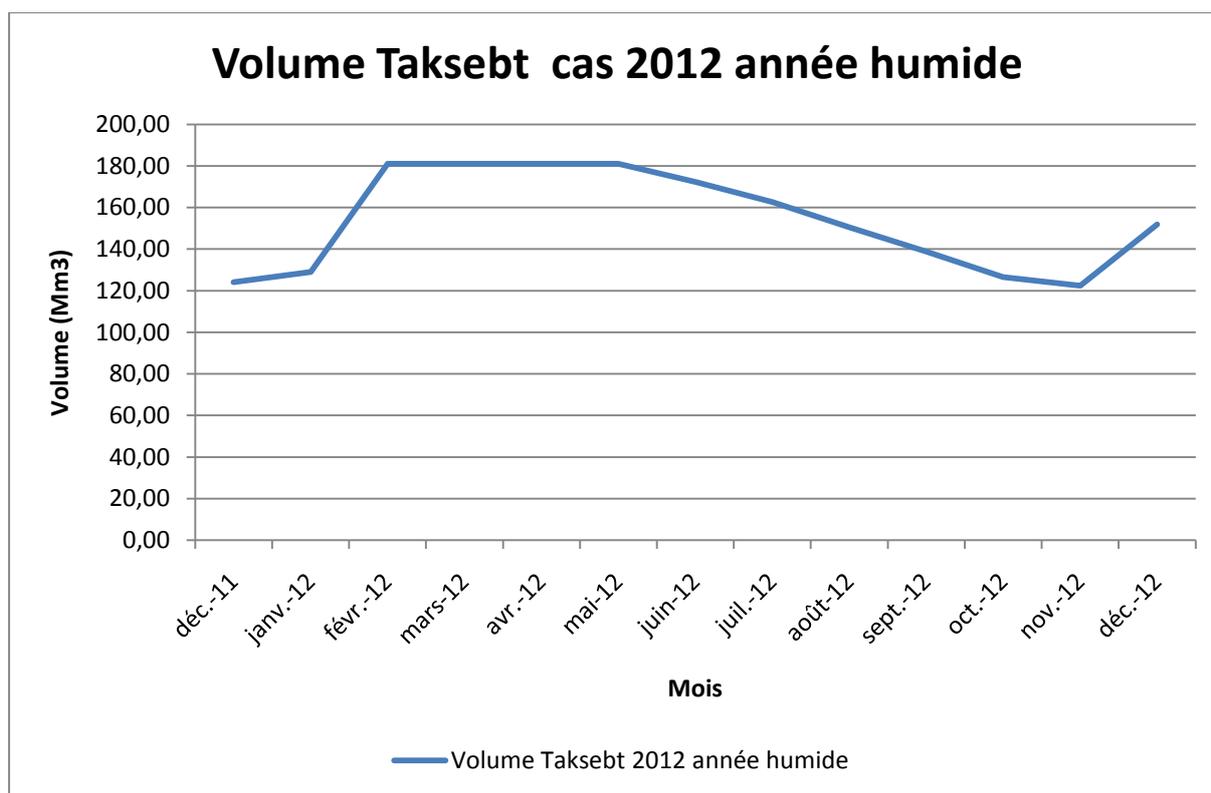


Figure III.24 Simulation du remplissage du barrage Taksebt pour l'année humide

➤ **BARRAGE BOUKOURDENE**

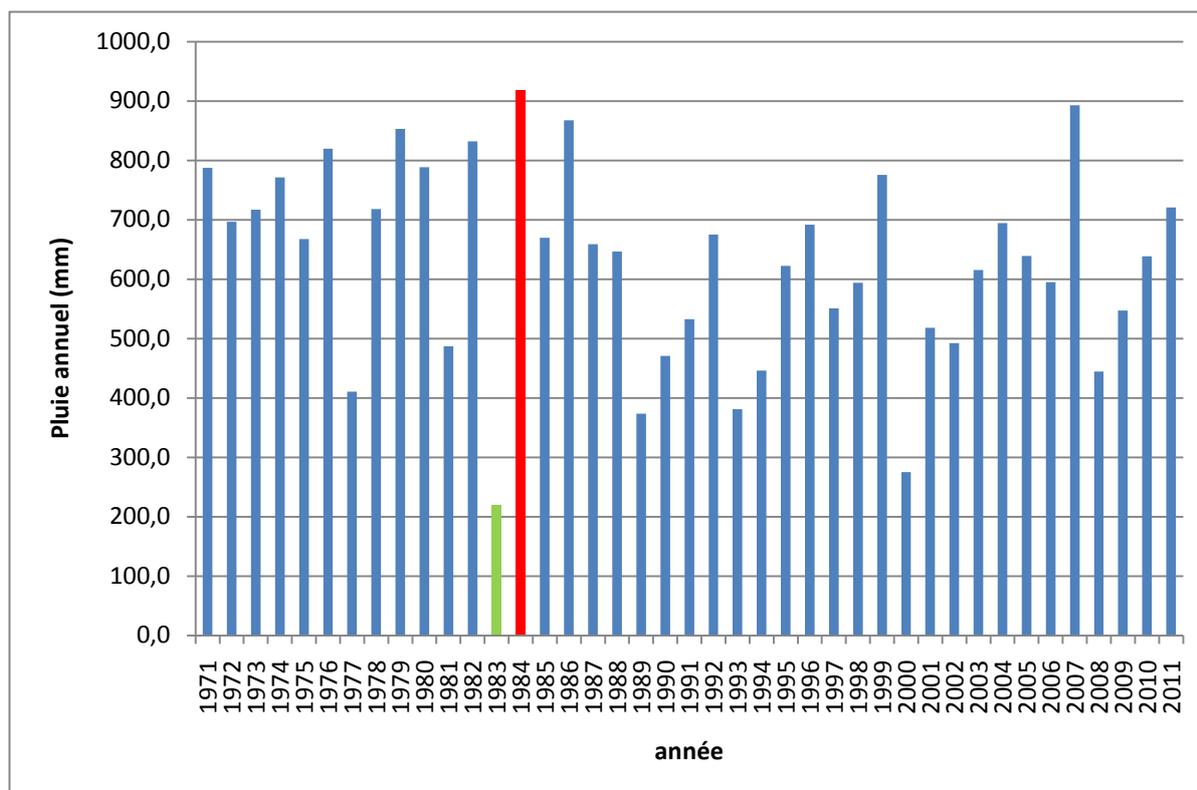


Figure III.25 Pluie annuel de la station 02-03-06 après comblement des lacunes

D'après la figure ci-dessus l'année la plus sèche c'est 1983 avec une précipitation annuel de 218,6 mm, et l'année la plus humide c'est 1984 avec une précipitation annuel de 916,8 mm.

Le volume du barrage a la fin du mois de décembre 2011 est de 37,78 Hm³.

Prévision

1^{er} cas : l'année 2012 est supposé la plus sèche avec une précipitation annuel de 218,6 mm et les sorties du barrage sont les mêmes que l'année 2011.

Tableau III.16 bilan d'exploitation du Barrage Boukourdane avec apport simulé par GR2M

Date	VF	apport mm	apport hm3	ONID	Irr.El-Ha	Fuites	Evap.Hm3	S.A.A.	A.E.P W.T	Def.Hm3
déc-11	38,776	-	-	-	-	-	-	-	-	-
janv-12	38,059	3,371	0,539	0,016	0,000	0,031	0,078	0,000	1,131	1,256
févr-12	37,968	6,636	1,062	0,007	0,000	0,028	0,107	0,000	1,011	1,153
mars-12	37,390	5,137	0,822	0,000	0,000	0,031	0,245	0,000	1,124	1,400
avr-12	36,233	1,695	0,271	0,023	0,000	0,030	0,286	0,000	1,089	1,428
mai-12	34,693	0,635	0,102	0,096	0,000	0,031	0,382	0,000	1,133	1,642
juin-12	32,858	0,248	0,040	0,232	0,000	0,030	0,514	0,000	1,098	1,874
juil-12	30,094	0,104	0,017	0,974	0,000	0,031	0,642	0,000	1,134	2,781
août-12	27,051	0,045	0,007	1,129	0,170	0,031	0,596	0,000	1,124	3,050
sept-12	24,195	0,020	0,003	1,091	0,250	0,030	0,396	0,000	1,092	2,859
oct-12	21,954	0,013	0,002	0,749	0,088	0,031	0,264	0,000	1,111	2,243
nov-12	20,670	0,029	0,005	0,060	0,000	0,030	0,129	0,000	1,070	1,289
déc-12	19,536	0,358	0,057	0,003	0,000	0,031	0,075	0,000	1,082	1,191

Le tableau ci-dessus, récapitule le bilan d'exploitation du barrage de Boukourdane avec les apports simulés pour la pluviométrie de l'année sèche en utilisant le modèle GR2M. Nous constatons que les sorties sont supérieures aux apports du barrage, ce qui provoque la vidange du barrage, il attient un volume de 19,54 à la fin du mois de décembre 2012.

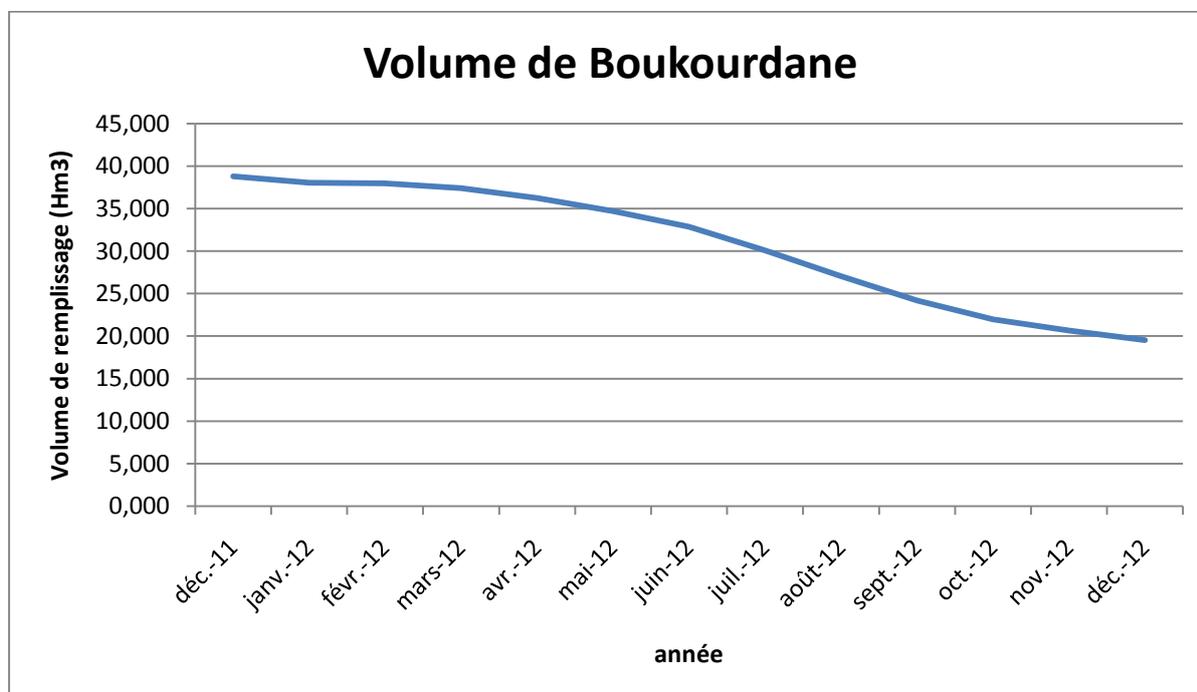


Figure III.26 Simulation du remplissage du barrage Boukourdane pour l'année sèche

2^{ème} cas : l'année 2012 est supposé la plus Humide avec une précipitation annuel de 916,8 mm et les sorties du barrage sont les mêmes que l'année 2011

CHAPITRE III : MODELISATION DU VOLUME DE REMPLISSAGE DES BARRAGES UTILISATION DU MODELE GR2M

Tableau III.17 bilan d'exploitation du Barrage Boukourdane avec apport simulé par GR2M

Date	VF	apport mm	apport hm3	ONID	Irr.El-Ha	Fuites	Evap.Hm3	S.A.A.	A.E.P W.T	Def.Hm3
déc-11	38,776	-	-	-	-	-	-	-	-	-
janv-12	47,409	61,804	9,889	0,016	0,000	0,031	0,078	0,000	1,131	1,256
févr-12	54,133	49,235	7,878	0,007	0,000	0,028	0,107	0,000	1,011	1,153
mars-12	56,997	26,651	4,264	0,000	0,000	0,031	0,245	0,000	1,124	1,400
avr-12	57,526	12,227	1,956	0,023	0,000	0,030	0,286	0,000	1,089	1,428
mai-12	57,901	12,606	2,017	0,096	0,000	0,031	0,382	0,000	1,133	1,642
juin-12	56,605	3,617	0,579	0,232	0,000	0,030	0,514	0,000	1,098	1,874
juil-12	54,007	1,141	0,183	0,974	0,000	0,031	0,642	0,000	1,134	2,781
août-12	51,025	0,423	0,068	1,129	0,170	0,031	0,596	0,000	1,124	3,050
sept-12	48,193	0,172	0,027	1,091	0,250	0,030	0,396	0,000	1,092	2,859
oct-12	52,570	41,376	6,620	0,749	0,088	0,031	0,264	0,000	1,111	2,243
nov-12	52,959	10,486	1,678	0,060	0,000	0,030	0,129	0,000	1,070	1,289
déc-12	56,085	26,980	4,317	0,003	0,000	0,031	0,075	0,000	1,082	1,191

Le tableau ci-dessus récapitule le bilan d'exploitation du barrage de Boukourdane avec les apports simulés pour la pluviométrie de l'année humide en utilisant le modèle GR2M. Nous remarquons que le barrage commence à se remplir à partir du mois de janvier 2012 au mois de mai 2012, après on constate une diminution du taux de remplissage du barrage due à la période d'été où les apports du barrage ne sont pas très importants. De septembre à décembre 2012 nous remarquons que le volume de remplissage tant a augmenté. La connaissance du taux de remplissage du barrage nous permettra de prendre des décisions de gestion de la ressource au bon moment.

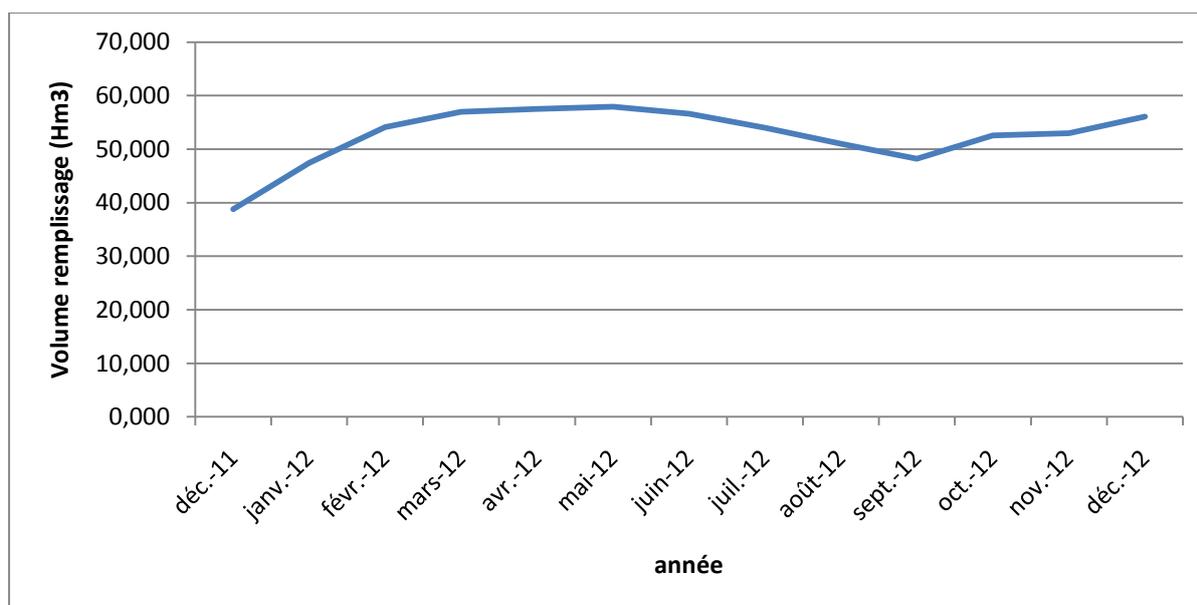


Figure III.27 Simulation du remplissage du barrage Boukourdane pour l'année humide

13.CONCLUSION

Dans ce chapitre, notre travail a porté sur les barrages de Taksebt et Boukourdane, avec leur enjeu important liés à l'alimentation du bassin versant 02A. Ce bassin, dont la dynamique hydrologique est régulée par de nombreux ouvrages situés sur l'amont de ses principaux cours d'eau, a un fonctionnement assez complexe en raison notamment de la variabilité des temps de propagation, des effets de concomitance et des volumes relatifs apportés par les différents affluents en période de crue ou d'étiage.

L'application du modèle GR2M sur les données de ces deux bassins a donné des résultats très satisfaisants, vu que l'optimisation des paramètres de calage a été obtenue pour des valeurs de Nash supérieures à 70%

Ainsi les résultats graphiques des débits simulés présentent des allures qui épousent quasi-parfaitement celles des débits observés (de manière acceptable), et ce pour les deux bassins étudiés. On peut dire que la qualité de simulation du modèle GR2M est bonne.

Enfin l'extension des séries des apports, en utilisant les mêmes paramètres de calage optimisés pour chaque sous bassin, nous a permis de générer des séries des apports d'eau à partir des données pluviométriques observées. Ces apports d'eau générés peuvent être exploités pour évaluer les volumes de remplissage des barrages en reproduisant les bilan d'exploitation pour une meilleure gestion de l'eau en temps voulu pour le bassin versants Algérois 02A.

CHAPITRE VI : MODELISATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE LA MITIDJA

1.INTRODUCTION

La nappe alluviale de la Mitidja constitue un réservoir en eau souterraine essentiel pour le développement agricole, urbain et industriel dans le périmètre du bassin hydrographique 02A.

Cette nappe subit un rabattement continu depuis plusieurs années. L'abaissement se fait ressentir sur l'ensemble de la zone, ce rabattement engendre une augmentation non négligeable des coûts d'accès à la ressource, une mise en péril de la viabilité des ouvrages d'accès et un risque de contamination des nappes profondes par les eaux de l'aval, dont la salinité est élevée.

Les problèmes de la gestion de la ressource en eau nous obligent donc à développer une réflexion et une méthodologie permettant le passage direct d'une analyse au niveau individuel (l'exploitation) à un niveau collectif (le périmètre irrigué, le bassin versant).

Dans une optique de développement d'outils et de méthodes pour une gestion intégrée de la ressource en eau au niveau du bassin 02a, un modèle de simulation régional permettant d'évaluer la fluctuation du niveau d'eau au niveau de la nappe de la Mitidja a été conçu sur une période allant jusqu'à 2025. La plateforme de modélisation utilisée, Feflow, est un modèle de simulation régional, développé Waterloo Hydrogeologic Inc.

Des schémas futurs de gestion intégrée des ressources en eau sont proposés, il apparaît important également, dans le cadre de la gestion globale de la ressource du bassin étudié:

- ❖ d'estimer dans quelle mesure il est possible de sur-pomper temporairement dans la nappe de la Mitidja : à la fois pendant la période estivale, mais également pendant la période de défaillance des systèmes de transfert d'eau superficielle et/ou des systèmes de dessalement des eaux de mer ;

- ❖ d'évaluer les zones les plus favorables à l'implantation éventuelle d'ouvrages supplémentaires (Nouveau forages et/ou puits) ;
- ❖ d'apporter des éléments pour évaluer la vulnérabilité de la nappe ;
- ❖ d'évaluer l'évolution de la progression du biseau salé.

Pour répondre à ces interrogations, la modélisation mathématique des écoulements souterrains semble être le meilleur outil d'aide à la prise de décision.

Dans un premier temps nous présenterons succinctement le contexte hydrogéologique de la Mitidja et soulignerons les points particuliers qui peuvent influencer sur les orientations du modèle hydrogéologique, ensuite nous aborderons l'approche de modélisation envisagée et nous finirons par la suite par la description des différents scénarii de gestion proposé et leurs impact sur le comportement hydrogéologique de la nappe en question.

2.CONTEXTE

2.1Situation géographique

La Mitidja est une vaste plaine de 1500 km², s'étend depuis la région de Hadjout à l'Ouest jusqu'à la région de Reghaia à l'Est, elle est répartie entre les wilayas d'Alger, Blida, Tipaza et Boumerdes. Elle est traversés par différents Oueds qui prennent leurs sources dans le massif Blidéen, ces oueds traversent le Sahel par des cluses et se jettent directement à la mer, (Fig VI.1).

Les différentes unités morphologiques de la Mitidja sont :

- ❖ Le sahel ;
- ❖ La plaine ;
- ❖ L'Atlas Blidéen.

La Mitidja a jouit d'un climat maritime, caractérisant l'ensemble des plaines côtières, avec des hivers humides et pluvieux et des étés relativement chauds et secs, elle présente divers reliefs et végétation.



Figure VI.1 Limites administratives de la Mitidja (ANRH)

2.2 Contexte géologique et hydrogéologique

2.2.1 Géologie de la plaine de la Mitidja

La plaine de la Mitidja est une vaste dépression située entre l'Atlas Tellien et le Sahel. Elle s'étend suivant une direction WSW-ENE sur environ 100 km de long et 15 km de large.

Elle est traversée par différents oueds qui coulent globalement du Sud vers le Nord. Les principaux exutoires de la plaine sont oued Mazafran, oued El Harrach, El Hamiz et oued El Reghaia.

La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions. Les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire ont réagi comme une couverture flexible durant l'affaissement du bassin entre les unités ascendantes de l'Atlas et du Sahel. Une carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja est présentée ci-après (Fig VI.2).

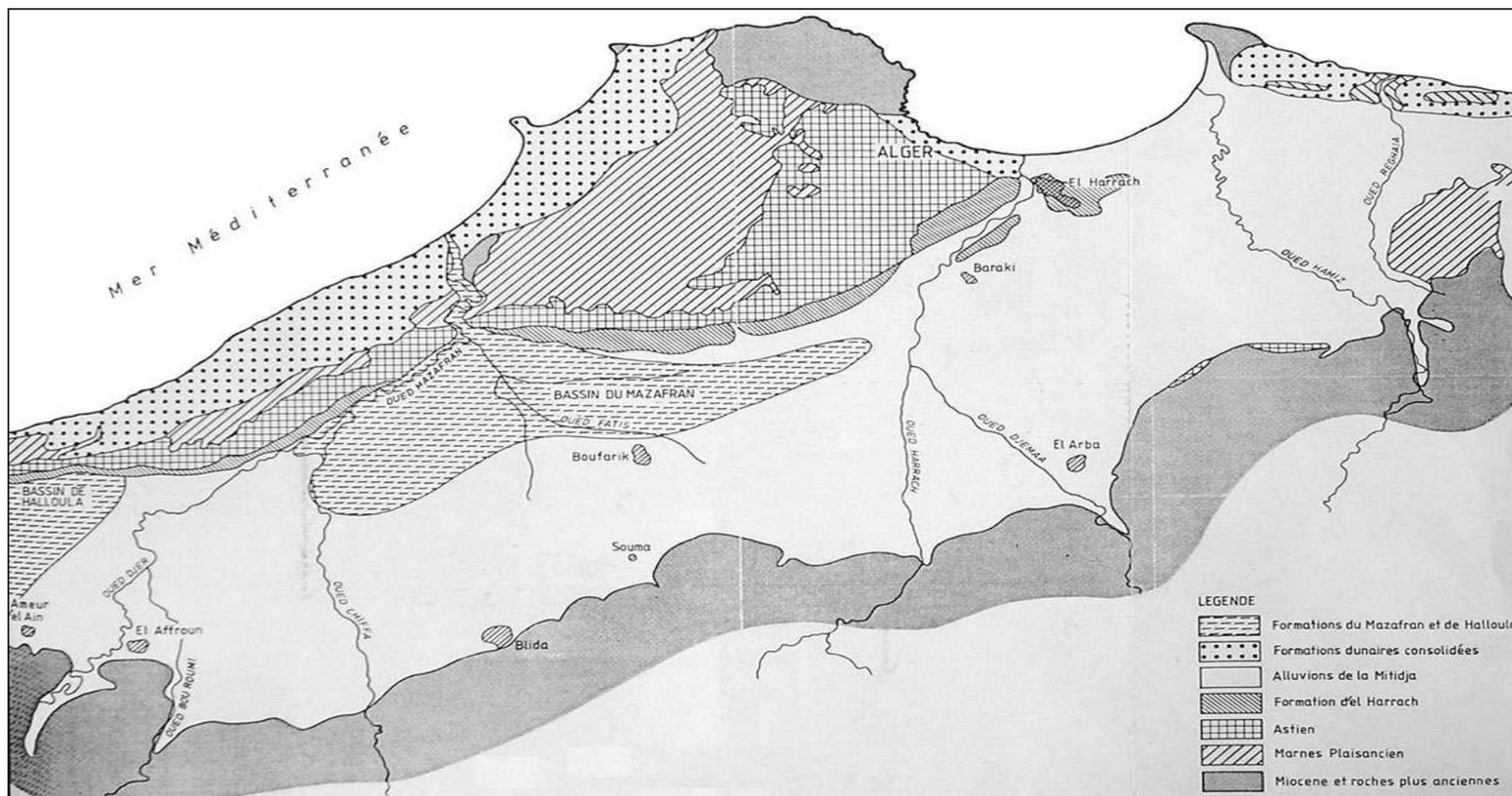


Figure VI.2 Carte géologique simplifiée (Mac Donald 1992)

Le bassin de la Mitidja s'est défini en tant qu'unité structurale à la fin du Miocène après que ce soient produits les principaux mouvements de la période de l'orogénèse alpine. Les phénomènes d'affaissement et de sédimentation se poursuivent pendant le Pléistocène en modifiant la forme et la distribution des dépôts.

Ces mouvements structuraux ainsi que d'importantes variations du niveau de la mer expliquent la succession des formations stratigraphiques rencontrées au droit de la plaine :

- ❖ Au Miocène, l'affaissement du bassin s'accompagne de l'apparition de roches volcaniques en périphérie, notamment sur la bordure sud ;
- ❖ Le Pliocène correspond à une longue période de sédimentation avec une alternance de phases de dépôts et de phases d'érosion en relation avec les fluctuations du niveau de la mer. Il se caractérise notamment par :
 - le dépôt de couches épaisses de marnes bleues au Plaisancien (en mer profonde) ;
 - le dépôt de marnes sableuses et de calcaires gréseux à l'Astien (en mer peu profonde),
 - le dépôt de marnes et cailloutis au Villefranchien ;
 - le dépôt de sédiments argilo-gréseux, glauconieux et coquillers au Calabrien.

A la fin du Pliocène, un léger plissement et le soulèvement de l'anticlinal du Sahel isolent complètement la Mitidja de la mer.

- ❖ Le Quaternaire se caractérise par un remblaiement flandrien, donnant l'aspect actuel de la plaine, avec des cônes de déjections et des alluvions fins, cette variabilité est liée aux mouvements importants du niveau de la mer.

2.2.2 Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja

La lithologie et les paramètres hydrodynamiques des terrains permettent d'individualiser deux unités aquifères principales :

- ❖ L'Astien gréseux ou gréso-calcaire ;
- ❖ Les alluvions du Quaternaire.

Ces deux aquifères sont séparés de manière plus ou moins continue par les marnes jaunes d'El Harrach. La coupe géologique suivante (Fig VI.3) illustre la superposition des deux aquifères au niveau du Bassin du Mazafran.

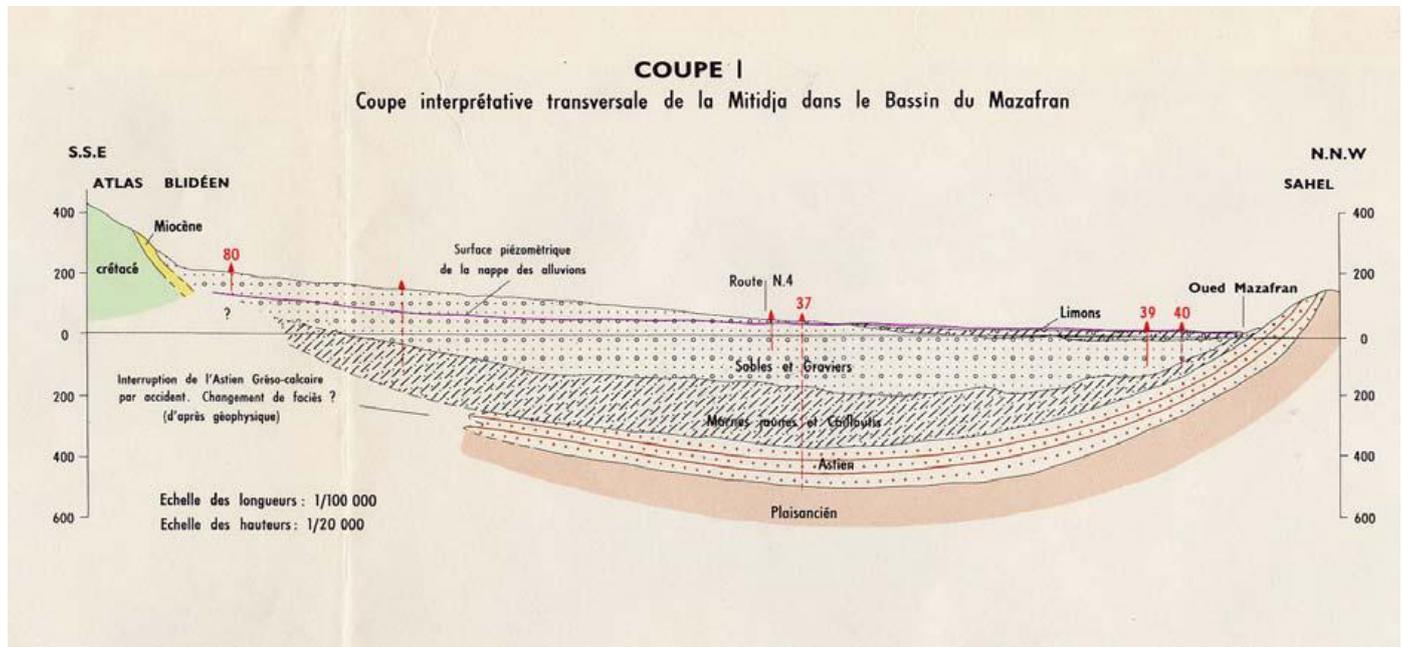


Figure VI.3 Coupe hydrogéologique transversale de la Mitidja (Carte hydrogéologique ANRH 1973)

2.2.3 L'aquifère des grès de l'astien

La nappe de l'Astien se loge dans des formations de grès fins consolidés. Elle est généralement captive mais non artésienne. Elle devient libre au niveau des zones d'affleurement situées dans le Sahel (Fig. VI.3).

Elle s'étend sur la quasi totalité de la plaine et est bien délimitée entre un substratum argileux (marnes du Plaisancien) et la couverture des marnes d'El Harrach (ou marnes jaunes de Maison-Carrée).

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est de 100 à 130 mètres. Il se situe généralement à une profondeur allant de 250 à 300 m par rapport au niveau du sol. A l'Est de Rouiba cependant, la formation de l'Astien se rencontre à de faibles profondeurs et son épaisseur est réduite par l'érosion.

L'aquifère possède la configuration d'une auge à fond plat dont la limite Nord se relève pour former le flanc Sud du Sahel.

2.2.4L'aquifère des alluvions de la Mitidja

L'aquifère des alluvions de la Mitidja occupe la totalité de la plaine. Il se loge dans les formations du Quaternaire (gravier, sable, galets et des argiles) et repose principalement sur les marnes d'El Harrach.

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est d'environ 100 à 200 mètres. Il a une morphologie de vallées et des hauts fonds marneux entraînant une répartition des masses alluviales inégales.

D'un point de vue du comportement hydrodynamique, la nappe des alluvions peut être divisée en deux parties :

- ❖ Le bassin du Mazafran : la nappe est captive sur une grande partie (sous les limons du Mazafran),
- ❖ Le bassin Harrach – Hamiz : la nappe est entièrement libre favorisant une infiltration directe de la pluie.

La nappe alluviale de la Mitidja est très sollicitée en raison du développement démographique, agricole et industriel des dernières décennies.

Dans les champs de captages de Mazafran et de Baraki, quelques forages traversent plus de 200 m de graviers et sables captant l'astien.

2.2.5 Relation entre les deux aquifères

Dans la partie Est de la plaine, l'Astien est en contact direct avec les alluvions, constituant ainsi un aquifère unique avec le Quaternaire.

Dans le reste de la plaine, les deux aquifères sont séparés par les marnes jaunes d'El Harrach assez imperméables, mais qui pourraient néanmoins permettre un écoulement vertical par endroits (échanges hydrauliques entre les deux aquifères).

Du point de vue de la modélisation, il importe de retenir que :

- ❖ La sédimentation est hétérogène (c'est-à-dire qu'il doit être possible d'introduire dans le modèle des perméabilités différentes dans des mailles suffisamment fines) ;
- ❖ Le système aquifère est composé de deux aquifères (les alluvions quaternaires et l'Astien) séparés par les marnes d'El Harrach. Les alluvions sont surmontées localement par les limons du Mazafran.

L'ensemble des écoulements souterrains doit donc être intégré dans une représentation multicouche de la géologie.

3. MODELE CONCEPTUEL

3.1 Introduction

Le modèle conceptuel consiste à simplifier la complexité des phénomènes à modéliser en les exprimant de telle façon qu'ils puissent être simulés à l'aide d'un code de calcul.

Cette simplification est déterminée en fonction des données disponibles, de la connaissance de la physique des phénomènes considérés et des objectifs poursuivis. Un modèle conceptuel est décrit selon quatre axes :

- ❖ Les phénomènes pris en compte (écoulements au sein de la zone saturée) ;
- ❖ L'extension du modèle (modèle géologique 3D);
- ❖ Les propriétés du milieu vis-à-vis des phénomènes considérés ;
- ❖ Les conditions hydrauliques régissant l'intensité des phénomènes pris en compte aux limites du modèle.

Le modèle conceptuel permet de décrire de façon exhaustive et cohérente tous les éléments intervenant dans la dynamique des écoulements souterrains.

L'établissement du modèle conceptuel est la phase primordiale avant la réalisation du modèle mathématique proprement dit. C'est en effet lors de cette phase que les principales hypothèses, qui vont régir ensuite les écoulements au sein du système aquifère, seront faites.

3.2 Proposition de modèle conceptuel

Dans le cadre de l'étude de modélisation de la plaine de la Mitidja réalisé par l'ANRH, la définition du modèle conceptuel est donnée comme suit (Fig VI.4).

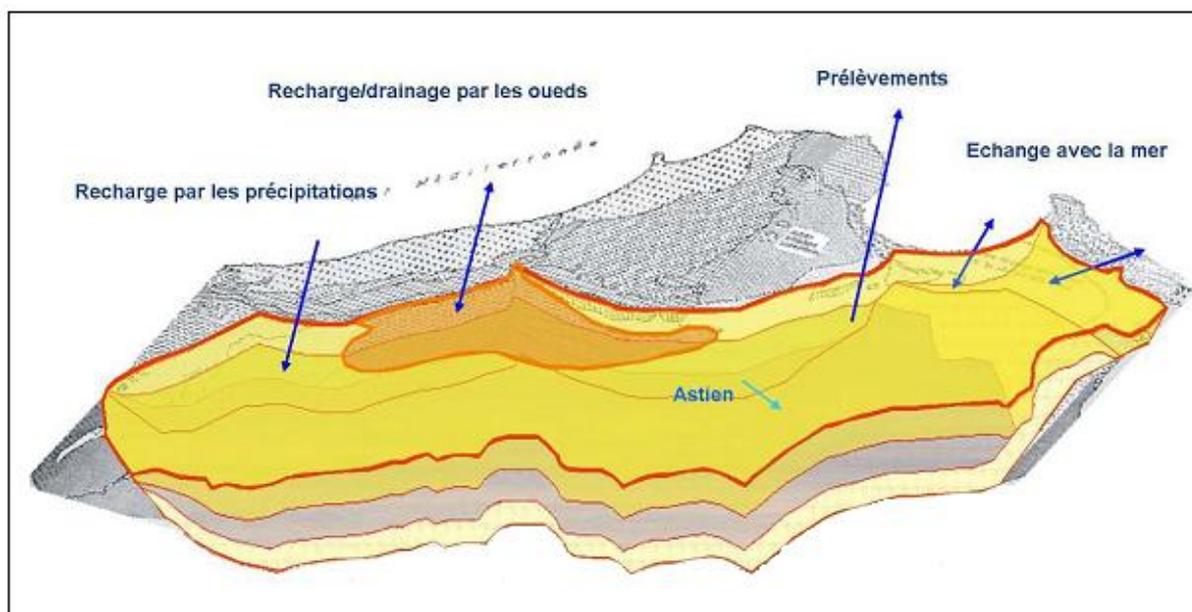


Figure VI.4 *Modèle conceptuel – Schématisation du fonctionnement global de l'aquifère*

Le modèle conceptuel tel qu'il est présenté met en évidence les différents phénomènes hydrogéologiques qui interviennent dans le fonctionnement global du système aquifère de la Mitidja.

Du point de vue de la modélisation, il importe de retenir que :

- ❖ Le modèle conceptuel schématise le fonctionnement hydrogéologique global du système aquifère de la Mitidja.
- ❖ La déclinaison de ce modèle conceptuel en un modèle numérique sera simplifiée selon l'objectif principal qui est l'évaluation (particulièrement) de l'évolution des ressources en eau ;
- ❖ A l'inverse, l'élaboration d'un modèle numérique pour la gestion des captages impliquera un raffinement plus poussé du maillage (notamment au niveau des champs captants et du biseau salé) ainsi qu'une discrétisation du temps qui corresponde aux modalités de gestion des champs captants.

4. CHOIX DU SYSTEME DE MODELISATION

4.1 Critères de choix

Le choix de l'outil de modélisation doit répondre à plusieurs critères dont les principaux sont décrits ci-après :

- ❖ Le modèle développé doit à la fois évaluer l'évolution des ressources en eau de la Mitidja sous l'influence de différents facteurs (évolution de la recharge, des prélèvements, ...) mais également à même de prendre en compte une gestion fine des champs captant en intégrant chaque forage de captage ;
- ❖ Ce modèle doit prendre en compte l'ensemble du système aquifère, c'est-à-dire un système multicouche (avec deux aquifères, celui des alluvions et celui de l'Astien) ;
- ❖ Enfin, le code de calcul utilisé doit être un standard de façon à garantir une pérennité quant à son usage comme outil de gestion (robustesse du code, suivi, prise en main, et mise à niveau facilités).

4.2 Les différents systèmes de modélisation existant (MODFLOW, FEFLOW)

Il existe différents logiciels de modélisation des écoulements souterrains, avec chacun leurs particularités, leurs qualités et leurs défauts. Les plus connus et mondialement utilisés sont le MODFLOW (Volumes finis) et le FEFLOW (éléments finis).

4.3 Le système de modélisation adapté à la problématique

Le logiciel utilisé pour la modélisation des écoulements souterrains est FEFLOW (Fig VI.5).

FEFLOW (Waterloo Hydrogeologic Inc.) est un modèle numérique sophistiqué basé sur la méthode des éléments finis. Il permet :

- ❖ la résolution de l'écoulement et celle du transfert de masse et de chaleur, en 2D et en 3D, en régime permanent et en régime transitoire. Il offre la possibilité de modéliser avec précision la géologie du site étudié, en important les données des cotes des bases de chaque couche.
- ❖ L'interface graphique est puissante, les résultats peuvent être consultés sous forme de diagrammes, de coupes ou d'images en 3D.
- ❖ Les courbes isochrones des captages peuvent être obtenues par une méthode particulière en 2D ou en 3D.

Ce logiciel est particulièrement adapté à notre problématique car il permet de prendre en compte un contexte hydrogéologique complexe (système multicouche, interaction oued/nappe,...) et il peut également intégrer, avec un maillage précis, chaque forage de captage.

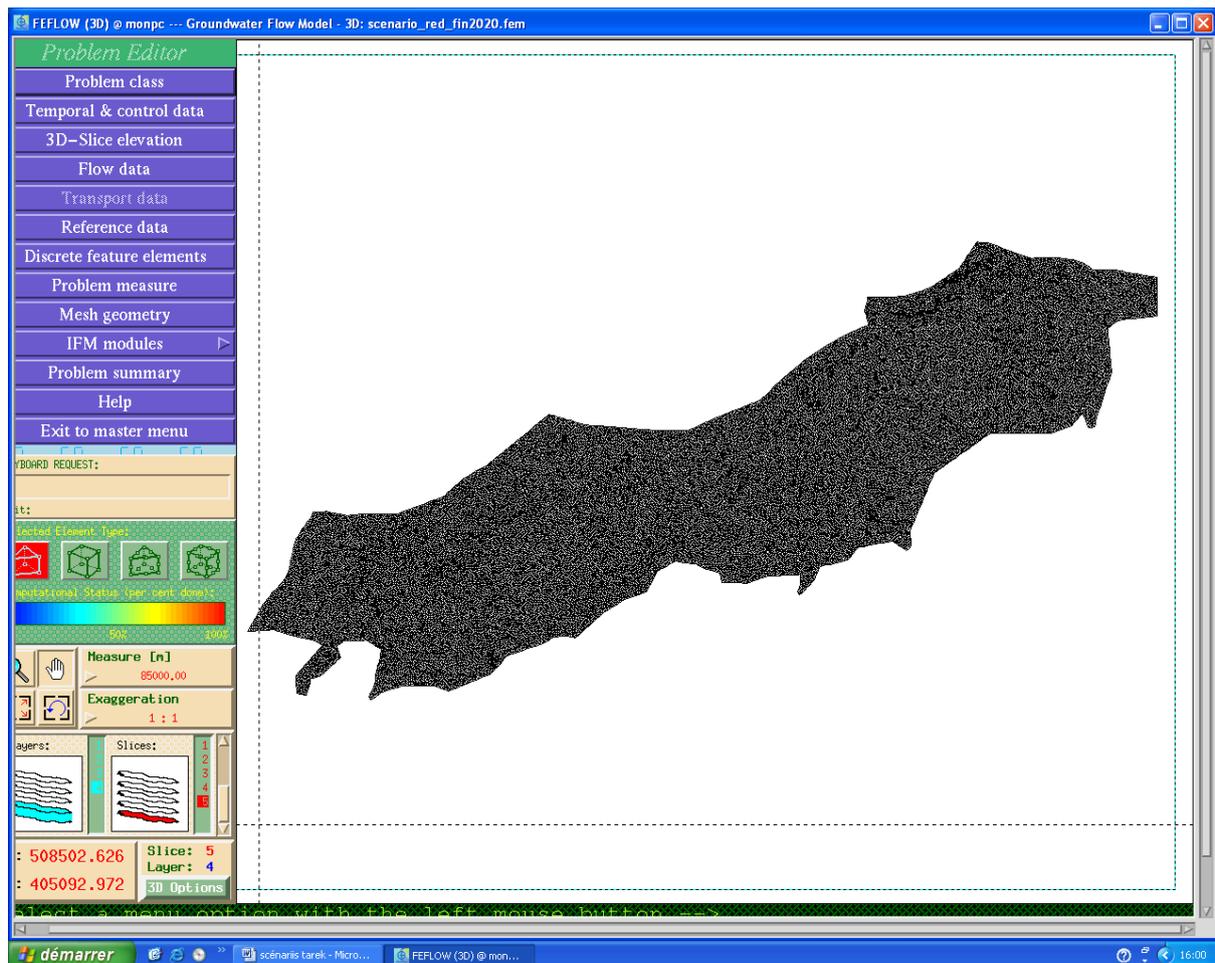


Figure VI.5 Fenêtre principale du Modèle Feflow

5. ELABORATION DU MODELE CONCEPTUEL

5.1 Equations de base

Pour simuler en 2D ou 3D les flux hydrauliques à l'échelle de l'aquifère, le modèle mathématique se base sur les hypothèses suivantes:

- Milieu poreux: Le milieu poreux est continu. Légèrement compressible, il est inerte et indéformable. Ses propriétés hydrauliques sont hétérogènes et anisotropes.
- Fluide: Le flux hydraulique est soumis à la loi de Darcy généralisée aux flux rotationnels, avec dépendance de la viscosité et de la densité à la température.
- Continuité: Conservation de la masse et transport de chaleur par convection, conduction et dispersion.

- **Equations de continuité :**

L'équation de continuité de la phase fluide en milieu poreux s'écrit:

$$\frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} + \nabla\rho\mathbf{q} = 0 \quad \text{Eq(V.1)}$$

Avec $\phi[-]$ désignant la porosité de la matrice, ρ [kgm-3] la masse volumique du fluide et \mathbf{q} [ms-1] le vecteur flux.

Ce dernier obéit à la loi de Darcy:

$$\mathbf{q} = -\frac{k}{\mu} (\nabla p + \rho\mathbf{g}\nabla z) \quad \text{Eq(V.2)}$$

Avec le tenseur de perméabilité du milieu k [m2], la viscosité dynamique du fluide μ [kgm-1s-1], la pression de pore du fluide p [Nm-2] et l'accélération terrestre g [ms-2].

- **Expression de l'équation de continuité de la phase fluide en fonction de la charge hydraulique :**

On peut écrire l'équation de continuité de la phase fluide en milieu poreux en fonction de la charge hydraulique comme suit :

$$S_s \frac{\partial H}{\partial t} + \nabla\mathbf{q} = \phi\beta' \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{q}\beta'\nabla T \quad \text{Eq(V.3)}$$

Cette équation est l'équation de continuité de la phase fluide réellement résolue par le logiciel FEFLOW.

5.2 Extension du modèle et géométrie du modèle

5.2.1. Formations prises en compte

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation quaternaire de la Mitidja, qui représente la principale ressource souterraine, et la formation de l'Astien.

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux. Les alluvions affleurent sur la majeure partie du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre plus de 200 m au centre de la plaine. Localement, les alluvions peuvent être recouvertes par les formations limono-argileuses de Mazafran et de Halloula qui mettent en charge l'aquifère des alluvions la Mitidja.

La formation de l'Astien est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m. L'Astien est séparé de l'aquifère des alluvions par la formation argileuse d'El Harrach, hormis au Nord-Est de la plaine où les 2 formations perméables sont en contact direct, suite à la disposition de cette dernière au niveau de la poche de Rouiba.

Le modèle intégrera donc ces deux aquifères dans un système multicouche.

5.2.2. Epaisseurs des différentes formations

La géométrie des aquifères a été définie d'après les cartes établies (Mac Donald 1992) et aux coupes lithologiques recueillies lors de la collecte des données. Des cartes sont ainsi disponibles pour :

- ❖ L'altitude du mur de la formation de Mazafran pour représenter la zone captive de la nappe des alluvions ;
- ❖ L'altitude du mur de la formation aquifère des alluvions ;
- ❖ L'altitude du mur de la formation imperméable d'El Harrach ;
- ❖ L'altitude du mur de la formation aquifère de l'Astien.

5.2.3. Extensions du système modélisé

L'extension latérale du modèle se limitera à l'affleurement de la formation de la Mitidja et ne prendra pas en considération l'extension de l'Astien dans le Sahel. Cette limite sera prise en compte par une condition de flux imposé (Fig VI.6).

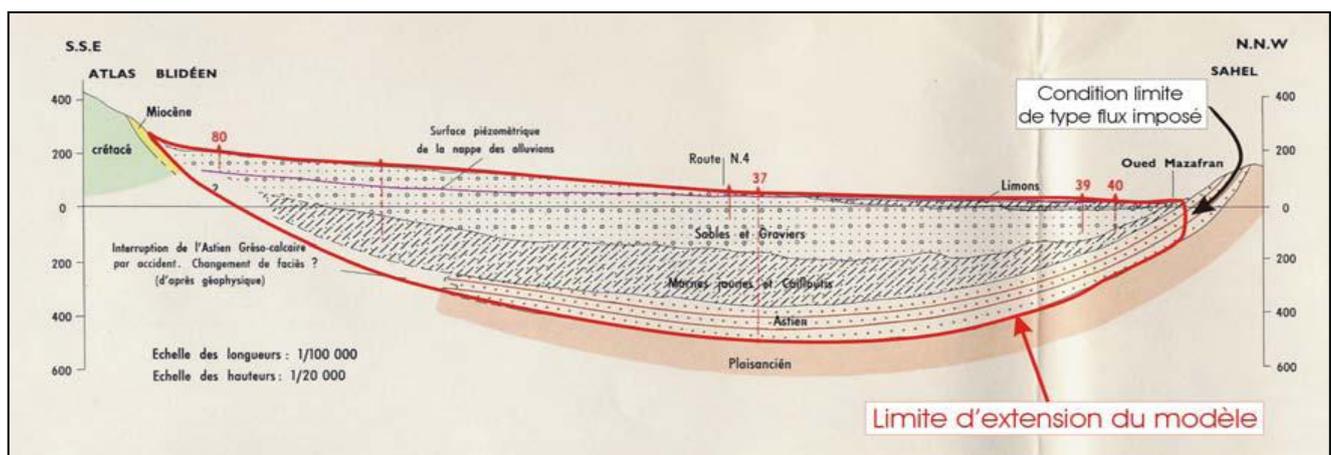


Figure VI.6 Extension verticale du modèle

5.3 PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur 'facilité' à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient de charge

hydraulique, et d'autre part, leur capacité d'emmagasinement de l'eau. Les paramètres qui décrivent ces caractéristiques sont respectivement la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement.

Ainsi, lorsque l'ensemble des flux d'eau relatifs à un système aquifère n'est pas équilibré, la variation du niveau de la nappe qui résulte de ce déséquilibre dépend à la fois de l'ampleur du déséquilibre et des paramètres hydrodynamiques des terrains.

5.3.1 Transmissivité – Perméabilité

Pour l'aquifère des alluvions, la répartition spatiale des transmissivités dans le modèle sera basée initialement sur la carte de distribution des transmissivités (BRGM, 1973) et sur les mesures ponctuelles recueillies dans les études antérieures. Ces valeurs ont été calculées à partir d'essais de pompage et des débits spécifiques disponibles. D'après les valeurs acquises depuis 1968, la transmissivité de l'aquifère est comprise entre 1.10^{-4} et 2.10^{-2} m²/s.

Pour l'aquifère Astien (Tab VI.1), les valeurs de transmissivité s'échelonnent entre $0,8.10^{-4}$ et $2,9.10^{-3}$ m²/s. Etant donné le faible nombre de données, la répartition spatiale de la transmissivité de cet aquifère sera affinée lors du calage.

Tableau VI.1 Transmissivité de la nappe de l'Astien (Mac Donald, 1992)

Forage	Transmissivité	Perméabilité
	(m ² /s)	(m/s)
Birtouta	2.3 à 2.9 10 ⁻³	0.3 10 ⁻⁴
7545 Tipaza 4	0.11 10 ⁻³	0.09 10 ⁻⁴
7545 Tipaza 3	2 10 ⁻³	1 10 ⁻⁴
2043 Maison blanche	1.5 10 ⁻³	1.3 10 ⁻⁴
4135 Ventre	2.8 10 ⁻³	1.4 10 ⁻⁴
7547 Tipaza	0.67 10 ⁻³	0.5 10 ⁻⁴
3630 Hamiz	6.8 10 ⁻³	1.3 10 ⁻⁴
7456 Bir Touta	2 0.87 10 ⁻³	0.1 10 ⁻⁴
3404 Burgat Romba	5 10 ⁻³	
7589 Sonic F6	0.74 10 ⁻³	0.2 10 ⁻⁴
7582 Sonic	2 0.95 10 ⁻³	0.3 10 ⁻⁴
7581 Sonic	1 2.9 10 ⁻³	
7256 Cofor F2	0.14 10 ⁻³	0.04 10 ⁻⁴
6823 Cofor F1	0.8 10 ⁻⁴	1.6 10 ⁻⁴

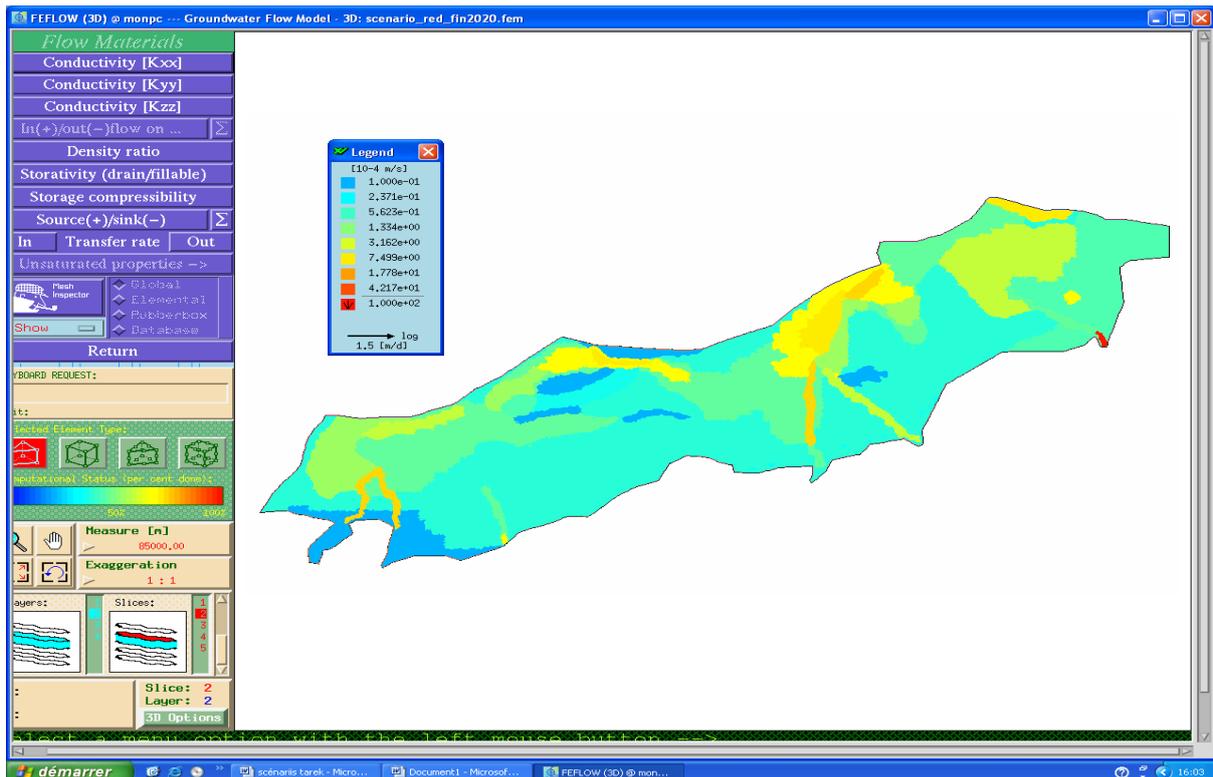


Figure VI.7 Extension carte des perméabilités des alluvions quaternaires

5.3.2 Coefficient D'Emmagasinement

Les informations sur le coefficient d'emmagasinement sont moins nombreuses que pour la transmissivité.

Pour la formation de la Mitidja, il faudra distinguer la zone captive de l'aquifère dans le secteur de Mazafran et les zones libres. Les valeurs répertoriées dans l'étude de Binnie (1983) et celle de Mac Donald (1992) pourront être exploitées pour la nappe libre. Concernant la nappe captive, une seule valeur fiable obtenue dans le bas Mazafran lors d'un essai de pompage est disponible. D'après la synthèse de données, les valeurs du coefficient d'emmagasinement s'échelonnent de 10^{-3} pour la nappe captive à 0,15 pour la nappe libre. L'aquifère de l'Astien sera considéré comme captif sur l'ensemble du modèle hormis les zones de contact direct avec l'aquifère des alluvions de la Mitidja au niveau de la poche de Rouiba. Le coefficient d'emmagasinement sera défini à partir des valeurs de l'étude de Mac Donald (1992), comprises entre $5 \cdot 10^{-3}$ à $5 \cdot 10^{-6}$ en zone captive et 0.03 à 0.05 en zone libre et ensuite affiné lors du calage.

5.4. POINTS DE CONTROLE

Pour valider le fait que le modèle élaboré puisse constituer un outil de gestion il importe de vérifier qu'il est à même de reproduire certains éléments de l'hydrogéologie qui ont été observés (phase de calage).

Ces points de contrôle consistent en des cartes et des chroniques piézométriques observées. Ils permettent par ailleurs de définir le début de la période de simulation en régime transitoire, c'est pourquoi ils doivent être définis préalablement à la détermination des conditions aux limites.

Pour la nappe des alluvions de la Mitidja, le modèle sera calé tout d'abord en régime permanent par rapport à la carte piézométrique de 1981-1982, établie par Binnie & Partners à partir d'environ 250 points de mesures. Il sera ensuite calé en régime transitoire sur la période 1982-2005.

Les chroniques piézométriques utilisées pour valider le calage en régime transitoire seront issues du réseau de suivi de la nappe de l'ANRH. Les ouvrages de ce réseau sont des piézomètres, des forages ou des puits.



Figure VI.8 Points d'observation suivis par l'ANRH

Les points de mesure sont répartis sur l'ensemble de la plaine. Les ouvrages qui ont des longues périodes d'observation ont été privilégiés. En particulier, il est à noter que plusieurs piézomètres permettent de reconstituer la baisse du niveau de la nappe enregistrée sur le secteur de Mazafran depuis 1980 (Fig VI.9).

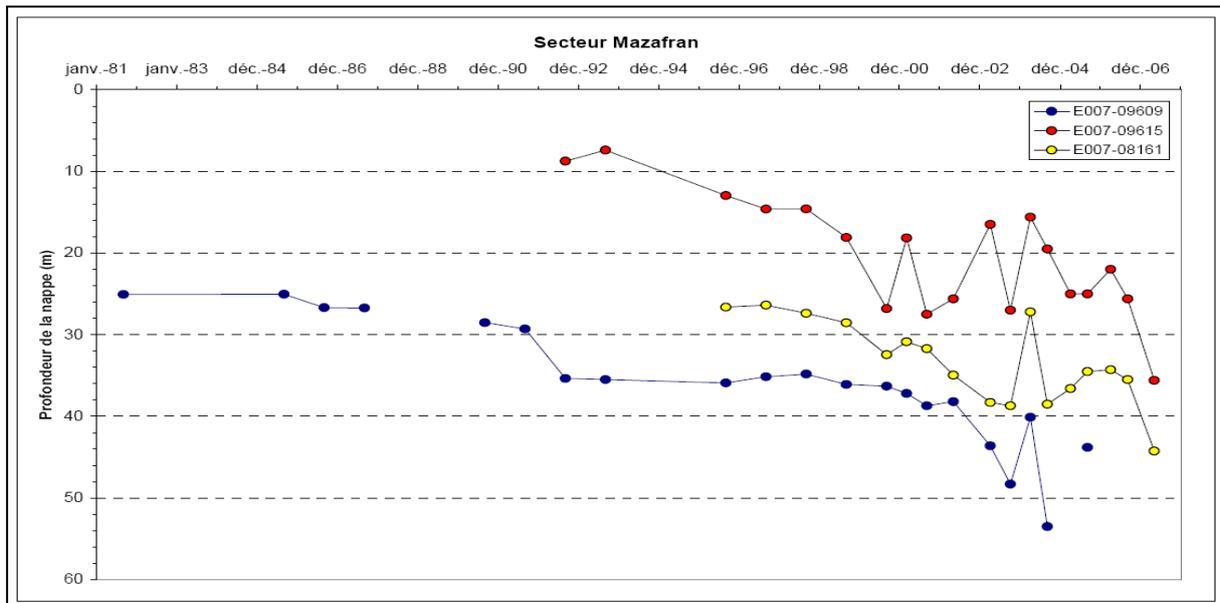


Figure VI.9 Exemple de piézomètres de contrôle pour le secteur du Mazafran

5.5. CONDITIONS AUX LIMITES

5.5.1. Définitions

Les conditions aux limites définies pour l'aquifère alluvial sont :

- ❖ Les prélèvements AEP, agricoles et industriels ;
- ❖ La recharge de l'aquifère par les précipitations efficaces, prise en compte sous la forme d'un débit surfacique mensuel imposé ;
- ❖ Un potentiel imposé pour représenter les échanges mer/eaux souterraines ;
- ❖ Les recharges latérales des aquifères qui ont été simulées par des flux ;
- ❖ Les échanges entre la nappe quaternaire et les grands oueds qui ont été représentés comme des flux entrants ou drainants.

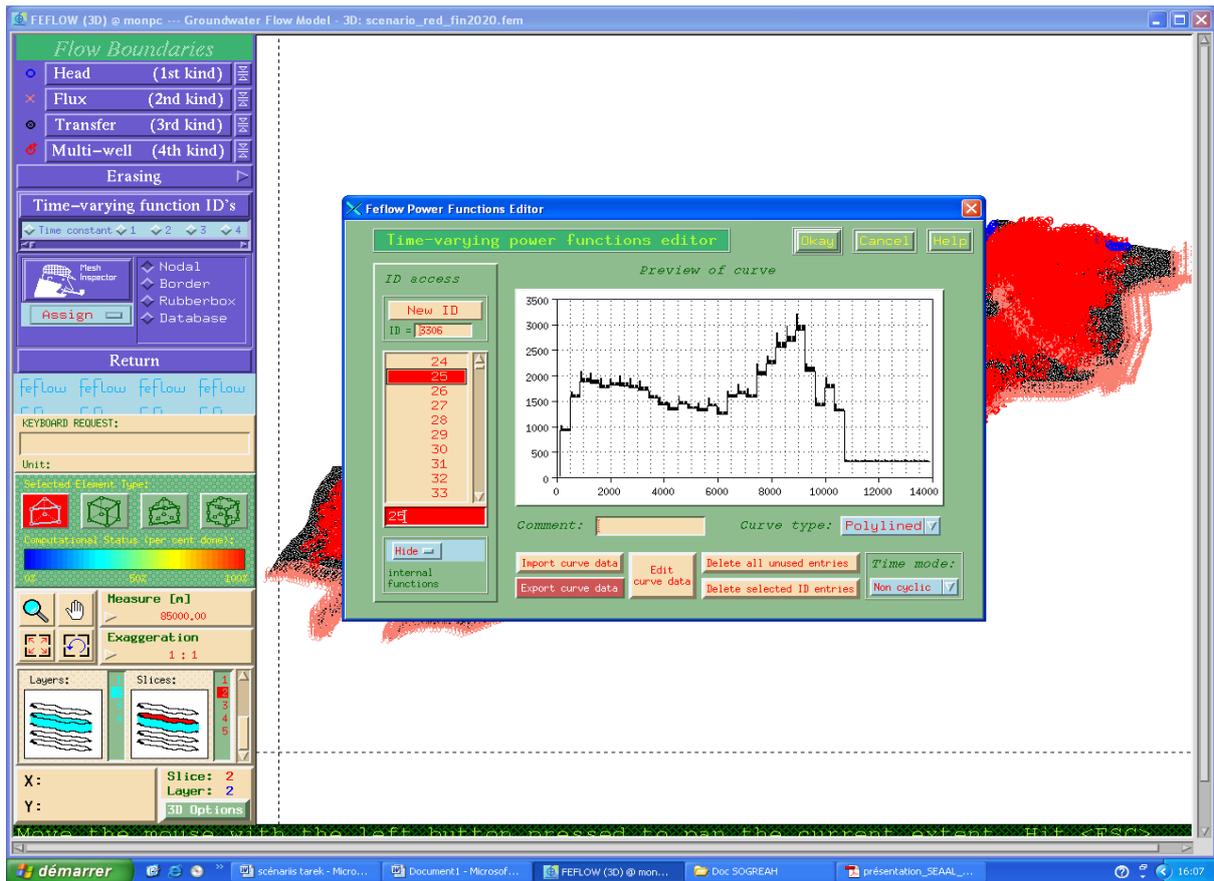


Figure VI.10 Exemple de prélèvement AEP pour le puits 25

D'après les études réalisées par Bennie Partners (1982), les apports souterrains de l'Atlas sont considérés comme négligeables.

Pour l'aquifère de l'Astien, les conditions aux limites retenues sont :

- ❖ Les prélèvements pour l'AEP, l'industrie et l'agriculture ;
- ❖ Les échanges entre la mer Méditerranée et la nappe ;
- ❖ L'écoulement souterrain le long de la bordure Nord qui représente l'écoulement des précipitations infiltrées sur la zone d'affleurement de la formation astienne dans le Sahel, (Fig. VI.10).

Les échange entre les aquifères quaternaire et astien sont calculés automatiquement par le logiciel Feflow.

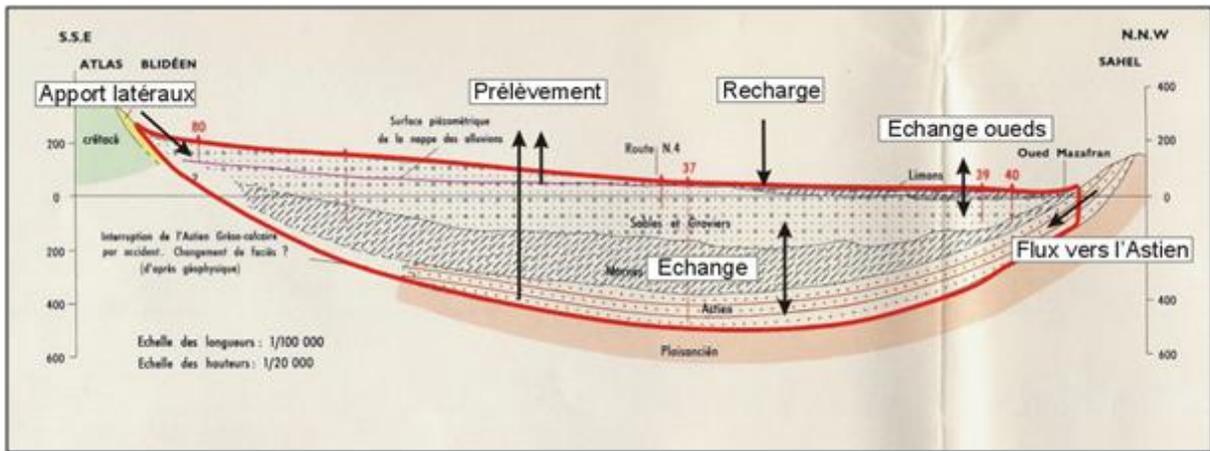


Figure VI.11 Schématisation des conditions aux limites

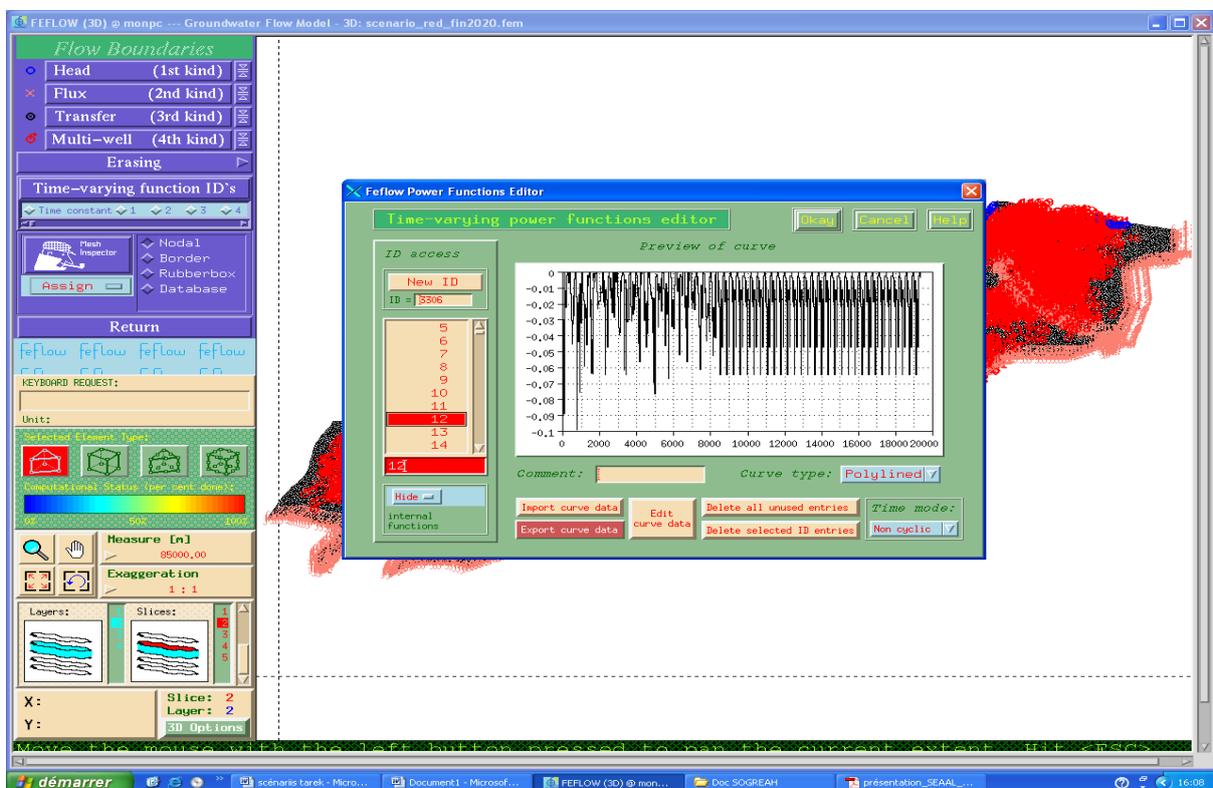


Figure VI.12 Exemple du point de recharge n°=12

5.5.2. Limites supérieures

a. Recharge par les pluies

D'après des études régionales dans des contextes climatiques similaires, la recharge directe par les pluies peut être estimée comme étant une fraction de la pluviométrie. Des pourcentages compris entre 5 et 20% sont classiquement calculés.

En raison de l'incertitude sur la détermination du coefficient de la recharge, ce paramètre a été ajusté au cours du calage du modèle.

La réalimentation directe des précipitations sur l'ensemble de la plaine a été divisée en cinq (05) zones d'égale infiltration. Ces zones ont été déduites des études antérieures à partir de la répartition spatiale des hauteurs pluviométriques et des capacités d'infiltration du sol (Binnie & Atkins, 1983).

Sur les 23 années modélisées, les fluctuations de la recharge directe ont été calculées à l'échelle mensuelle à partir des chroniques pluviométriques disponibles sur la période 1982 à 2005.

Sur cette période, il a été observé un déficit pluviométrique d'environ 20% par comparaison avec le régime pluviométrique des années 1970-1975 (Fig VI.9). Ce déficit a donc entraîné une baisse significative de la recharge directe vers la nappe des alluvions.

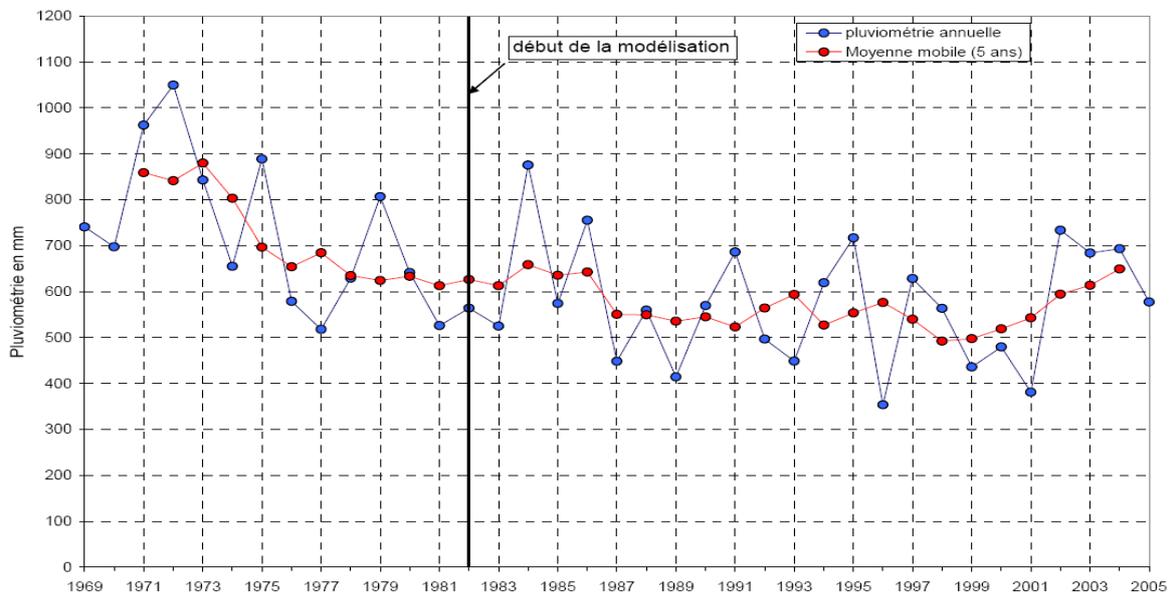


Figure VI.13 Pluie moyenne annuelle et moyenne mobile sur la région de la Mitidja

b. Recharge - drainage des oueds

Les principaux cours d'eau de la plaine de Mitidja sont les oueds Mazafran, Djer, Bouroumi, Chiffa, El Harrach, Djemaa et Hamiz (VI.14).

Une identification des zones de recharge et de drainage de ces grands oueds ainsi qu'une estimation des débits d'échange avec la nappe ont été réalisées suite à une campagne de jaugeages différentiels effectuée entre juillet 1970 et 1971 (Géohydraulique, 1972). Aucune donnée plus récente n'a permis d'actualiser cette étude. A partir de ces informations et de l'analyse de la carte piézométrique, on a intégré dans le modèle, et pour chaque oued, les tronçons drainant qui réalimentent la nappe quaternaire.

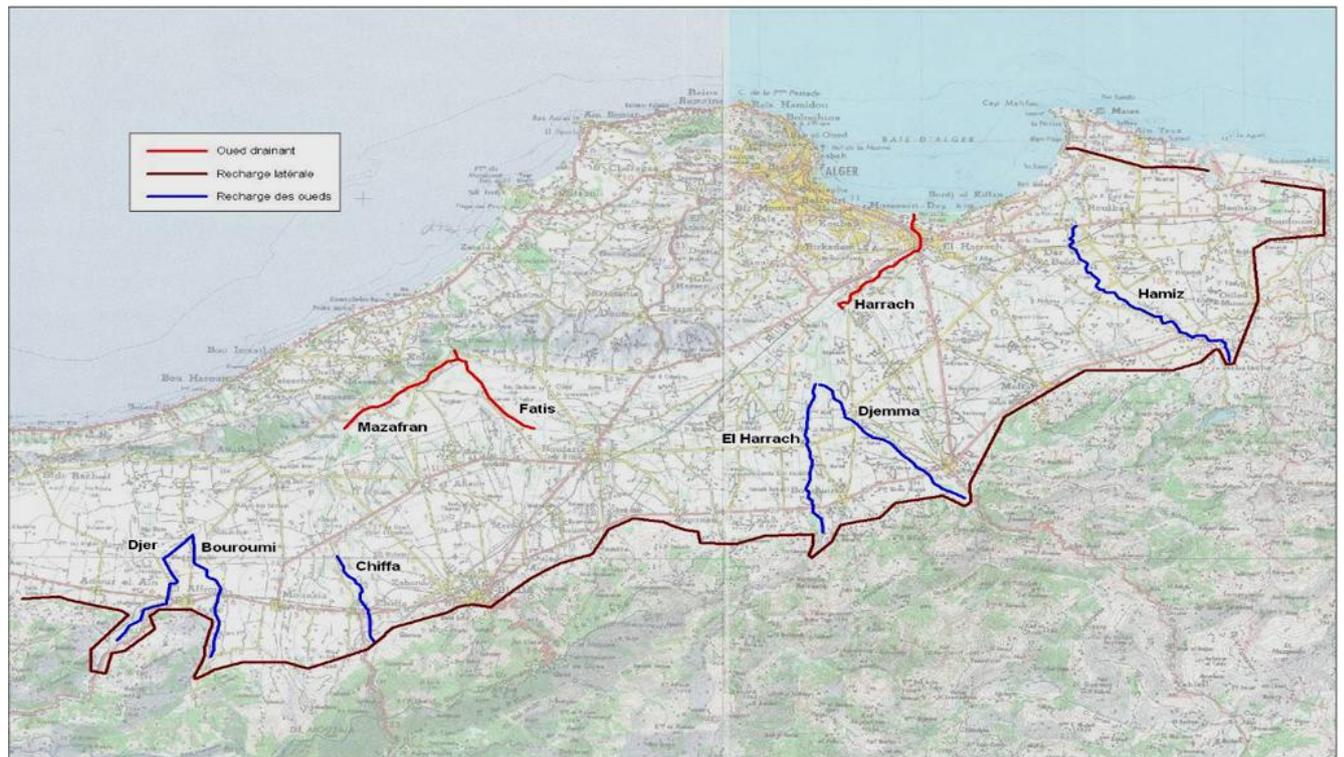


Figure VI.14 Représentation des oueds de la Mitidja

5.5.3 Limites latérales

a. Recharge des piémonts et du Petit Sahel

Le ruissellement des pluies sur les petits bassins versants de l'Atlas Blidéen et du Petit Sahel participe à la recharge de la nappe quaternaire dans les piémonts.

En l'absence de nouvelles informations, la réalimentation de l'aquifère en régime permanent est basée sur les estimations des études antérieures. Le volume infiltré a été calculé à l'époque à partir des hauteurs pluviométriques et de la surface de chaque bassin versant.

b. Mer Méditerranée

La mer méditerranée dessine la bordure nord-est de l'aquifère quaternaire. En fonction de l'évolution piézométrique de la nappe quaternaire, la mer Méditerranée peut recharger (phénomène d'intrusion du biseau salé) ou drainer les eaux souterraines.

Lors de la modélisation, le niveau de la mer sera considéré comme un niveau constant dans le temps qui ne sera pas influencé par les variations du niveau piézométrique de la nappe.

c. Recharge de l'Astien

L'affleurement de la formation astienne dans le Sahel n'a pas été intégré dans le modèle. Pour représenter la recharge des précipitations vers l'aquifère astien, on a intégré dans le modèle un apport d'eau souterraine le long de la bordure nord du modèle uniquement vers l'aquifère astien.

d. Limites inférieures

Les argiles du Plaisancien, qui représentent le mur de l'aquifère astien, ont été considérées dans le modèle comme une limite imperméable.

6. ELABORATION DU MODELE NUMERIQUE : DISCRETISATION DE L'ESPACE ET DU TEMPS

L'élaboration d'un modèle numérique consiste à transformer les données continues du modèle conceptuel (par exemple, la perméabilité d'un aquifère) en des données discrètes de façon à permettre la résolution numérique des équations régissant les écoulements souterrains.

Cela revient à discrétiser le modèle conceptuel dans l'espace (réalisation d'un maillage où les propriétés des formations géologiques sont constantes au niveau d'une maille mais peuvent être différentes d'une maille à l'autre) et dans le temps (l'évolution continue des conditions limites est transformée en une succession de paliers, où la valeur de la condition limite est constante sur chaque palier, les valeurs pouvant être différentes d'un palier à l'autre).

6.1 Réalisation d'un maillage adapté à la problématique

Le maillage élaboré prend en compte tous les éléments singuliers du modèle conceptuel que ce soit de façon ponctuelle (les forages et puits), linéaire (les oueds) ou surfacique (les zones de recharge). Cette approche est illustrée dans les figures (Fig VI.15-19).

Les figures VI.15 et VI.16 montrent que tous les forages de la Mitidja sont pris en compte de façon individuelle. Cela signifie notamment, que dans le cadre de la gestion d'un champ captant, il sera possible de simuler des prélèvements différenciés au niveau de chaque forage. Il est à noter que dans certains cas, pour l'irrigation, des forages ont été regroupés en un seul point de prélèvements lorsqu'ils étaient distants de moins de 100 m.

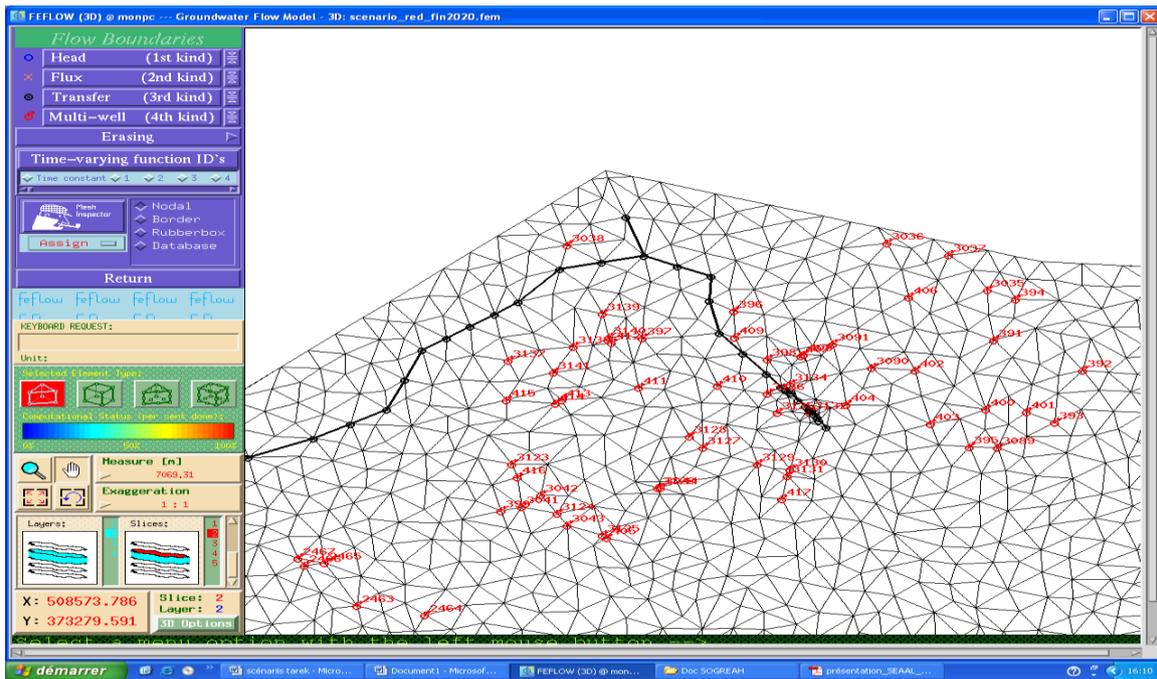


Figure VI.15 Représentation de chaque forage/puits de la Mitidja dans le maillage

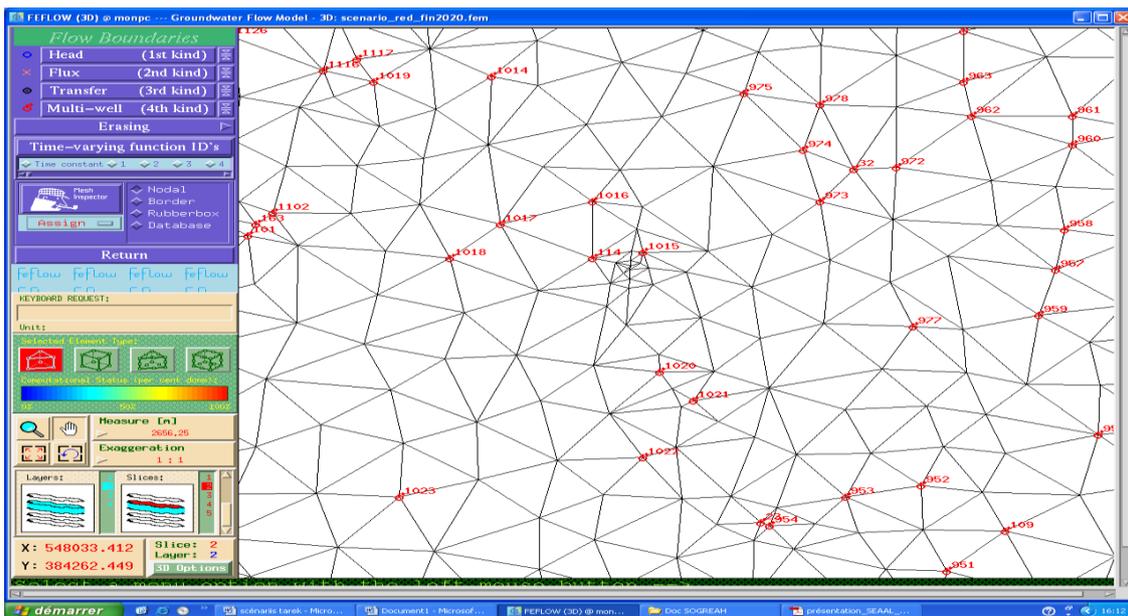


Figure VI.16 Illustration de la discrétisation du maillage au niveau des forages

La figure suivante (Fig VI.17) montre que les oueds sont pris en compte au niveau des cotés des mailles triangulaires (via l'utilisation dans le code de calcul de lignes de contraintes). Cela permet de représenter de façon précise la topographie des oueds et leur relation avec la nappe.

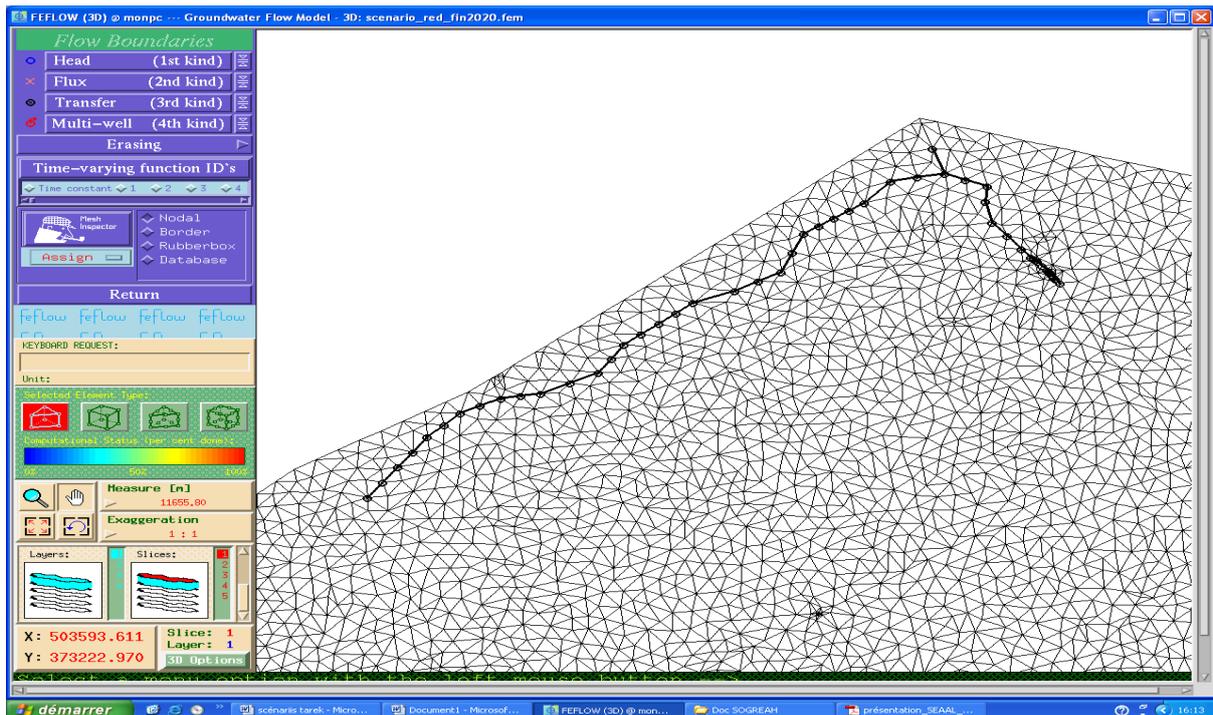


Figure VI.17 Représentation des oueds dans le maillage (Mazafran)

Quant à la figure VI.18, elle met en évidence la bonne représentation d'éléments surfaciques. Il s'agit ici de reproduire correctement le fait que les marnes sont affleurantes en limite Est de la Mitidja.

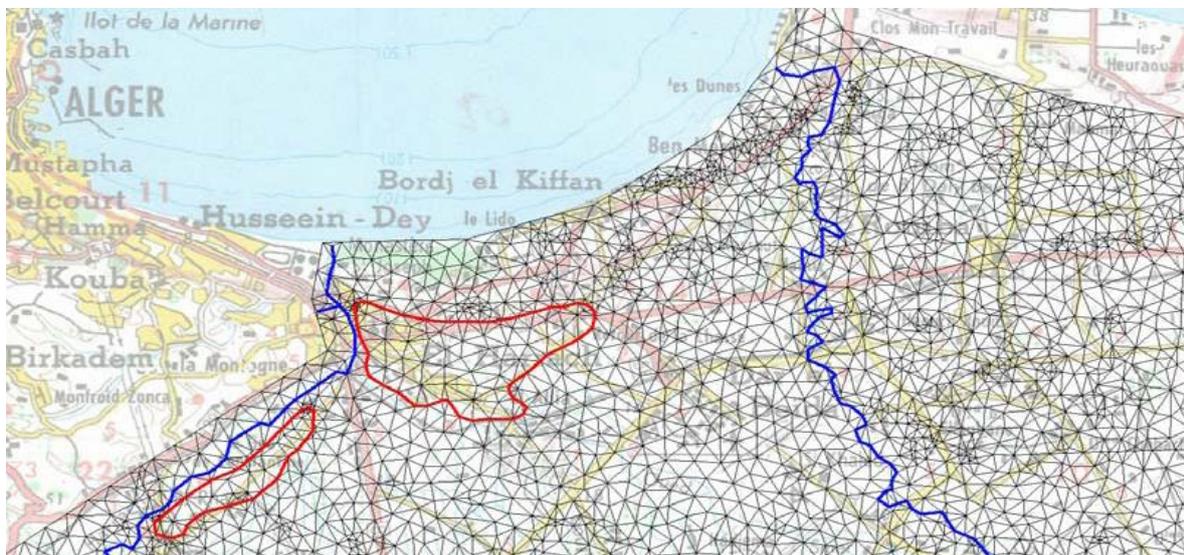


Figure VI.18 Prise en compte des limites géologiques dans le maillage

Le maillage ainsi constitué comporte environ 53 000 éléments et 83 000 nœuds (Fig VI.19).

Dans ce qui a été vu précédemment la discrétisation de l'espace a été présentée 'horizontalement'. Il importe également de vérifier la cohérence et l'adéquation du maillage

selon la verticale et vérifier que la discrétisation de l'espace du maillage permet de bien représenter les épaisseurs et l'agencement des différentes formations géologiques prises en compte. Ceci est illustré par les figures suivantes où la géométrie des différentes formations prises en compte est correctement représentée (l'échelle verticale est exagérée dans ces figures (Fig VI.20-22)).

La figure suivante montre bien la présence de la formation du Mazafran qui rend captive la nappe des alluvions (Fig VI.20).

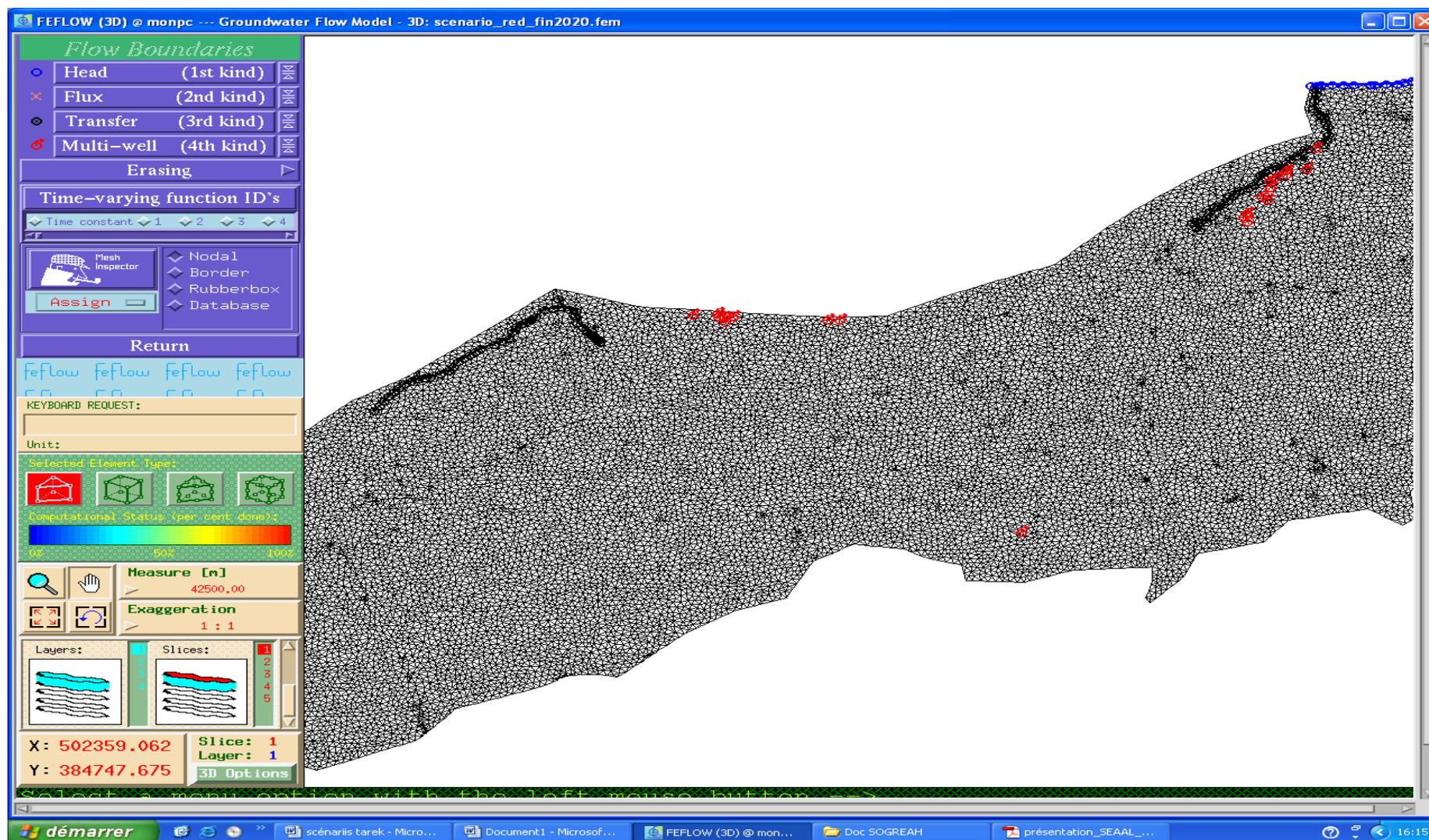


Figure VI.19 Représentation globale du maillage du modèle

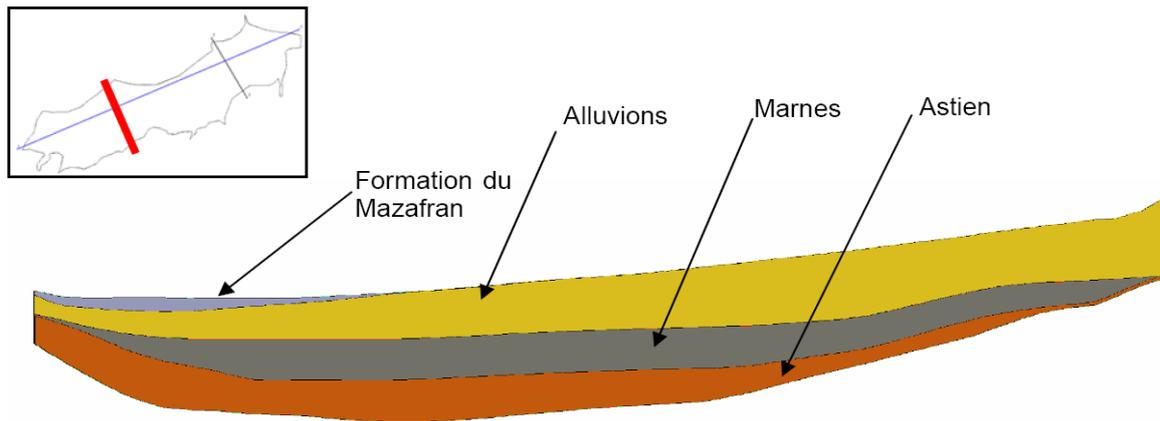


Figure VI.20 Coupe sud-sud-est/nord-nord-ouest au niveau du Mazafran

La figure VI.21 illustre notamment le fait que les épaisseurs des marnes vont en s'amenuisant vers l'Est et que l'Astien est en contact direct avec les alluvions vers la baie d'Alger, au niveau de la poche de Rouiba.

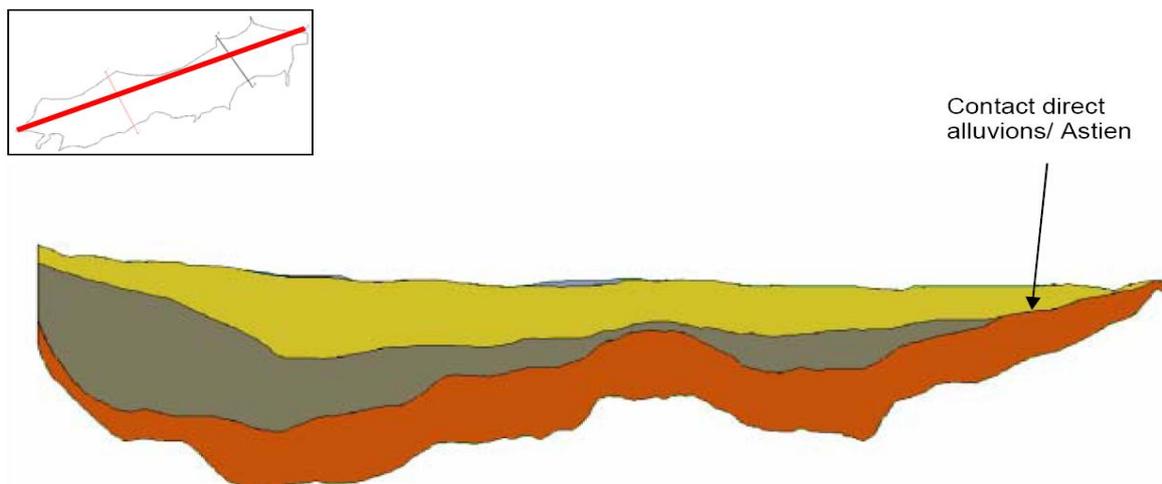


Figure VI.21 Coupe sud-ouest/nord-est

La figure VI.22 met en évidence l'affleurement des marnes dans la région de Baraki.

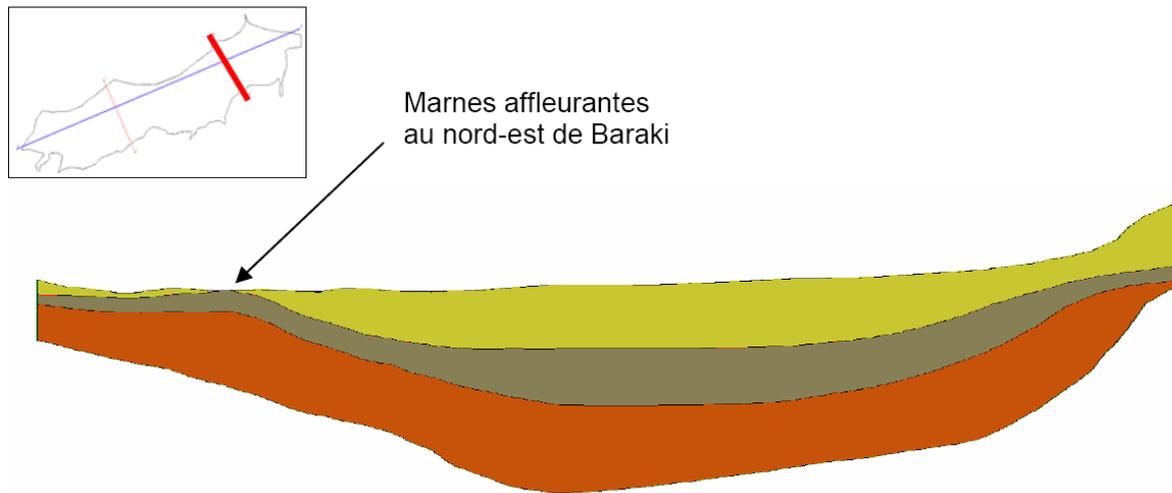


Figure VI.22 Coupe sud-sud-est/nord-nord-ouest au niveau de Baraki

6.2. Discrétisation des pas de temps

L'ensemble des conditions limites a été discrétisé selon un pas de temps mensuel. Les prélèvements relatifs à l'irrigation ne sont pris en compte que pendant la période d'irrigation et les prélèvements AEP mensuels ont été considérés comme correspondant au 1/12ème du volume annuel prélevé.

7 REPRESENTATION DES CONDITIONS AUX LIMITES

7.1. Limites supérieures

7.1.1. Recharge des pluies

L'infiltration directe des précipitations est intégrée dans le modèle sous la forme d'un débit surfacique. Elle a été calculée comme étant une fraction de la pluviométrie.

En régime transitoire, le même pourcentage a été appliqué aux chroniques pluviométriques mensuelles pour calculer la recharge directe des précipitations. La figure VI.23 présente l'évolution de la recharge directe sur la majeure partie de la plaine.

7.1.2. Réseau hydrographique

7.1.2.1. Représentation du drainage des oueds

En comparant les cotes topographiques et piézométriques de 1982, les oueds Fatis, Mazafran et El Harrach ont été identifiés comme des oueds drainant.

Dans Feflow, ces tronçons drainant ont été intégrés comme des conditions de transfert. Ils ont été représentés sous la forme d'une ligne d'eau caractérisée par deux paramètres :

- ❖ Une cote de drainage correspondant à la cote du lit de l'oued ;
- ❖ Un colmatage qui permet de contrôler les échanges entre l'oued et la nappe.

Les hauteurs d'eau sont renseignées ponctuellement dans le modèle puis interpolées le long du linéaire des oueds au sein de Feflow afin d'affecter une hauteur d'eau à chaque nœuds de la ligne de rivière.

Ces drains ne sont plus actifs dès que la cote piézométrique est inférieure à la cote imposée pour le lit de chaque oued.

7.1.2.2. Représentation de la recharge des oueds

Les principaux oueds qui participent à la réalimentation de la nappe dans la zone de piémont de l'Atlas ont été représentés comme des conditions de flux (en m^3/j).

En l'absence de suivi des niveaux dans les principaux oueds, les variations saisonnières de la recharge ont été calculées au pro rata des chroniques pluviométriques.

Par exemple, la Figure VI.25 présente l'évolution de la recharge pour l'oued Chiffa. Pour introduire dans Feflow une recharge vers la nappe, le flux doit avoir une valeur négative.

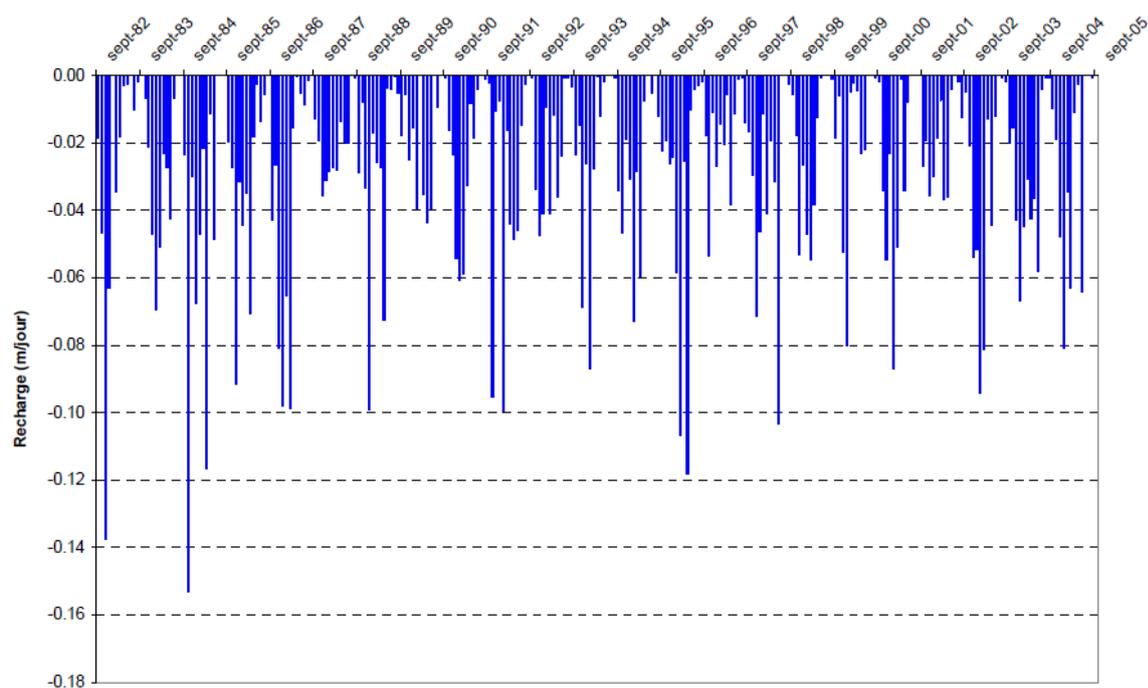


Figure VI.25 Recharge des oueds introduite dans le modèle en régime transitoire (oued Chiffa)

7.2. Limites latérales

7.2.1. Recharge des piémonts de l'Atlas

En se basant sur les études antérieures, huit (08) zones de recharge ont été identifiées le long de l'Atlas Blidéen. Pour chaque zone, une condition de flux a été intégrée (en m^3/j).

En régime transitoire, la recharge latérale a été calculée en fonction de la pluviométrie mensuelle. Un coefficient de recharge a été calculé à partir des flux calés en régime permanent.

7.2.2. Recharge de l'Astien

L'écoulement des eaux souterraines depuis le Sahel vers l'Astien a été représenté comme une condition de flux le long de la bordure nord-ouest du modèle.

Les variations saisonnières de la recharge ont été définies de la même façon que les oueds et l'Atlas.

7.2.3. Mer Méditerranée et retenue de Réghaia

Pendant toutes les simulations, la mer Méditerranée a été représentée comme une limite à potentiel imposé constant au cours du temps. La cote altimétrique a été fixée à 0 m NGA. Le lac de Réghaia construit sur la cluse de l'oued forme une petite retenue d'eau douce

à la limite Est du modèle. Ce réservoir a été intégré dans le modèle comme un potentiel imposé, avec une cote fixée à 20 m.

7.3. Limites inférieures

La limite inférieure du modèle correspond au mur de la formation astienne, soient les marnes plaisanciennes. Cette limite est considérée comme imperméable dans le modèle.

7.4. Prélèvements

Les prélèvements dans l'aquifère des alluvions et de l'Astien sont intégrés dans le modèle comme une condition limite de type puits. Les données sont importées sous la forme de débits imposés en m³/j.

Les débits prélevés ont été affectés aux noeuds du maillage correspondant aux coordonnées X et Y de chaque forage AEP, agricole et industriel. 3 300 points ont ainsi été intégrés dans le modèle.

Les captages AEP pompant de l'eau dans les deux aquifères ont été considérés comme des forages « multilayers » (captant dans les alluvions de la Mitidja et dans l'Astien).

8. CALAGE EN REGIME PERMANENT

8.1. Calage par rapport à la piézométrie de 1982

Le modèle simule correctement l'écoulement des eaux souterraines depuis l'Atlas vers le nord-est de la plaine et le secteur de Mazafran. La piézométrie simulée respecte aussi les gradients de la piézométrie observée ainsi que les grandes directions d'écoulement. Les dépressions piézométriques observées au droit des grands champs captants (Mazafran et Baraki) sont correctement simulées.

Le modèle a été calé avec une gamme de perméabilité comprise entre 1.10^{-5} et 8.10^{-4} m/s.

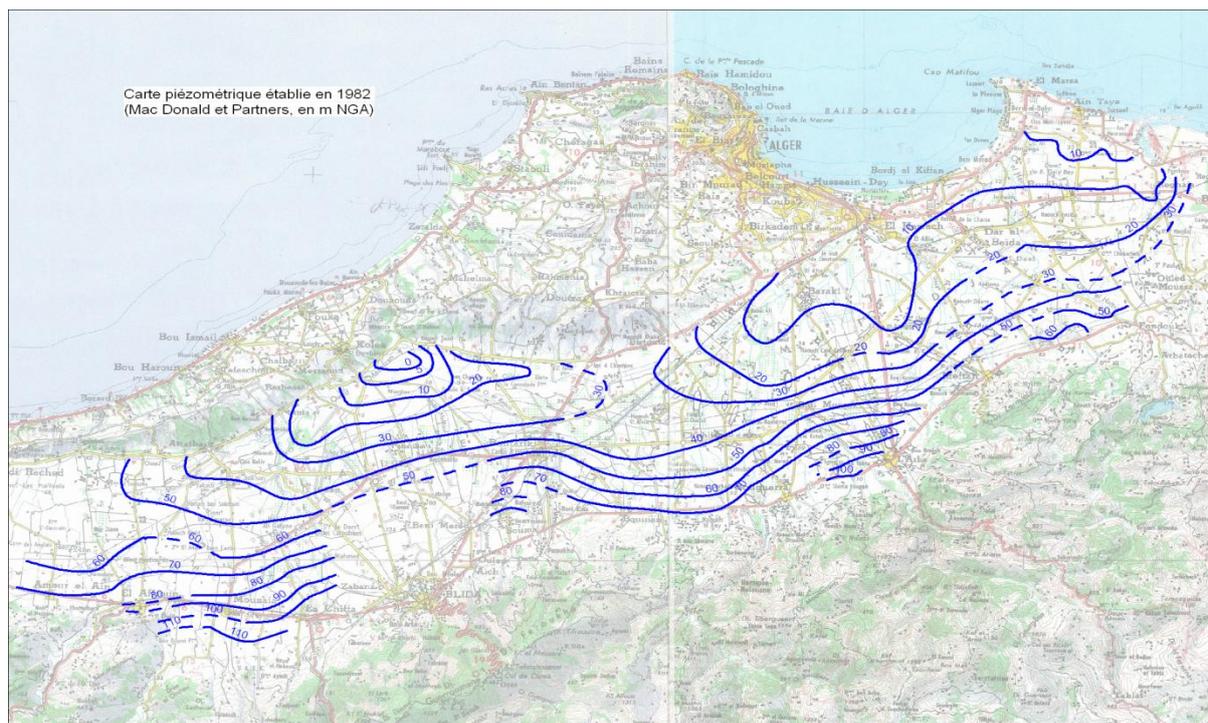


Figure VI.26 Piézométrie de référence 1982 (Mac Donald et Partners, 1992)

8.2. Bilan hydraulique

Le tableau VI.2 présente les flux d'entrée et de sortie au sein du système hydrogéologique de la Mitidja. On note que le principal pôle de recharge de la nappe est la recharge directe des précipitations. Tandis que la principale sortie est les prélèvements anthropiques dans la nappe des alluvions.

Tableau VI.2 Bilan hydraulique obtenu en régime permanent

	Entrées (m ³ /jour)	Sorties
Pluies	383 400	
Oueds	218 300	
Atlas	224 400	
Prélèvements		783 400
Mer		41 000
TOTAL	826 100	824400

8.3. Calage en régime transitoire

Le modèle a été calé en régime transitoire entre septembre 1982 et septembre 2005, soit 23 années de simulation.

8.3.1. Piézométries de référence

VI.11.3.1.1. Chroniques piézométriques

Pour le calage en régime transitoire, nous avons retenu les chroniques qui bénéficient des plus longues périodes d'observation. Une quinzaine de chroniques piézométriques sont disponibles sur la plaine. Ces points de contrôle font partis du réseau de suivi piézométrique de l'ANRH. Ces ouvrages sont des piézomètres, des forages ou des puits.

Malgré le nombre limité de points de contrôle, nous disposons de plusieurs points à proximité des champs captants gérés par la SEAAL : le point n°2 sur Mazafran 1, les points n°12 et 13 non loin de Baraki et de Haouch Felit et le point n°29 sur le secteur du Hamiz.

Les suivis piézométriques des niveaux de la nappe ont en général débuté après 1982.

Seulement quelques points de référence ont des données à partir de 1981.

Depuis 2001, l'ANRH effectue deux campagnes piézométriques par an en avril-mai (période de hautes eaux) et en septembre (période de basses eaux). Avant cette date, une seule mesure était réalisée dans l'année, au mois de septembre. Pour chacune de ces campagnes, les points de référence ne sont pas systématiquement mesurés.

VI.8.3.1.2. Carte piézométrique de septembre 2005

La carte piézométrique de 2005 a permis de caler le modèle après 23 années de simulation. Cette carte a été dessinée à partir de 35 points de référence suivis par l'ANRH. Etant donnée la répartition inégale des relevés, la piézométrie n'est pas précise sur l'ensemble de la plaine. Le calage du modèle ne vise donc pas à reproduire précisément l'allure générale des isohypses sur ces secteurs particuliers.

La piézométrie de 2005 met en évidence une profonde modification des directions d'écoulement des eaux souterraines. On observe de vastes dépressions piézométriques aux droits des grands champs captants avec des niveaux piézométriques inférieures à 0 m NGA.

Les niveaux les plus bas sont observés sur le site de Mazafran avec des cotes mesurées inférieures à -20 m NGA.

VI.8.3.1.3. Résultats du calage

Toutes les chroniques piézométriques mettent en évidence les fluctuations saisonnières de la nappe. En effet, pendant l'été, la baisse significative de la recharge des pluies et

l'augmentation des prélèvements avec l'agriculture irriguée provoquent un rabattement de la piézométrie sur l'ensemble de la Mitidja.

Dans les zones d'intérêts, les écarts maximum observés sont de l'ordre de 10 m, ce qui correspond à un bon ajustement dans le cadre d'un modèle régional. Pour certaines chroniques, les courbes simulées ont été ramenées en valeur absolues au niveau des courbes observées afin de pouvoir comparer plus facilement les évolutions piézométriques.

Les résultats ont été répartis en 3 secteurs : Mazafran, Baraki et Hamiz qui sont les trois sous bassins hydrogéologiques relativement indépendants de l'aquifère quaternaire de la Mitidja.

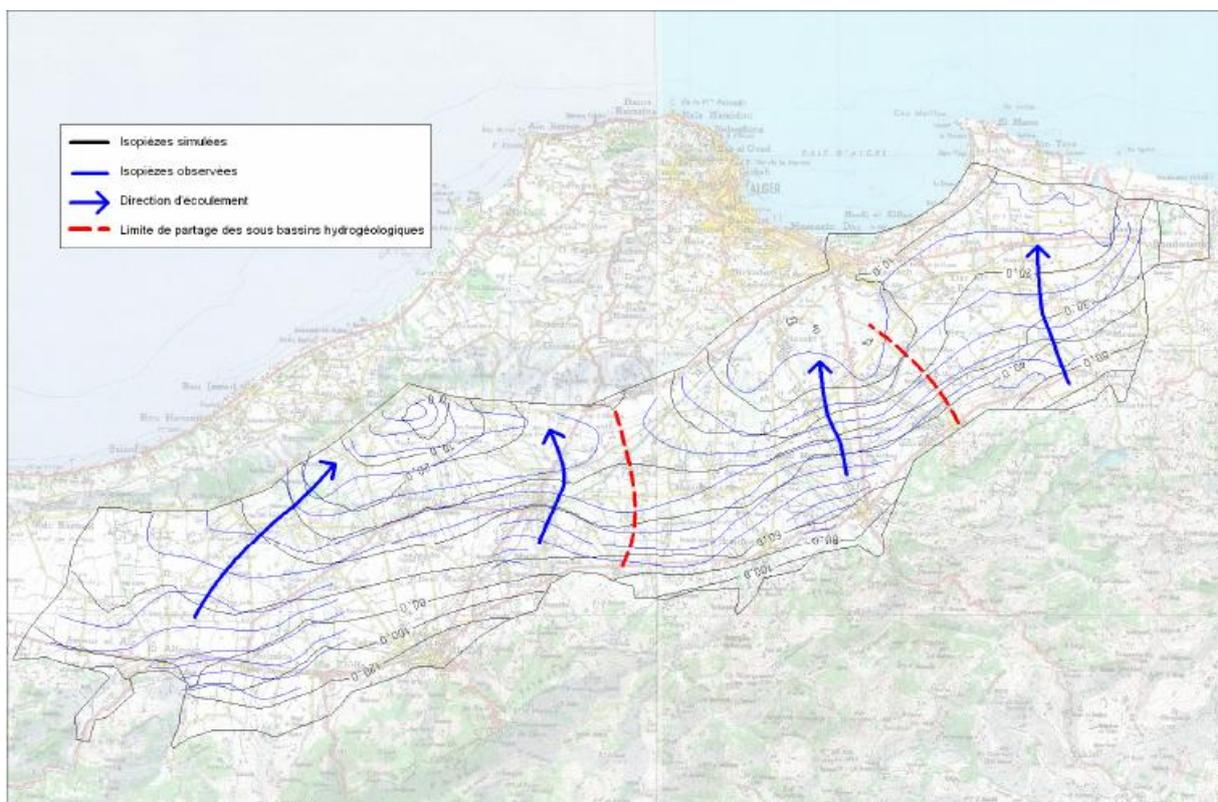


Figure VI.27 Calage en régime permanent : comparaison piézométries observée et simulée de 1982

a. Secteur Mazafran

Les figures VI.28 et VI.29 illustrent le calage du modèle en régime transitoire sur le secteur du Mazafran. Le piézomètre 2 se situe au centre du champ captant Mazafran I, tandis que les piézomètres 18 et 6 se trouvent en périphérie des champs captants de Mazafran.

L'évolution de la piézométrie sur le piézomètre 2 met en évidence une remontée de la piézométrie de 1988 à 1998 qui correspond à une baisse des prélèvements à Mazafran I. A partir de 1998, la piézométrie simulée reproduit correctement la baisse piézométrique observée suite à l'intensification des prélèvements par la SEAAL.

A la périphérie, le modèle simule correctement la baisse piézométrique observée.

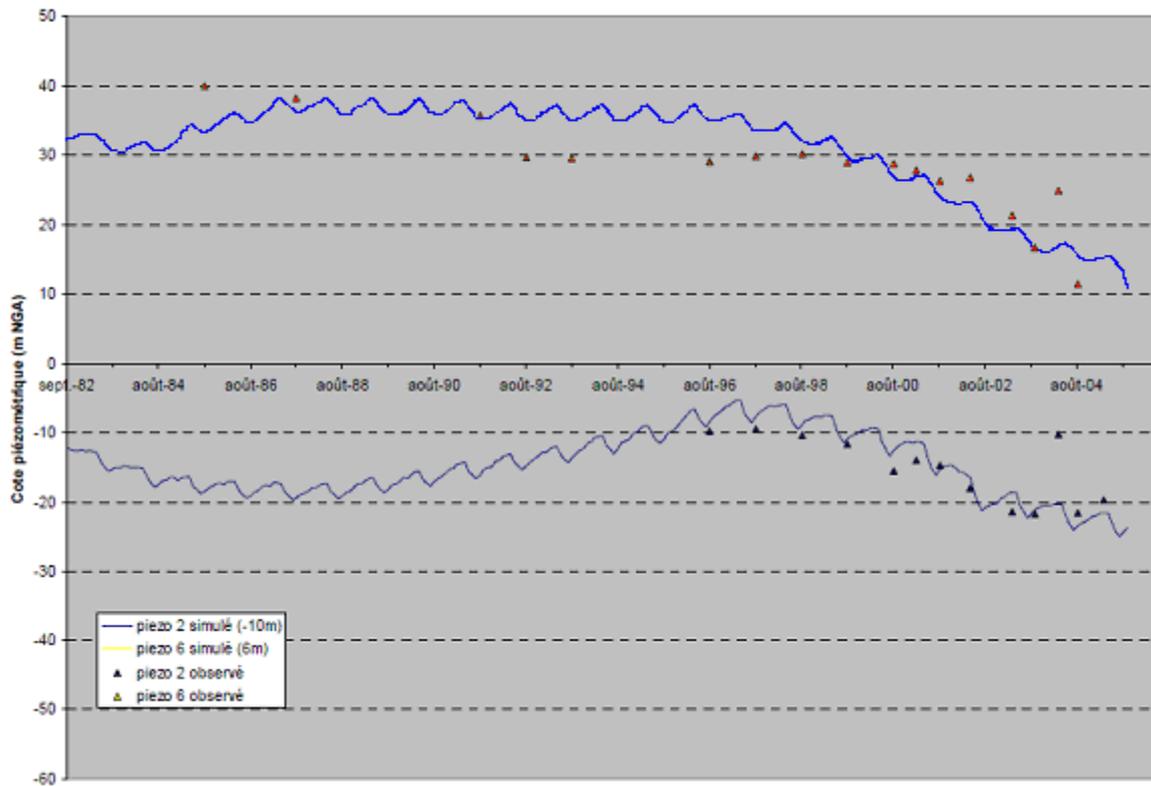


Figure VI.28 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Mazafran Centre

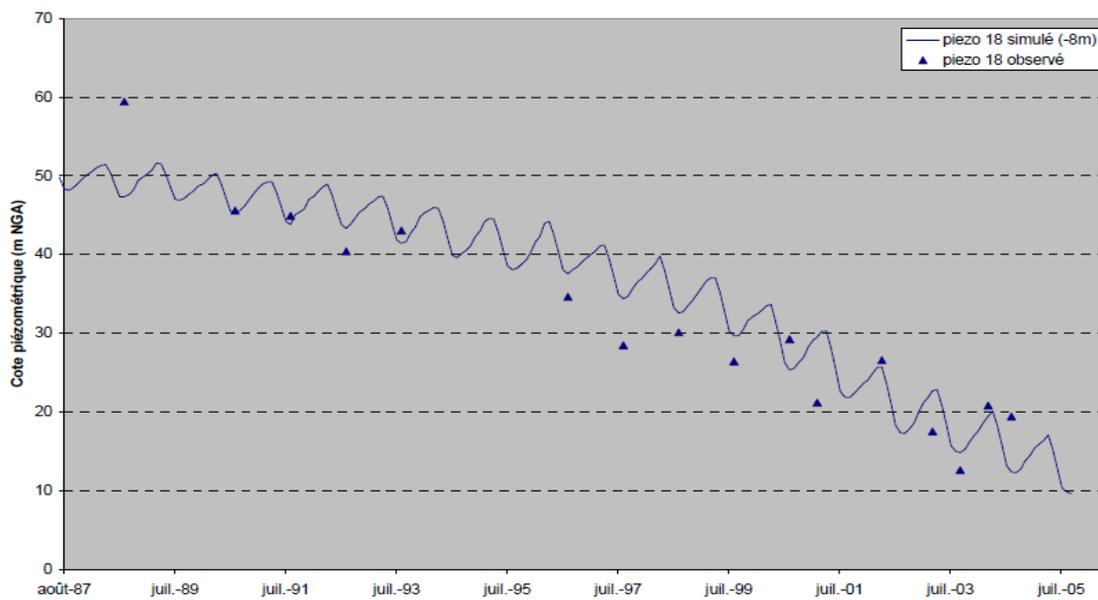


Figure VI.29 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Mazafran périphérie

b. Secteur Baraki

La figure VI.30 présente l'évolution de la piézométrie simulée sur le piézomètre 12 situé à proximité du champ captant de Baraki.

L'évolution piézométrique globale est reproduite de manière satisfaisante. L'amplitude de la baisse piézométrique, observée à partir de 1999, est cependant atténuée grâce au recours à la ressource superficielle plus au moins abondante ces dernières années et aux eaux de dessalement de la SDEM d'El Hamma.

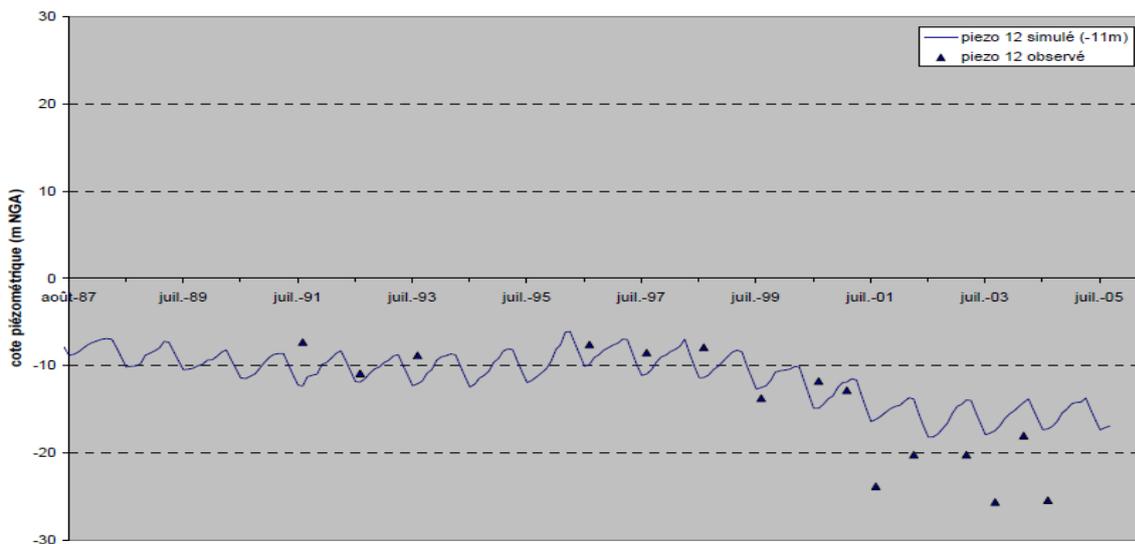


Figure VI.30 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur de Baraki

c. Secteur Hamiz

La figure VI.31 et VI.32 présentent l'évolution piézométrique pour les piézomètres localisés sur la bordure Est de la plaine et au centre du champ captant du Hamiz (piézomètre 29).

Sur la bordure Est de la plaine, le modèle reproduit correctement l'impact limité de l'augmentation des prélèvements souterrains et de la baisse de la recharge directe par les pluies.

Au centre du champ captant du Hamiz, le modèle simule la baisse piézométrique de plus de 10 m observée sur le piézomètre 29.

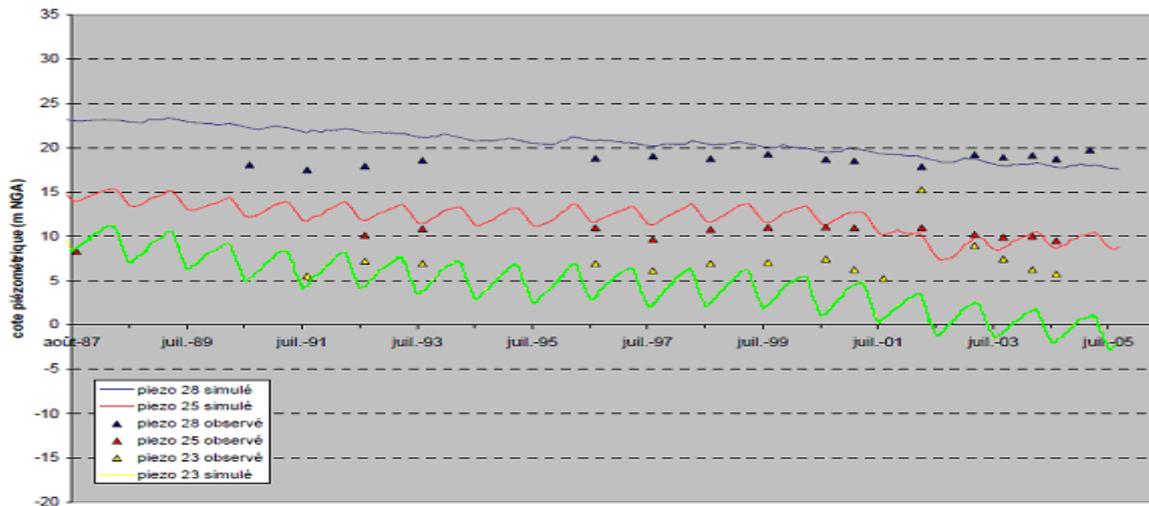


Figure VI.31 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Hamiz (périphérie)

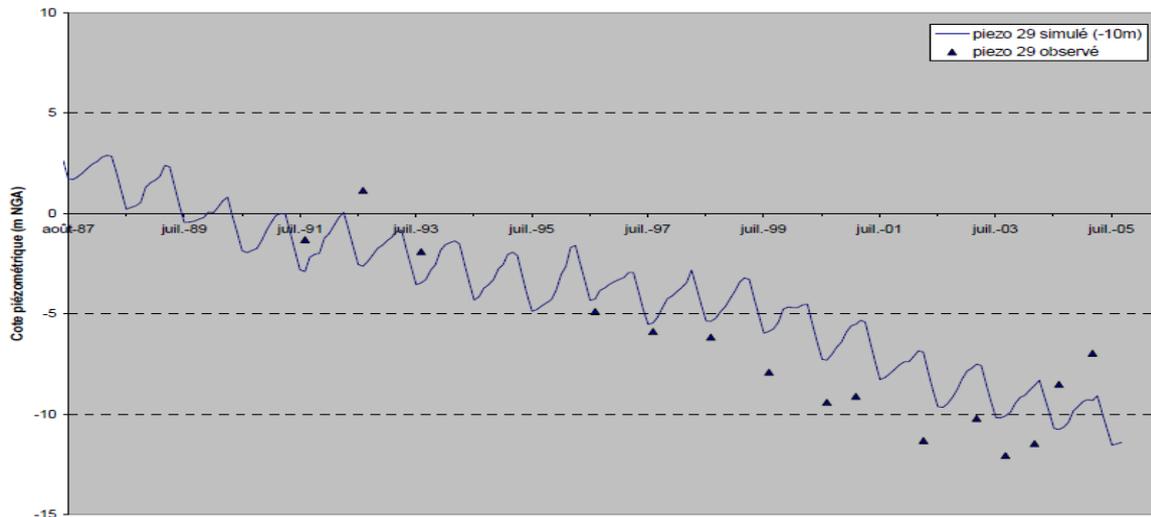


Figure VI.32 Calage du modèle en régime transitoire dans le secteur du Hamiz (centre)

8.4. Paramètres issus du calage

8.4.1. Prélèvements agricoles

Etant donnée l'incertitude sur l'évolution du volume prélevé pour l'agriculture, ce paramètre a été calé en régime transitoire en fonction de l'évolution des chroniques piézométriques.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution annuelle des prélèvements agricoles intégrés dans le modèle (Fig. VI.33). Pour reproduire correctement la piézométrie observée ces dernières années, les prélèvements agricoles atteignent en 2000 une valeur de plus de 200 millions m^3 /an. D'après les études antérieures, cette valeur est comprise dans la fourchette haute des estimations données. Ces calculs, réalisés sur la base des forages déclarés, peuvent

sous estimer le volume global prélevé car il est vraisemblable qu'un pourcentage non négligeable de forages agricoles ne soient pas déclarés.

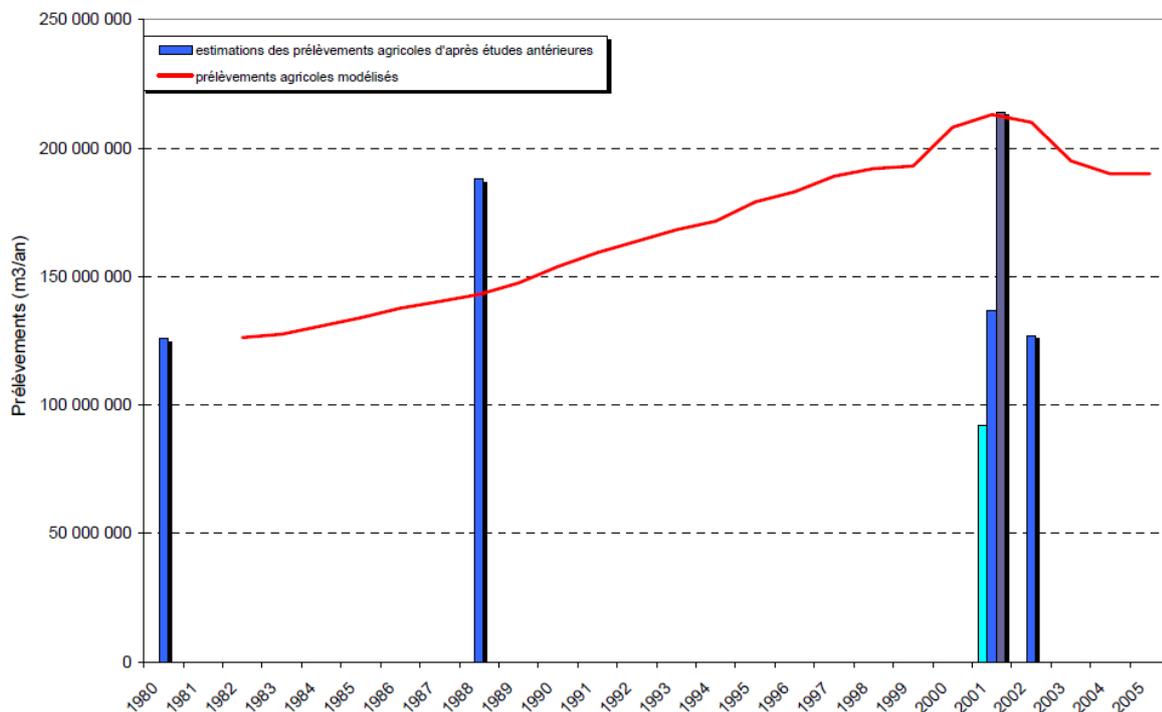


Figure VI.33 Comparaison entre les prélèvements agricoles modélisés et les volumes recensés dans les études antérieures

8.4.2. Coefficient d'emmagasinement

Les valeurs d'emmagasinement sont calées entre 12% dans le secteur du Hamiz, et 3%, au centre de la plaine. Ces valeurs sont cohérentes avec la nature des matériaux et du même ordre de grandeurs que les données obtenues lors des essais de pompages.

8.4.3. Perméabilité

Des allers-retours entre le calage en régime permanent et transitoire ont été effectués régulièrement pour obtenir le meilleur calage. Pour optimiser le calage, des modifications ont été effectuées sur les valeurs de perméabilité et leurs répartitions spatiales.

9. CONCLUSION

Le modèle FEFLOW constitue un outil d'animation intéressant. En effet, les phénomènes peuvent être en partie visualisés sur une grille spatiale, et l'évolution temporelle des paramètres est accessible.

Il doit être utilisé dans un objectif de meilleure compréhension et de réflexion sur le comportement du système, et pour appuyer les débats sur les modes de gestion du système ou sur les diverses stratégies d'adaptation que les exploitants du système pourraient développer dans différents contextes de gestion.

La partie suivante fait le bilan de ces résultats, discute leurs intérêts, et les perspectives d'études à poursuivre à l'aide du modèle FEFLOW.

CHAPITRE V : SCENARII DE GESTION DE LA NAPPE DE LA MITIDJA

1. INTRODUCTION

Une fois le modèle accrédité, il peut déjà être utilisé pour tester des scénarii d'intervention, de manière à vérifier s'il enrichit véritablement la réflexion sur la gestion de la nappe.

L'objectif principal du modèle ainsi décrit est de simuler l'impact des différents scénarii de gestion proposés afin d'évaluer les potentialités de l'aquifère.

Six scénarii de gestion sont proposés à travers ce travail choisi en fonction du caractère d'actualité des problématiques ainsi traitées, dont :

- Quatre scénarii de réduction des pompages AEP et/ou irrigation et industriels
- Un scénario de baisse de la recharge des oueds.
- Un scénario de recharge artificielle.

Ces six types d'intervention correspondent à des questions d'actualité dans le contexte étudié. Par la suite, les scénarii ultérieurs devraient être élaborés en concertation avec les décideurs du système.

Tous les scénarii ont été simulés sur la période de 2005 à 2020.

2. SCENARIO DE REFERENCE

Pour pouvoir comparer et analyser le comportement hydrodynamique de la nappe en fonction des différentes sollicitations, un scénario de référence a été créé.

Pour cette simulation, une pluviométrie moyenne a été considérée sur les 15 années de simulation (V.1). En parallèle, l'ensemble des prélèvements ont été considérés comme constants entre 2005 et 2020 (Fig. V.2). Seuls les prélèvements sur les champs captants

destinés pour l'alimentation en eau potable de wilaya d'Alger ont été actualisés jusqu'en 2011 (Fig. V.3).

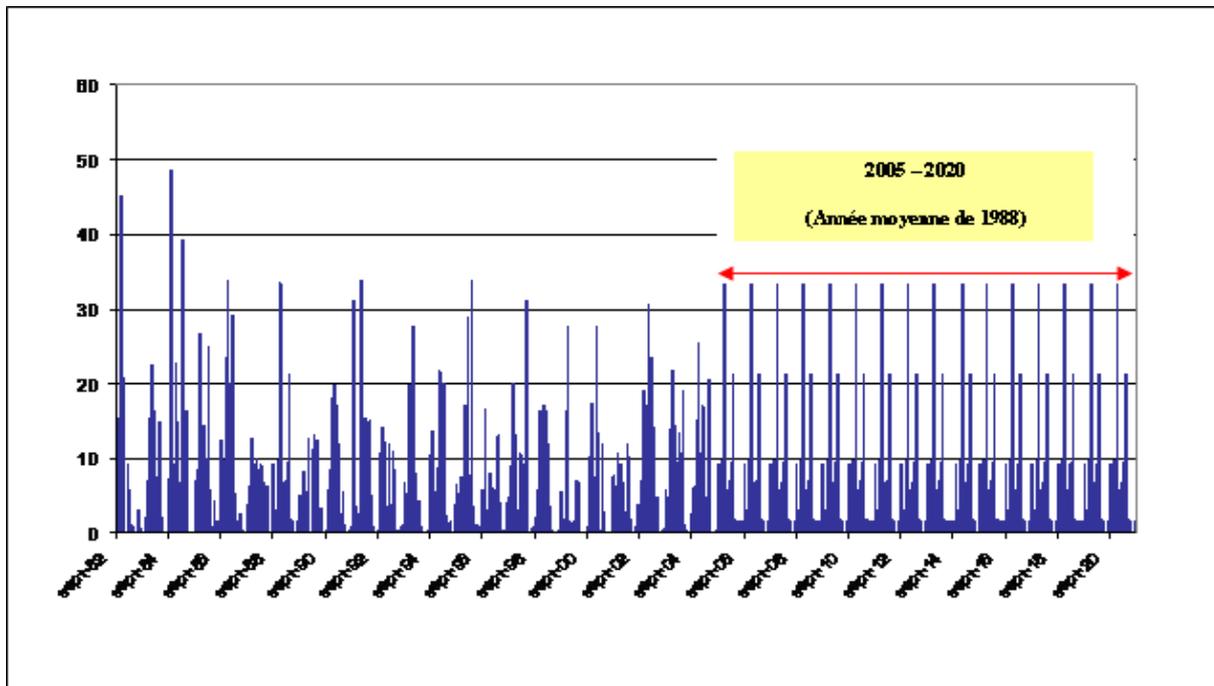


Figure V.1 Evolution de la pluviométrie intégrée dans les scénarios entre 1982 et 2020

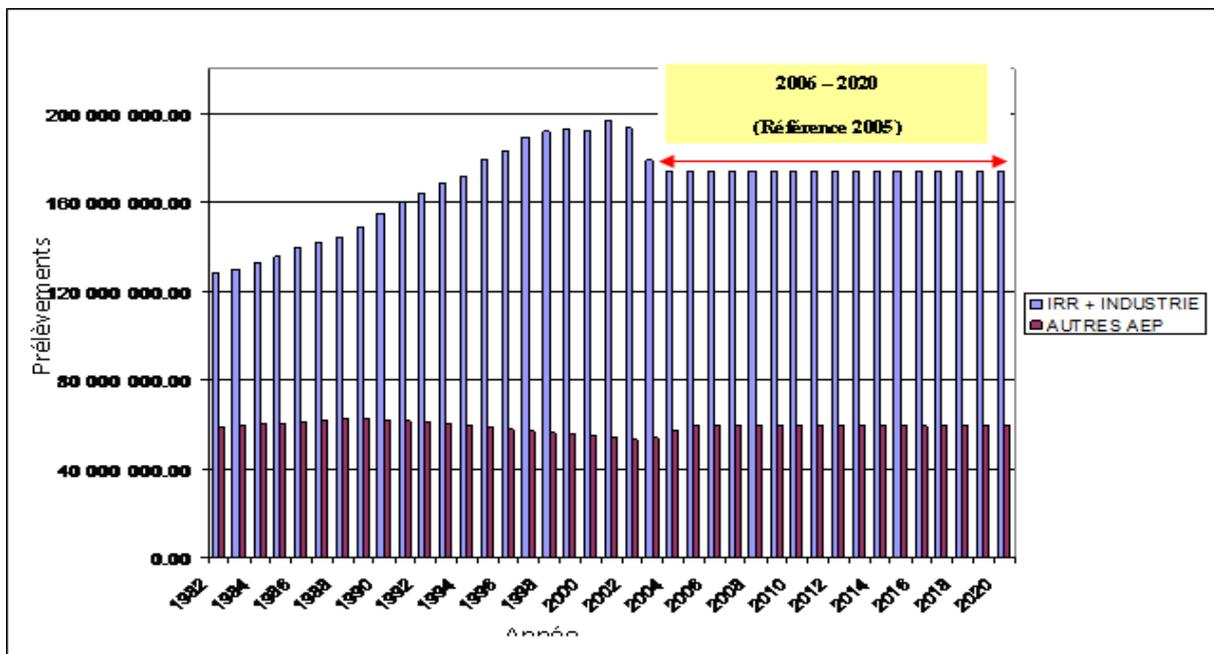


Figure V.2 Evolution des autres prélèvements (Irrigation + Industries + AEP autres) intégrés dans le scénario de référence entre 1982 et 2020

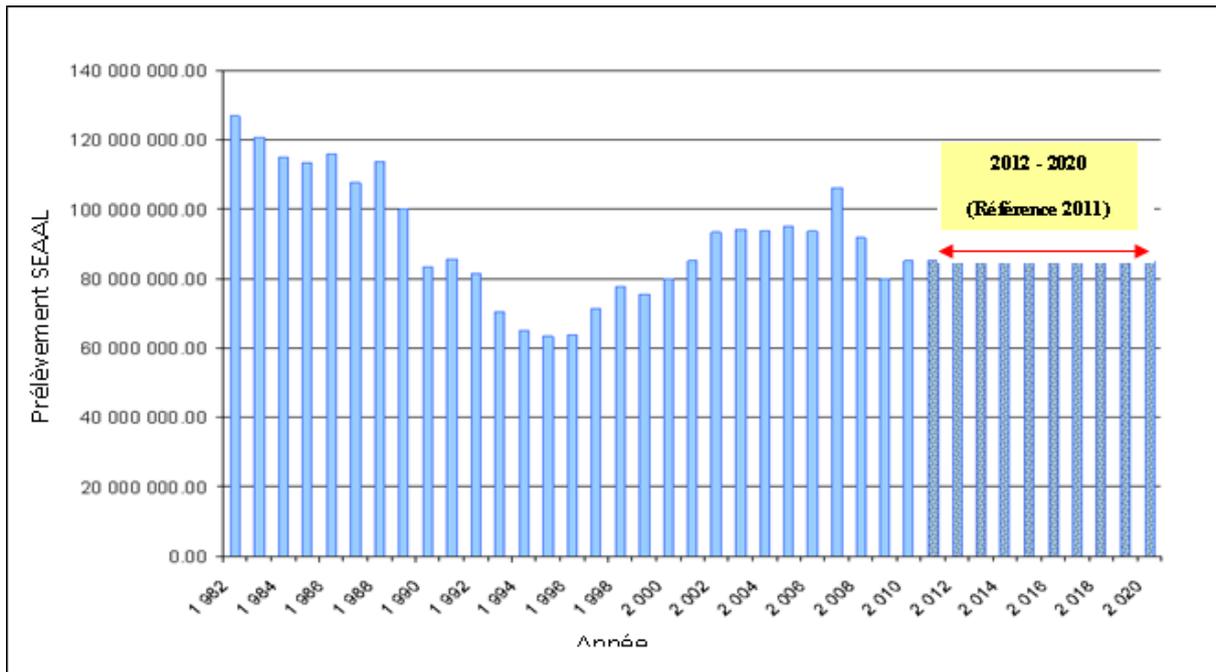


Figure V.3 Evolution des prélèvements SEAAAL intégrés dans les scénarios entre 1982 et 2020

Ce scénario représente donc une situation de statu quo qui servira de référence pour évaluer l'impact des modifications de la gestion des forages dans les scénarii suivants

Les résultats de ce scénario sont présentés sur les figures (Fig. V.4, V.5 et V.6) :

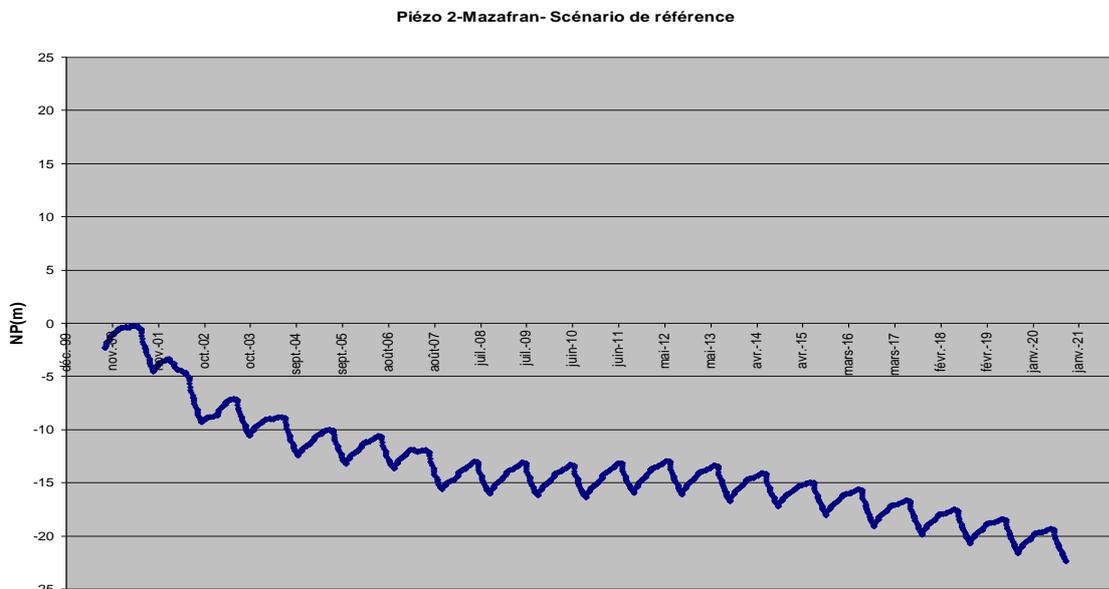


Figure V.4 Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran pour le scénario de référence

Piézo 12- Baraki- Scénario de référence

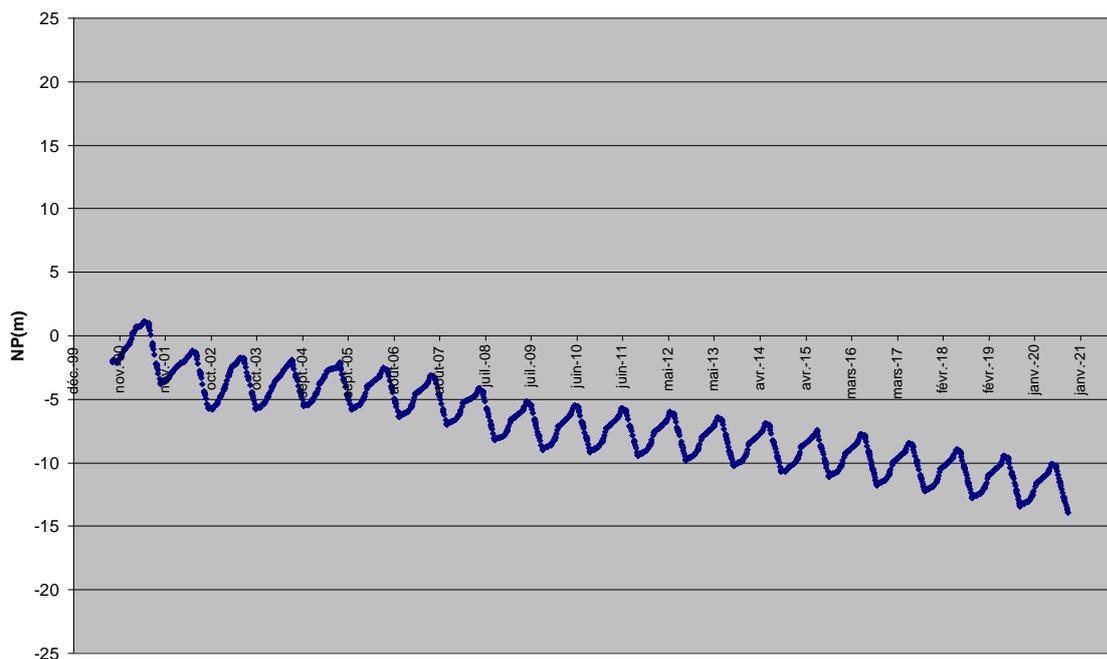


Figure V.5 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario de référence

Piézo 29- Hamiz- Scénario de référence

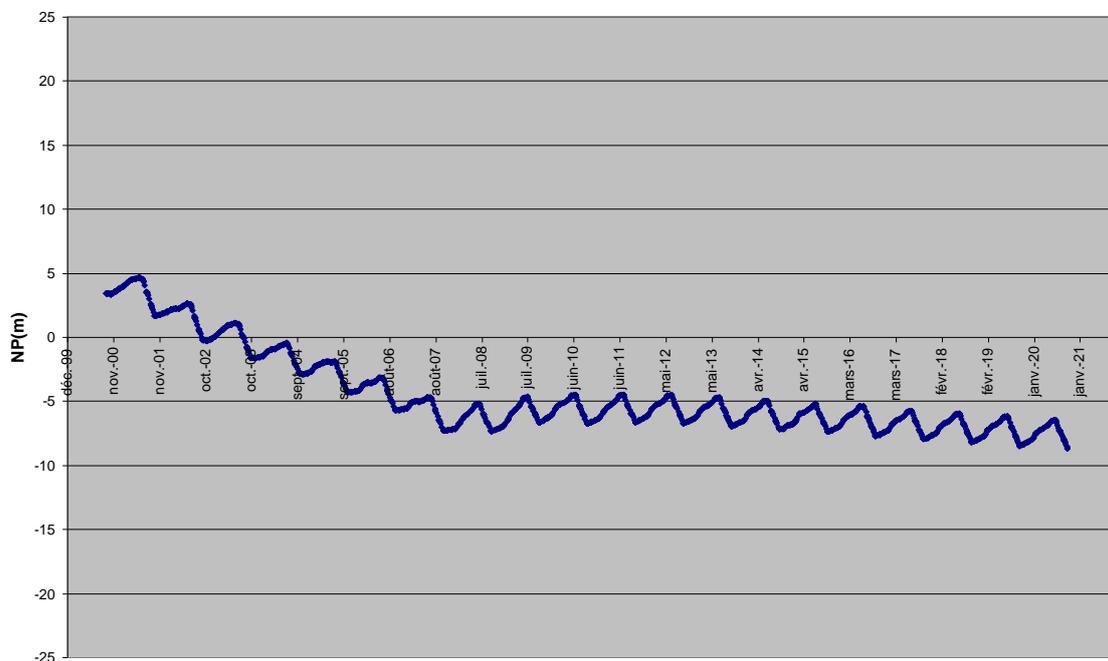


Figure V.6 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario de référence

Les chroniques piézométriques montrent que cette situation de statu quo provoque une baisse continue de la piézométrie jusqu'à 2020 sur l'ensemble de la plaine.

Le caractère périodique des oscillations des prélèvements a pour principale origine le climat qui est lui-même représenté dans le modèle par une série climatique.

Cette baisse continûment linéaire revient à dire que la nappe ne se recharge pas assez par rapport aux différents prélèvements.

Compte tenu des résultats de ce scénario de référence, on peut s'attendre à long terme à une augmentation importante du nombre de puits et forages abandonnés du fait de la profondeur de la nappe. Ces vagues successives d'abandon de puits et forages peuvent engendrer des surcouts d'exploitation et par conséquent une détérioration des conditions économiques des exploitants. Une telle situation pourrait s'avérer catastrophique pour les agriculteurs en premiers degré.

Pour pouvoir lutter contre ce phénomène, plusieurs scénariide gestion concertée entre les différents acteurs peuvent être proposés et doivent être mis à exécution.

3. SCENARII DE GESTION

3.1 Scénario 1 : réduction de 14% des pompages AEP

3.1.1 Objectif du scénario

L'objectif de ce scénario est de modéliser l'impact de réduction des pompages sur les différents champs captant et de voir ainsi l'impact direct sur la nappe de la Mitidja.

3.1.2 Description du scénario

- Baisse des pompages sur les Champs Captant du Hamiz, Baraki, Haouch Felit, Rouiba, Réghaia, Chebcheb et Bouréah. (voir le tableau ci-dessous)
- Tous les autres pompages AEP Alger sont considérés comme constants de 2011 à 2020.
- Tous les autres prélèvements soit d'irrigation, d'industrie et AEP autres sont considérés comme identiques à celle définis dans le scénario de référence.
- La pluviométrie a été considérée comme moyenne (1988) sur l'ensemble de la période.

Tableau V.1 modification des prélèvements sur les champs de captage de la Mitidja Est

	Scénario de référence (m ³ /an)	Scénario 1 (m ³ /an)	Baisse
Baraki	18 216 639	14 026 812	-23%
H Felit	5 778 556	2 889 278	-50%
Hamiz	9 221 968	6 455 377	-30%
Hamiz Zone Autonome	1 988 166	1 988 166	/
3 Caves	1 021 558	1 021 558	/
H B Abbès	229 576	229 576	/
D El Beida	2 639 572	2 639 572	/
Rouiba	2 913 034	1 747 820	-40%
Réghaia	1 452 923	1 162 338	-20%
Eucalyptus	178 722	178 722	/
Chebcheb	67 550	0	-100%
Bouréah + El Marsa	3 391 111	1 695 556	-50%
Autres forages SEAAL	44 828 541	44 828 541	/
TOTAL	91 927 916	78 863 316	-14%

3.1.3 Résultats et discussions

Nous essayerons d'étudier l'impact de ce scénario sur les trois sous bassins à savoir Mazafran, Baraki et Hamiz.

a. Secteur Mazafran

Dans le secteur du Mazafran, la nappe n'est pas influencée par les modifications des prélèvements sur le secteur Est, ce qui confirme donc l'indépendance hydrogéologique entre ce bassin et les deux autres bassins de l'Est (Hamiz et Baraki).

b. Secteur Baraki

A Baraki, la réduction de prélèvements de 23% provoque une remontée de **02m** par rapport à la piézométrie de 2010.

c. Secteur Hamiz

A proximité du champ captant de Hamiz, la réduction des prélèvements de 30% provoque une remontée significative de la nappe d'environ **02 m** par rapport à la piézométrie de 2010, cette remontée se stabilise à **-4m** jusqu'à 2020.

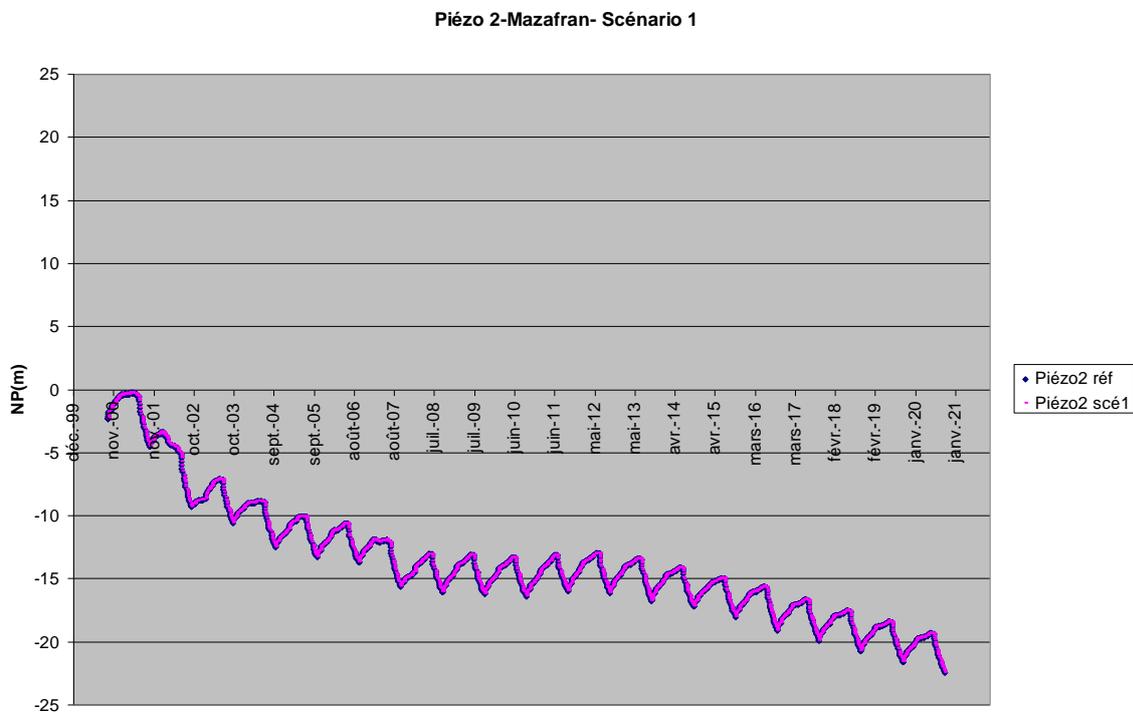


Figure V.7 Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran pour le scénario 01

Piézo 12- Baraki- Scénario 1

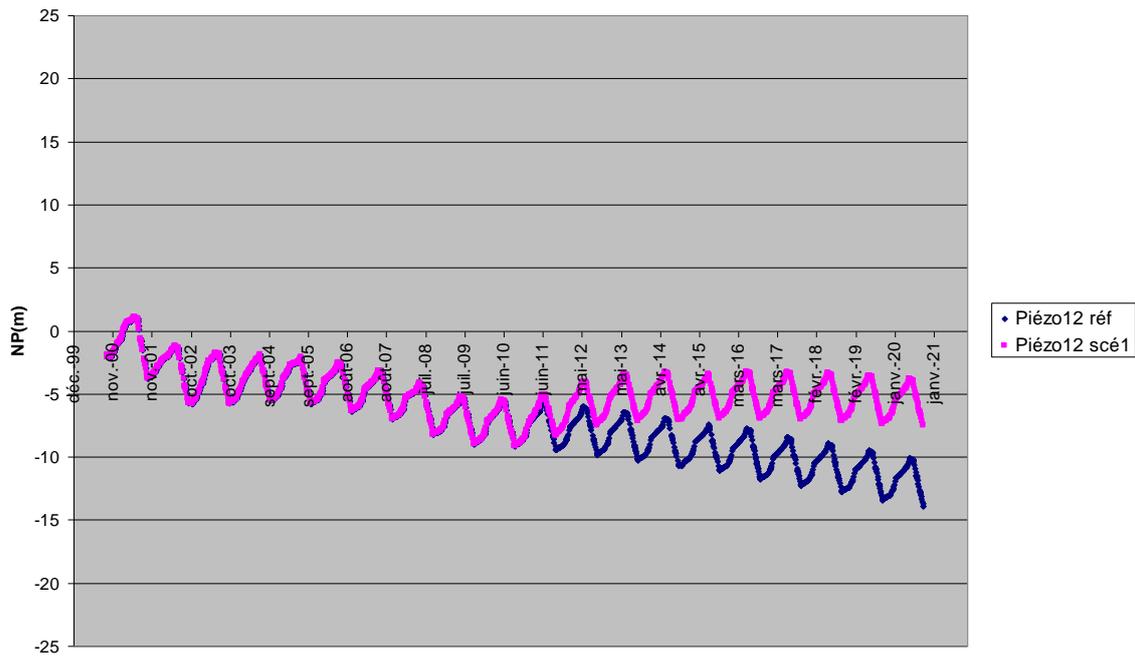


Figure V.8 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario 01

Piézo 29- Hamiz- Scénario 1

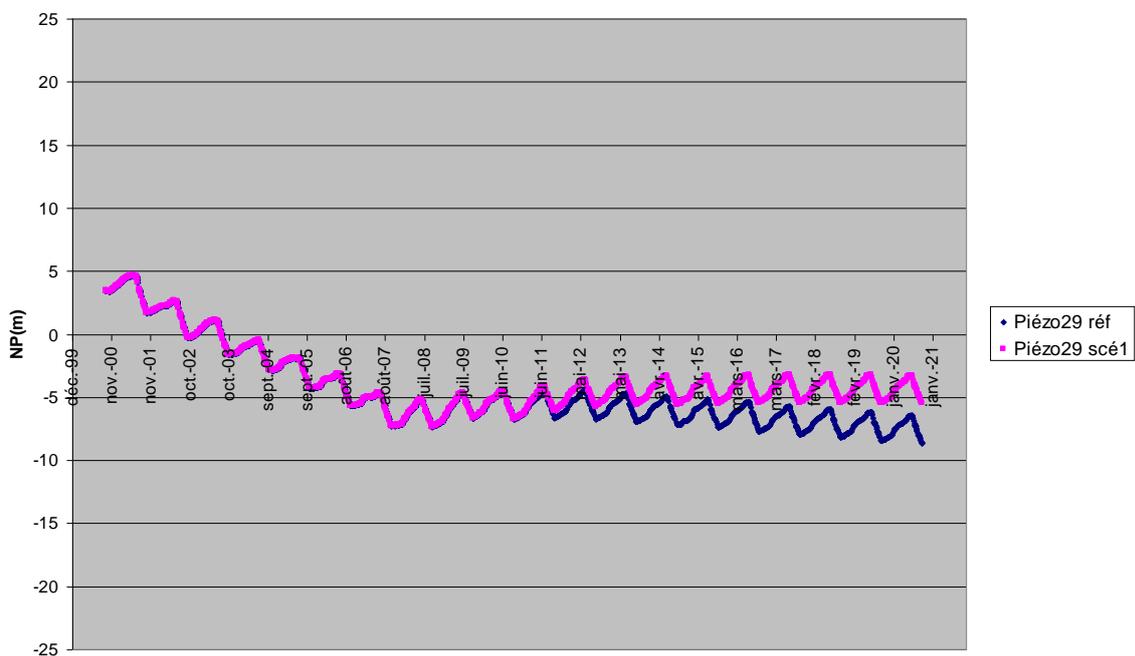


Figure V.9 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 01

3.2 Scénario 2 : réduction de 21% des pompages AEP

3.2.1 Objectif du scénario

Dans ce scénario, nous avons augmenté la réduction sur le champ captant de Baraki jusqu'à 55%, pour voir s'il existe une influence entre les champs captant du Hamiz et Baraki.

3.2.2 Description du scénario

- Baisse des pompages sur les Champs Captants de Hamiz, Baraki, H.Felit, Rouiba, Réghaia, Chebcheb et Bouréah. (voir le tableau ci-dessous)
- Tous les autres pompages AEP sont considérés comme constants de 2011 à 2020.
- Tous les autres prélèvements soit d'irrigation, d'industrie et AEP autres que l'AEP d'Alger sont considérés comme identiques à celle définis dans le scénario de référence.
- Baisse de la recharge de l'oued El Harrach et oued Chiffa.
- La pluviométrie a été considérée comme moyenne (1988) sur l'ensemble de la période.

Tableau V.2 modification des prélèvements sur les champs de captage de la Mitidja Est

	Scénario de référence (m³/an)	Scénario 2 (m³/an)	Baisse
Baraki	18 216 639	8 197 488	-55%
H Felit	5 778 556	2 311 422	-60%
Hamiz	9 221 968	6 455 377	-30%
Hamiz Zone Autonome	1 988 166	1 988 166	/
3 Caves	1 021 558	1 021 558	/
H B Abbès	229 576	229 576	/
D El Beida	2 639 572	2 639 572	/
Rouiba	2 913 034	1 747 820	-40%
Réghaia	1 452 923	1 162 338	-20%
Eucalyptus	178 722	178 722	/
Chebcheb	67 550	0	-100%
Bouréah + El Marsa	3 391 111	1 695 556	-50%
Autres forages SEAAL	44 828 541	44 828 541	/
TOTAL	91 927 916	72 456 137	-21%

3.2.3 Résultats et discussions

b. Secteur Baraki

A Baraki, la réduction de prélèvements de 55% provoque une remontée de **05m** par rapport à la piézométrie de 2010.

c. Secteur Hamiz

Dans le secteur de Hamiz la nappe n'a pas été influencée par la réduction importante des prélèvements sur les champs captants de Baraki et H.Felit, ce qui confirme donc l'indépendance hydrogéologique entre ces sous bassins.

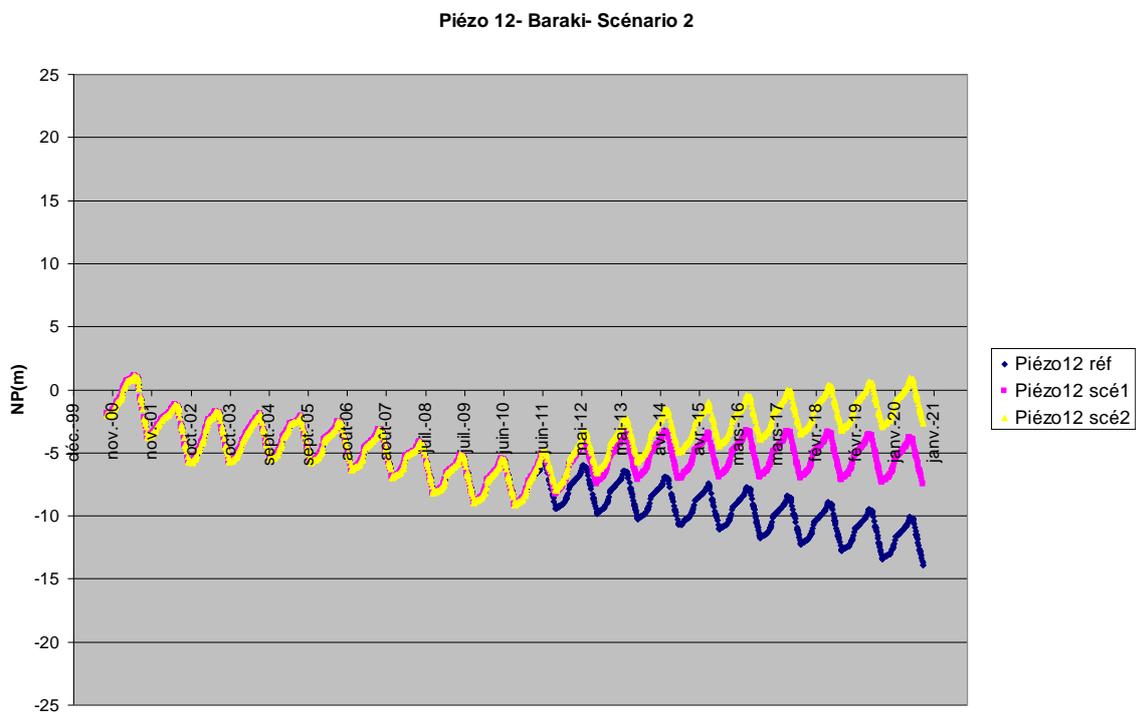


Figure V.10 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Baraki pour le scénario 02

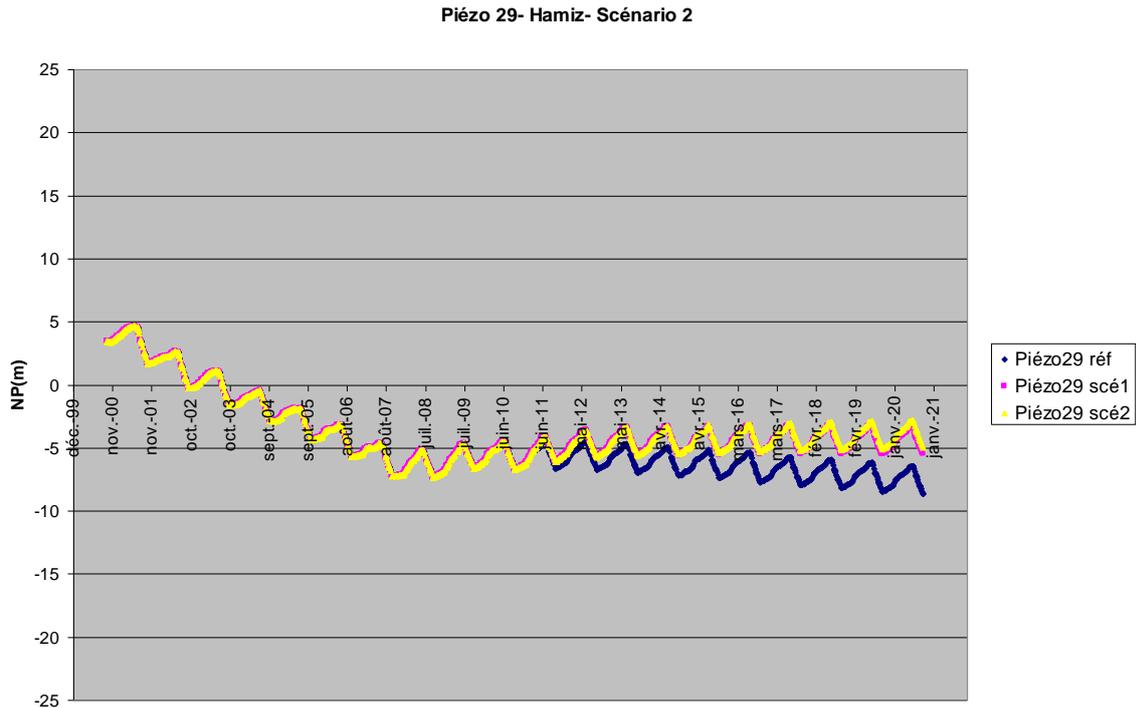


Figure V.11 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 02

3.3 Scénario 3: réduction de 50% des pompages AEP+IRR sur le secteur Hamiz

3.3.1 Description du scénario

- Baisse de 50% des pompages AEP, irrigation sur le secteur du Hamiz
- Baisse de la recharge de l'oued El Harrach et oued Chiffa.
- La pluviométrie a été considérée comme moyenne (1988) sur l'ensemble de la période.
- Tous les autres pompages AEP sont considérés comme constants de 2011 à 2020.
- Tous les autres prélèvements soit d'irrigation, d'industrie et AEP autres que l'AEP d'Alger sont considérés comme identiques à celle définis dans le scénario de référence.

3.3.2 Résultats et discussions

A proximité du champ captant de Hamiz, la réduction des prélèvements pour l'AEP et l'irrigation de 50% provoque une remontée significative de la nappe d'environ **03 m** par rapport à la piézométrie de 2010, cette remontée se stabilise à **-3m** jusqu'à 2020.

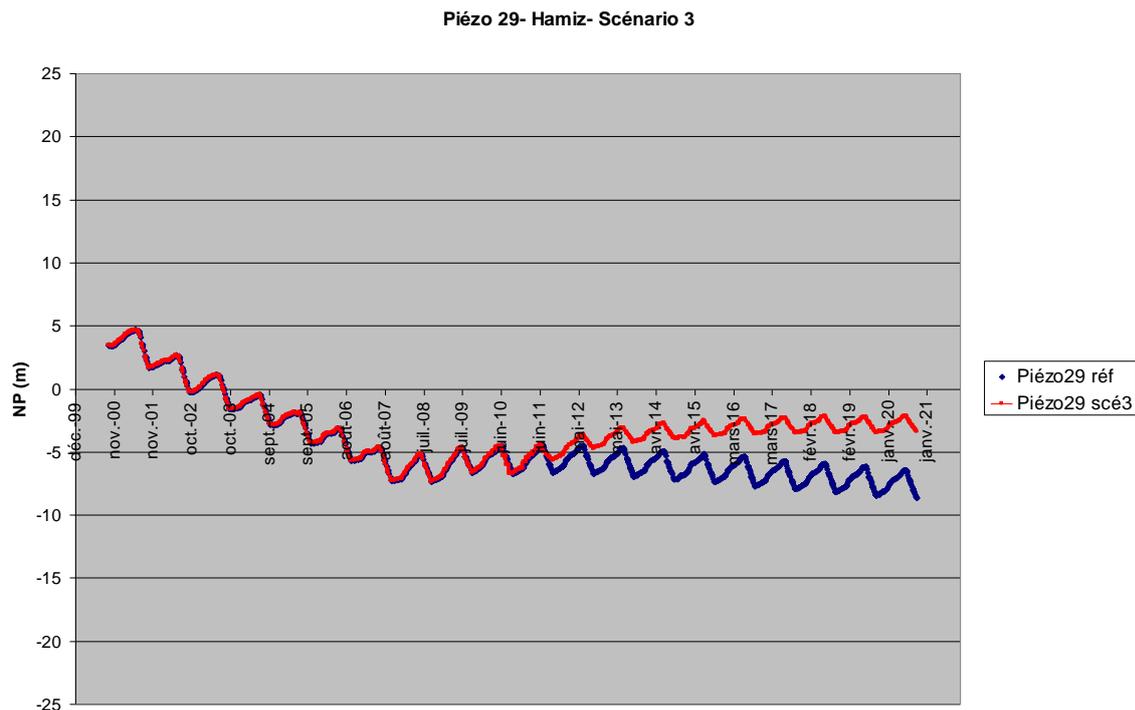


Figure V.12 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 03

3.4 Scénario : réduction de 50% des pompages AEP+100%IRR sur le secteur Hamiz

3.4.1 Description du scénario

- Baisse de 50% des pompages AEP, et 100% des pompages pour l'irrigation sur le secteur du Hamiz
- Baisse de la recharge de l'oued El Harrach et oued Chiffa.
- La pluviométrie a été considérée comme moyenne (1988) sur l'ensemble de la période.
- Tous les autres pompages AEP sont considérés comme constants de 2011 à 2020.
- Tous les autres prélèvements soit d'irrigation, d'industrie et AEP autres que AEP d'Alger sont considérés comme identiques à celle définis dans le scénario de référence.

3.4.2 Résultats et discussions

A proximité du champ captant de Hamiz, la réduction de 50% des prélèvements AEP et 100% d'irrigation, provoque une remontée significative de la nappe où le niveau 0 est atteint à partir

de 2016 soit une remontée de 5m (référence 2016), et une remontée jusqu'au niveau 02m à la fin de la simulation (2020) soit une remontée totale de 07m (référence 2020).

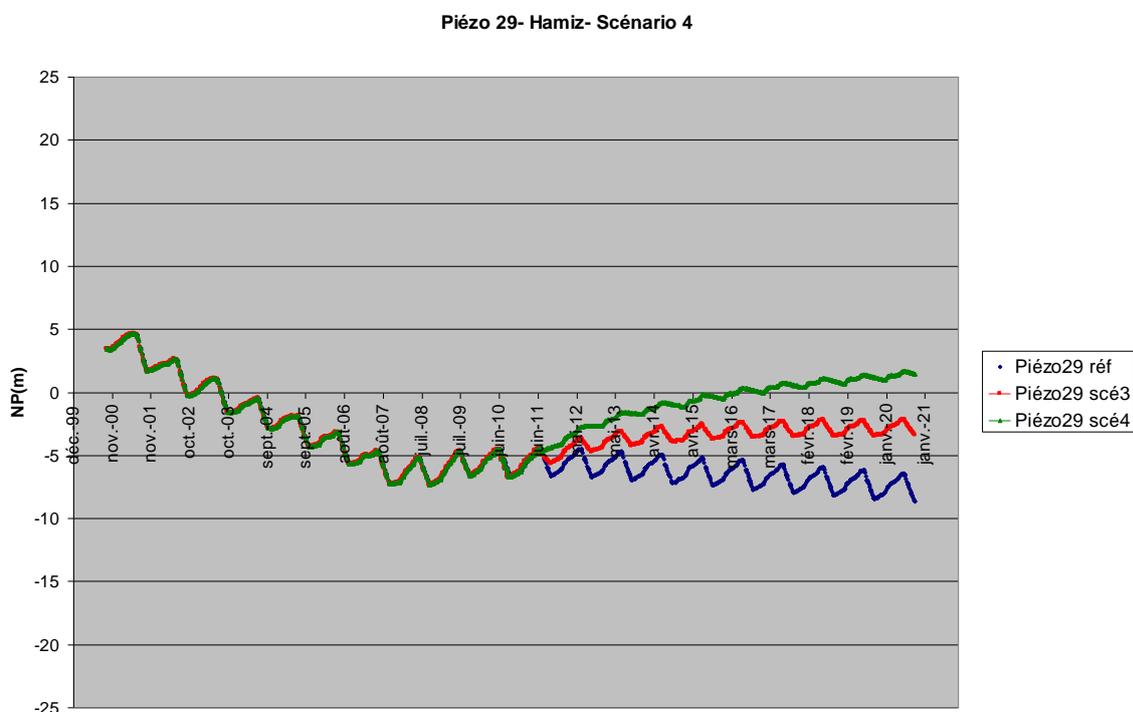


Figure V.13 Evolution de la piézométrie dans le secteur de Hamiz pour le scénario 04

4 Conclusion

Ces quelques expérimentations, menées dans le laboratoire virtuel que constitue le modèle Feflow, ont éveillé des questions sur le mode de gestion de la nappe, sur les conditions d'efficacité des interventions sur la nappe et sur les vigilances à développer à propos d'effets inattendus de ces interventions dans le contexte étudié.

En terme de prospective, la simulation du scénario de référence indique que la baisse de la nappe devrait se poursuivre dans les décennies à venir.

Les résultats de simulation des quatre scénarii proposés nous confortent dans l'idée que cette baisse de niveau est réversible à condition de prendre les bonnes décisions aux bons moments et en concertation avec les différents usagers de la ressource.

En ce sens, Feflow peut prétendre constituer à terme le support d'une vision commune de la nappe, et rétroactivement, modifier le regard que les acteurs portent sur le système.

CONCLUSION GENERALE

Le thème de ce travail se situe au point de croisement des deux domaines : la modélisation numérique et la gestion intégrée des ressources en eau. Il s'agit d'une démarche de généraliste qui tente de profiter des outils et des méthodes à disposition pour résoudre, avec un certain pragmatisme, des problèmes rencontrés concrètement dans la réalité. Dans ce cadre, notre travail s'est fixé comme objectif d'apporter des solutions conceptuelles et méthodologiques pour la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin hydrographique 02A.

Ce travail a débuté par une présentation du concept de la gestion intégrée tant au niveau national qu'international, par la suite une analyse succincte des besoins en outils décisionnels orientés vers la gestion des ressources en eau a été élaboré. Il s'agit des modèles mathématiques.

Une description détaillée de la zone d'étude accompagnée par une série de cartes mettant en avance la variabilité spatiale des ressources en eau, suivie par une analyse de la situation actuelle de la mobilisation des ressources en eau au niveau de la zone d'étude.

On s'est intéressé par la suite à la situation des ressources en eau superficielles souterraines au niveau du bassin hydrographiques 02A à l'issue de laquelle un bilan sommaire a été établi et qui a fait ressortir le caractère fortement déficitaire du bilan de la ressource en eau au droit du bassin 02A en général.

A partir de là, et dans une optique de développement d'outils et de méthodes pour une gestion intégrée de la ressource en eau au niveau du bassin 02A, des modèles de simulation régional permettant une exploitation contrôlée des ressources ont été utilisés. Leurs objectifs sont de développer des outils de gestion et d'aide à la décision pour une meilleure connaissance de la ressource et pour soutenir les décisions de planification à l'échelle du bassin 02A.

Un certain nombre de scénarios a été étudié pour voir leur impact sur le niveau hydrodynamique du système aquifère du bassin hydrographique 02A. L'utilisation d'un tel modèle trouve toute son expression d'utilité comme support dans la négociation au travers de la réaction des différents acteurs face à de nouvelles situations.

Ce travail ouvre enfin des perspectives de recherche dans les deux domaines qui le portent : la modélisation numérique et la gestion intégrée des ressources en eau.

A noter que ces modèles permettent d'étudier un certain nombre de problématiques liées à la gestion des ressources hydriques entre autre :

- ❖ La recharge artificielle des systèmes aquifères par épandage, tranchée artificielles, bassin d'infiltration ou autre ;
- ❖ L'étude de l'influence du changement climatique sur la ressource superficielle et son impact direct sur les ouvrages de retenue ;

Les résultats de ce travail montrent que les modèles conceptuels pluie-débit et en particulier le modèle GR2M et les modèles mathématiques constituent des outils idéaux d'aide à la décision au profit des décideurs. Cependant un certain nombre de recommandations doivent être formulées pour améliorer leurs impacts. Elles sont identifiées en trois niveaux: à court terme, à moyen terme et à long terme.

a. A court terme :

Dans ce travail, les données concernant les prélèvements en eau potable, d'irrigation et industrielles des wilayas de Blida, Boumerdes, Ain Defla et Tipaza n'ont pas été mis à jour depuis 2005, un travail énorme d'actualisation et de validation de ces données doit être mené ; Idem pour les chroniques pluviométriques qui sont disponibles uniquement pour la période allant de 1982 à 2005 qu'il convient également de mettre à jour.

b. A moyen terme :

La gestion intégrée désigne une gestion à la fois "qualitative" et "quantitative", portant à la fois sur "l'eau de surface" et "l'eau souterraine". C'est donc un concept assez large qui nécessite la mobilisation d'une équipe pluridisciplinaire, notre travail s'est limité uniquement aux deux aspects "quantitatif" et "eau souterraine et eau de surface", il serait temps d'intégrer l'aspects "qualitatif" dans un même modèle, seul véritable outil d'aide à la décision.

c. A long terme :

Une fois le modèle finalisé, vérifié et validé, l'étape suivante consiste à généralisé l'utilisation du dit modèle de telle sorte à ce que les groupes d'utilisateurs – gestionnaires du bassin hydrographique, gestionnaires des réseaux d'eau potable, exploitants agricoles ; planificateurs publics ; responsables des agences hydriques – peuvent interroger les modèles afin de connaître les répercussions potentielles de différentes options de gestion de l'eau, afin de prendre les bonnes décisions au bon moment.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **BURTON J.** « *La gestion intégrée des ressources en eau par bassin* » ; Manuel de formation ; Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, 2001.
- [2] **SALEM A.** « *Quel avenir pour une gestion intégrée de l'eau en Algérie, notamment dans la zone littorale ?* » ; Article Revue de l'économie méridionale, 2000.
- [3] **BARRETEAU O.** « *Modèles et processus de décision collective : entre compréhension et facilitation de la gestion concertée de la ressource en eau* » ; Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches ; Cemagref, UMR G-EAU, 2007.
- [4] **BOUTKHIL M.** « *Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est* » ; Article ; INRF Tlemcen, 2007.
- [5] **CAP-NET** « *Plans de gestion intégrée des ressources en eau* » ; Manuel de Formation et Guide Opérationnel. 2005.
- [6] **DUPONT J., SMITZ J., ROUSSEAU A.N., MAILHOT A. et GANGBAZO G.** « *Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau* » ; Article Revue des sciences de l'eau ; N° spécial 5-18, 1998.
- [7] **CHARIFI S.** « *Application du modèle hydrologique GR2M sur les bassins versants de la Soumam et d'Isser* » ; Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2005.
- [8] **MOUELHI S.** « *Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier* » ; Thèse de Doctorat ; l'Ecole Nationale Du Genie Rural des Eaux et Des Forets, 2003.
- [9] **FORSYTHE N.D.** « *Les processus de gestion concertée des ressources en eau dans les bassins versants urbanisés: quels retours d'expérience à partir d'analyses de cas en Amérique du Sud et en Europe?* » ; Synthèse Technique ; Ecole nationale du génie rural des eaux et des forêts, 2007.

- [10] **BENAYADA L.** « La citoyenneté de l'eau en Algérie et particulièrement dans la région de l'Oranie » ; Article Université des sciences et de la technologie Oran, 2004.
- [11] **GRANDGIRARD A.** « *De la gestion intégrée comme doctrine à l'intégration comme défi de gestion* » ; Thèse de doctorat ; Ecole des Mines de Paris, 2007.
- [12] **KADI A.** « *La gestion de l'eau en Algérie* » ; Article Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 1997.
- [13] **KHERRAZ K.** « *Gestion intégrée des ressources en eau en Algérie, principes et moyens d'une nouvelle politique* » ; Conférence internationale Eau et développement durable ; Paris, France, 19/20/21 Mars 1998.
- [14] **LAURENT F.** « *Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux* » ; Thèse de doctorat ; Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. 1996.
- [15] **Programme d'Aménagement Côtier Zone côtière algéroise (PAC),** « *Rapport de diagnostic* » ; Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2005.
- [16] **Plan National de l'Eau des Régions Hydrographiques (PNE) 2010,** « *Etude d'Actualisation et de finalisation* » ; Direction des Etudes et Aménagements Hydrauliques du Ministère des Ressources en eau, 2010.
- [17] **SOGREAH,** « *Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de la Wilaya d'Alger* » ; Rapport de production ; SOGREAH, 2009.
- [18] **Vertigo,** « *Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique : Cas du Cameroun* » ; Revue en sciences de l'environnement, Vol7no2, 2006
- [19] **TOUHAMI M., KABOUR A.; BOUANANI A., MEKKAOUI A. et CHEBBAH L.** « *Un modèle de gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyperaride : Cas de l'oasis de Béni Abbès (Vallée de la Saoura, sud ouest algérien)* » ; 13e Congrès Mondial de l'Eau ; Montpellier, France, 1-4 septembre 2008.
- [20] **SKOULIKARIS C.** « *Modélisation appliquée à la gestion durable des projets de ressources en eau à l'échelle d'un bassin hydrographique* » ; Thèse de doctorat ; ENSM de Paris, 1998.

[21] **MOUELHI, S.** « Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier » ; Thèse de Doctorat, ENGREF ; Cemagref Antony, France, 2003.

[22] **MOUELHI S., MICHEL C., PERRIN C. AND ANDRÉASSIAN, V.** « Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model » ; Journal of Hydrology (in press), 2005.

[23] **LEFFAD K.** « Application du modèle hydrologique HEC-HMS sur le bassin versant de Sidi Bel Abbas » ; Thèse d'ingénieur ; Ecole Nationale Polytechnique, 2004.

[24] **LARBI A.** « Utilisation d'un SIG et d'un modèle mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin côtier Algérois 02A » ; Thèse de Magister ; USTHB, 2012

[25] **SOGREAH,** « *Modélisation du système aquifère de la Mitidja. Note sur la construction du modèle* » ; SOGREAH, 2007.

[26] **FEUILLETTE S.** « *vers une gestion de la demande sur une nappe en accès libre : Exploration des interactions ressource usages par les systèmes multi-agents. Application à la nappe de Kairouan* » ; Tunisie Centrale Thèse de doctorat ; Université Montpellier II, 2001.

[27] **SOGREAH** « *Modélisation du système aquifère de la Mitidja* » ; Rapport final, 2008

[28] **ANBT** « *Monographie Barrage Taksebt* » ; Agence nationale des Barrage et transfert.

[29] **ANBT** « *Monographie Barrage Keddara* » ; Agence nationale des Barrage et transfert.

[30] **ANBT** « *Monographie Barrage Bouroumi* » ; Agence nationale des Barrage et transfert.

[31] **ANBT** « *Monographie Barrage Boukourdane* » ; Agence nationale des Barrage et transfert.

[32] **ANBT** « *Avant Projet détaillé Barrage Zaouia – Tizi Ouzou* » ; Agence nationale des Barrage et transfert.

[33] **DIERSCH J. G.** « *User Manuel FEFLOW 5.3* » ; DHI, 2005.

[34] **Dr. COLLIGNON B.** « *Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le bassin hydrographique côtier algérois 02A Elaboration du Plan de gestion PG02A : Etat des lieux des ressources en eau et leur cadre de gestion* » ; Rapport MRE-Programme GIRE ; HYDROCONSEIL, Septembre 2011.