MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BADJI MOUKHTAR –ANNABA

Faculté des sciences de la terre
Département de Géologie

Année 2018

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Hydrogéologie

Présentée par :

DALI Naouel

CONTRIBUTION A L'ACTUALISATION ET GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAU DES BASSINS DES HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : M. DJORFI Saadane Professeur. Université d'Annaba
DIRECTEUR DE MEMOIRE : M. ZOUINI Derradji : Professeur. Université d'Annaba
EXAMINATEURS :

Mme. MAJOUR Habiba	Maitre de conférences A	Université d'Annaba
M. MAOUI Amar	Professeur	Université de Guelma
M. KACHI Slimane	Professeur	Université de Guelma
M. ZENATI Noureddine	Maitre de conférences A	Université de Souk Ahras

Résumé

Le Nord de l'Algérie a connu une grave sécheresse pendant près de 15 ans, de 1987 à 2002. Ce qui a poussé l'état à adopter le Plan National de l'eau (PNE) qui s'appuie sur la mobilisation intensive des ressources en eau, pour subvenir à couvrir les besoins croissants de cette ressources. Une autre problématique liée à l'eau se pose, elle concerne de nombreux incidents d'inondations durant les deux dernières décennies, à ce fait le PNE est élargi, pour développer une stratégie nationale de lutte contre les inondations. Cependant, le traitement de la problématique de la gestion des ressources en eau à l'échelle nationale, ne prend pas en compte les variabilités sociales et économiques locales ainsi que celles de la disponibilité en eau, qui peut par conséquent, cacher des problèmes localisés et nécessite des solutions bien adaptées. Les régions les plus concernées par la question de rareté de l'eau sont les domaines arides et semi-arides, dont le bassin versant de Gareat El Tarf (Hauts plateaux constantinois) fait partie, c'est aussi une zone exposée aux crues soudaines, qui peuvent être à l'origine d'importantes inondations, notamment des inondations par ruissellement.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à effectuer deux principales contributions, la première concerne la cartographie du risque d'inondation par ruissellement du bassin avec l'utilisation de la méthode l'Indicateur du Ruissellement Pluvial Intense sur le programme iRIP@. La seconde concerne l'analyse de l'efficacité à long terme (jusqu'à 2050) du PNE sur le bassin versant de Gareat El Tarf, et la comparé à une politique de gestion de la demande en eau, avec une approche de modélisation hydrologique sur WEAP (Water Evaluation and the Planning). Nous concluons que les zones urbaines qui se situent autour de la Gareat et aux piémonts des montagnes et qui se trouvent proche de Gareat El Tarf, sont exposées à un risque d'inondation par ruissellement. La politique de la mobilisation intense des ressources en eau trouvera à court termes ses limites physiques et économiques, pour remédier à cette problématique il faut la conjuguer à une politique de gestion de la demande.

Mots clés : Gareat El Tarf, Inondation, semi-aride, iRIP@, gestion de la demande, WEAP.

ABSTRACT

Northern Algeria experienced a severe drought for nearly 15 years, from 1987 to 2002. What pushed the state to adopt a National Water Plan (NWP) that relies on the mobilization of maximum resources to meet growing water needs. During the last two decades another water-related issue arises, it concerns many floods incidents, so the NWP is expanded to develop a national strategy to fight against floods. However, the treatment of the problem of water resources management at the national level, does not take into account the local variability of water availability, which can therefore hide localized problems and requires well-adapted solutions. The regions most affected by water scarcity issue are arid and semi-arid areas, which the Gareat El Tarf watershed (Highlands Constantine's) is part, and this is an area prone to flash floods, which can cause severe flooding, including runoff flooding. In this thesis, we are interested in the analysis of the long-term efficiency (2050) of the NWP in the Gareat El Tarf watershed, and compared it to a policy of water demand management, with an approach of hydrological modeling on WEAP program (Water Evaluation and Planning). This study also concerns a contribution to the mapping of flood risk by runoff from the basin with the use of the Intense Storm Runoff Indicator method on iRIP @ program. We conclude that the urban areas in the area around the Gareat and those in the foothills of the mountains are at risk of flooding by runoff. Regarding the evaluation of the TEP, notes that the policy of intense resource mobilization will find in the short term its physical limits; it must be combined with a policy of demand management.

Keywords: Gareat El Tarf, flood, semi-arid, iRIP @, demand management, WEAP.

ملخص

شهد شمال الجزائر، جفافًا حادًا لمدة 15 عامًا تقريبًا، امتدت من سنة 1987 إلى سنة 2002. مما دفع الدولة إلى اعتماد خطة وطنية للمياه، تعتمد على التعبئة القصوى للموارد المائية لتلبية الاحتياجات المتزايدة عليها. هناك مشكلة أخرى تتعلق بالمياه خلال العقدين الأخيرين، وتخص العديد من حوادث الفيضانات. الامر الذي أدى الى ضرورة توسيع الخطة الوطنية للمياه، الى استراتيجية وطنية لمكافحة الفيضانات. معالجة مسألة إدارة الموارد المائية على المستوى الوطني لا تأخذ بعين الاعتبار التباين المحلي في توفر المياه وكذا الخصوصية الاجتماعية والاقتصادية لكل منطقة، بالتالي عدم جلاء بعض المشاكل المحلية التي تتطلب حلول متناسبة معها. المناطق الأكثر تضررا من مشكلة ندرة المياه، هي المناطق الجافة وشبه الجافة. بما في ذلك حوض قرعة الطرف (الهضاب العليا القسنطينية) الحوض عرضة أيضا للفيضانات المفاجئة خاصة تلك منها الناتجة عن الجريان السطحي للمياه. في هذه الرسالة، نحن مهتمون بالمساهمة في رسم خرائط مخاطر الفيضان على مستوى الحوض موضوع الدراسة، باستخدام طريقة مؤشر الجريان المكثف للمياه عن طريق برنامج iRIP @. تتناول هذه الدراسة أيضًا تحليل فعالية خطة المياه الوطنية على مستوى حوض قرعة الطرف على المدى الطويل (حتى سنة 2050)، ومقارنته بسياسة إدارة الطلب على المياه باستعمال، النمذجة الهيدرولوجية باستعمال برنامج WEAP (الاختصار باللغة الإنجليزية لتقييم وتخطيط المياه). من بين أهم النتائج المتحصل عليها نجد بأن المناطق الحضرية المتواجدة في محيطة سبخة الطرف وفي سفوح الجبال، معرضة لخطر الفيضان عن طريق الجريان السطحي. ام بالنسبة لتقيم البرنامج الوطني للمياه فإن سياسة التعبئة المكثفة للموارد المائية سوف تبلغ على المدى القصير حدودها المادية والاقتصادية، ويجب أن تقترن بسياسة إدارة الطلب على المياه.

الكلمات المفتاحية: حوض قرعة الطرف، الفيضانات، شبه الجافة، iRIP @، إدارة الطلب، WEAP.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais abouti sans le soutien et la participation de toutes les personnes qui, de loin ou de près, m'ont assisté dans sa réalisation.

Tout d'abord je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur Zouini Derradji, - Département de géologie – Faculté des Sciences de de la Terre, pour avoir accepté la direction de cette thèse, pour le suivi de mon travail, ses conseils au cours de ces années et ses suggestions pour améliorer la qualité de mes recherches.

Mes sincères remerciements s'adressent enfin aux membres du jury qui ont bien voulu accepter de lire et juger ce travail. Le Professeur DJORFI Saadane, a bien voulu m'honorer en présidant ce jury, de même que les Professeurs MAOUI Amar, KACHI Slimane, MAJOUR Habiba, ZENATI Noureddine ont bien voulu y siéger et enrichir les débats aux côtés du Professeur ZOUINI Derradji, mon directeur de thèse.

Mes vives remerciement à Monsieur Pascal Breil Mes séjours de recherches au niveau de l'IRTEA de Lyon m'ont permis d'acquérir de nouvelles méthodes, et surtout de me donner l'accord de travail avec iRIP@ pour la cartographie des inondations par ruissellement. Les ateliers de travail autour de d'autres thèses que la mienne au sein de l'IRESTEA m'ont permis d'ouvrir mon esprit autour du sujet de la gestion des ressources en eau avec de nouvelles approches.

Je remercie infiniment Monsieur BONNET-CARRIER Stanislas de m'avoir transmis généreusement son expérience dans la méthode Irip, ainsi que pour son aide sur la manipulation des logiciels SIG, et d'être présent pour moi même à distance, pour m'assister et m'aider.

Un grand merci à Monsieur, GILLE Emmanuel, directeur-adjoint du centre de recherche en géographie LOTERR université de Lorraine, de m'avoir accueilli dans son laboratoire pour des séjours scientifiques très enrichissant.

Mes remercîments les plus vives à Monsieur ZIOUCH Omar Ramzi enseignant au niveau de l'université de Khenchela pour ses conseils et surtout de m'avoir bénéficié de son savoir en matière de rédaction scientifique.

Je tiens à remercier Messieurs, BEN BRAHIM Azhar Le Directeur de l'agence de bassin hydrographique du Sahara (ABHS) et HOUFANI Djamel directeur d'ANAAT de Biskra pour tout l'intérêt qu'ils ont donné à mon travail de recherche.

Je ne puis terminer cet Avant-Propos sans évoquer la patience et les encouragements de ma famille, contribuant au parachèvement de ces longues et néanmoins …exaltantes recherches.

A ma très chère mère

Aucune dédicace ne saurait être éloquente pour exprimer ce que tu mérites, pour tes sacrifices ta tendresse et du dévouement, depuis ma naissance et jusqu'à mon âge adulte. L'aboutissement de ce projet et certainement le tien comme toutes autres réussites dans ma vie et de celle de mes frères et sœurs. Tu n'es peut être pas la directrice de cette thèse, mais sans le moindre doute la directrice de toute ma vie. Puisse Dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A toutes les personnes qui me sont chers et que je porte dans mon cœur.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE……1

PARTIE I : PORTRAIT DU BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF

CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN……..6
1.1 POSITIONNEMENT GEOGRAPHIQUE 7
1.2. APERÇU SUR L'OROGRAPHIE DU BASSIN VERSANT 8
1.3. LE RELIEF DU BASSIN DE GAREAT EL TARF 10
1.4. LES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES 11
1.4.1. Surface et périmètre 11
1.4.2. Indice de compacité de Gravilus 12
1.4.3. Le rectangle équivalent 13
1.4.4. Le relief 14
A. Hypsométrie 14
B. Les altitudes caractéristiques 15
C. Les pentes 17
1.5. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE 23
1.5.1. Topologie du réseau hydrographique 24
1.5.2. Extraction du réseau hydrographique et son hiérarchisation sur ArcGis 25
1.5.3. Caractéristiques du réseau hydrographique 28
A. La longueur caractéristique 28
B. Pente moyenne d'un cours d'eau 29
C. Densité de drainage 29
D. Fréquence des biefs 30
E. Coefficient de torrentialité 30
F. Temps de concentration T_C 31
1.6. CONCLUSION 32
CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU BASSIN……..33

2.1. INTRODUCTION 34
2.2. ANALYSE DES DONNEES THERMO- PLUVIOMETRIQUES 35
2.2.1. Pluviométrie 35
A. Variabilité interannuelle des pluies 36
B. Tendance du régime pluviométrique 37
C. Variabilité mensuelle des pluies 38
2.2.2. Températures 40
2.3. SYNTHESE CLIMATIQUE 42
2.3.1. Diagramme Ombrothermique 42

2.3.2. Indice de De Martonne 42
2.4. LE BILAN HYDRIQUE 44
2.4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) 45
2.4.2 Évapotranspiration réelle (ETR) 46
2.4.3. Estimation de la réserve facilement utilisable RFU 47
2.4.4. Déficit agricole et pluie efficace 47
2.4.5. Interprétation du bilan hydrique 48
2.5. CONCLUSION 52
CHAPITRE 3 : APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE DU BASSIN.....53
3.1. INTRODUCTION 54
3.2. SITUATION DEMOGRAPHIQUE 54
3.3. EMPLOIE 57
3.4. SECTEUR AGRICOLE 57
3.5. INDUSTRIE 57
3.6. TOURISME 59
3.7. POLITIQUE DU SNAT POUR LE DEVELOPPEMENT DES HAUTS PLATEAUX 61
3.8. POLITIQUE DU SNAT POUR LE DEVELOPPEMENT DU BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF 64
3.9. CONCLUSION 64

PARTIE II : ETUDE QUANTITATIVE DES RESSOURCES EN EAU

CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET RESSOURCES EN EAU.....67
4.1. INTRODUCTION 68
4.2. APERÇU GEOLOGIQUE 68
4.2.1. Lithostratigraphie 68
4.2.2. Cassures et flexures 77
4.2.3. Les données Structurales 78
4.3. Unités hydrogéologiques 80
4.3.2. Etudes géophysiques 80
4.3.3. Lithologie et âge des formations aquifères 81
4.3.4 .Mise en évidence des nappes aquifère 85
4.3.5. Carte piézométrique et battement de la nappe 87
4.3.6.Caractéristiques hydrodynamiques 90
4.3.7. Ressources en eau souterraines potentielles 92
4.4. RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES 94
4.4.1. Barrages 94
4.4.2. Ecoulement superficiel 98
4.5. RESSOURCES EN EAU NON CONVENTIONNELLES 99
4.6. CONCLUSION 100
CHAPITRE 5 : MODELISATION PLUIE-DEBIT.....101

5.1. INTRODUCTION 102
5.2. MODELE HYDROLOGIQUE 102
5.2.1. Classification des modèles hydrologiques 102
5.3. CHOIX DU MODELE PLUIE-DEBIT GR 106
5.3.1. Environnement du modèle GR 106
5.3.2. Optimisation du modèle 107
5.3.3. Calage 107
5.3.4. Les données d'entrées 108
5.4. MODELE DU GENIE RURAL A 2 PARAMETRES MENSUEL GR2M 108
5.4.1. Description du modèle pluie-débit mensuel GR2M 108
5.4.2. Calage et validation du modèle hydrologique GR2M 110
5.5. MODELE DU GENIE RURAL A 1 PARAMETRE ANNUEL GR1A 112
5.5.1. Description du modèle pluie-débit annuel GR1A 112
5.6. CONCLUSION 115

PARTIE III : GESTION DURABLE DES RISQUES NATURELS LIES A L'EAU ET DES RESSOURCES EN EAU

CHAPITRE 6 : POLITIQUE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU NIVEAU DU BASSIN DE GAREAT EL TARF 117

6.1. INTRODUCTION 118
6.2. STRATEGIE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE 118
6.3. LES ACTEURS DE L'EAU EN ALGERIE 119
6.3.1. Les acteurs de l'eau à compétence national et régionale 119
6.3.2.Les acteurs de l'eau à compétence locales 122
6.4. SYSTEME DE PLANIFICATION DE L'EAU EN ALGERIE 123
6.4.1. Le plan national de l'eau (PNE) 123
6.4.2. Le plan directeur d'aménagement des ressources en eau (PDARE) 125
6.5. LA VOLONTE DE FAVORISER L'ACCES ET LE PARTAGE EQUILIBRE DES RESSOURCES EN EAU 125
6.7. GESTION DES RESSOURCES EN EAU POUR LE BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF. 128
6.7.1. Demande en eau des différents secteurs 129
A. Demande en eau domestique 129
A. Demande en eau d'irrigation 133
B. Demande en eau industrielle 137

CHAPITRE 7 : MODELISATION DES INONDATIONS PAR RUISSELLMENT SUR iRIP@ 138
7.1. INTRODUCTION 139
7.2. QUELQUES DEFINITIONS 139
7.2.1. Inondation 139
7.2.2Ruissellement 140

7.3. LA METHODE IRIP 140
7.4. LES DONNEES D'ENTREES SUR iRIP@ 143
7.5. LES CARTES CALCULEES PAR iRIP@ 151
7.5.1. Les cartes d'aptitude au ruissellement 152
7.5.2. Carte d'aléa et du risque d'inondation par ruissellement 154
7.6. RESULTATS ET DSCUSSIONS 154
7.6.1. Carte de production du ruissellement 154
7.6.2. La carte de transfert du ruissellement 156
7.6.3. La carte d'accumulation du ruissellement 157
7.6.4. Inondation et risque d'inondation par ruissellement 158
7.7. VALIDATION DE LA CARTE iRIP@ DES RISQUES D'INONDATION 159
7.8. CONCLUSION 162
CHAPITRE 8 : MODELISATION DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU SUR WEAP…163
8.1. NTRODUCTION 164
8.2. PRESENTATION DE WEAP 164
8.3. APPROCHE DE WEAP 165
8.4. FONCTIONNEMENT DE WEAP 165
8.5. APPLICATION DE WEAP DANS LE BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF 166
8.5.1. Création de la zone d'étude 166
8.5.2. Création du compte courant 166
8.5.3. Numérisation des données nécessaires du compte courant 166
La formulation et l'application des modèles dépendent d'un élément important qui est la disponibilité de données. 166
8.5.4. Assimilation des politiques de gestion sur WEAP 171
8.5.5. Résultats et discussions des scénarios des politiques de gestion 172
8.5.6. Vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique 179
8.6. CONCLUSION 189
CONCLUSION GENERALE…….190

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les Hautes Plaines dans l'Algérie du Nord (Source : Côte, 1988, modifiée par Hadeid, et al. 2015)..... 7
Figure 2. Limites des grands bassins versants en Algérie (Classification d'après ABH). 8
Figure 3.Carte des sous bassins des hauts plateaux constantinois (les chiffres représentent les bassins et leurs noms géographique) (ABH, 2002). 9
Figure 4. Situation géographique du bassin versant Gareat El Tarf à l'extrême Est des hauts plateaux constantinois. 10
Figure 5.Relief du bassin versant de Gareat El Tarf (Extrait de Google Earth). 11
Figure 6. Relation entre le coefficient de Gravelius et le débit à l'exutoire (Fort et al., 2015). 12
Figure 7 . Le rectangle équivalent du bassin versant de Gareat El Tarf 14
Figure 8 .Carte hypsométrique du bassin de Gareat El Tarf (Réalisée sur ArcGis 10.1). 16
Figure 9. Courbe hypsométrique du bassin versant de Gareat El Tarf. 17
Figure 10. Répartition des pentes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf : a) carte de la répartition des pentes (Réalisée sur ArcGis 10.1) ; b) Diagramme de la fréquence des pentes..... 19
Figure 11. Répartition des pentes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf d'après la classification de TRICABT : a) carte de la répartition des pentes (Réalisée sur ArcGis 10.1) ; b) Diagramme de la fréquence des pentes en %). 20
Figure 12. Orientation des pentes du bassin versant de Gareat El Tarf (Réalisée sur ArcGis 10.1)..... 23
Figure 13. Réseau hydrographique du bassin de Gareat El Tarf 25
Figure 14. Extraction du réseau de drainage à partir du modèle numérique du terrain (MNT)..... 27
Figure 15. Influence du choix du seuil sur la densité du réseau hydrographique pour un MNT de (30m x 30m), à droite un seuil de 500 pixels à gauche un seuil de 2000 pixels. 27
Figure 16. Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Gareat El Tarf, pour un seuil hydrographique de 2000 pixels..... 28
Figure 17. Extrait de la carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord, Echelle : 1/2.000.000. (Moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)..... 35
Figure 18. Variabilité interannuelle des précipitations par station pour la période (1995-2015). 36
Figure 19. Variabilité interannuelle des précipitations pour la station de Foum El Gueiss (1981-2015)..... 37
Figure 20. Evolution de cumul l'indice de l'écart proportionnel à la moyenne au niveau du bassin versant (1995-2015). 38
Figure 21. Evolution de l'indice de pluviosité pour la station de Foum El Gueiss (1981-2015)..... 38
Figure 22. Précipitations mensuelles moyennes interannuelles :a) station de Khenchela .b) station d'Oum El Bouaghi.c) station de Foum El Gueis. 39
Figure 23. Températures annuelles moyennes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (1995-2015). . 40
Figure 24. Températures mensuelles moyennes interannuelles (1995-2015) (Source : A.N.R.H et O.N.M).. 41
Figure 25. .Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen : A la station de Khenchela (1995-2015). B la station d'Oum El Bouaghi (1995-2015). 43
Figure 26. Schéma présentant la distribution de la pluie au sol et dans le sol (BRGM, 2002)..... 45
Figure 27. Representation shématique du concept de pluie efficace (DAUM J.R et al 1996)..... 48
Figure 28. Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la période (1996-2015) a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi 49
Figure 29. Représentation graphique de la pluie efficace pour la période (1996-2015) : a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi. 50
Figure 30. Bilan hydrique par la méthode de Thornotwaite pour la période (1996-2015) : a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi. 51
Figure 31. Nombre d'habitant et taux de croissance démographique entre 1998 et 2008 (Source : ONS). 55
Figure 32.Nombre d'habitants et densité de la population au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf d'après le recensement national de 2008. 56
Figure 33.Répartition de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs, selon la commune de résidence et la dispersion selon le recensement 2008 (Carte réalisé d'après les données de l'ONS). 59
Figure 34. Bassin romains de Hammam Essalihine (Photos R. Zemmouchi sur Tourisme magazine)..... 60
Figure 35.Pierre commémorative de Hammam Knif (1905) (source :Tourisme magazine). 61
Figure 36.Carte du schéma national de l'aménagement du territoire à l'horizon 2030 (SNAT, 2001). 63

Figure 37.Schéma structural simplifié du bassin de Gareat El Tarf, (Assemblage des cartes structurales simplifiée tirées des cartes géologiques réalisée par VILA en 1977, au 1/50000, Khenchela (203), Gareat El Tarf (175), Oum El Bouaghi (148), Ain El Beida (149), F'kirina (2002) et Delâa (204)). 72
Figure 38. Coupes géologiques à travers le bassin de Gareat El Tarf (Tirées des feuilles des cartes géologiques au 1/ 50 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Gareat El Tarf, Delâa de (Vila ,1977)..... 76
Figure 39.Lithologie du bassin versant de Gareat El Tarf, à partir de Vila (1977)..... 83
Figure 40.Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Tarf. 84
Figure 41. Coupes schématiques dans le bassin de Gareat El Tarf a) Sédimentologie du bassin b) Profil hydrogéologique du bassin (Reproduite depuis Durozoy (1948). 86
Figure 42. Carte d'inventaire des points d'eau au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, (compagnes de mai et septembre 2014). 88
Figure 43. .Cartes piézométriques du bassin versant de Gareat El Tarf a) basses eaux (septembre 2014), b) Hautes eaux (mai 2014)..... 89
Figure 44. Carte du battement de la nappe au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (Battement estimé entre le niveau piézométrique du mois de mai et du mois de septembre 2014)..... 90
Figure 45. Carte schématique des unités hydrogéologique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, reproduite depuis SOFRECO (2010)..... 93
Figure 47.Barrages et bassins versants des barrages au niveau du bassin des hauts plateaux constantinois (SOFRECO, 2010). 96
Figure 48. Système de transfert d'eau de Beni Haroun (SOFRECO, 2010)..... 98
Figure 49. Représentation schématique de la modélisation pluie-débit (Refsgaard et al.1996) 105
Figure 50. Intérêt d'un modèle pluie-débit (Perrin, 2000)..... 105
Figure 51. Schéma de la structure du modèle GR2M (Mouelhi et al. 2006a). 109
Figure 52. Hydrogrammes observés et simulés par le modèle GR2M sur la période 1990-2000, sur la station de Foum El Gueiss. 111
Figure 53. Résultat de la validation par corrélation graphique entre débits observés et débits simulés par le modèle GR2M sur les données mensuelles 112
Figure 54.Niveau S du réservoir de production simulé par GR2M sur la période 1990-2000, sur la station de Foum El Gueiss. 112
Figure 55. Hydrogrammes observés et simulés par le modèle GR1A sur la période 1990-1995, sur la station de Foum El Gueiss. 114
Figure 56. Corrélation graphique entre débits observés et débits simulés par le modèle GR1A, sur la station de Foum El Gueiss, pour la période (1990-1995)..... 115
Figure 57. Cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (ABH, 2017)..... 121
Figure 58.Schéma du cadre juridique et lois relatives à l'eau en Algérie..... 123
Figure 59.Barrages et transferts des ressources en eau en Algérie (source : Côte, 2011 ; conception P. Pentsch). 128
Figure 60. Anticipation de la demande en eau selon les besoins des cultures et les acteurs (Imache , 2008) 134
Figure 61.Besoin en eau des cultures (ETM) et évapotranspiration de référence (ETP)..... 135
Figure 62. Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Doorenbos et Pruitt, 1977)..... 136
Figure 63. Fenêtre d'accueil du logiciel iRIP@ (capture d'écran)..... 142
Figure 64. Le logiciel iRIP@ avec tous les modules activés. Les numéros montrent les différentes zones de l'interface (capture d'écran)..... 142
Figure 65. Illustration des zones de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement à l'échelle d'un bassin versant (Bonnet et al.2013). 143
Figure 66. Cartes d'entrer sur iRIP@ pour le bassin versant de Gareat El Tarf, a) MNT(NASA), b) occupation du sol (FAO, 2016), c) pédologie..... 146
Figure 67.Schéma de la méthode Irip illustrant la combinaison des données d'entrée pour produire les cartes de la production, du transfert et de l'accumulation du ruissellement de surface (Lagadec et al. 2016a). 152
Figure 68. Schéma des facteurs et indicateurs de la méthode Irip, a) production, b) transfert, c) accumulation (Lagadec et al., 2016a). 154
Figure 69. Carte des niveaux du potentiel de production du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf..... 155
Figure 70. Carte des niveaux du potentiel de transfert du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf 157
Figure 71. Carte des niveaux du potentiel d'accumulation du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf..... 158
Figure 72.Carte d'inondation par ruissellement au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. 159

Figure 73. Risque d'inondation par ruissellement au niveau de l'agglomération de Khenchela. 161
Figure 86. Répartition des eaux distribuées au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, par sources et par scénarios (2010 à 2050), en pourcent (%). 181
Figure 87. Evolution des stockages d'eaux souterraines (2010-2050) pour le scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique et scénario 5 : Séquence de climat sec sévère 183
Figure 89. Débit annuel des nappes d'eau souterraines du bassin versant de Gareat El Tarf :a) scénario 4 : Année hydrologique ,b) scénario 5 : Changment climatique « séquence climatique sec sevère ». 187
Figure 90. Evolution du volume d'eau stockée dans le barrage de Koudiat Medouar et Ain Dalia (2010-2050) pour le scénario 4 : Année hydrologique et le scénario 5 : Changement climatique. 188
Figure 91. Recouvrement mensuel des sites de demande (domestiques,irrigation et industrie) pour le scénario 4 :Méthode de l'année hydrologique et scénario 5 : changement climatique « séquence de climat sec sévère » (2010 et 2050). 188

LISTE DES TABLES

Tableau 1. Données hypsométriques du sous bassin de Gareat El Tarf. 15
Tableau 2. Classification d'O.S.T.R.O.M (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer) sur la base de l'indice global..... 21
Tableau 3. Classe de relief suivant la classification de l'O.S.T.R.O.M (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer). 22
Tableau 4.Stations météorologiques et hydrométriques du bassin de Gareat El Tarf..... 34
Tableau 5. Moyennes mensuelles des températures au niveau de la station de Khenchela et la station d'Oum El Bouaghi en °C pour la période allant de 1995 à 2015..... 41
Tableau 6. Estimation de l'ETP mensuelle selon Thornotwaite (1996-2015)..... 46
Tableau 7.Nombre d'habitant et taux de croissance démographique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, entre 1998 et 2008. 55
Tableau 8.Caractéristiques hydrodynamiques des forages I33, H47 et I08 au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf..... 91
Tableau 9.Caractéristique des unités hydrogéologique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. 94
Tableau 10.Les stations d'épuration des eaux usées au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. 99
Tableau 11. Caractéristiques du bassin versant d'Oued El Gueiss. 108
Tableau 12.Résultats du calage et de la validation du modèle GR2M, pour la période (1990-1996), sur la station de Foum El Gueiss. 110
Tableau 13. Résultats du calage du modèle GR1A, pour la période (1990-1995), sur la station de Foum El Gueiss. 114
Tableau 14. Transferts d'eau en Algérie..... 127
Tableau 15.Evolution du taux de croissance démographique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf131
Tableau 16. Dotation unitaire domestique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf pour l'année 2010 132
Tableau 17.Besoin en eau des principales unités industrielle au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf137
Tableau 18.Légendes des codes d'occupation des sols et des facteurs iRIP@ pour chaque type d'occupation du sol au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. 147
Tableau 19. Caractéristiques des profils pédologiques effectués au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf 149
Tableau 20.Classification des sols du bassin de Gareat El Tarf selon leurs érodibilité 150
Tableau 21.Récapitulatif des facteurs @ pour chaque UCS sur le bassin versant de Gareat El Tarf 150
Tableau 22. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation d'Oued El Gueiss sur le compte actuel. 168
Tableau 23. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation des ressources en eau souterraine sur le compte actuel..... 169
Tableau 24. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation des barrages sur le compte actuel. 170
Tableau 25. Evaporation nette au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf pour l'année 2010. 170
Tableau 26.Les informations nécessaires pour la modélisation du barrage d'Ourkiss sur WEAP 172
Tableau 27.Les informations nécessaires pour la modélisation des STEP sur WEAP 172
Tableau 28. .Répartition des types de climat pour le bassin versant de Gareat El Tarf (2016-2050). 181
Tableau 29. Répartition des eaux distribuées par sources et par scénarios..... 182
Tableau 30. Débits entrants et sortants au niveau des nappes d'eau souterraines du bassin versant de Gareat El Tarf estimés par WEAP pour le scénario 5 : Changement climatique « Séquence de climat sec sevère ». 185

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH	Agence de Bassin Hydrographique
ADE	Algérienne des eaux
AEI	Alimentation en eau industrielle
AEP	Alimentation en eau potable
AEPI	Alimentation en eau potable et industrielle
A.G.I.R.E	Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ANBT	Agence nationale des barrages et transferts
ANIREF	Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière
BV	Bassin versant
C.G.G.	Compagnie Générale de Géophysique
DHW	Direction de l'Hydraulique de Wilaya
IPEMED	Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen
ET0	Evapotranspiration Potentielle de Référence
ETM	Evapotranspiration Maximale
ETP	Evapotranspiration potentielle
ETR	Evapotranspiration réelle
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GPI	Grand Périmètre Irrigué
iRIP	Indicateur du Ruissellement Pluvial Intense
IRR	Irrigation
Kc	Coefficient cultural
MRE	Ministère des Ressources en Eau
Mm^3	Millions de mètres cubes
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MRE	Ministère des Ressources en Eau
ONA	Office National de l'Assainissement
ONS	Office National des Statistiques
ONID	Office National de l'Irrigation et du Drainage
OSTROM	Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer

PMH	Petite et Moyenne Hydraulique
PNE	Plan National de l'eau
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
SAU	Sol agricole utile
RFU	Réserve Facilement Utilisable
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SIG	Système d'Information Géographique
SNAT	Schéma national d'aménagement du territoire
STEP	Station d'épuration des eaux usées
OPI	Offices des Périmètres d'Irrigation
UCS	Unités Cartographiques de Sols
WEAP	Water Evaluation And Planning

Quand on a soif, personne, excepté le fou, ne renversera de l'eau
(Proverbe géorgien)

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie se classe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique annuel de rareté fixé par la Banque Mondiale de l'Eau à 1 000 m^3 par habitant et par an. Ses potentialités correspondent actuellement à un taux de 500 m^3/hab/an qui passera à 400 m^3/hab/an à l'horizon 2020 (PNUD, 2009). Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. Les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord présentent une grande sensibilité au climat (PNUD, 2009), des conditions climatiques défavorables accentuées par le changement climatique qui se fera sentir à travers plus de sécheresse et d'irrégularité climatique qui provoque des inondations brusques et désastreuses.

La pression exercée sur les ressources en eau ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des pratiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau (PNUD, 2009). Dans les années 2000, seulement 40% des besoins en eau agricole étaient satisfaits (Mouhouche et al., 2005). A l'horizon 2020, il faudrait mobiliser, plus de 11 milliards de m^3 d'eau, alors que la capacité théorique de mobilisation des eaux du pays est estimée à de 6 milliards, un réel défi à relever?, mais surtout une stratégie et une politique à définir (Kettab, 2001). La stratégie de développement du secteur de l'eau à l'horizon 2030 est tracée par le Plan National de l'Eau actualisé (PNE) qui identifie un ensemble de projets et programmes structurants à réaliser par périodes quinquennales (Sofreco, 2010).

La politique algérienne de gestion de l'eau a été, depuis une dizaine d'années, davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. La priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande (Benblidia, 2011). Alors que cette politique atteindra à plus ou moins long terme ses limites tant physiques qu'économiques. Les efforts à mener au cours des prochaines décennies doivent se focaliser sur une gestion de la demande. Environ 70 %, de la totalité des eaux mobilisées est destinée à l'irrigation (PNUD, 2009), en sachant que les surfaces irriguées en gravitaire traditionnel, où les pertes par évaporation et infiltration sont très élevées, représentaient 85 à 90% (Mozas et al., 2013). Ces données, ferons de ce domaine, non seulement le premier consommateur d'eau, mais aussi le premier gaspilleur. Donc le secteur agricole doit être dans le centre d'intérêt si on veut économiser de l'eau. L'autre secteur sur lequel ou l'on peut effectuer des

économies de l'eau est celui de l'usage domestique où le rapport entre le volume d'eau fournie et le volume d'eau réellement utilisée par les usagers est de l'ordre de 50 % (Benblidia, 2011).

Les régions les plus concernées par la question de rareté de l'eau sont les domaines arides et semi-arides, et tout particulièrement ceux soumis à une forte croissance démographique (Treyer, 2005). Cependant, l'agrégation de la problématique de la gestion des ressources en eau à l'échelle nationale ou régionale ne prend pas en compte la variabilité de la disponibilité en eau dans l'espace, variabilité qui peut, par conséquent, cacher des problèmes localisés (Margat, 2002). Une gestion durable des ressources en eau c'est aussi une gestion des risques liée à l'eau, l'Algérie confronte cette réalité en 2001, dans la matinée du 10 novembre, plus de 130 mm de précipitations ont été enregistrées à Bouzareah et ont provoqué des coulées de boue, qui ont dévasté la zone de Bab-El-Oued. Cette catastrophe a causé plus de 700 victimes et des dégâts considérables (Argence et al., 2006). Suite à cette catastrophe et de nombreux incidents liés aux inondations, le ministère des Ressources Hydrauliques et de l'Environnement élargit le plan national de l'eau et développe une stratégie nationale de lutte contre les inondations (Aroua et al., 2013).

Pour le cas du bassin versant de Gareat El Tarf (Nord-Est Algérien) qui est un bassin versant à vocation agricole d'une taille moyenne (environ 2430 km^2), il subit une pression démographique et d'économie agricole pesante devant des ressources en eau limitées en raison de son climat semi-aride. Il a fait l'objet d'une unique étude qui traite le sujet de la gestion durable des ressources en eau (Dali, 2009), mais d'aucune étude publiée qui traite l'axe de la gestion des risques liés à l'eau. La présente thèse traite trois axes principaux :

- La connaissance des ressources en eau et des secteurs consommateurs d'eau au niveau du bassin versant à travers une analyse des caractéristiques physiques, climatologiques modélisation hydrologique et une analyse socio-économique.
- La gestion des inondations par ruissellement en dehors du réseau hydrographique et leur cartographie. L'approche utilisée est l'Indicateur du Ruissellement Pluvial Intense (Irip), c'est une méthode géomatique, qui produit des cartes de susceptibilité spatiale d'un territoire pour générer, transférer et accumuler des écoulements de surface intenses (Dehotin, 2015 ; Lagadec et al., 2016a, b)
- L'analyse de l'efficacité du plan national de l'eau à l'horizon 2050, à l'échelle du bassin versant de Gareat El Tarf et la comparer à une éventuelle politique de gestion de la demande en eau à court et à long terme, ainsi que l'effet quantitatif du changement climatique sur les

ressources en eau. Notre approche méthodologique repose sur le système modélisation d'approvisionnement du bassin de Gareat El Tarf à l'aide du logiciel WEAP (Water Evaluation and the Planning). WEAP a été l'objet de plusieurs applications en zone aride et semi-aride (Demertzi et al., 2014 ; Walker et al., 2015 ; Bakken et al., 2016 ; Gopal et al., 2015; Jingjing et al., 2017; Kiniouar et al., 2017).

L'objectif de ce travail est de répondre aux principaux questionnements suivants :

- Quelles sont les caractéristiques physiques, climatiques et socio-économiques du bassin versant de Gareat El Tarf ?
- Quel est l'état quantitatif des ressources en eau au niveau bu bassin ?
- Quelles sont les zones les plus exposées aux risques d'inondations par ruissellement ?
- Est-ce que le plan national de l'eau, peut assurer l'équilibre entre la demande et l'offre en eau à court et à long terme au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf ?

Conformément à ces objectifs, et après une introduction qui expose l'importance du sujet et la problématique traitée, le manuscrit est en conséquence structuré en trois parties subdivisées en huit chapitres. La première partie présente le portrait du bassin versant de Gareat El Tarf, la deuxième porte sur l'étude quantitative des ressources en eau et la troisième partie concerne une contribution à la gestion durable des risques naturels liés à l'eau et des ressources en eau au niveau du bassin objet d'étude, et enfin la thèse s'achève par une conclusion.

PARTIE I : PORTRAIT DU BASSIN VERSANT

CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN

1.1 POSITIONNEMENT GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant des hauts plateaux constantinois, fait partie des Hautes Plaines steppiques orientales, compris entre l'atlas tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud (Fig.1). Il se situe entre la latitude 35°44' et 36° 15' Nord et les méridiens 05°57 et 7°80' Est. Selon la structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin appartient à l'ensemble du Constantine- Seybous- Mellague (Fig.2),iI repose sur une superficie supérieure à 9 600 km^2, renfermant de grandes dépressions continentales salées appelées chotts et sebkhas. Il est réparti en 7 sous bassin versants : Chott Beida, Medja Zana, Sebkhet Ez Zemoul, Oued Chemora, Garaet An Djamal, Oued Boulfreis, Gareat El Tarf (Fig.3).

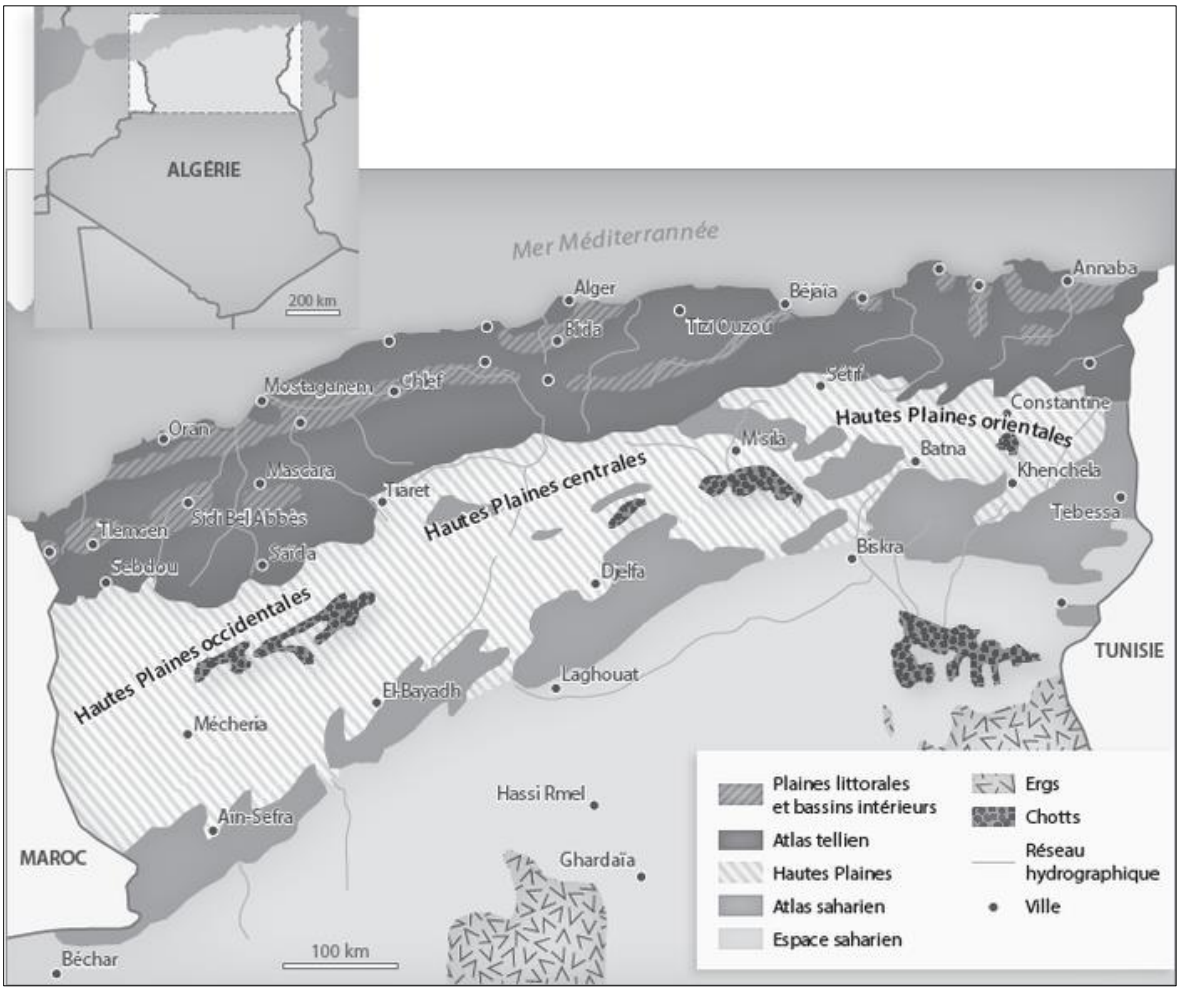


Figure 1. Les Hautes Plaines dans l'Algérie du Nord (Source : Côte, 1988, modifiée par Hadeid, et al. 2015).

Le bassin de Gareat El Tarf; se situe à l'extrême est des hautes plaines constantinoises , (Fig.4) ,couvre une superficie de 2432 km^2 et s'étend entre la longitude 6°49'-7°34' E, et la

latitude 35°22'-35°56' N. Le centre est jalonné par une dépression endoréique (Gareat) plus connue sous l'appellation de sebkha (lac salé) et qui couvre une superficie de 200 km^2.Les limites du bassin de la dite «Sebkha » correspondent à :

- au nord, la ligne de crête, de direction NW-NE des massif de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir ;
- à l'est, la ligne de crête, de direction NE-SW des massifs de Dj. Fedjidjet, Dj.Bou tokhma Tafrennt et Chettaia ;
- au Sud, la ligne de crête de direction SE-SW, des djebels Feraoun, Aurès, el Aoud ;
- à l'ouest le talweg d'Oued Gueiss, et la ligne de crête de Dj. Fedjoudj et Dj. Tarf.

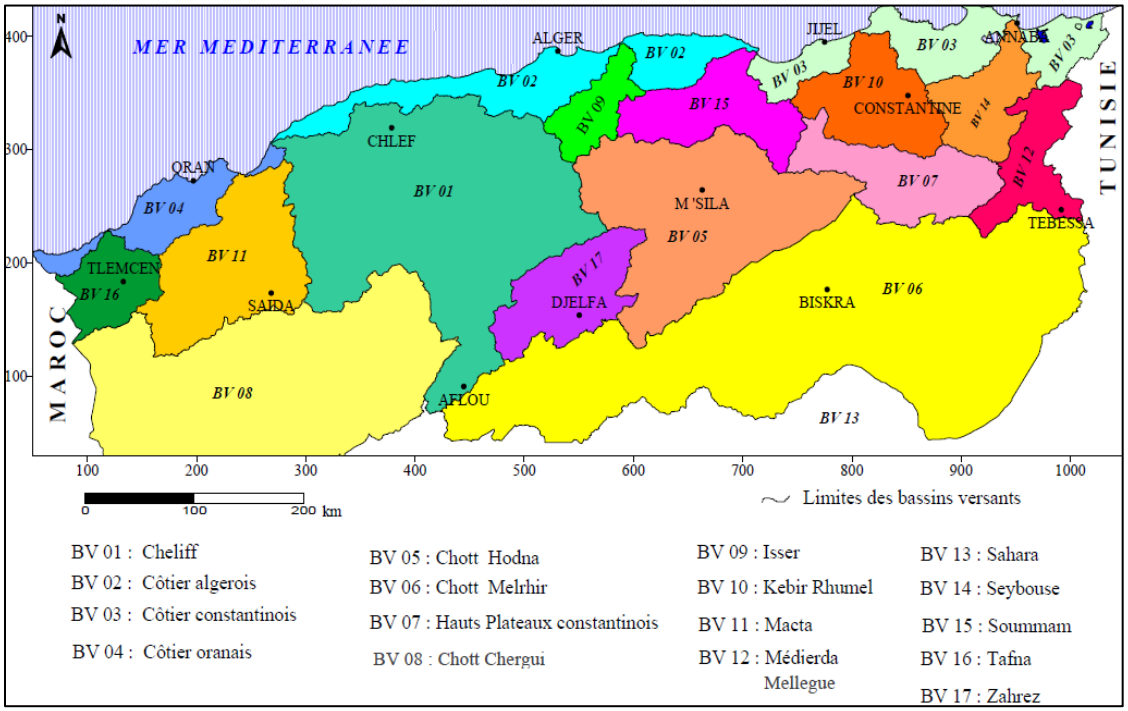


Figure 2. Limites des grands bassins versants en Algérie (Classification d'après ABH).

1.2.APERÇU SUR L'OROGRAPHIE DU BASSIN VERSANT

Le bassin de Gareat El Tarf, est bordé au nord-est par les monts de Meractas (massif isolé à l'est d'Oum El Bouaghi) formant l'extrémité orientale des hautes plaines constantinoises. Il s'agit d'une diversité de paysages manifestant tantôt en reliefs tantôt en zones basses. Au Sud de la région, les structures aurésiennes offrent une forte orographie d'altitudes dépassant souvent les 2000 m : Djebel Chélia 2328 m, Djebel Feraoun 2099 m, Djebel Chentgouma

2113 m et Djebel Khenchela : ayant plusieurs chaînons : Djebel Aidel 2 173 m ; Ras Kodléne 1 945 m ; Kef Tifekressa 1 945 m et Ras Serdoun 1 700 m. Ces massifs et tous les Aurès septentrional sont limités au nord par de vastes plaines qui sont en fait le prolongement vers l'Est du bassin de Timgad, les plaines de R'mila, de F'kirina et de Garaet Et Tarf, d'altitude moyenne de 950m environ. A l'est, on trouve une zone de moyennes montagnes, aux reliefs moyens. On y remarque les Djebels Chettaia 1 455 m, Knif 1 244 m et El Krouma 1 171 m. Cette série est suivie d'un arc montagneux boisé appartenant aux monts des Harectas et d'une suite de petits chaînons allant des Djebels Guern Ahmar 1 326 m ; Fedjijet 1 291 m et Bou Tokhma 1 348 m au Djebel Tafrennt d'altitude 1 406 m. Les zones planes sont formées au Nord par la plaine de F'kirina, Garaet Et Tarf et la vallée de l'Oued Meskiana (Benabbas, 2006).

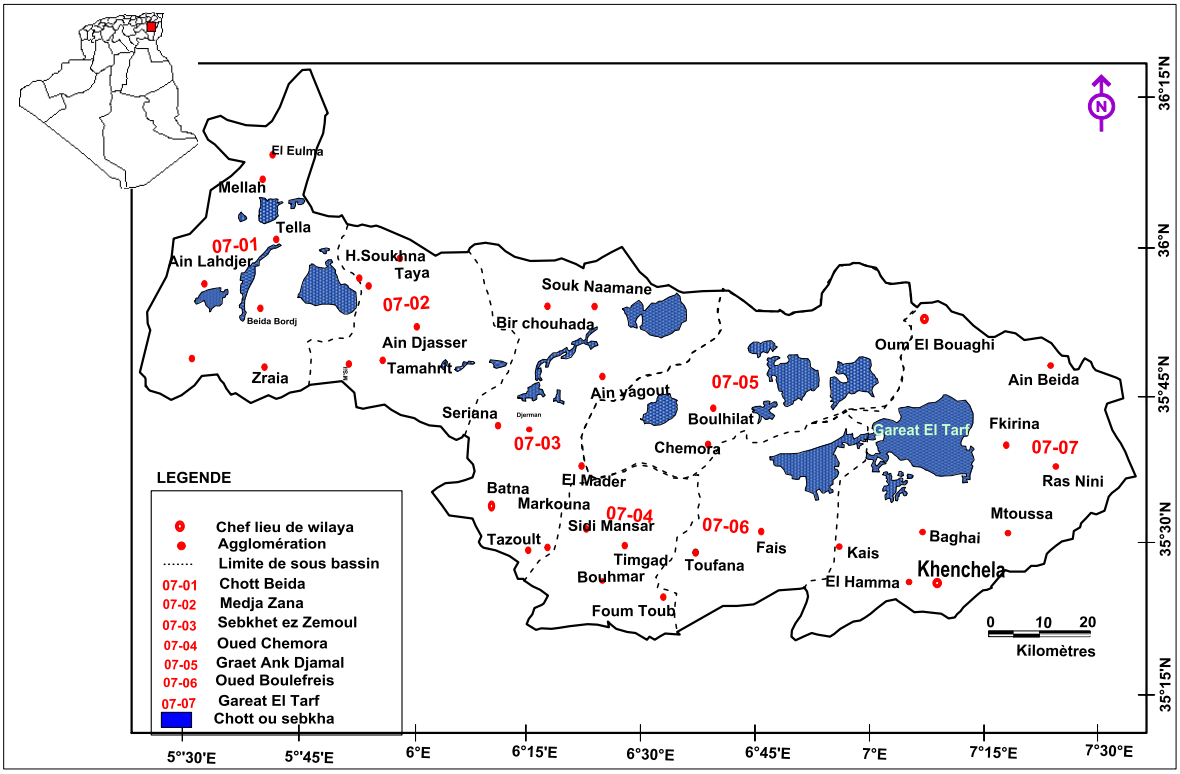


Figure 3.Carte des sous bassins des hauts plateaux constantinois (les chiffres représentent les bassins et leurs noms géographique) (ABH, 2002).

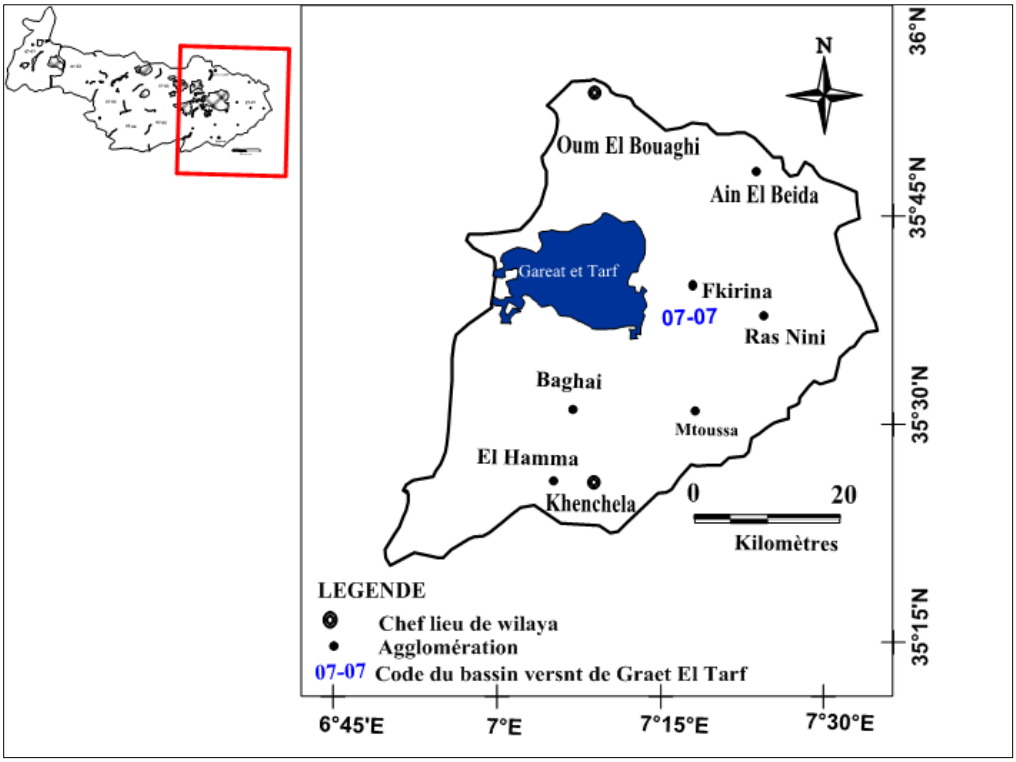


Figure 4. Situation géographique du bassin versant Gareat El Tarf à l'extrême Est des hauts plateaux constantinois.

1.3. LE RELIEF DU BASSIN DE GAREAT EL TARF

Le bassin de Gareat El Tarf constitue une dépression endoréique très étendue et relativement élevée, environ 960 m, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants. La géomorphologie est dominée par des hautes plaines parsemées de dépressions constituant le chott (Gareat El Tarf) **(**Fig. 5**)**, avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé, Tout autour, on trouve des chott satellites qui fusionnent avec celui d'El Tarf lors des grandes crues. Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat. Les massifs qui encadrent le bassin dépassent les 2000 m. Les bordures Sud et nord du bassin sont marquées par des inclinaisons relativement importantes ; conséquence d'une activité tectonique ayant affectée ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important (Guiraud ,1973).

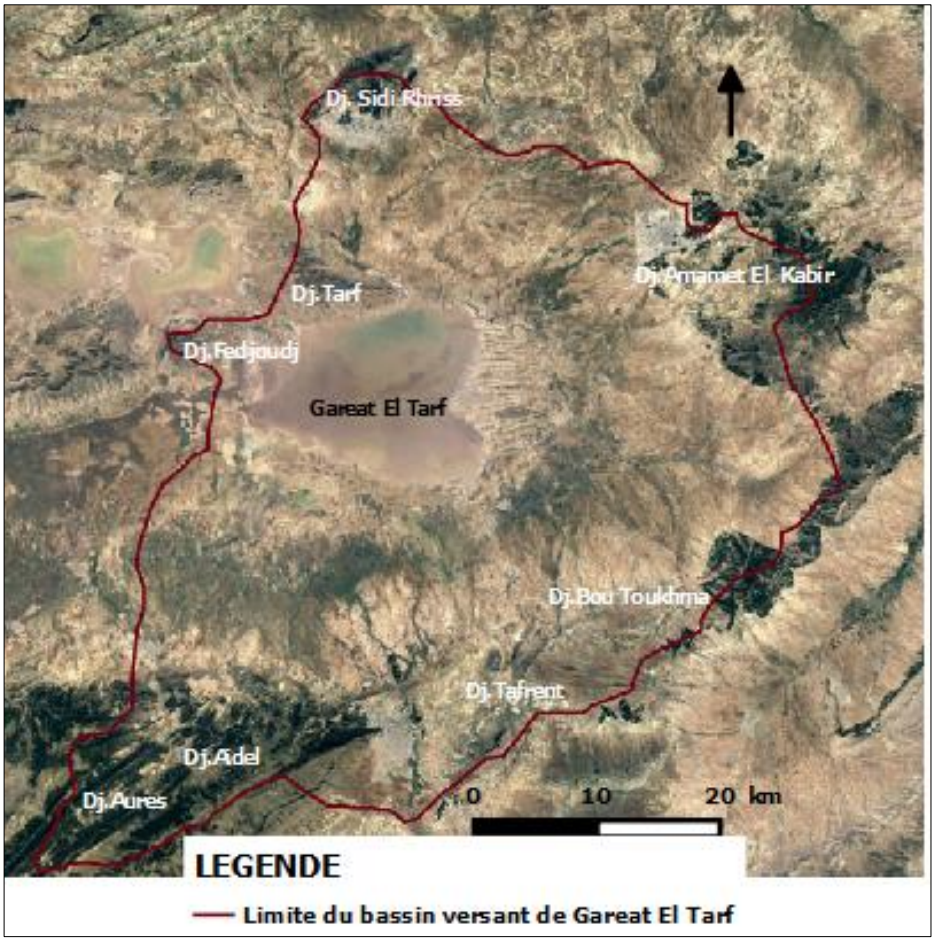


Figure 5.Relief du bassin versant de Gareat El Tarf (Extrait de Google Earth).

1.4. LES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES

L'étude morphométrique du bassin est réalisée partir du MNT d'une résolution spatiale de 30 m.

1.4.1. Surface et périmètre

La surface constitue l'aire de réception des précipitations qui alimentent un cours d'eau par écoulement. Le débit du cours d'eau à l'exutoire dépend donc en partie de la surface. La surface du bassin objet d'étude est de 2438 km^2. Le périmètre est la caractéristique de longueur la plus utilisée le bassin de Gareat El Tarf a un périmètre de 236.8 km.

1.4.2. Indice de compacité de Gravilus

La forme influence l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire de celui-ci, par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants (Fig. 6). A l'inverse, les bassins en forme d'éventail présentant des temps de concentration plus courts, auront des débits de pointe plus importants, toute chose restant égale par ailleurs (Musy & Higy, 2014).

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. L'indice le plus utilisé est celui de Gravilus (1914).

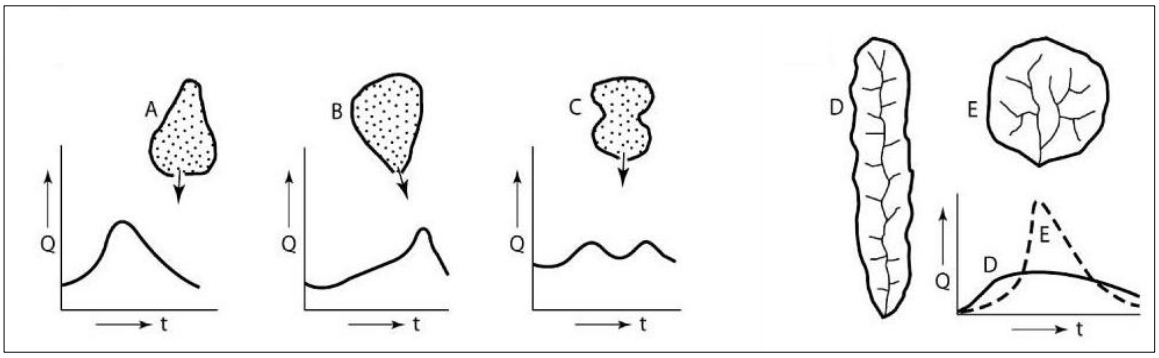


Figure 6. Relation entre le coefficient de Gravelius et le débit à l'exutoire (Fort et al., 2015).

Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface il permet d'avoir une idée sur la forme géométrique du bassin.

Il s'exprime par :

$$KG = 0.28\,\frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

KG : indice de compacité de Gravélius ;

A : surface du bassin versant (km²) ;

P : périmètre du bassin versant (km).

La surface du bassin versant est mesurée par des techniques de digitalisation et limitation, La surface est de 2438 km^2. Le périmètre est de 236,85 km.

L'indice de compacité de Gravélius a ainsi été évalué à KG = 1.34 > 1.

Le bassin versant est donc de forme allongée, cette forme induit de faibles débits de pointe de crue.

1.4.3. Le rectangle équivalent

Pour pouvoir comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est approximativement le même, à conditions climatologiques égales, que sur un rectangle de même superficie, ayant même coefficient de Gravelius et même répartition hypsométrique, étant entendu que la distribution des sols et de la végétation et la densité de drainage sont respectées dans les différentes aires comprises entre les courbes de niveaux. Il s'agit donc d'une transformation purement géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé *rectangle équivalent* (Roche, 1963).Soit *1*et L la largeur et la longueur du rectangle. Le rectangle équivalent du bassin versant de Gareat El Tarf est représenté sur la Figure 7.

$$L = \frac{K_G.\sqrt{A}}{1.12}\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right] \qquad l = \frac{K_G\sqrt{A}}{1.12}\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K_G}\right)^2}\right]$$

Avec :

K_G : indice de compacité de Gravélius ;

A : surface du bassin versant (km²) ;

P : périmètre du bassin versant (km).

Ainsi, la longueur équivalente L est égale à 93.13 km et la largeur équivalente l a été déduite l=26.18 km.

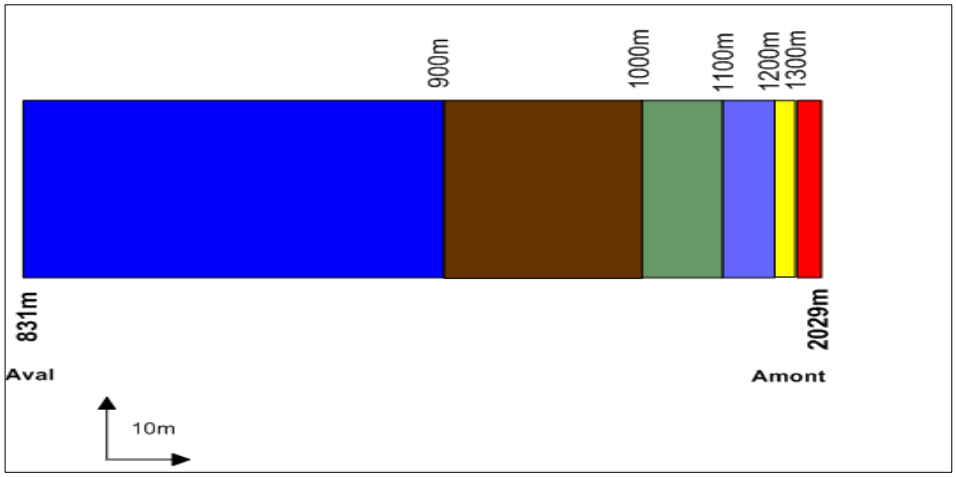


Figure 7 . Le rectangle équivalent du bassin versant de Gareat El Tarf.

1.4.4. Le relief

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices et de caractéristiques.

A. Hypsométrie

La carte Hypsométrique est obtenue en délimitant des tranches d'altitude du bassin versant par des courbes de niveau d'équidistance 100 m (Fig.8), d'après cette carte on constate que les zones de hautes altitudes se localisent autour du bassin exception faite pour la partie Ouest qui présente une faible altitude.

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude, il est intéressant d'étudier l'hypsométrie du bassin versant par tranche d'altitude. Pour mieux comprendre les variations d'altitudes au sein du bassin versant de Gareat El Tarf, on a procédé à la détermination de a courbe hypsométrique qui nous a permet de traduire la répartition des altitudes à l'intérieur de la zone d'étude. Les résultats de ce travail sont résumés dans le tableau 1 (en pourcentages des superficies des bassins respectifs). Elle permet en outre de déterminer les altitudes caractéristiques. La courbe hypsométrique du bassin versant de Gareat El Tarf (Fig.9), a une forme concave. Elle présente bien l'état d'équilibre vieillissant du bassin, une plaine douce près où l'altitude varie très peu malgré une superficie importante.

- la partie amont (ou haut bassin) des bassins dont les surfaces occupent une faible portion du bassin ; elle représente moins de 10% de la surface total ;
- la partie centrale (ou bassin moyen) qui représente près de 20% de la surface des bassins ;
- la partie aval (ou bassin inférieur) occupe le reste de la superficie du bassin versant environ 70%.

Tableau 1. Données hypsométriques du sous bassin de Gareat El Tarf.

tranche d'altitude (m)	*superficie (km²)*	*superficie (%)*	*superficie (%) cumulée*
831-900	1129,42729	46,32	46,32
900-1000	643,520724	26,39	72,71
1000-1100	269,104537	11,03	83,75
1100-1200	184,326327	7,56	91,31
1200-1300	92,3395106	3,78	95,10
1300-1400	50,0713700	2,05	97,15
1400-1500	31,1380735	1,27	98,43
1500-1600	16,8468402	0,69	99,12
1600-1700	9,32409056	0,38	99,50
1700-1800	6,10768750	0,25	99,75
1800-1900	4,04683969	0,16	99,92
1900-2000	1,31306062	0,05	99,97
>2000	0,51677833	0,021	100

B. Les altitudes caractéristiques

L'altitude moyenne d'un bassin versant est donnée par l'équation suivante :

$$Hmoy = \frac{\sum hi.Ai}{Ai}$$

Avec :

Ai : fraction de surface entre deux courbes de niveau (km^2) ;

Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

At : superficie totale du bassin versant (km^2).

Ainsi la H *moy* = 967 m.

- L’altitude minimale est de 831 m.
- L’altitude maximale est de 2029 m.
- Le graphe de la courbe hypsométrique permet de déterminer les valeurs suivantes :
- L'altitude à 5%, est de 1270 m.
- L'altitude à 95 %, est de 840 m.
- L'altitude médiane, est de à 920 m.

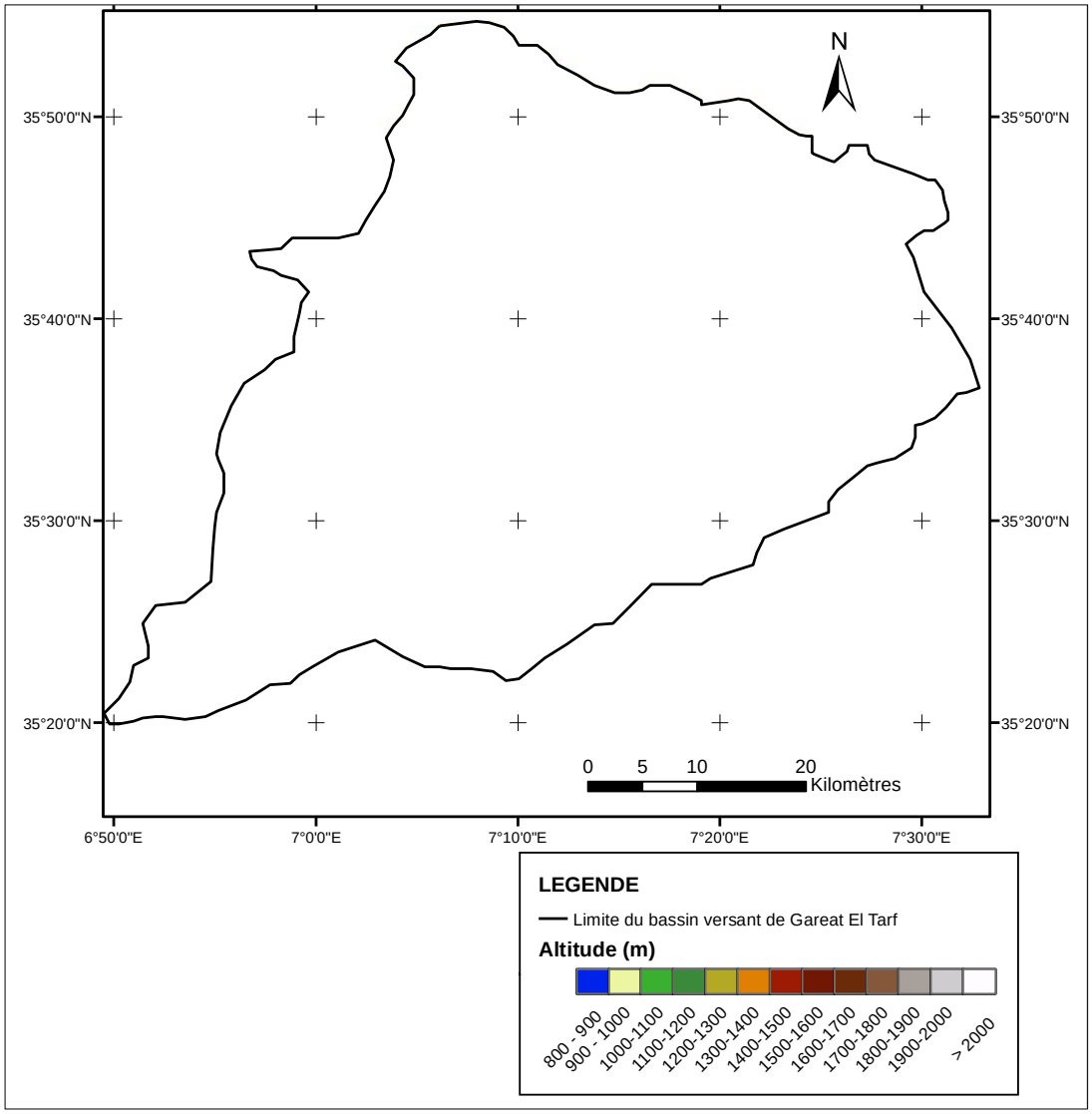


Figure 8 .Carte hypsométrique du bassin de Gareat El Tarf (Réalisée sur ArcGis 10.1).

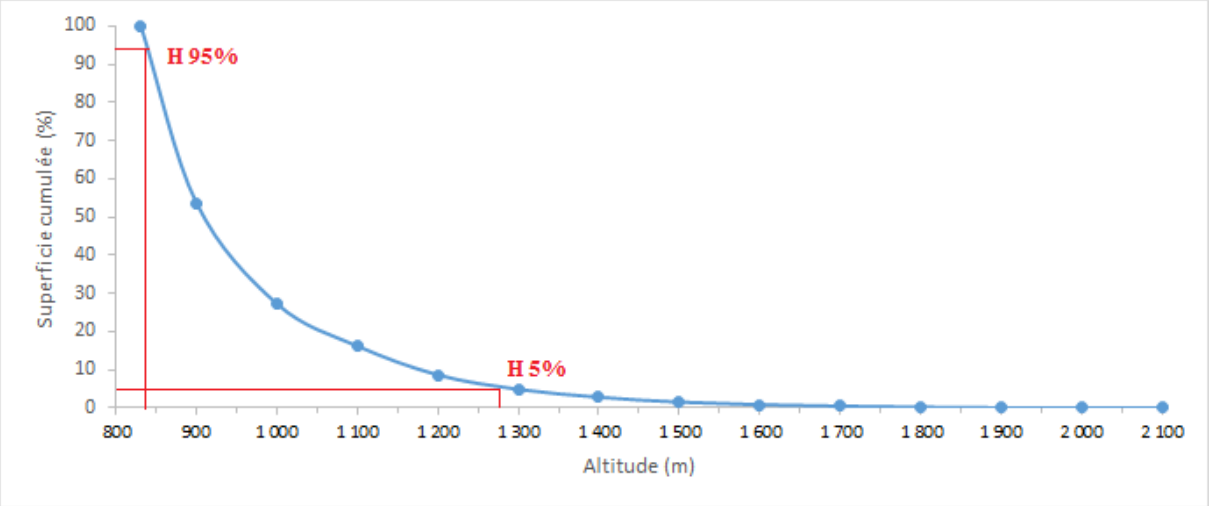


Figure 9. Courbe hypsométrique du bassin versant de Gareat El Tarf.

C. Les pentes

- Carte des pentes topographiques

La pente topographique, c'est la pente qui influence l'écoulement superficiel des eaux du ruissellement de surface et écoulement hypodermique. Elle accélère le ruissellement sur les versants et détermine en partie le temps de réponse du cours d'eau aux impulsions pluviométriques. La carte des pentes générée par ArcGis 10.1, à partir du modèle numérique de terrain (MNT). La qualification de la pente (exemple : forte, faible) dépend beaucoup de son usage.

D'après la carte des pentes (Fig.10 a) et le diagramme des classes des pentes et de leurres fréquences (Fig.10 b). Nous constatons que 'aux bordures du bassin les pentes sont très fortes dépassant les 50°, elles correspondent à la zone montagneuse La classe de pente comprise entre 0 et 10 degré, est la plus fréquente au niveau du bassin, elle occupe plus que 85% de la surface totale

Le rôle de la pente étant très important dans l'action du ruissellement, i1 est par ailleurs utile d'skis un point de référence lorsque l'on possède sa valeur ; on peut distinguer quatre classes de pentes définies par Tricabt (1965).

- Inférieures à 1°, où le ruissellement est rare et ne se concentre pas. Dans les régions arides ou semi-arides, l'infiltration est importante sur de telles surfaces et il faut une averse très violente ou des terrains très imperméables pour qu'un ruissellement soit déclenché.

- Comprises entre 1 et 5°, où le ruissellement devient plus important lorsque jouent certains facteurs favorables, La plupart des cônes alluviaux et des glacis d'épandage fréquemment parcourus par la végétation et surtout, la nature lithologique.
- Pentes supérieures à 20°, où dans toutes les conditions, le ruissellement est intense et débute au-dessus d'un seuil pluviométrique faible.

D'après la classification de Tricabt (1965) environ 60% de la surface du bassin versant de Gareat El Tarf est successible de générer du ruissellement si elle réponde aux conditions lithologique et d'occupation du sol (Fig.11 b), cette zone correspond à toutes la surface comprise entre les massifs qui bordent le bassin et la Sebkha.

La surface restante du bassin présente presque dans sa totalité (exception faite pour 1% de la surface totale) présente une susceptibilité de générer le ruissellement intense, ces zones correspondent aux massifs qui entoures le bassin et la zone centrale occupé par la sebkha (Fig. 11.a).

D. Indice de pente global

L'utilisation de la dénivelée et de la longueur du rectangle équivalent permet de déterminer cet indice de pente qui sert de base dans l'une des classifications de l'Institut de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ex O.R.S.T.O.M) (Tabl.2).

L'indices de pentes à partir de l'hypsométrie des bassins, on a déterminé l'indice de pente global Ig qui est le rapport de la dénivelée mesurée entre les altitudes dépassées pour 95 % et 5 % de la courbe hypsométrique, ramenée à la longueur du rectangle équivalent du bassin versant. Il a été déterminé par la formule suivante :

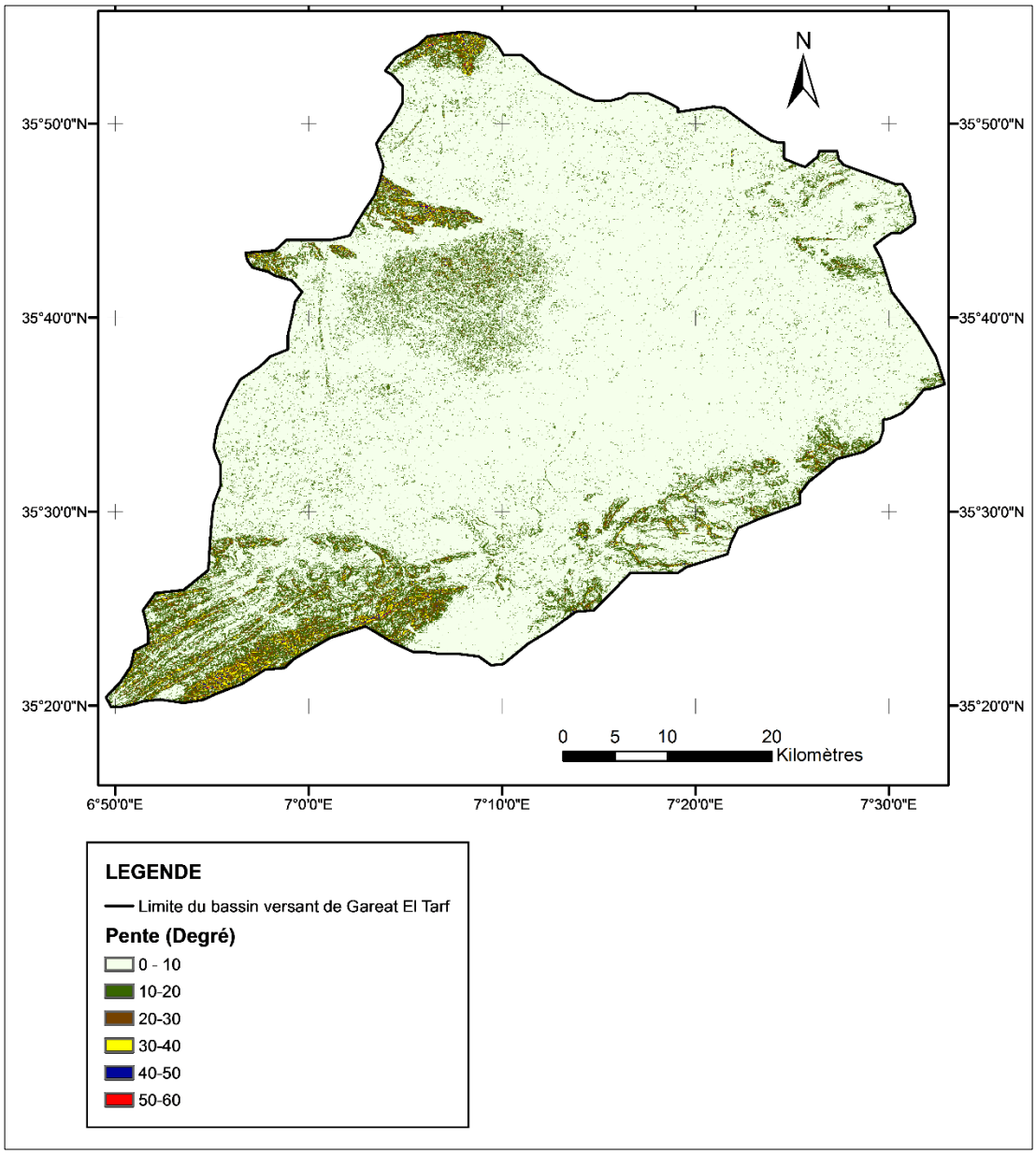
$$Ig = \frac{D}{L}$$

Avec :

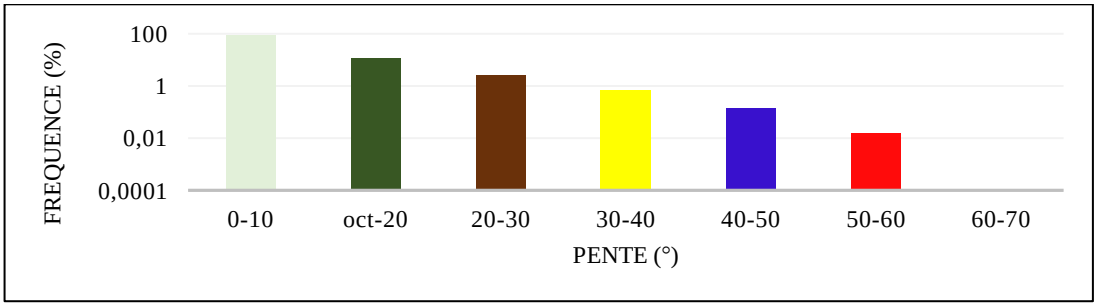
D : dénivelée h5 % - h95 %, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

L'indice de pente global du bassin versant de Gareat El Tarf est estimé à 0.004, donc son relief est faible.

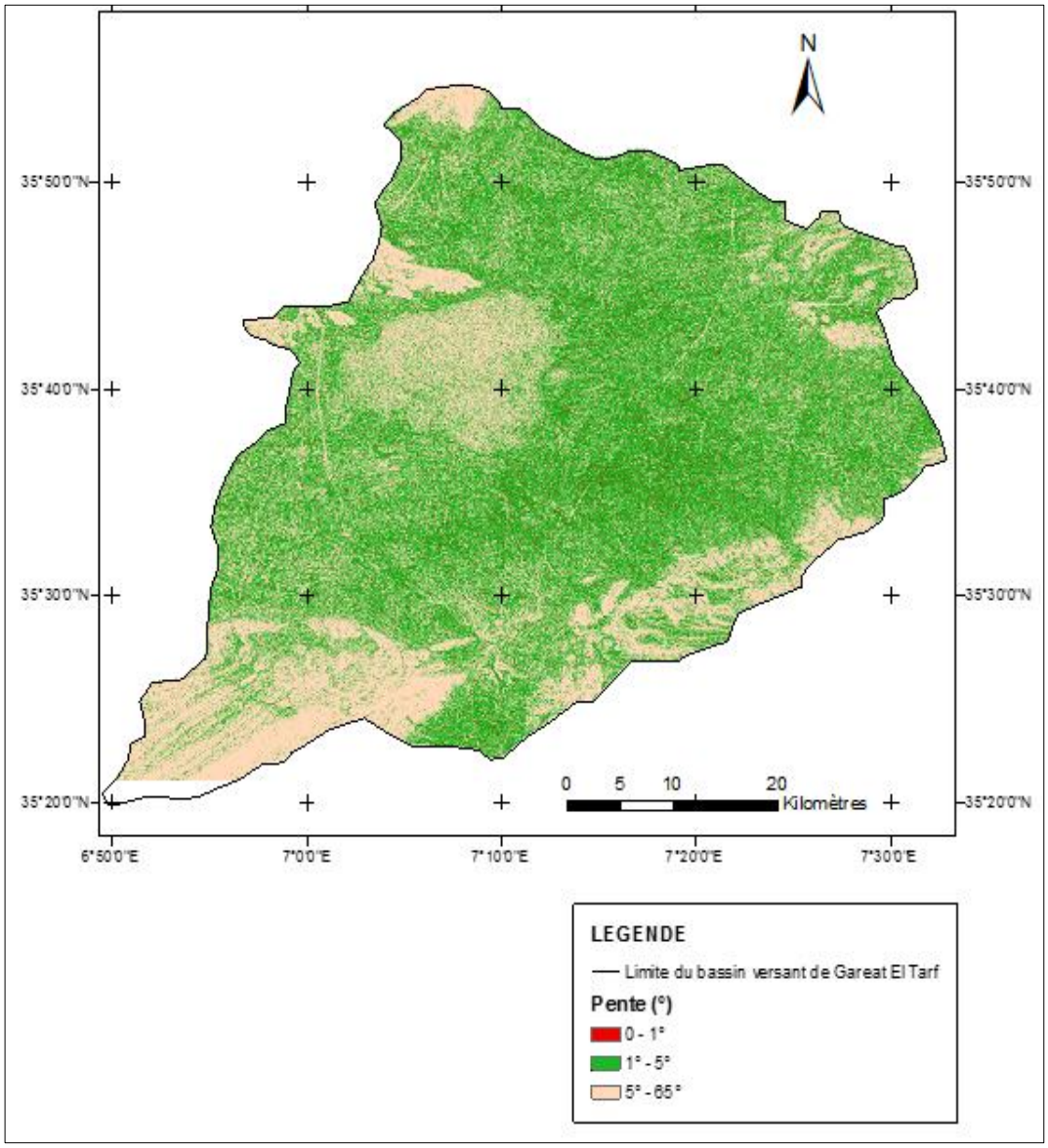


a)

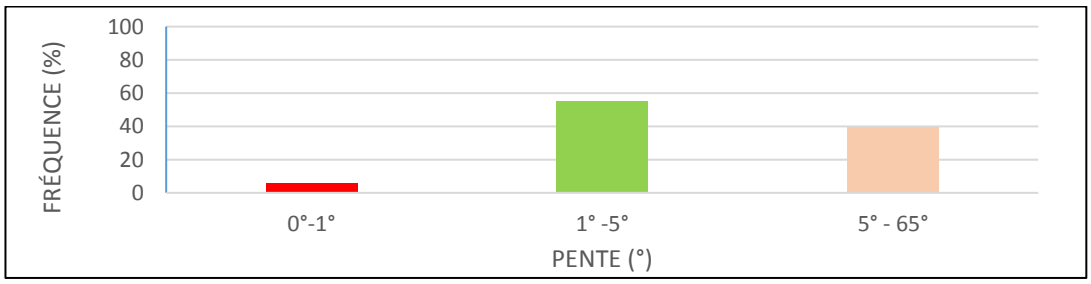


b)

Figure 10. Répartition des pentes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf : a) carte de la répartition des pentes (Réalisée sur ArcGis 10.1) ; b) Diagramme de la fréquence des pentes.



a)



b)

Figure 11. Répartition des pentes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf d'après la classification de TRICABT : a) carte de la répartition des pentes (Réalisée sur ArcGis 10.1) ; b) Diagramme de la fréquence des pentes en %).

Tableau 2. Classification d'O.S.T.R.O.M (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer) sur la base de l'indice global.

Classe	Type de relief	Indice global
R1	Relief très faible	Ig<0.002
R2	Relief faible	0.002<Ig<0.005
R3	Relief assez faible	0.005<Ig<0.01
R4	Relief modéré	0.01<Ig<0.02
R5	Relief assez fort	0.02<Ig<0.05
R6	Relief fort	0.05<Ig<0.1
R7	Relief très fort	0.1<Ig

E. Indice de pente de Roche (Ip)

L'indice de pente de Roche Ip, tient compte de la forme de la courbe hypsométrique et de l'importance des différentes tranches d'altitude. Il est donné par la formule suivante :

$$Ip = \sqrt{\frac{Ig}{0.8}} = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{\frac{Ai.di}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Ip = 2.58

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent (m) ;

l : largeur du rectangle équivalent (m) ;

di : équidistance entre deux courbes de niveau (m) ;

Ai : la fraction en (%) de la surface A comprise entre deux courbes de niveau de distance di.

F. La dénivelée spécifique Ds

L'indice Ig décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique Ds ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale Ig en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à$\sqrt{A}$**.** La dénivelée spécifique Ds permet alors de comparer des bassins de tailles différentes.

$$Ds = Ig\sqrt{A} = \frac{D}{L}\sqrt{Ll} = D\sqrt{\frac{l}{L}}$$

Ds = 0.246 m

La classification O.R.S.T.O.M du relief des bassins versant d'après le dénivelé spécifique (Tabl.3), permet de se prononcer sur la nature très faible.du relief des bassins versants.

Tableau 3. Classe de relief suivant la classification de l'O.S.T.R.O.M (Office Régional Scientifique et Technique d'Outre-Mer).

Classe	Type de relief	Dénivelé spécifique
R1	Relief très faible	Ds< 10 m
R2	Relief faible	10 m<Ds< 25 m
R3	Relief assez faible	25 m<Ds<50 m
R4	Relief modéré	50 m<Ds<100 m
R5	Relief assez fort	100 m<Ds<250 m
R6	Relief fort	250 m<Ds<500 m
R7	Relief très fort	Ds >500m

G. Carte de l'exposition des pentes

Comme pour les pentes, l'orientation de versants est calculée sous ArcGis 10.1. L'opération calcule l'orientation de la pente pour chaque cellule de la grille d'altitude. Chaque cellule de la grille en sortie représente l'orientation de la ligne de plus grande pente de la cellule de la grille en entrée. Les valeurs d'exposition sont continués de O° (nord) jusqu'à 360° dans le sens horaire.

L'outil Exposition permet d'effectuer plusieurs opérations et nous aider sur plusieurs discisions et ce paramètre permet de :

- calculer l'ensoleillement de chaque emplacement d'une région dans le cadre d'une étude visant à déterminer la diversité de vie de chaque site ;
- rechercher tous les adrets d'une région montagneuse pour identifier les lieux dans lesquels la neige fondra probablement en premier dans le cadre d'une étude visant à identifier les quartiers résidentiels qui seront affectés en premier par l'écoulement ;

La classification de l'orientation du bassin objet d'étude (Fig.12), montre que la valeur de la direction d'exposition est de 169.30 donc on peut conclure que la majorité des structures sont orientées vers le Sud.

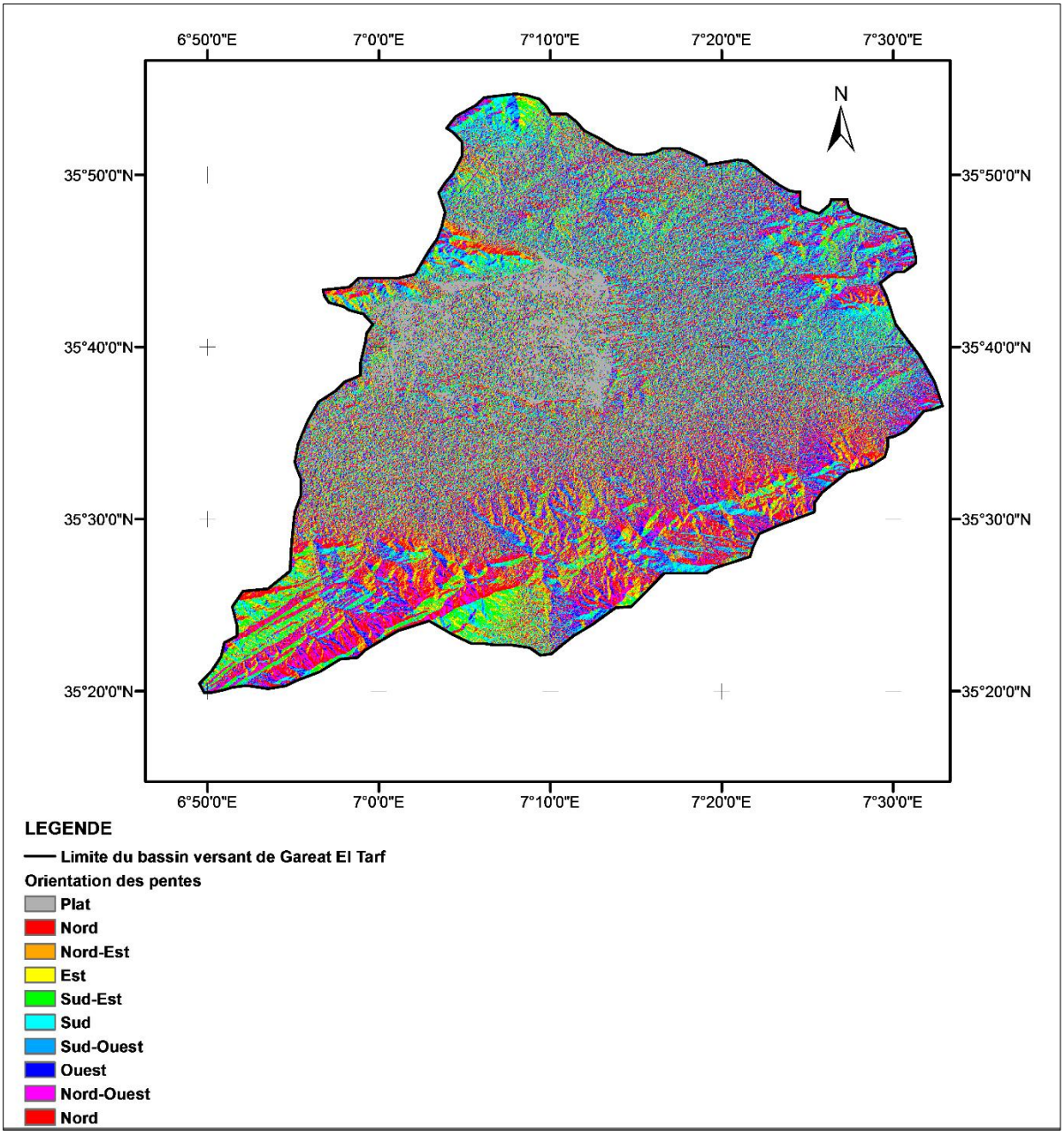


Figure 12. Orientation des pentes du bassin versant de Gareat El Tarf (Réalisée sur ArcGis 10.1).

1.5. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique bassin versant de Gareat El Tarf, constitue un système endoréique (Fig.13). L'endoréisme est un phénomène rencontré dans certains bassins versants pour lesquels le réseau hydrographique n'est relié à aucun autre réseau. L'eau est alors acheminée

et concentrée en un point du bassin qui peut être un lac, une mare ou une accumulation souterraine. Ce phénomène est généralement observé en zones arides et semi-aride. Le bassin dispose d'un seul oued permanant qui est oued Guiess. Cette oued ainsi que tous les autres oueds du bassin et qui sont : Innfifen, El Hammam, Baghai, El Aimer, Alissaour, Nini, Oulmene, El Hassi se déversent tous dans Gareat et Tarf ; tandis que les autres cours d'eau aboutissent sur des surface planes au niveau du bassin versant.

1.5.1. Topologie du réseau hydrographique

La topologie, s'avère utile dans la description du réseau hydrographique notamment en proposant une classification de ceux-ci. La hiérarchisation d'écoulement est une méthode d'attribution d'un ordre numérique aux liaisons d'un réseau hydrographique. Cet ordre est un moyen qui permet d'identifier et de classer des types de cours d'eau en fonction de leur nombre d'affluents. Les principales méthodes de classification des cours d'eau sont celles de Strahler (1952), d'Horton (1945) et de Shreve (1966). La méthode d'identification de l'ordre retenue est celle de Strahler (1952).

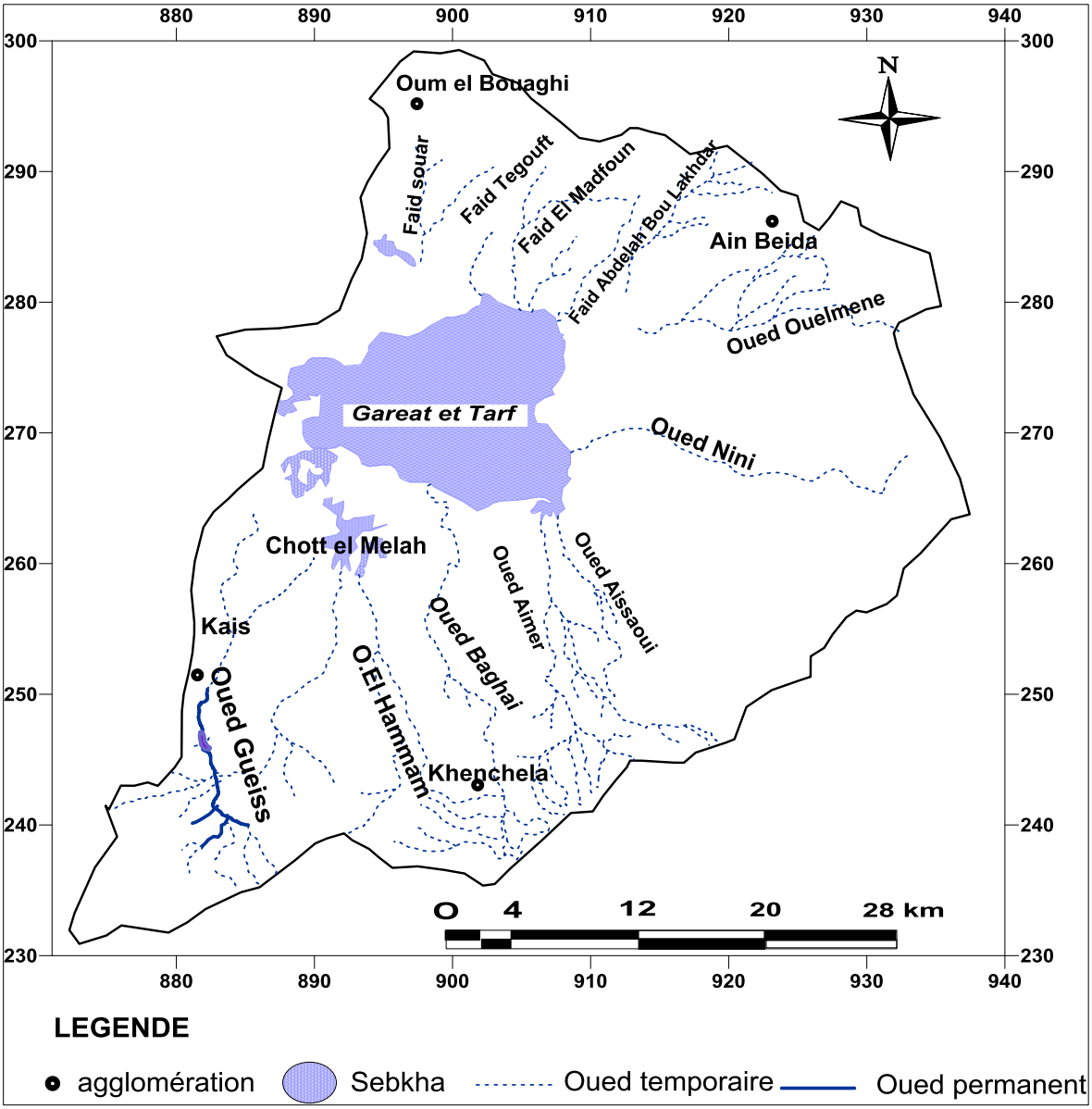


Figure 13. Réseau hydrographique du bassin de Gareat El Tarf.

(Tiré des cartes topographiques de Khenchela et Constantine 1/200 000)

1.5.2. Extraction du réseau hydrographique et son hiérarchisation sur ArcGis

Les réseaux hydrographiques ont été extraits selon une suite d'étapes sur ArcGis 10.1 (Fig.14).

a. Correction des cuvettes, des artefacts dus à la résolution du MNT qui créent des discontinuités dans le réseau hydrographique.

b. calcul de la direction de flux c'est-à-dire la direction d'écoulement en chaque pixel, qui correspond à la direction de plus grande pente.

c. Détermination du flux accumulé dans chaque pixel, sous la forme d'une somme cumulée de tous les pixels s'écoulant dans les pixels en pente descendante.

d. Choix d'un seuil hydrologique aussi appelé aussi appelé seuil de surface amont drainée. Le seuil demandé est la surface minimale en nombre de cellule en dessous de laquelle on ne délimitera pas de BV. La définition du seuil ne répond à aucune règle absolue. Il dépend de l'objectif de l'étude, de la taille de votre zone d'étude, du type de terrain.

$$Seuil_{surface} = Seuil_{pixel} \cdot Résolution$$

Avec $Seuil_{surface}$ le seuil hydrographique exprimé en surface amont drainée (m^2), $Seuil_{pixel}$ Le seuil hydrographique exprimé en nombre de pixels amont drainés, et la résolution du MNT en m^2.

Le choix du seuil, lors de l'extraction du réseau conditionnent la qualité du réseau, pour la même résolution du MNT, plus ce seuil est faible, plus le réseau hydrographique est dense (Fig.15). Le MNT utilisé a une résolution de 30 m x 30m, nous fixant un seuil de 2000 pixels, ce qui correspond à un bassin versant d'environ 1.8 km². Du moment où l'accumulation atteint 2000 pixels, on considère que l'on est sur un tronçon de notre réseau hydrographique.

e. Définition des liaisons d'écoulement (une liaison d'écoulement est une section du réseau hydrographique située entre deux nœuds successifs) du réseau ainsi défini.

f. Attribution d'un ordre d'écoulement aux liaisons d'écoulement.

g. Conversion du réseau linéaire en réseau.

Le réseau hydrographique extrait (Fig.16), permet d'analyser avec précision les ses caractéristiques.

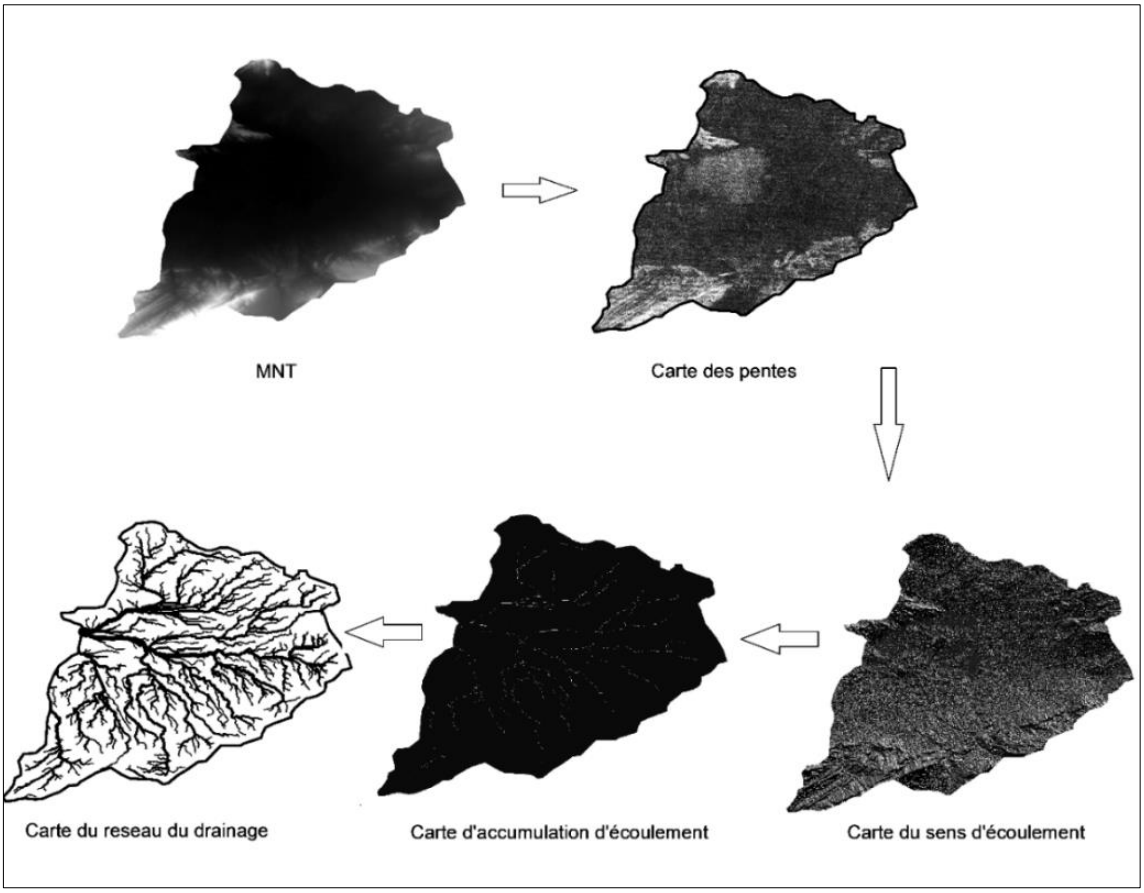


Figure 14. Extraction du réseau de drainage à partir du modèle numérique du terrain (MNT).

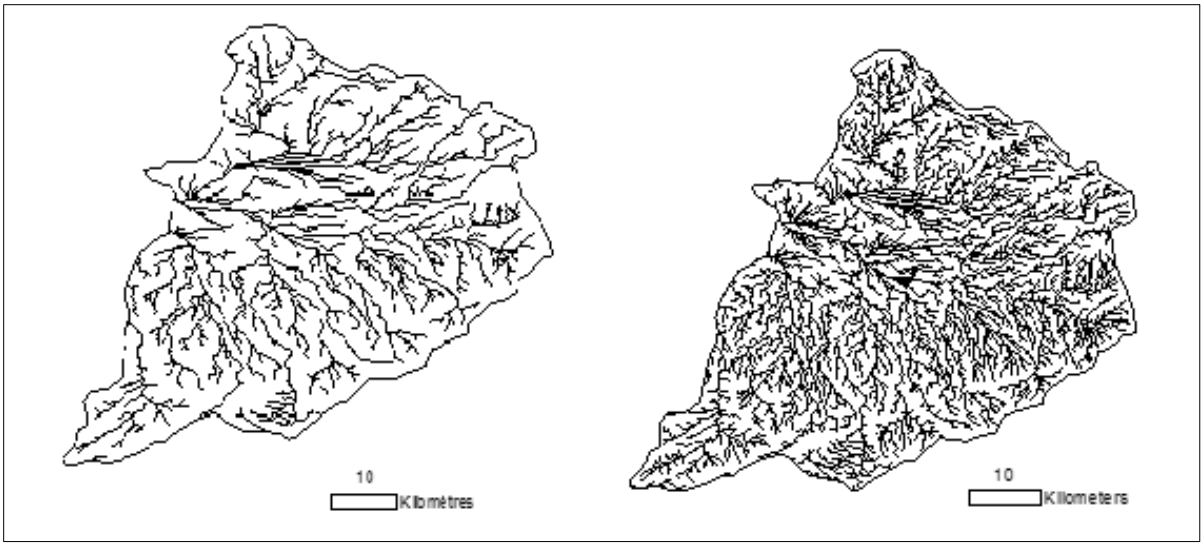


Figure 15. Influence du choix du seuil sur la densité du réseau hydrographique pour un MNT de (30m x 30m), à droite un seuil de 500 pixels à gauche un seuil de 2000 pixels.

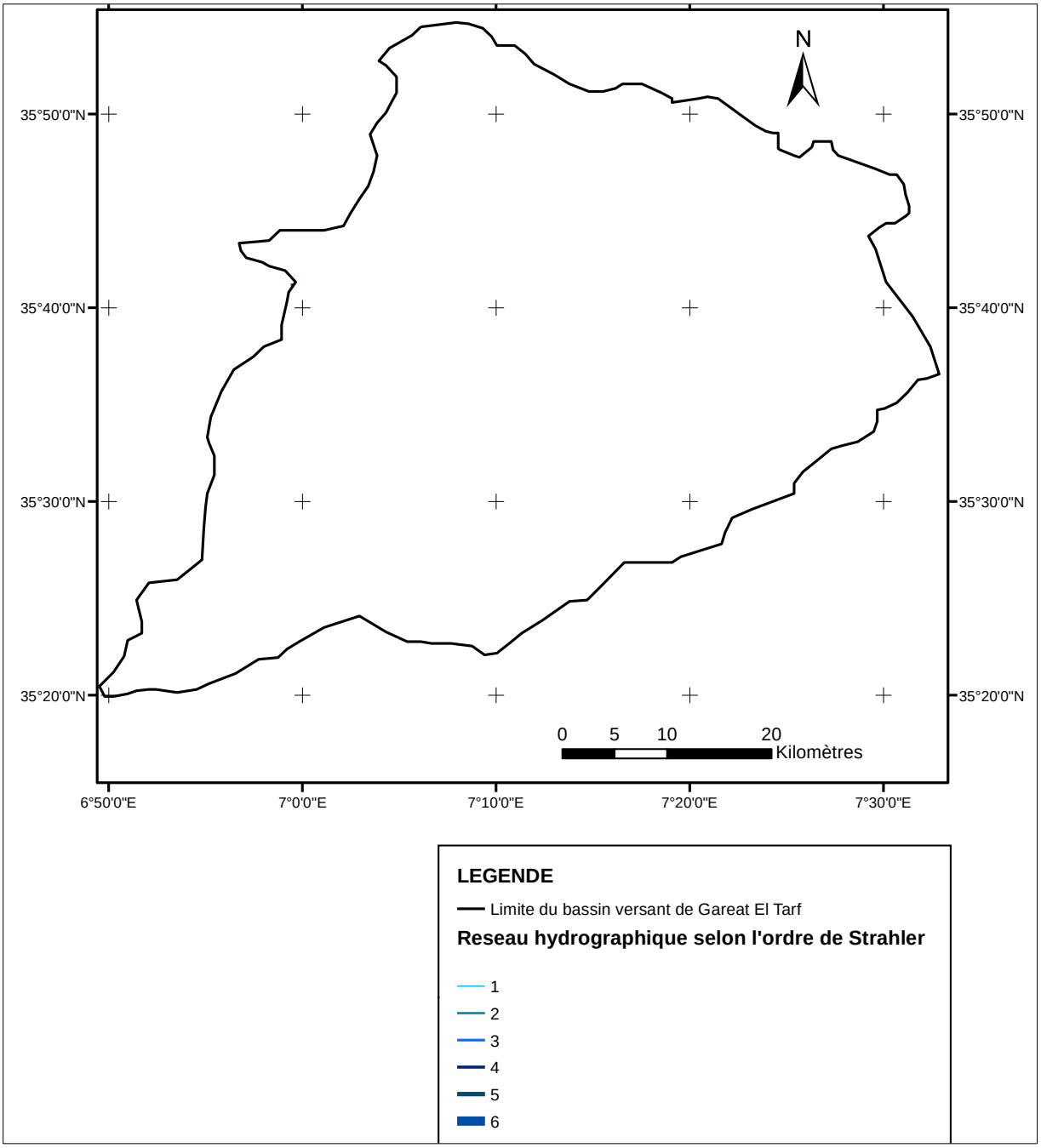


Figure 16. Ordination des cours d'eau selon Strahler, pour le bassin versant de Gareat El Tarf, pour un seuil hydrographique de 2000 pixels.

1.5.3. Caractéristiques du réseau hydrographique

A. La longueur caractéristique

Le réseau hydrographique d'un un bassin versant, se caractérise principalement par 2 grandeurs qui sont :la longueur du cours d'eau principal (L) et la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

L = 48.6 km.

B. Pente moyenne d'un cours d'eau

La pente hydrographique P_{moy}, ou profil en long du cours d'eau, peut-être déterminée sur la carte ou mesurée sur le terrain par un nivellement de précision. La pente hydrographique varie plus ou moins irrégulièrement pour un même cours d'eau selon les structures géologiques traversées et diminue en général d'amont en aval. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$\text{P moy} = \frac{\Delta Hmax}{L}$$

Avec :

P moy : pente moyenne du cours d'eau (m/km) ;

ΔH max : dénivellation maximale de la rivière (m) (différence d'altitude entre le point le plus éloigné : 957 m et l'émissaire : 834 m ;

L : longueur du cours d'eau principal = 48.6 Km.

P_{moy} = 2.53 m/km = 0.25% = 0.14°

C. Densité de drainage

La densité de drainage, définie par (Horton, 1945), Un BV bien drainé possède une densité de drainage minimale de 2.5 km/km^2 tandis qu'un BV mal drainé possède une densité de drainage plus petite que 1.5 km/km^2 (Horton, 1945 ; Pakhmode et al., 2003; Reddy et al., 2004.

Elle correspond au rapport de la longueur totale du réseau hydrographique sur la surface du bassin versant (un terrain dont l'ensemble des eaux sont drainées par un même point) occupée, soit :

$$Dd = \frac{\sum_i^n L}{A}$$

Avec :

∑ Li : La somme des longueurs des cours d'eau présents dans le bassin ;

A : superficie du bassin versant (Km^2) ;

La longuer des cours d'eau est estimée sur MNT par ARCGIS 10.1 : 4531 km.

Le bassin versant de Gareat El Tarf possède une densité de drainage faible (1.8 km/km^2). La densité de drainage est d'autant plus faible que la capacité d'infiltration est importante et varie dans le même sens que le ruissellement et dans le sens inverse de l'écoulement souterrain (Horton, 1945).

D. Fréquence des biefs

La fréquence des biefs, définie par Horton (1945), est le rapport entre le nombre de biefs de tous les ordres et l'aire du BV. La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Avec :

F : fréquence des biefs (km^{-2}) ;

Ni : nombre des cours d'eau = 1767 ;

A : superficie du bassin (km2) = 2438 km^2 ;

F = 0.72 $km^{-2.}$

Une fréquence des biefs élevée (> 5) révèle un ruissellement de surface élevé et une pente prononcée (Pakhmode et al., 2003).Le bassin versant de Gareat El Tarf présente une fréquence des biefs faibles, donc le bassin d'étude présente une région à substratum perméable, à couvert végétal important et à relief peu accidenté.

E. Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité est étroitement lié à la densité de drainage. Il donne une idée sur le comportement du réseau de drainage c'est-à-dire comment l'eau provenant des cours d'eau d'ordre inférieur arrive à la rivière principale. C'est un coefficient qui tient compte à la fois du nombre de talwegs élémentaires ordre 1 et la densité de drainage, il est donné par :

$$C_T = Dd \cdot F1$$

Dans cette relation Dd est la densité de drainage (km/km²) et F1 est la densité des talwegs élémentaires. Il est déterminé de la façon suivante : F1=N1/A ; F1=0,36

N1 : est le nombre de cours d'eau d'ordre 1 et A la superficie du bassin versant (Km²) ; N1=889

$C_T = 0.68$

La basse valeur du C_T, est liée soit à la faiblesse des précipitations, ou encore à la forte perméabilité des formations lithologiques. Ce coefficient est égal à 0.68 ce qui veut dire que plus de la moitié du bassin versant est constituée de cours d'eau de premier ordre.

F. Temps de concentration T_C

Le temps de concentration c'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, nous faisons appel à deux formules :

a- formules de Kirpich :

$$Tc = 0{,}0195\left(\frac{L}{\sqrt{P}}\right)^{0{,}77}$$

Avec :

Tc : temps de concentration en min ;

L : Plus grande longueur hydraulique en m ;

P : Pente en m/m.

T_C= 301 min = 5 h

b- Formule de Passini

$$Tc = 0{,}14 \times \frac{(S \times L)^{1/3}}{\sqrt{P}}$$

Tc : temps de concentration en min ;

S : Surface du bassin versant en hectare ;

L : Plus grande longueur hydraulique en m ;

P : Pente en m/m.

T_C=205 min = 3.4 heures

1.6. CONCLUSION

Le bassin de Gareat El Tarf ; se situe à l'extrême Est des hautes plaines constantinoises, couvre une superficie de 2432 km^2. L'hypsométrie du bassin, montre que l'exutoire du bassin de Gareat El Tarf, se trouve à une altitude de de 831 m, l'altitude maximale est de 2029m alors que l'altitude moyenne est de 967 m. L'indice de pente global (Ig = 0.004) ; l'indice de pente de Roche (Ip = 2.58) et la dénivelé spécifique désignent un bassin à relief très faible. Les pentes fortes marquent surtout la bordure du bassin ainsi que la sebkha.

La densité de drainage du bassin est faible (1.8 km/km^2), ce qui signifie que l'infiltration est importante. Le temps de concentration du bassin de Gareat El Tarf est compris entre 3.4 à 5 h.

CHAPITRE 2 : CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU BASSIN

2.1. INTRODUCTION

Le climat, l'une des composantes les plus importantes des milieux physiques des bassins versants, constitue le facteur le plus influent sur les écoulements, deux facteurs climatiques de première importance sont la pluviométrie et la température.

La pluviométrie, constitue le facteur essentiel car générateur de l'écoulement superficiel à toutes les échelles de temps. Son importance est telle que les différentes classifications du climat reposent essentiellement sur la moyenne annuelle ou mensuelle des précipitations, en combinaison avec les moyennes et /ou les extrêmes de température.

En Algérie, la répartition spatiale des précipitations est caractérisée par un gradient nord-sud bien marqué (Fig.17) et un gradient est-ouest plus faible (Chaumont et al, 1971 ; ANRH 1993 ; Touazi, 2001). Les sous bassins versants des Hauts plateaux constantinois sont dans leurs majorités situés dans les étages bioclimatiques semi-arides à arides (200 à 400 mm/an de précipitations).

Parmi les stations météorologiques et pluviométriques existantes sur le bassin, seuls les trois stations récapitulées dans le tableau ci-dessous fournissent des séries de données climatologiques est hydrométriques, communes comparables et pour une période relativement longue, mais restent tout de même un peu fragmentaires et non homogènes.

Tableau 4.Stations météorologiques et hydrométriques du bassin de Gareat El Tarf.

Stations	**Type de station**	**Coordonnées**			**Paramètres mesurés**
		X Lambert (Km)	**Y Lambert (Km)**	**Altitude (m)**	
Oum El Bouaghi	Météorologique	899	295	890	P, T
Khenchela	Météorologique	890	250	983	P, T
Foum El Gueiss	Hydrométrique	885.2	247.3	980	P, T, E, Q moyen

(Source O.N.M. et A.N.R.H, 2016)

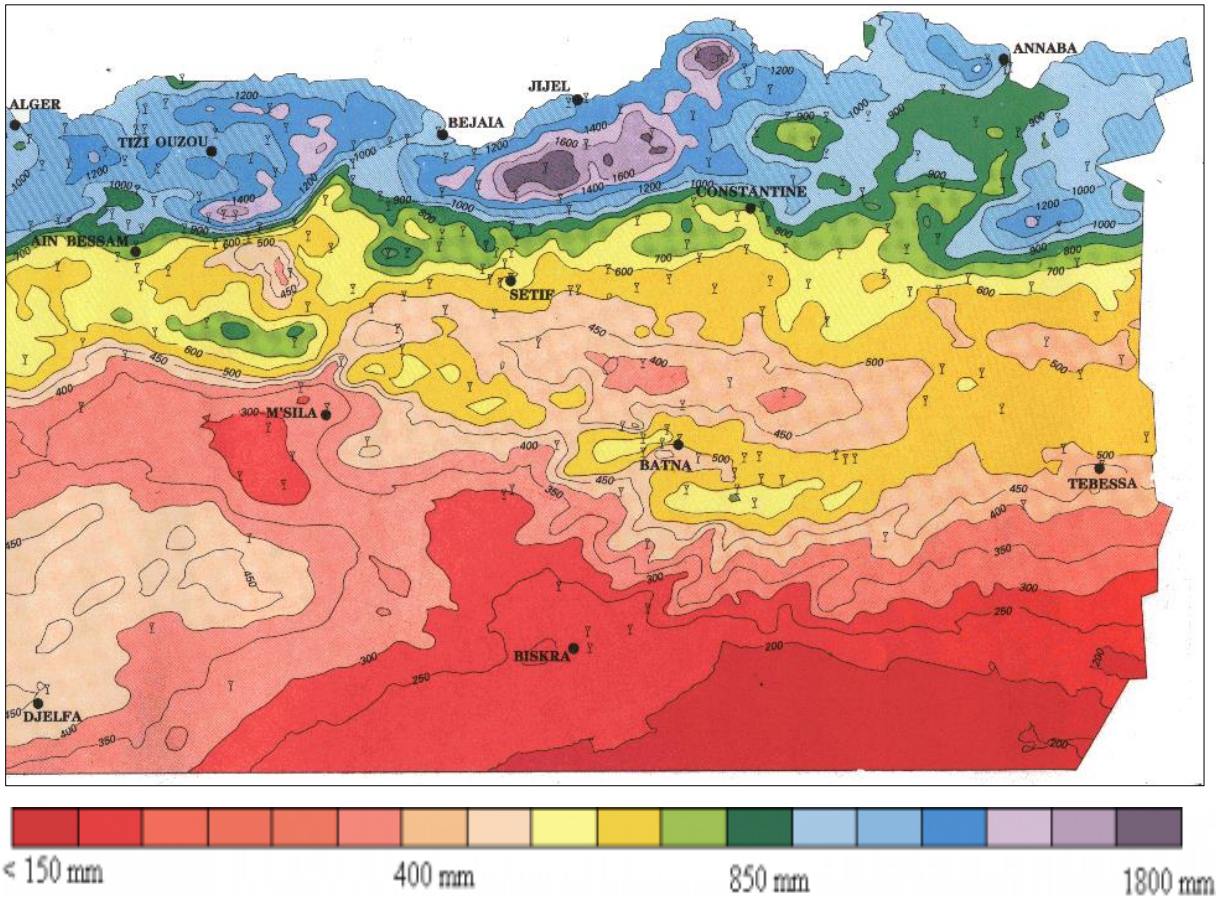


Figure 17. Extrait de la carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord, Echelle : 1/2.000.000. (Moyennes de 60 ans : du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)

(Source : A.N.R.H, 1993).

2.2. ANALYSE DES DONNEES THERMO- PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques qui ont été collectées et analysées proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), et l'Office National de Météorologie (O.N.M).

2.2.1. Pluviométrie

Pour l'analyse de la pluviométrie, nous avons choisi la période allant de 1995 à 2015, pour les deux stations (Khenchela et Oum El Bouaghi), c'est la période commune entre les deux stations et à laquelle nous pouvons coupler la température pour un éventuel calcule du bilan hydrique du bassin versant.

Nous avons aussi choisie d'analyser la pluviométrie à partir des données recueillies au niveau la station hydrométrique de Foum El Gueiss, de la période allant de 1981 à 2015,

cette station fera l'objet d'une modélisation hydrologique (pluie-débit) par la suite dans ce travail. Connaitre le régime pluviométrique sur une assez longue période sera utile pour juger l'efficacité du calage effectué.

A. Variabilité interannuelle des pluies

La présentation brute de la série de précipitation permet d'en visualiser l'évolution chronologique des données.

La variabilité interannuelle se présente comme suit :

- Pour La station de Khenchela (Fig. 18) avec un minimum pluviométrique de 295 mm correspond à l'année 1999, l'année 2010 traduit le cycle le plus arrosé avec 626 mm ;
- Pour la station d'Oum El Bouaghi (Fig. 18), le minimum est enregistré durant l'année 2005 avec 240 mm, représentant le cycle le plus sec, alors que le maximum est constaté durant l'année 2004 avec 665 mm ;
- Pour la station de Foum El Gueiss (Fig. 19), un minimum de pluviométrie est enregistré en 1990 avec 191 mm. L'année la plus arrosés est l'année 2004 avec 59 mm.

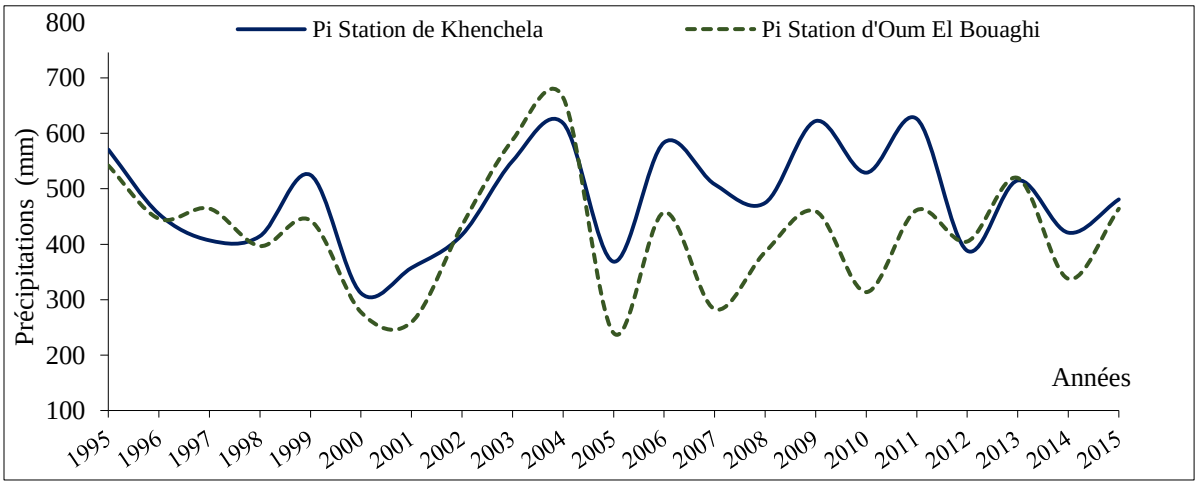


Figure 18. Variabilité interannuelle des précipitations par station pour la période (1995-2015).

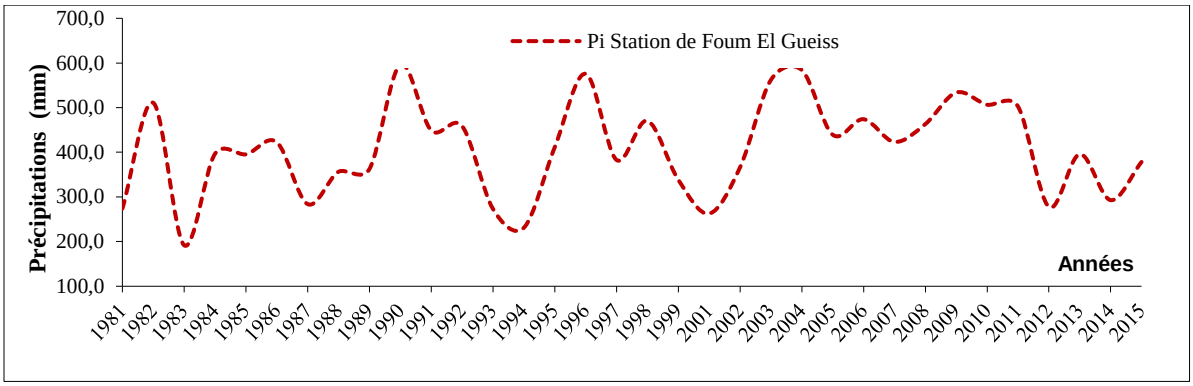


Figure 19. Variabilité interannuelle des précipitations pour la station de Foum El Gueiss (1981-2015).

B. Tendance du régime pluviométrique

L'indice de pluviosité (Ip) est une méthode très utilisée pour caractériser les années sèches et les années humides. Elle présente le rapport entre la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne de précipitation. Une valeur supérieur à 1 de cet indice caractérise les années humides par contre s'il est inférieur à 1 les années sont qualifiées de sèches (Hermassi, 2013).

$$Ip = Pi/Pm.$$

Pour dégager les grandes tendances (sèche ou humide) de la pluviométrie annuelle et supprimer les faibles fluctuations, on a utilisé aussi le cumul de l'écart proportionnel à la moyenne qui diffère l'indice de la pluviosité en soustrayant 1 de la valeur obtenue (Pi/Pm-1 cumul). Quand la somme des indices croit, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est sèche dans le cas contraire.

L'examen de la Figure 20 montre que :

- Pour la station de Khenchela : la période comprise entre les 1995 et 2002, présente une séquence d'années sèche, à partir de l'année 2003 la tendance globale est humide avec une légère diminution de cumul au cours des dernières années.
- Pour la station d'Oum El Bouaghi : la tendance est sèche sur la totalité de la période allant de 1995-2015 exception faite pour la période comprise entre 2002-2005 qui présente une tendance légèrement humide.
- Pour la station de Foum El Guiess (Fig. 21) : entre l'année 1981 et 2015 nous avons deux cycles bien distincts le premier sec, s'étale de 1981 jusqu'à 1989.L'autre humide, s'étale de 2002 jusqu'à 2011. Entre ces deux cycles on constate une fluctuation entre

l'humidité et la sécheresse.

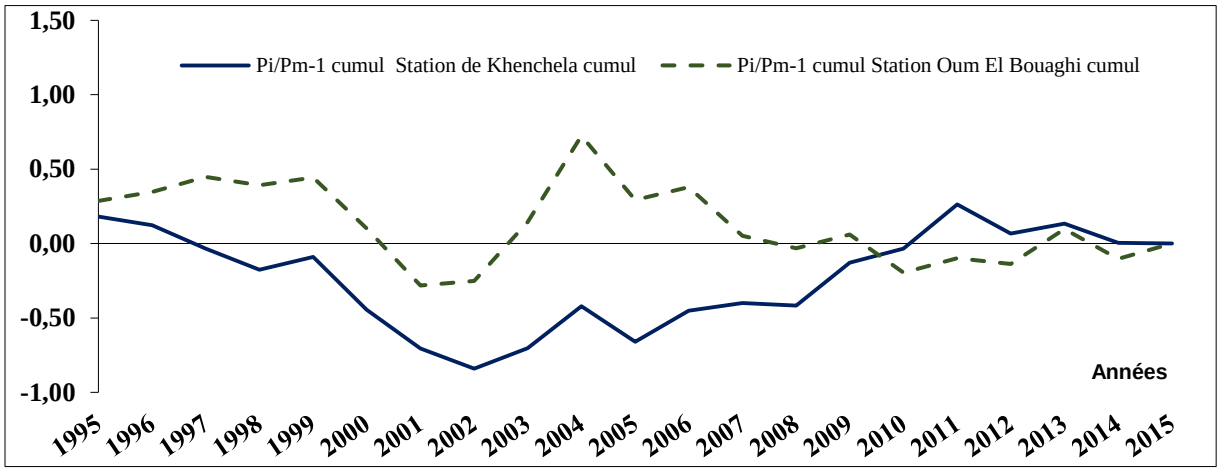


Figure 20. Evolution de cumul l'indice de l'écart proportionnel à la moyenne au niveau du bassin versant (1995-2015).

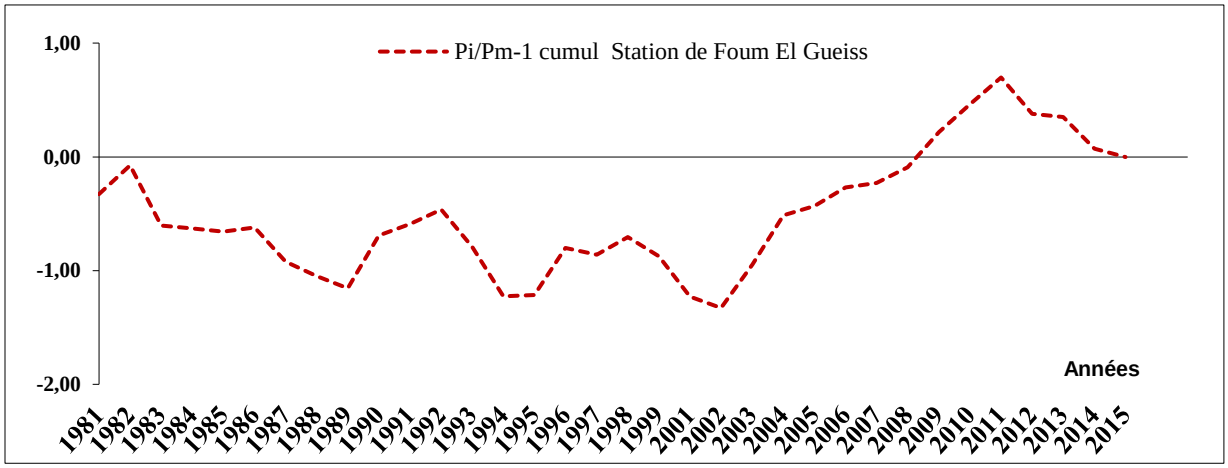


Figure 21. Evolution de l'indice de pluviosité pour la station de Foum El Gueiss (1981-2015).

C. Variabilité mensuelle des pluies

Dans le graphe ci-dessous (Fig.22) sont représentées les hauteurs (en mm) des précipitations mensuelles pour la période allant de 1995 à 2015. Le régime pluviométrique des deux stations (Khenchela et Oum El Bouaghi), est caractérisé par le mois le plus arrosé au niveau de la station de Khenchela est le mois de septembre avec 59.5 mm tandis que pour la station d'Oum El Bouaghi c'est le mois de Mai. Le moins pluvieux coïncident avec le mois de juillet

pour les deux stations avec 16.12 enregistrée au niveau de la première et 9.4 mm au niveau de la deuxième.

La pluviosité au niveau des trois stations, commence à s'accroître au mois d'Octobre pour aboutir à son max au mois de Décembre, régresse à partir du mois de Janvier, pour reprendre au mois d'Août en passant par deux chutes assez considérables au mois de Février et Avril

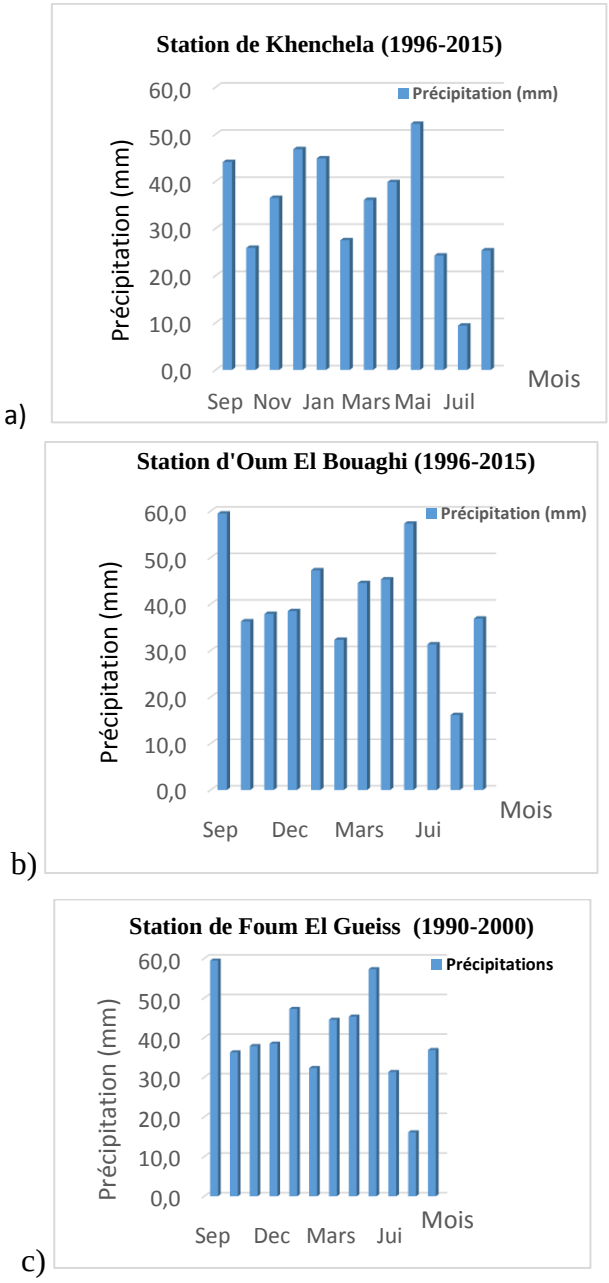


Figure 22. Précipitations mensuelles moyennes interannuelles :a) station de Khenchela .b) station d'Oum El Bouaghi.c) station de Foum El Gueis.

2.2.2. Températures

L'étude des températures est utile, car elles influent sur un grand nombre des facteurs (évapotranspiration, l'enneigement et sa durée). Elles influent très fortement sur la répartition de la végétation. Ce paramètre tout comme la précipitation trouve son importance dans le calcul de l'évapotranspiration, élément important du bilan hydrique.

Les graphes sur la figure 23, présente l'évolution des températures annuelles moyennes au niveau de la station d'Oum El Bouagui et de celle de Khenchela (1995-2015). Il en ressort que les valeurs fluctuent sensiblement d'une année à l'autre. L'écart entre la température de l'année la plus chaude et l'année plus froide approche 2 °C au niveau de la station de Khenchela et dépasse les 2.5 °C pour celle d'Oum El Bouaghi. La période d'observation est sans doute trop courte pour que l'évolution soit nette au regard des variations interannuelles.

Les valeurs moyennes mensuelle interannuelle pour la période allant de 1995 à 2015 (Fig.24) montrent que janvier est le mois le plus froid (6.6 ,6.5 °C) enregistrée sur Khenchela et Oum El Bouaghi, alors que juillet est le plus chaud (26.9, 26.7 °C). La température moyenne annuelle est de 15.7 pour la station de Khenchela et 15.6 pour celle d'Oum El Bouaghi (Tabl.5), les températures sont ainsi relativement homogènes sur tout le bassin de Gareat El Tarf.

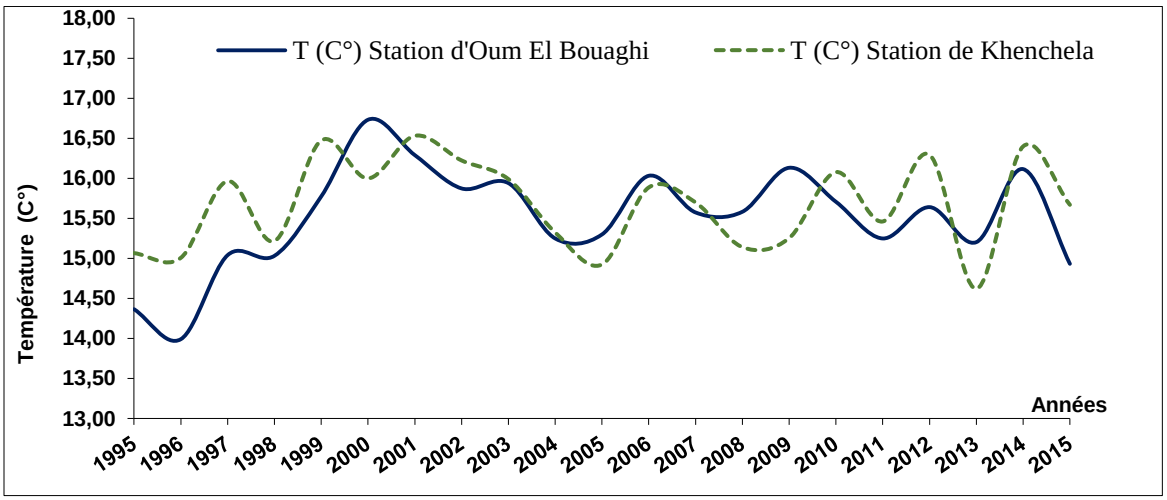


Figure 23. Températures annuelles moyennes au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (1995-2015).

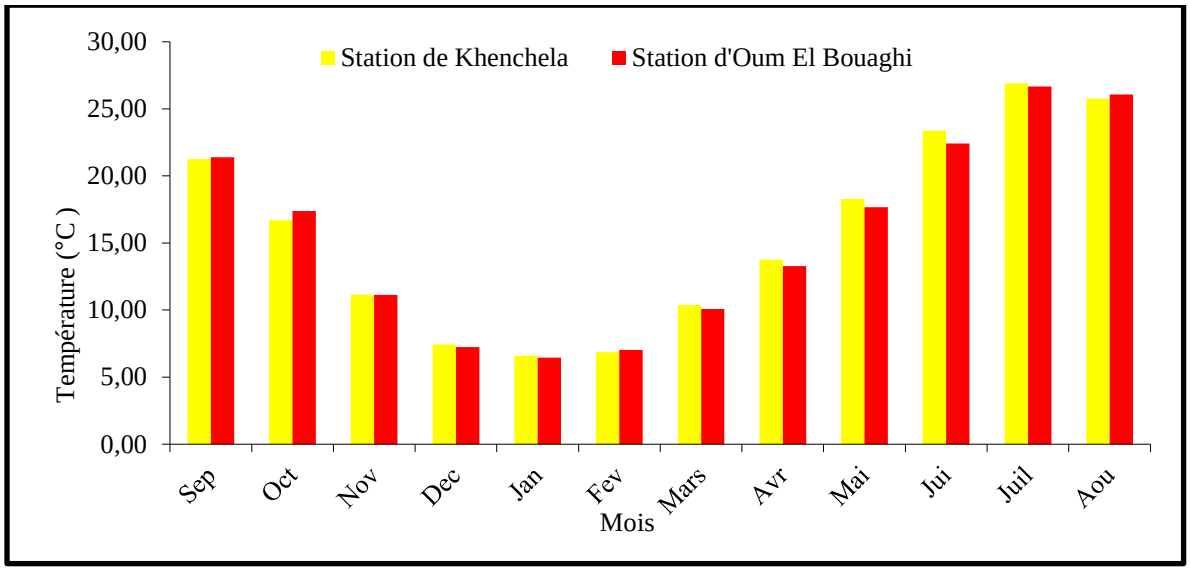


Figure 24. Températures mensuelles moyennes interannuelles (1995-2015) (Source : A.N.R.H et O.N.M).

Tableau 5. Moyennes mensuelles des températures au niveau de la station de Khenchela et la station d'Oum El Bouaghi en °C pour la période allant de 1995 à 2015.

Saisons		***Automne***			***Hiver***			***Printemps***			***Eté***			***Moy***
Mois		**Sept.**	**Oct.**	**Nov.**	**Déc.**	**Jan.**	**Fév.**	**Mar.**	**Avr.**	**Mai**	**Jui.**	**Juil.**	**Aoû.**	
Température moyenne mensuelle (°C)	**Stat. de Khenchela**	21,3	16,6	11,2	7,4	6,6	6,8	10,4	13,7	18,3	23,4	26,9	25,7	15,7
	Stat. O.E.Bouaghi	21,4	17,4	11,1	7,2	6,5	7,0	10,1	13,3	17,7	22,4	26,7	26,1	15,6
	Moyenne interstations	21,4	17,0	11,2	7,3	6,6	6,9	10,3	13,5	18,0	22,9	26,8	25,9	15,7

(Source : A.N.R.H et O.N.M)

2.3. SYNTHESE CLIMATIQUE

2.3.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen et Begnouls (Begnouls et Gaussen 1953), est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois et en ordonnées la précipitation(P) et les températures(T). Avec P=2T

Un mois sec se définit, comme celui ayant un total des précipitations, en millimètre, égal ou inférieur au double de la température moyenne en ° C (P≤ 2T).La détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation.

Les diagrammes pluviothermiques établis en se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur une période d'observation de 20 ans, au niveau de la station de Khenchela et celle d'Oum El Bouaghi,nous a permis de visualiser le suivant :

La saison sèche, s'étale sur six mois, de mai à octobre pour la station d'Oum El Bouaghi, et sur cinq mois de mai à septembre pour la station de Khenchela (Fig.25).

2.3.2. Indice de De Martonne

En se basant sur le régime des précipitations et des températures. De Martonne (1926) a défini un indice d'aridité «A».

$$\mathbf{A} = \frac{\boldsymbol{P}}{\boldsymbol{T}+\mathbf{10}}$$

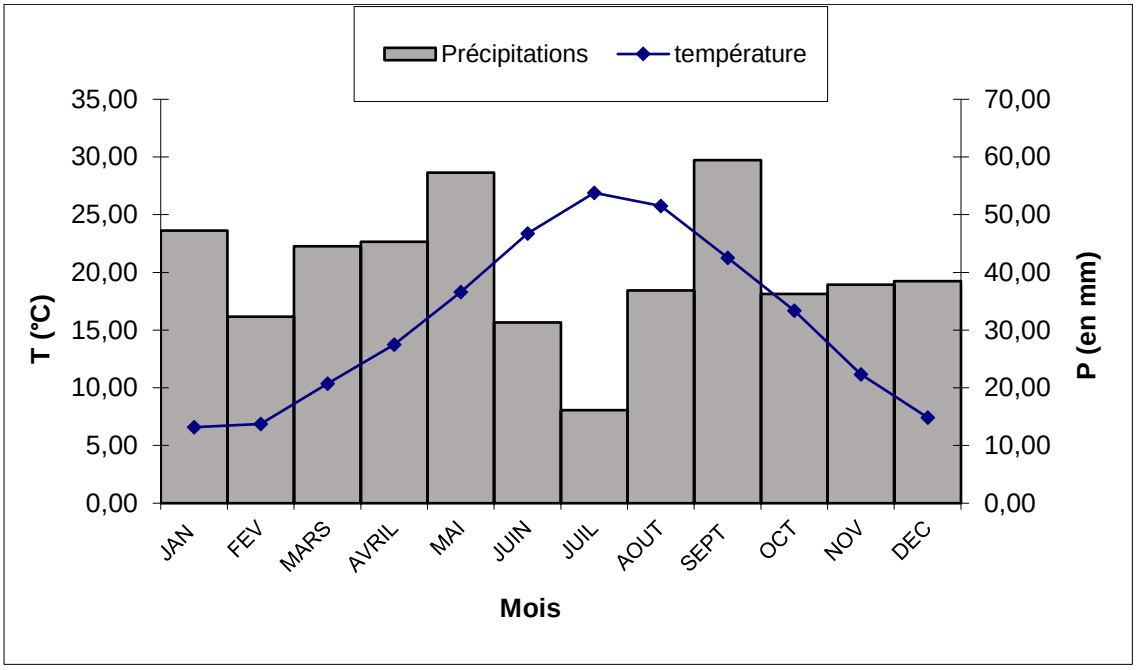
Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

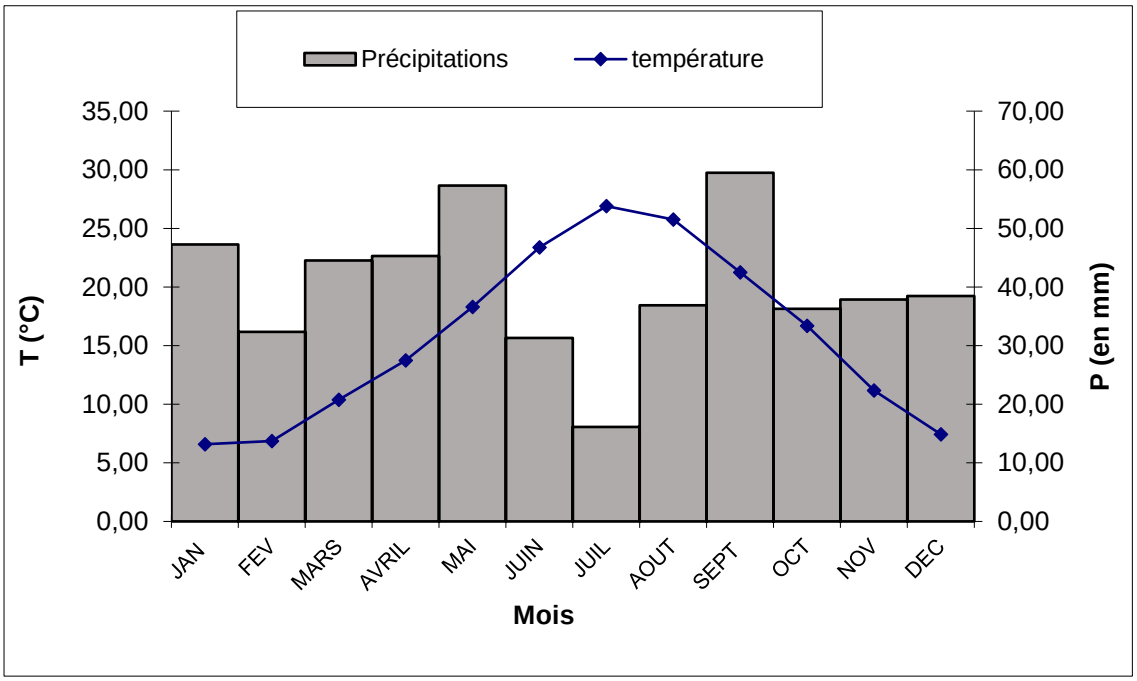
T : température moyenne annuelle en °C ;

Cet indice combinant P et T, deux facteurs fondamentaux agissant directement sur le développement des végétaux est très largement utilisé (Richard et al , 1985)

Une valeur de De Martonne situé entre 10 et 20, indique un régime climatique semi-aride. Pour les deux stations l'indice climatique de cette hauteur est compris entre 10 et 20 avec 18.79 pour la station de Khenchela et 16.79, pour la station d'Oum El Bouaghi. Donc le climat du bassin de Gareat El Tarf est de type semi-aride.



a)



b)

Figure 25. .Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen : A la station de Khenchela (1995-2015). B la station d'Oum El Bouaghi (1995-2015).

2.4. LE BILAN HYDRIQUE

Le fonctionnement du milieu naturel peut être assimilé à un ensemble de réservoirs en cascades (BRGM, 2002. Le sol recueille les pluies (une partie de l'eau ruisselle plus ou moins rapidement selon la pente et la perméabilité des terrains) et le proche sous-sol s'humecte et retient une partie de l'eau qu'il redistribue vers l'atmosphère par évaporation et « transpiration » des plantes (évapotranspiration), et vers le sous-sol profond. Les nappes sont ainsi « naturellement » alimentées par l'infiltration) (Fig.26).

Se fonctionnement se base donc sur un bilan hydrologique qui vise à établir la relation entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donné. Dans notre cas nous avons choisi un pas de temps mensuel, ce qui permet de suivre le rythme saisonnier de la disponibilité de l'eau qui équilibrerait le niveau des nappes phréatiques.

Ce bilan est basé sur la résolution de l'équation :

Le bilan hydrologique est calculé au moyen du modèle de Thornthwaite (1948). Il est basé sur la résolution de l'équation :

$$P = ETR + (I + R + \Delta RFU) = ETR + Peff$$

Avec : P : précipitations, I : infiltration, R : ruissellement, ETR : évapotranspiration réelle, ΔRFU : variation de la Réserve Facilement Utilisable et Peff : pluie efficace.

L'évaluation des différents termes du bilan hydrologique à l'échelle d'un bassin versant constitue l'un des points clés de la gestion des ressources en eau, ceci est dû au fait que le bilan hydrique traite les deux termes suivants :

1- L'état de la réserve en eau du sol (R.F.U) ou Réserve Facilement Utilisable, en tenant compte des besoins en eau de la culture et des apports naturels par les pluies ou par irrigation. Il permet donc de vérifier : • d'une part, que l'apport d'eau par irrigation est suffisant pour ne pas vider la RFU et donc provoquer un stress hydrique à la culture, d'autre part, que l'apport d'eau par irrigation n'est pas trop important (pour éviter de saturer le sol et provoquer des pertes d'eau par ruissellement.

2- Le calcul du bilan d'eau selon la méthode de Thornotwaite permet d'estimer la pluie qui donnera un apport d'eau à l'hydrosystème.

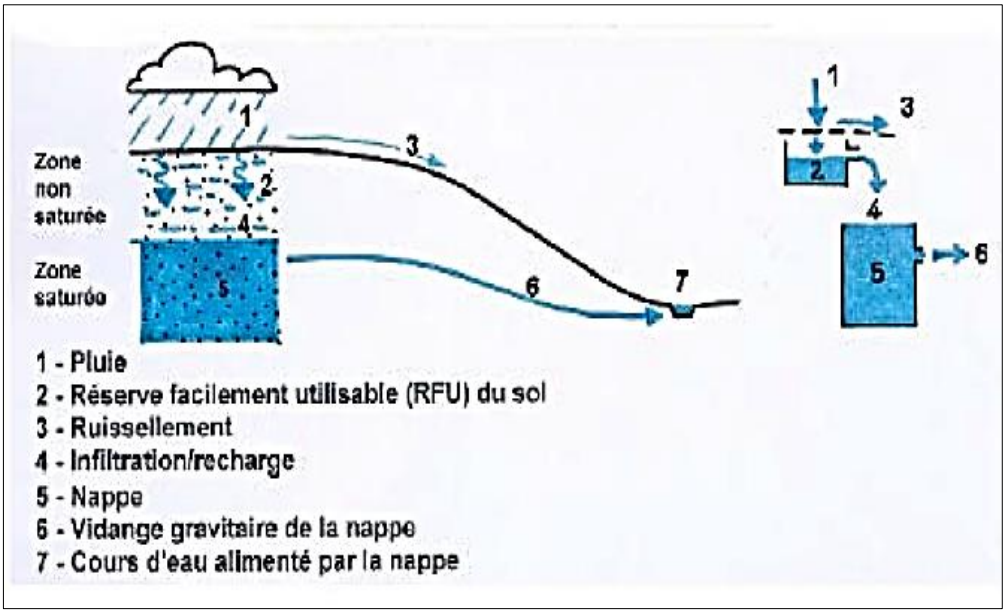


Figure 26. Schéma présentant la distribution de la pluie au sol et dans le sol (BRGM, 2002).

2.4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle se calcule indépendamment de la pluviométrie pour des surfaces évaporantes bien alimentées en eau.

Elle correspond donc à une restitution hydrique maximale à l'atmosphère par évaporation directe au niveau du sol ou des plantes dont la température demeure la principale fonction.

Pour l'estimation de ce paramètre, nous utiliserons la formule de C.W. Thornthwaite dont la relation s'écrit :

$$ETP = 16\left(\frac{10T}{I}\right)^{a} \times F(\lambda)$$

ETP **:** L'évapotranspiration potentielle en mm ;

T : température moyenne mensuelle en °C ;

I : indice thermique annuel qui est la somme des douze indices thermiques mensuels i.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \qquad a = \left(\frac{1.6}{100}\right).I + 0.5$$

F(λ) est un terme correctif qui intègre la durée théorique d'insolation dépendant de la latitude et du mois.

Les résultats de calcule de ETP sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6. Estimation de l'ETP mensuelle selon Thornotwaite (1996-2015)

MOIS	T (°C)		I		K	ETP (MM)	
	Station de Khenchela	Station d'O.E.Bouaghi	Station de Khenchela	Station d'O.E.Bouaghi		Station de Khenchela	Station D'O.E.BOUAGHI
SEPTEMBRE	21,3	21,4	9,06	9,09	1,03	97,8	99,4
OCTOBRE	16,7	17,4	6,48	6,46	0,97	61,4	66,3
NOVEMBRE	11,2	11,1	3,53	3,55	0,86	27,8	28,1
DECEMBRE	7,43	7,25	1,93	1,93	0,81	13,2	13,0
JANVIER	6,59	6,47	1,53	1,49	0,87	11,6	11,5
FEVRIER	6,86	7,02	1,84	1,84	0,85	12,2	12,9
MARS	10,4	10,1	2,90	2,84	1,03	29,4	28,5
AVRIL	13,8	13,3	4,10	4,06	1,10	50,4	48,1
MAI	18,3	17,7	6,67	6,63	1,21	89,4	85,0
JUIN	23,4	22,4	9,96	9,83	1,22	135,8	127,2
JUILLET	26,9	26,7	11,99	11,86	1,24	174,6	172,5
AOUT	25,8	26,1	11,96	11,92	1,03	151,9	155,4
ANNUEL	15,7	15,6	71.9	71.5	/	855,6	847,9

2.4.2 Évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle représente la quantité de vapeur d'eau effectivement dégagée vers l'atmosphère par le sol et les végétaux.

ETR, se définit comme la réponse d'un milieu donné à la demande exercée par l'évaporation potentielle (ETP) :

- Si ETP=P, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si ETP>P, On a ETR =ETP+RFU, un déficit apparaît, une partie de RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si l'ETP<P, on a ETR = ETP.

La RFU pourra atteindre son maximum au-delà duquel, il y aura infiltration vers la nappe.

2.4.3. Estimation de la réserve facilement utilisable RFU

Réserve facilement utilisable RFU, celle que les plantes peuvent facilement utiliser par leur tension osmotique sans avoir à freiner l'ETR (Lambert, 1996).

La notion de réserve facilement utilisable (RFU) correspond à la quantité d'eau du sol en dessous de laquelle une plante flétrit. Ce qui permet de déterminer les doses d'irrigation. On irrigue dès que RFU est épuisée. Pour le bassin versant objet de notre étude L'A.N.R.H adopte un RFU maximal de 50mm.

2.4.4. Déficit agricole et pluie efficace

Le déficit agricole (Da) représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas d'un manque d'eau.

$$Da = ETP - ETR$$

La pluie efficace est une notion permettant d'identifier la fraction des précipitations météorologiques qui donne lieu à un apport d'eau à l'hydrosystème continental (Fig.27). Cette alimentation de l'hydrosystème se traduit par un écoulement d'eau, décomposable d'une part en ruissellement de surface ou en ruissellement hypodermique au niveau du sol, et, pour l'autre part, en une infiltration dans le sous-sol en direction des nappes d'eau souterraine.

Le bilan hydrique nous conduit finalement à la valeur de la pluie efficace pour chaque pas de temps de calcul :

- Si $P \geq ETP$ et si $RU = Rmax$ alors $Peff = P - ETR$
- Si $P \geq ETP$ et si $RU < Rmax$ alors $Peff = P - ETR - (R\ max - RFU)$ (Recharge de la réserve utile)
- Si $P < ETP$ alors $Peff = 0$

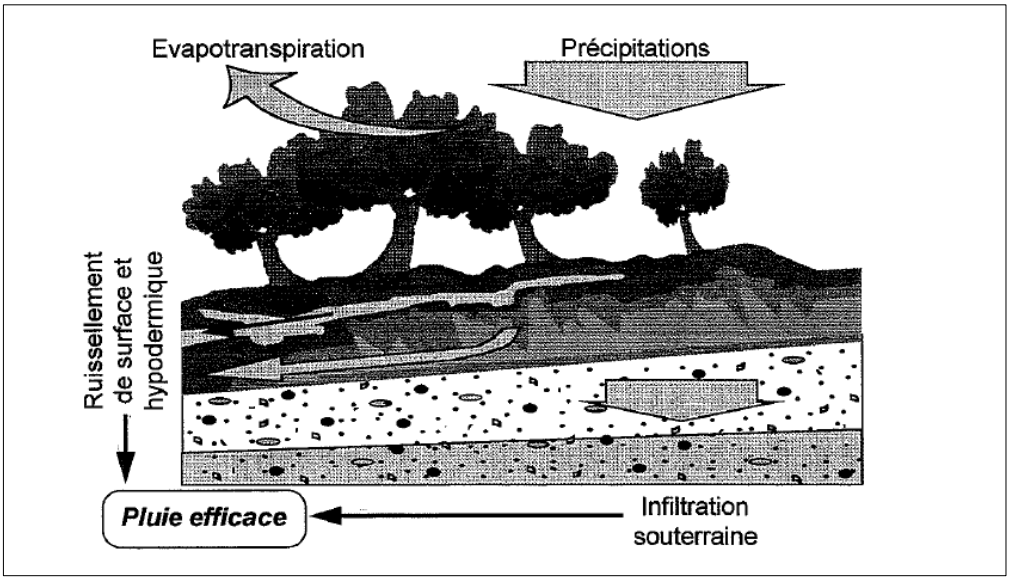


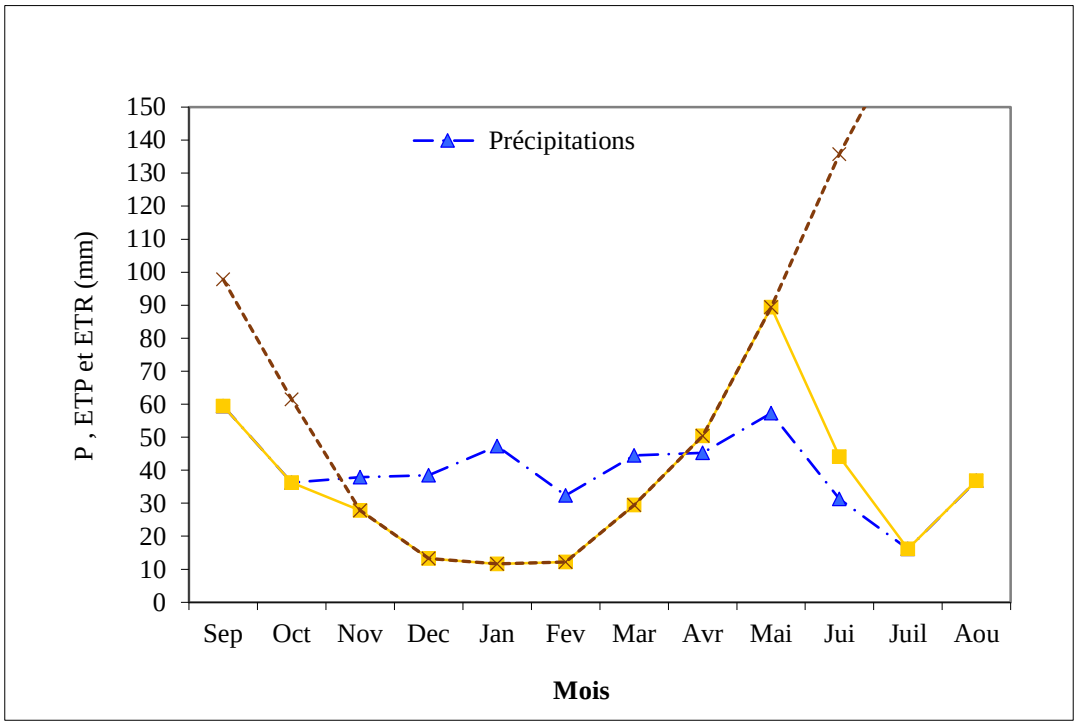
Figure 27. Representation shématique du concept de pluie efficace (DAUM J.R et al 1996).

2.4.5. Interprétation du bilan hydrique

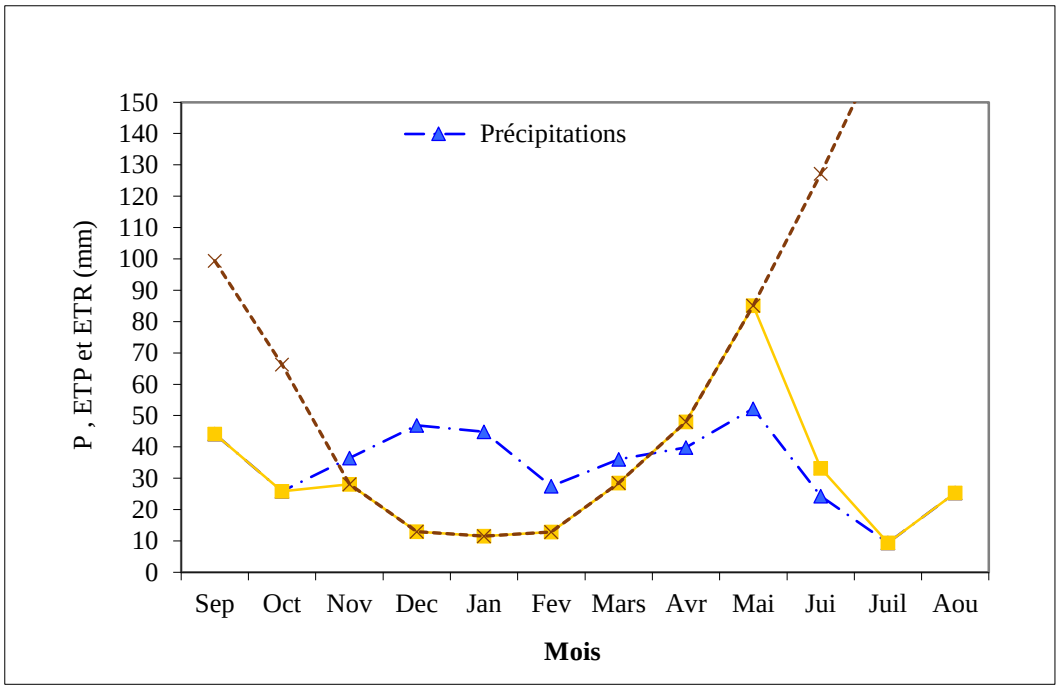
Le graphe sur la Figure 28, montre que l'évapotranspiration et supérieur à la précipitation à partir du mois de juin jusqu'à octobre avec un maximum qui dépasse les 170 mm pendant le mois de juillet. Donc durant ces 5 mois on est face à un déficit agricole ce qui nécessite une irrigation pour les zones de culture, ce déficit atteint son maximum pendant le mois de juillet ; avec 158 mm au niveau e la station de Khenchela et 163 mm au niveau de celle d'Oum El Bouaghi. Pendant le reste de l'année (mois de novembre jusqu'au mois de mai), le remplissage des RFU et soit partielle soit complet.

Le déficit agricole est généré du mois de juin jusqu'à octobre, les RFU se charge mais n'atteint leurs max (50 mm), que pendant le mois de janvier, février et mars.et c'est au cours de ces trois mois qu'il y a apparition des pluies efficace avec une lame entre 7.5 et 25.6 mm. . Pendant les mois de janvier, février et mars la recharge des RFU dépasse 50 mm, le surplus d'eau qu'on appelle pluie efficace est estimé entre 45 et 56 mm, va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme du ruissellement (Fig.29).

Le baasin versant reçoit une lame d'eau précipité comprise entre 483 et 413 mm,une part comprise entre 427et 365 mm retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur les reserve utile capte entre 21 et 36 mm par an tandis que le reste (48 à 56 mm), donne lieu à un apport d'eau à l'hydro- système continental (Fig.30).

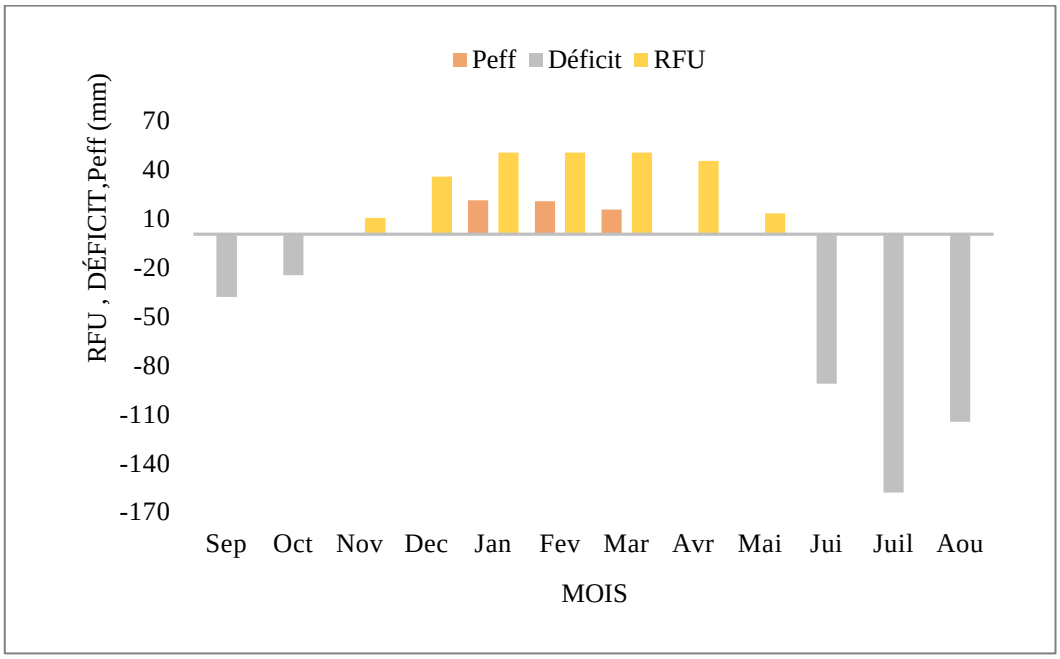


a)

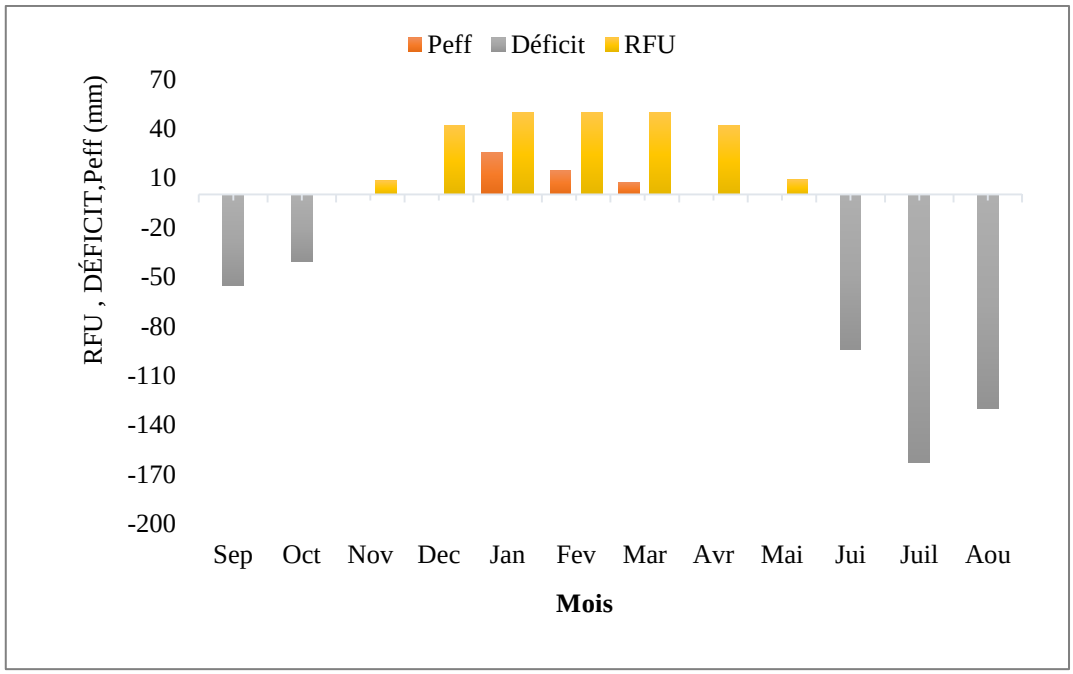


b)

Figure 28. Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la période (1996-2015) a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi.



a)

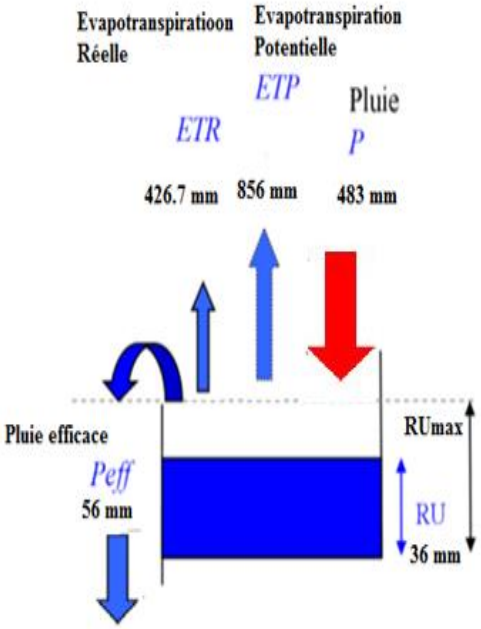


b)

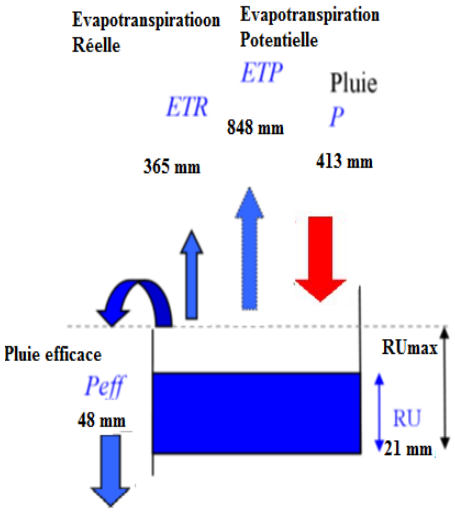
Figure 29. Représentation graphique de la pluie efficace pour la période (1996-2015) : a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi.

Mois	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	Peff (mm)
Sep	21,2	59,4	97,8	0.0	59,47	38,37	0.0
Oct	16,6	36,2	61,4	0.0	36,27	25,14	0.0
Nov	11,1	37,8	27,8	10,0	27,8	0.00	0.0
Dec	7,4	38,47	13,2	35,2	13,24	0.00	0.0
Jan	6,5	47,2	11,6	50,0	11,63	0.00	20,9
Fev	6,8	32,3	12,1	50,0	12,16	0.00	20,1
Mar	10,3	44,5	29,4	50	29,44	0.00	15,0
Avr	13,7	45,3	50,4	44,8	50,42	0.00	0.0
Mai	18,2	57,2	89,4	12,75	89,41	0.00	0.0
Jui	23,3	31,3	135,7	0.00	44,08	91,69	0.0
Juil	26,8	16,1	174,5	0.00	16,12	158,4	0.0
Août	25,7	36,8	151,8	0.00	36,86	115	0.0
Année	15,7	483	856	36	426.7	429	56

a)



	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	Peff (mm)
Sep	21,4	44,1	99,4	0.00	44,1	55,31	0.0
Oct	17,3	25,8	66,3	0.00	25,8	40,44	0.0
Nov	11,1	36,4	28,1	8,37	28,1	0.00	0.0
Dec	7,25	46,8	12,9	42,2	12,9	0.00	0.0
Jan	6,47	44,8	11,5	50	11,53	0.00	25,5
Fev	7,02	27,5	12,9	50	12,9	0.00	14,6
Mar	10,0	36,0	28,5	50	28,5	0.00	7,5
Avr	13,2	39,8	48,0	41,7	48,0	0.00	0.0
Mai	17,6	52,2	85,0	8,97	85,0	0.00	0.0
Jui	22,4	24,2	127,16	0.00	33,2	93,9	0.0
Juil	26,6	9,3	172,4	0.00	9,3	163,0	0.0
Août	26,0	25,3	155,4	0.00	25,3	130,0	0.0
Année	15,5	418	848	21	365	483	48



b)

Figure 30. Bilan hydrique par la méthode de Thornotwaite pour la période (1996-2015) : a) la station de Khenchela, b) la station d'Oum El Bouaghi.

2.5. CONCLUSION

Le climat du bassin versant de Gareat El Tarf, est de type semi-aride, avec une saison sèche, qui s'étale sur six mois (mai à octobre). Le bilan hydrique du bassin effectué par la méthode de Thornthwaite pour la période (1996-2015), révèle le baasin versant reçoit une lame d'eau précipité comprise entre 483 et 413 mm,une part comprise entre 427et 365 mm retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur les reserve utile capte entre 21 et 36 mm par an tandis que le reste (48 à 56 mm), donne lieu à un apport d'eau à l'hydro- système continental. C'est un système déficitaire de plus de 450 mm/an.

CHAPITRE 3 : APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE DU BASSIN

3.1. INTRODUCTION

Malgré la baisse de la croissance démographique (le taux de croissance moyen annuel passe de 3,21% pour la période 1966 – 1977 à 1.6% pour celle de 1998 à 2008, les pressions se feront ressentir sur les ressources naturelles au sein des espaces densément peuplés : 63% des Algériens vivent dans le Nord, soit 4 % du territoire national 28% sur les Hauts-Plateaux soit sur 9 % du territoire alors que le Sud, c'est-à-dire 87 % du territoire n'accueillent que 9 % de la population. Les grandes villes notamment Alger, Oran, Constantine et Annaba continuent d'attirer les migrants. On relève l'émergence d'un «retour» des populations vers les Hautes Plaines mais qui ne suffit pas à provoquer un inversement de la tendance à la littoralisation. (Journal officiel. N°61 2010).

Une analyse socio-économique est importante pour analyser et identifier les pressions humaines sur les masses d'eau ainsi que les activités correspondantes à ces pressions en distinguant trois catégories (ménages, industrie, agriculture), ce qui permettra d'évaluer l'importance socio-économique des principaux usages de l'eau.

Cette partie englobe deux parties complémentaires ; nous commençant par un aperçu de la situation actuelle des différents secteurs (Démographie, agronomie industrie et tourisme) .Par la suite nous allons essayer de dresser une image future du bassin des hauts plateaux et particulièrement de celui de Gareat El Tarf sous la vision globale que porte le Schéma national d'aménagement du territoire.

3.2. SITUATION DEMOGRAPHIQUE

La croissance démographique est le facteur déterminant dans le cadre d'une analyse de prévision de la demande en eau. Le taux de croissance démographique est un indicateur démographique qui permet de connaitre l'augmentation de la population à un moment donné. Une exploitation et un traitement des informations et données populations publiées par l'Office National des Statistiques (ONS), à partir des RGPH (Recensement Général de la population et de l'Habitat) de 1998 à 2008 (Fig.31). Le bassin versant de Gareat El Tarf englobe environ 455 000 habitants répartis sur 16 communes, avec un taux de croissance démographique annuel moyen de 1.25% ce taux varie largement d'une commune à l'autre (2.3% et -0.2) (Tabl. 7). Il s'agit d'un redéploiement des populations des zones éparses de ces wilayas vers les agglomérations chefs-lieux et même secondaires, ainsi qu'un apport extérieur des wilayas limitrophes. Ce taux de croissance reste au-dessous du taux national (1,6%).

Les densités de la population les plus fortes se retrouvent au niveau des communes urbaines, la commune qui a la plus grande densité est le chef-lieu de la wilaya de Khenchela, avec environ 3500 hab/km^2, suivi par Ain Beida, Kais, Oum bouaghi et El Hamma. Pour le reste des communes et qui sont essentiellement semi rurale ou rurales la densité de la population est inférieur à 60 hab /km^2 (Fig.32).

Tableau 7.Nombre d'habitant et taux de croissance démographique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, entre 1998 et 2008.

COMMUNE	RECENSEMENT 2008	TAUX DE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE	CATEGORIE D'AGGLOMERATION
Khenchela	108580	2.3	Urbaine
Kais	34383	1.8	Semi urbaine
Remila	5606	-0.2	Semi rurale
Tamza	8617	0	Semi rurale
El Hamma	12051	1.2	Semi urbaine
Ensigha	9257	1.6	Semi rurale
Baghai	6676	0.4	Semi rurale
M'toussa	5981	0.8	Semi rurale
Ain Touila	16845	1.3	Semi urbaine
O.E.Bouaghi	80359	3	Urbaine
Oued Nini	5119	0.5	Semi rurale
El Djazia	3878	1.6	Semi rurale
F'kirina	12318	0.8	Semi urbaine
Zorg	2281	2.8	Semi rurale
Ain Beida	118662	2.6	Urbaine
Berriche	17609	0.8	Semi urbaine
Ain Zitoun	5948	-0.1	Semi rurale
Total	454170	1.25	/

(Source : ONS)

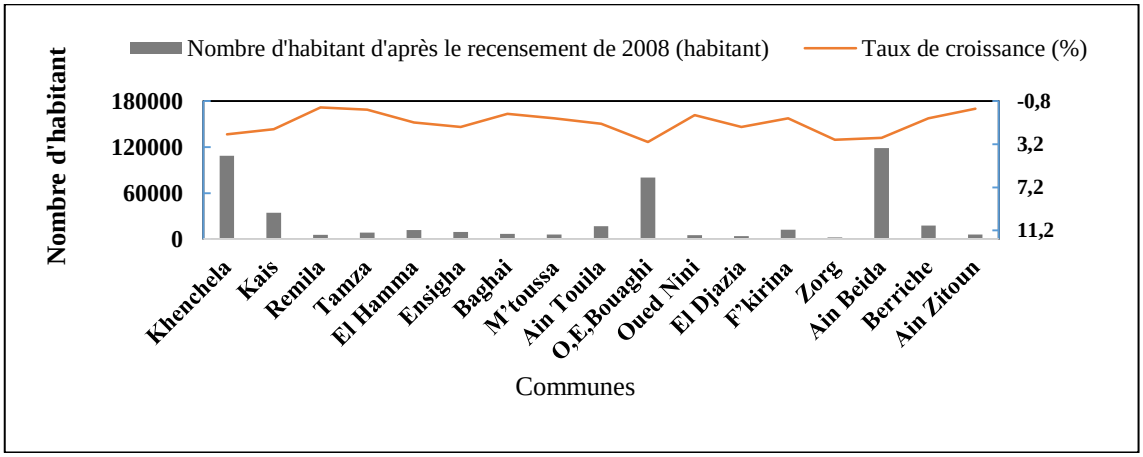


Figure 31. Nombre d'habitant et taux de croissance démographique entre 1998 et 2008 (Source : ONS).

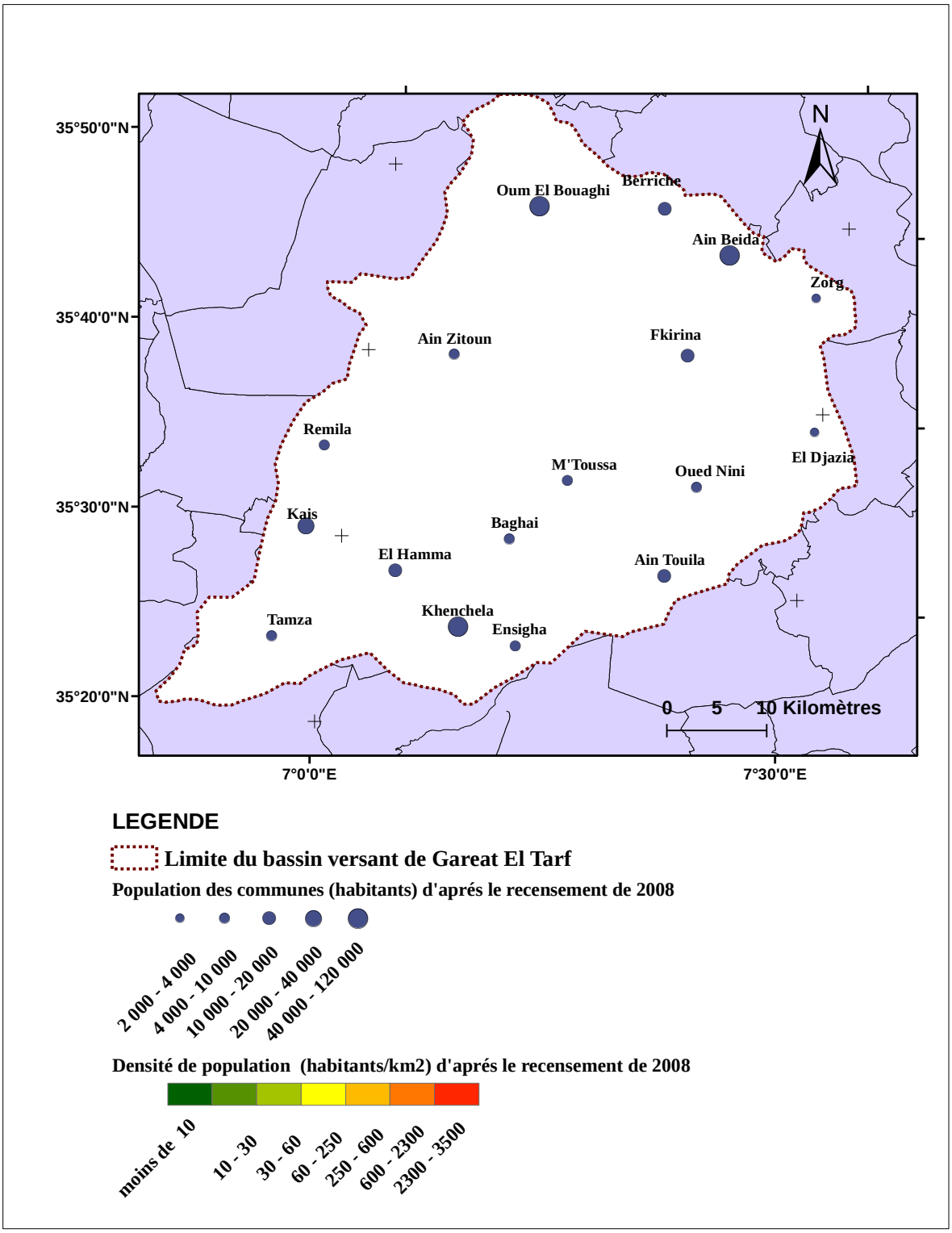


Figure 32.Nombre d'habitants et densité de la population au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf d'après le recensement national de 2008.

La population résidente au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf est répartie comme suit :

- population agglomération chef-lieu : 380 959 soit plus que 80% ;
- population agglomération secondaire 17.291 soit 3.4% ;
- population éparses 55.916 soit 12%.

Ces chiffre représente une vue global du bassin mais il existe une grande variété d'une commune à l'autre en fonction de sa superficie et sa nature.

3.3. EMPLOIE

Le bassin versant de Gareat El Tarf représente un territoire à cheval entre la wilaya de Khenchela pour sa partie Sud et Oum El Bouaghi pour sa partie Nord. C'est un bassin à vocation agricole, 41 % de la population active travail dans l'agriculture, 10 % dans l'industrie, 11 % dans les travaux de bâtiment, 38 % dans les services.

3.4. SECTEUR AGRICOLE

Le bassin de Gareat El Tarf s'étends sur une superficie de 243 200 ha mais la superficie de la totalité des communes sur lesquelles reposent le bassin est de 446 800 ha, avec une superficie agricole utile d'environ 276 192 ha soit plus que 50 %. La part de l'agriculture irriguée y est réduite et ne représentait globalement que 5.3 % de la SAU soit 14 627 ha, mais les proportions sont bien différentes selon les communes. Il faut signaler que les exploitations individuelles représentent une large majorité de la petite et moyenne hydraulique avec 87 % (MEDA, 2010).

En matière d'occupation de la S.A.U irriguée et qui correspond à la somme structurelle des superficies des parcelles irriguées dans l'année. Il est souligné que l'arboriculture occupe 46%., les grandes cultures (notamment céréalières et fourrage) 41 % et 13% pour le maraichage (Annexe 1).

3.5. INDUSTRIE

Le tissu industriel au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, est pauvre. Il est doté de 02 petites zones industrielles, la première au niveau de la commune de Khenchela avec une superficie de 68.72 hectares et la deuxième au niveau de la commune d'Ain El Beida avec une superficie de 121 hectares (A.N.I.R.E.F, 2011 et 2013).

Les principales industries sont :

- construction des poteaux et structures métalliques (Oum El Bouaghi) ;
- production de semoule (Oum El Bouaghi, Ain Beida) ;
- menuiserie de bois et d'aluminium (Ain Beida) ;
- production d'Agrégats et Sables (Oum El Bouaghi) ;
- montage et Maintenance d'appareils électroniques (Oum El Bouaghi) ;
- production de boisson gazeuse (Ain Beida) ;
- production de la farine (Ain Beida) ;
- tissage, finissage, laine et mélange (Khenchela) ;
- fabrication de panneaux de bois (Khenchela) ;
- production du ciment baryté (Tamza) ;

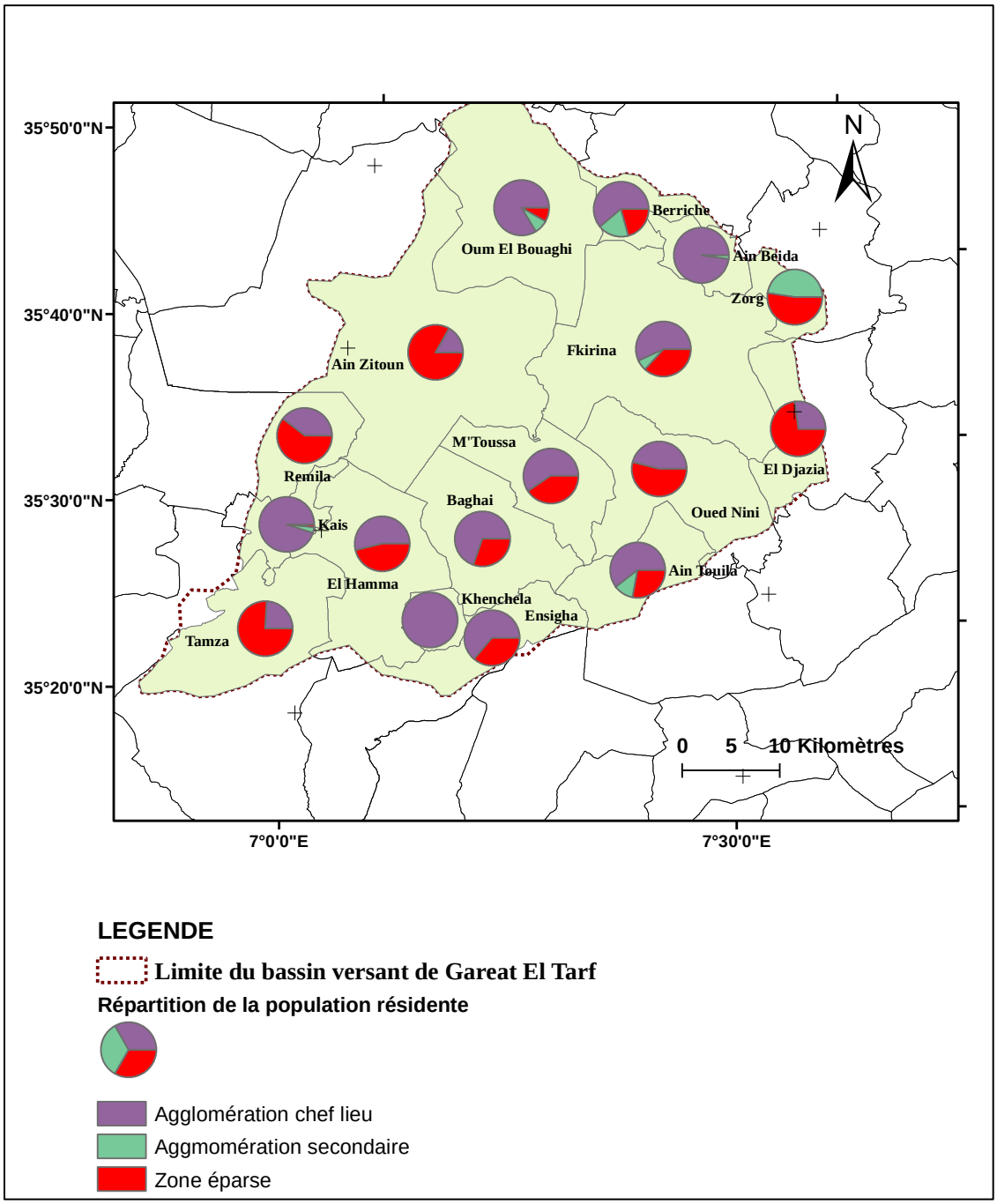


Figure 33.Répartition de la population résidente des ménages ordinaires et collectifs, selon la commune de résidence et la dispersion selon le recensement 2008 (Carte réalisé d'après les données de l'ONS).

3.6. TOURISME

Le bassin de Gareat El Tarf dispose d'un potentiel touristique naturel important, il s'agit principalement de l'hydrothermalisme.

- Hammam Essalihine (Aquae Flavianae) ex-Fontaine-Chaude, est un bain romain qui existe depuis 2 000 ans. Il est situé dans la commune d'El Hamma, site touristique et thérapeutique, à 7 km du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela à savoir Khenchela elle-même. Son exploitation remonte à l'époque romaine. La température de ses eaux avoisine le 70° degré, sa composition chimique lui confère des propriétés thérapeutiques indiquées pour les maladies rhumatismales, respiratoires et dermatologiques. Elle dispose de 40 cabines pour bain thermal, de 5 piscines, elle enregistre jusqu'à 700.000 visiteurs, situé dans une région forestière au climat particulier, c'est un lieu de prédilection pour les nombreux touristes. Piscine romaine circulaire, vestige réhabilité (Fig. 34).
- Hamam Knif est une la station thermale, située à l'extrémité sud-ouest de Djebel Knif. Elle comprend dans la partie supérieure du massif rocheux des bains à vapeur naturelle et dans la partie basse, des bains d'eau chaude naturelle. Les bains de la source thermale de vapeur (griffon), unique en son genre en Algérie, ont a été inaugurés en 1905 (Fig. 35).

Figure 34. Bassin romains de Hammam Essalihine (Photos R. Zemmouchi).

Figure 35.Pierre commémorative de Hammam Knif (1905).

3.7. POLITIQUE DU SNAT POUR LE DEVELOPPEMENT DES HAUTS PLATEAUX

L'évolution sociale et économique est liée à la politique d'aménagement du territoire et des grands projets de développement socio-économique programmés à court, moyen et long terme (politique de création d'emploi, de logement, de développement de l'agriculture) sur l'ensemble du territoire à l'horizon 2050.

Le SNAT (Schéma National d'Aménagement du Territoire) initié selon la loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire, et approuvé par la loi n° 10-02 du 16 Rajab 1431 correspondant au 29 juin 2010 portant approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire**.** Le SNAT a été lancé dans une première fois jusqu'à 2030 mais il a été prolongé jusqu'à 2050. Il est programmé selon quatre lignes directrices viennent structurer le SNAT :

- La ligne directrice n° 1 : Vers un territoire durable
- La ligne directrice n° 2 : Créer les dynamiques du rééquilibrage territorial
- La ligne directrice n° 3 : Créer les conditions de l'attractivité et la compétitivité des territoires
- La ligne directrice n° 4 : Réaliser l'équité territoriale

Ces quatre lignes directrices se déclinent à leur tour en vingt (20) Programmes d'Action Territoriale : « Les PAT » (Annexe 2)

La ligne directrice numéro 2 et qui concerne la création de dynamique de rééquilibrage territorial est détaillée à travers cinq programmes d'action territoriale (PAT) : Freinage de la

littoralisation et l'équilibrage du territoire, l'option Hauts-Plateaux, l'option développement du Sud, la délocalisation des activités et la déconcentration administrative et un système urbain hiérarchisé et articulé, un système urbain hiérarchisé et articulé.
Le programme d'action territoriale (PAT) option Hauts-Plateaux réparti sur trois zone : Est, Centre et Ouest, sa partie Est englobe un ensemble de wilayas (Batna, Sétif, Oum El Bouaghi, Bordj Bouariridj, Khenchela Et Tébessa), vise à mettre en œuvre une profonde restructuration de ces espaces intérieurs pour faire face à des tendances lourdes de reflux des populations et à des risques de marginalisation de larges surfaces de leur territoire. Cette "option" vise à faire des Hauts-Plateaux un espace attractif pour leurs populations et pour l'ensemble des Algériens, en assurant leur développement soutenu et durable. Il s'agit également d'inscrire ces espaces dans les dynamiques d'un territoire équilibré avec un niveau de relation complémentaire élevé.

Le développement des Hauts Plateaux a pour objectif de maintenir la population sur son territoire et les rendre attractifs ce qui drainerait vers eux les populations de la zone littorale. Le succès du développement des Hauts Plateaux dépend de leur aptitude à accueillir les populations nouvelles, à satisfaire ses demandes économiques et sociales, en particulier celles concernant l'emploi et l'eau. Cette stratégie s'appuie sur le renforcement des systèmes urbains à travers (Fig.36):

- des Villes d'équilibre et qui sont la ville de Tébessa, Batna, Sétif, Djelfa, Tiaret, Saïda, M'Sila et Laghouat.
- des Villes relais des Hauts Plateaux il s'agit d'Aïn Sefra, Mécheria, El Bayadh, Boussaâda, Bordj Bou Arreridj.

Les villes d'équilibre et les villes relais des Hauts Plateaux ont vocation à développer leurs bases productives et de services. Elles s'inscrivent ainsi dans les PAT relatifs aux espaces de programmation territoriale et aux Pôles d'Attractivité et des Zones Intégrées de Développement Industriel.

- villes nouvelles des hauts plateaux à partir desquels seront mis en œuvre les mécanismes qui permettront de diffuser la croissance sur l'ensemble du territoire. Elle vient polariser l'espace central des Hauts Plateaux et rééquilibrer l'armature urbaine des Hauts Plateaux en s'inscrivant aux côtés de leurs villes principales : Médéa, Tiaret, Djelfa, M'sila. Centre d'excellence, elle renforcera la compétitivité et

constituera un pôle d'attraction pour les populations des Hauts Plateaux comme du Nord ;

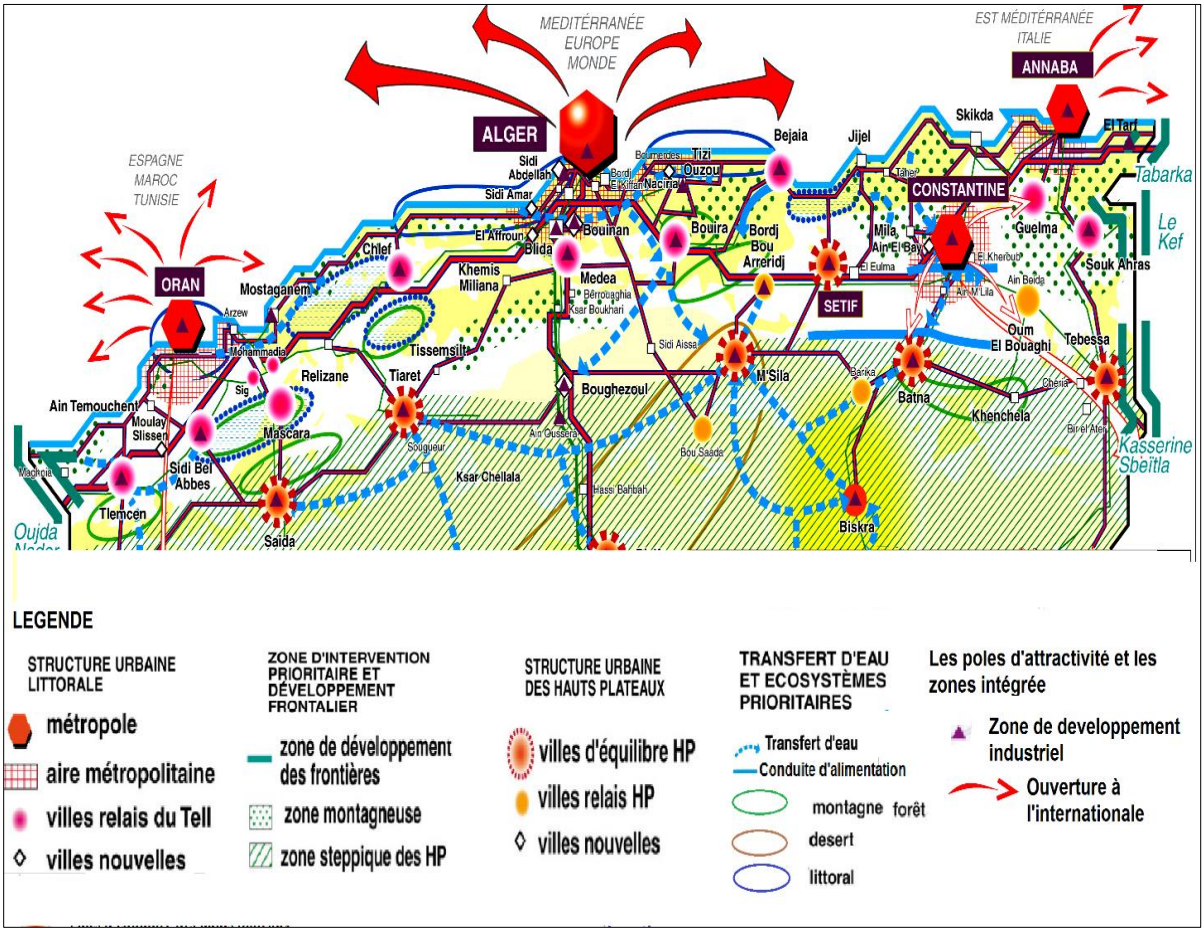


Figure 36.Carte du schéma national de l'aménagement du territoire à l'horizon 2030 (SNAT, 2001).

Les plans d'action spéciaux et complémentaires pour les Hauts Plateaux

Plan « Eau »

Plan « Sols et Steppe »

Plan « Renouveau Rural »

Plan « Grands périmètres Agricoles »

Plan « Production Animale et Agro-industrielle »

Plan « Parcs Naturels et Culturels »

Plan « Développement Humain et Social »

Plan « Transport et Mobilité : infrastructures routières, ferroviaires et aériennes »

Plan « Numérisation des Hauts Plateaux »

Plan « Energies Nouvelles et Renouvelables »

Plan « Recherche Agronomique et Biotechnologique dans les Zones arides et Semi-arides»
Plan « Délocalisation Institutionnelle des Activités Economiques »

3.8. POLITIQUE DU SNAT POUR LE DEVELOPPEMENT DU BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF

Le SNAT apporte au bassin versant de Gareat El Tarf des projets de développement qui ont comme objectifs la stabilisation des populations en s'appuyant sur le potentiel naturel du bassin. Cela se résume aux points suivants :

- Aménagement du territoire des massifs montagneux des Aurès : protection des zones de montagnes dans le cadre du développement durable constitue un référentiel législatif important pour l'aménagement durable de ces zones fragiles aux potentialités naturelles convoitées (Agriculture, ressources minières, réservoirs d'eau, lieux de détente et de loisirs, tourisme...).
- La régénération de l'écosystème steppique afin de stabiliser les populations des steppes en respectant leur mode de vie, en diversifiant l'économie steppique, en modernisant son appareil productif à partir de ses ressources naturelles et humaines
- Considéré la ville d'Oum El Bouaghi comme étant une ville de relais des hauts plateaux.

Le développement du bassin de Gareat El Tarf reposera sur :

- la volonté de développer l'agriculture irriguée ;
- ses dotations en ressources minérales notamment dans les reliefs montagneux du Nord (baryte, fer, pyrite, blende, malachite) ;
- ses ressources touristiques, thermalismes (Hammam Salihine et Hammam Knif).
- la perspective de développement industriel concerne principalement la partie du bassin qui se situe au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi, repose sur la croissance du tissu en petites et moyennes entreprises (PME).

3.9. CONCLUSION

Le bassin versant de Gareat El Tarf est un bassin à vocation agricole qui représente un territoire à cheval entre la wilaya de Khenchela et Oum El Bouaghi. Il englobe environ 455 000 habitants répartis sur 16 communes, avec un taux de croissance démographique annuel moyen de 1.25%. Dans le cadre du Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) à l'horizon 2030, la volonté de la politique nationale fait du développement du domaine

agricole notamment l’agriculture irriguée l’une de ses première priorités au niveau du bassin de Gareat El Tarf.

PARTIE II : ETUDE QUANTITATIVE DES RESSOURCES EN EAU

CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET RESSOURCES EN EAU

4.1. INTRODUCTION

Le bassin de Gareat El Tarf s'appuie, pour l'alimentation en eau aux différents usagers (domestique, agricole et industrie) en premier lieu, sur ses ressources en eau souterraines (Dali, 2009).et en deuxième lieu sur les transferts d'eau provenant des barrages d'eau qui se situe en dehors du périmètre du bassin. Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur les ressources en eau souterraine, superficielles et non conventionnelles .en commençant par un aperçu sur les caractéristiques géologiques qui conditionnent les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles.

4.2. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES

4.2. APERÇU GEOLOGIQUE

Les caractéristiques géologiques du bassin de Gareat El Tarf conditionnent les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs. Cet aperçu est inspiré des travaux antérieurs (Laffitte 1939, Guiraud 1973, Vila 1977).

4.2.1. Lithostratigraphie

La lithostratigraphie a été tiré pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/ 50 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Gareat El Tarf, Delâa et la carte géologique de Constantine 1 /200 000 Vila (1977), un assemblage de ces cartes et une reproduction des coupes géologiques qui les accompagnent est réalisée dans ce travail (Fig.36 et Fig. 37).

- **Trias**

Les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, ou il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et de 300 à 400 m de large et, sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomanien et le Sénonien (Vila, 1977).

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous forme d'amalgame intensément replissés, représentent les indices les plus surs de la présence du trias. Le gypse est le plus fréquent, en

amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte, 1939 et Vila ,1977).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène),le sel n'a pas eu le temps d'être dissous ,tandis que dans les autres pointements ,qui sont anté-miocène, il a disparu depuis longtemps (R.Laffite 1939).

Les argiles et marnes bariolées de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée ; constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement, des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasique (Vila, 1977).

- **Crétacé**

Formant l'ossature de la région .Il correspond à une bande grossièrement orientée SW-NE, formée essentiellement de calcaire et de marnes.

- Crétacé inférieur

a- Barrémien supérieur : à dominante gréseuse

C'est une série essentiellement composée de grés blancs fins, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartziteuse et qui n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline (Vila, 1977).

b- Aptien marneux (inf)

Au Sidi Reghiss l'Aptien marneux est représenté par environ 100 m de marnes gris noir à débris schisteux et à minces intercalations de marno-calcaire gris à cassure noire (Vila, 1977).

c- Aptien supérieur calcaire bien lité à Orbitoline

Ces couches forment l'essentiel de la masse calcaire du Djebel Sidi Reghiss et du Djebel Tarf. Au Djebel Sidi Reghiss la série est épaisse d'environ 250 à 300 m.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut des marnes gypseuses et les calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges. Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre. Sur le versant Nord-Ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles (Vila, 1977).

- Crétacé moyen

a- Albien de l'anticlinal de Khenchela (marnes, dolomie et grés) et de Djebel el Krouma continue au-dessous de l'Aptien. L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus ou moins. Il se présente généralement sous un faciès gréseux ou alternent, à la base et au sommet, des marnes, des dolomies et des biosparites. Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut des marnes gypseuses et des calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges. Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre. Sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles (Vila, 1977).

- Crétacé supérieur

a- Cénomanien inférieur

Il est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès, il est essentiellement calcairo-marneux .La partie supérieur est constituée de bancs calcaires massif mais peu épais, qui s'intercalent dans des marnes gris-bleu ou beiges, avec une épaisseur variable peut atteindre 500 à 600 m (Vila, 1977).

b- Turonien basal :

Alternance de marnes et de petits bancs marno-calcaire. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaire blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre. Au-dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marno-calcaire blanchâtres (Vila, 1977).

c- Turonien « moyen et supérieur »

Ce sont des alternances de marnes grises à beiges et de calcaire en bancs métrique .La prédominante des intercalations calcaires créent une barre bien visible dans la morphologie (Vila, 1977).

d- Coniacien

Au Djebel Knif, sous la discordance des formations brèchiques Santoniennes le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris. Au-dessus

Au Djebel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges (Vila, 1977).

e- Santonien

Visible aux alentours du Djebel Knif. Il correspond à 250 m de marnes gris bleutées avec à la base et au sommet des marno-calcaires en bancs décimétriques riches en débris d'inocérames, il repose en discordance sur les argiles varicolores du trias et sur le Coniacien. Ces formations santoniennes contiennent des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippuritides, À la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique (Vila, 1977).

f- Campanien : marnes et calcaires crayeux

Le Campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia et Knif et dans le synclinal du Djebel Aurès. Dans le synclinal du Djebel Aourès le Campanien correspond à 170 m de marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires, légèrement phosphatés.

Au djebel Knif, on retrouve à la base du Campanien une séquence calcaire de 12 m d'épaisseur. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques à élément triasique remaniés (argiles varicolores). Au-dessus, des marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur (Vila, 1977).

g- Maestrichtien inférieur à dominante marneuse

Ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable à 40 m.se sont des marnes de teinte gris-beige à débris de mollusque, alternant avec des calcaires ocres, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, Inocérames régularis (Vila, 1977).

h- Maestrichtien supérieur : calcaire à Inocérames.

Ce sont des formations calcaireuse, massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres, ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à plurimétriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de silex. Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m (Vila, 1977).

- **Eocène**

a-Montien

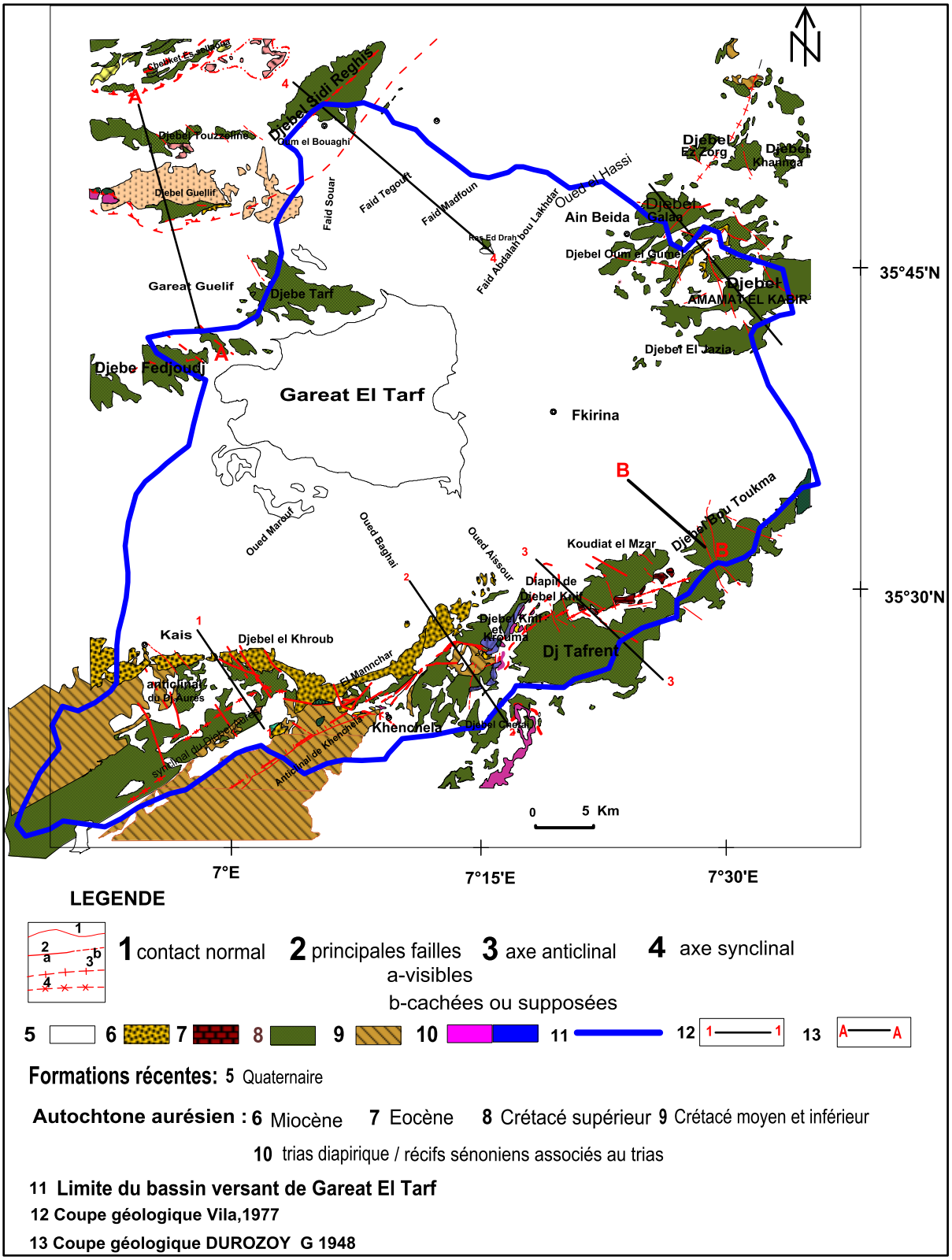


Figure 37.Schéma structural simplifié du bassin de Gareat El Tarf, (Assemblage des cartes structurales simplifiée tirées des cartes géologiques réalisée par VILA en 1977, au 1/50000, Khenchela (203), Gareat El Tarf (175), Oum El Bouaghi (148), Ain El Beida (149), F'kirina (2002) et Delâa (204)).

Formation d'une épaisseur de 70 m, présentant des marnes grises verdâtres en concordance sur le maestrichtien (Vila, 1977).

b-Yprésien et Thanétien

Ces formations sont d'une épaisseur approximative à 85 m, présente une séquence marneuse grise beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés (Vila, 1977).

- **Miocène**

- Miocène inférieur

a- Aquitano-Burdigalien : conglomérats rouges

L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m il s'agit d'argile rouge, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires .cette série ce développe surtout au Sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant Sud du Djebel Guellif (Vila, 1977).

b-Langhien-Serravalien : marnes biomécrites, biomécrosparites et grés blanc. Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud de djebel Knif et à l'Est de Djebel Chettaâ ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifkressa et du Ras Serdoun l'épaisseur de cet ensemble est de 36 m (Vila, 1977).

- Miocène supérieur

a- Tortonien gréseux blanc

Cette formation est composée de grés blancs grossiers en bancs plurimétriques, à abondance de dragée de quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm).

b- Tortonien supérieur continental : argiles silteuses beiges et rouges, grés

Cette formation affleure aux alentours de Baghai (August compte) 150 m sont ici visible (Vila, 1977).

Mio-Pliocène continental : argiles et conglomérats rouges à la base, calcaire lacustre, marne. Au niveau du bassin objet d'étude, ces formations n'affleurent qu'à Ras Ed Drah.

- **Quaternaire**

- Qd Formations dunaires (lunettes)

C'est un agglomérat sableux de poussière et de petits débris qu'on trouve au côté Nord –Est de Gareat et Tarf (Vila, 1977).

- Villafranchien probable : croûte calcaires massives

Ces formations, perchées par rapport aux surfaces précédentes. Entaillées par les cycles qui ont suivi Elles correspondent à d'anciens glacis qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 870 m en bordure de Gareat et Tarf (Vila, 1977).

- Glacis polygéniques nappant les reliefs

Ces glacis sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et des colluvions avec un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels couvrent de très vastes surfaces (Vila, 1977)..

- Terres arables, limons anciens et quaternaire indéterminé

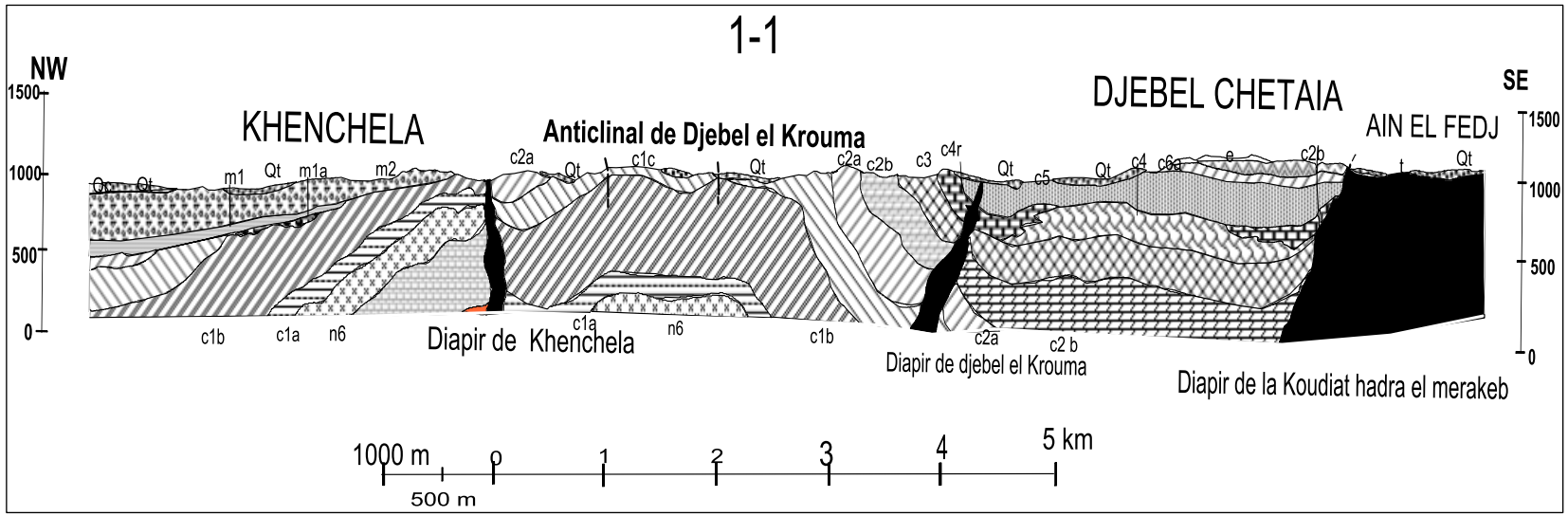
Les terres arables correspondent à des sols bruns non calcaires installés sur des limons anciens bruns ou gris (Vila, 1977).

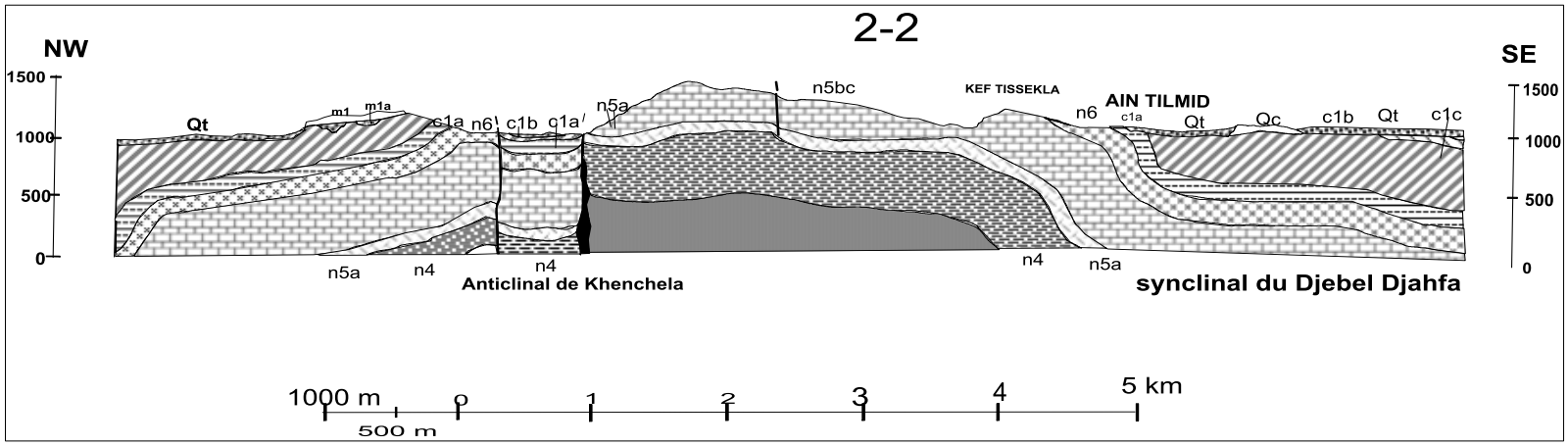
- Alluvions actuelles ou récentes

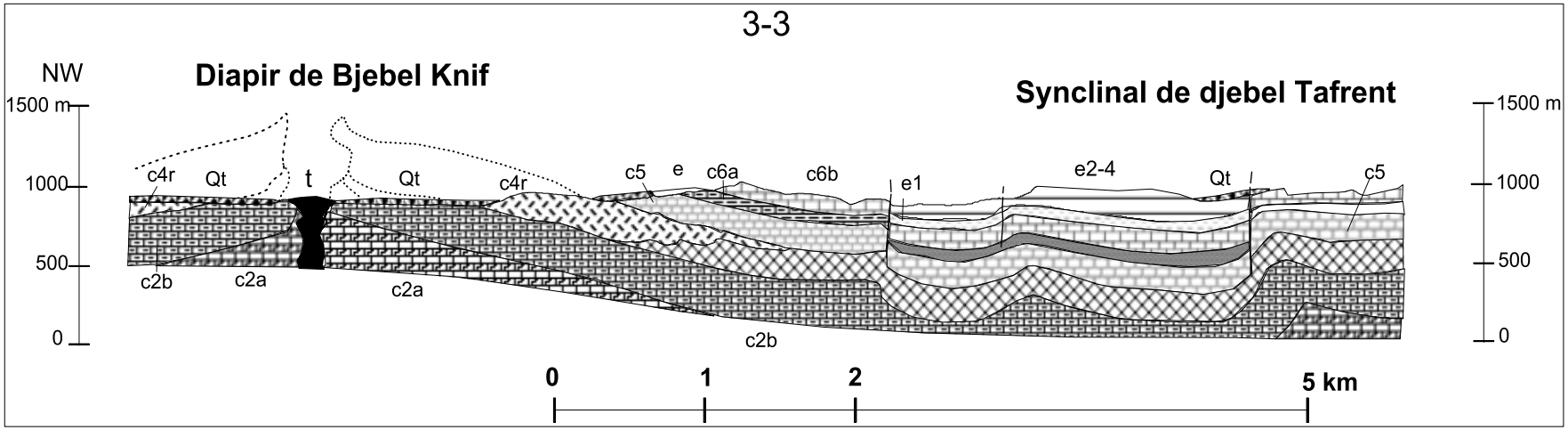
Il s'agit de limons gris et de graviers. Sont localisés dans la plaine de Remila et celle de F'kirina les fonds de vallée des oueds septentrionaux et des Faid qui rejoignent la Gareat El Tarf (Vila, 1977).

- Eboulis à blocs

Les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela et sur le versant nord du Djebel Tarf. Ils s'installent au pied des corniches calcaires ou gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis (Vila, 1977).


1-1
NW
SE
KHENCHELA
Anticlinal de Djebel el Krouma
DJEBEL CHETAIA
AIN EL FEDJ
1500
1000
500
0
Qc
Qt
m1
m1a
m2
c2a
c1c
c2b
c3
c4r
c5
c4
c6a
e
t
c1b
c1a
n6
Diapir de Khenchela
Diapir de djebel el Krouma
Diapir de la Koudiat hadra el merakeb
1000 m
500 m
0
1
2
3
4
5 km


2-2
NW
SE
1500
1000
500
0
Qt
m1
m1a
c1a
n6
c1b
n5a
n5bc
KEF TISSEKLA
AIN TILMID
Qc
c1c
n4
Anticlinal de Khenchela
synclinal du Djebel Djahfa
1000 m
500 m
0
1
2
3
4
5 km



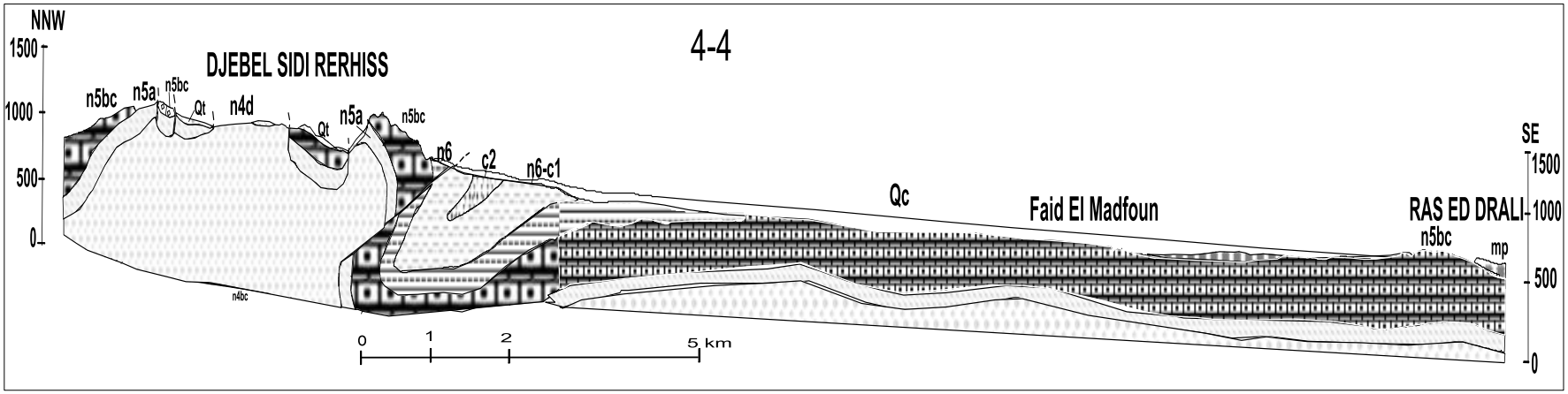
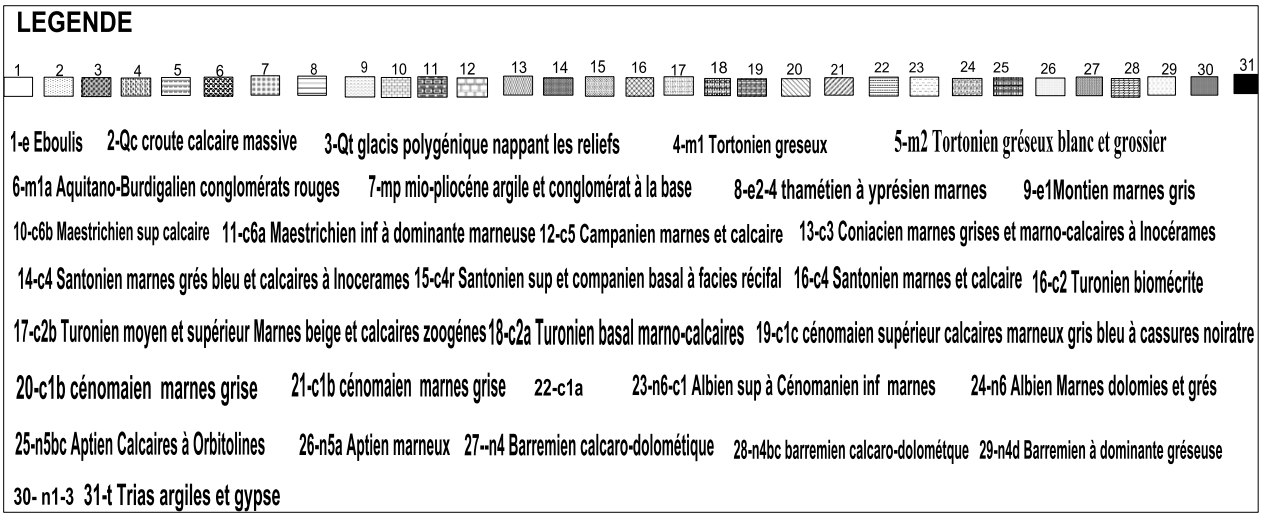


Figure 38. **Coupes géologiques à travers le bassin de Gareat El Tarf (Tirées des feuilles des cartes géologiques au 1/ 50 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Gareat El Tarf, Delâa de (Vila ,1977)**



- Sebkha de Gareat El Tarf

La lithologie est singulièrement marquée par d'importants affleurements triasiques, des formations calcaires résultant du Quaternaire et du Mæstrichtien supérieur et de conglomérat du Miocène. Le sol, constitué par des limons et des argiles, est déstabilisé par la présence de sel qui disperse ses éléments de sorte qu'il perd totalement sa structure initiale pour donner des structures à faible perméabilité.

La sebkha n'est recouverte que épisodiquement, après des périodes pluvieuses, par une faible tranche d'eau (quelques mètres au maximum dans les secteurs les plus déprimés) qui subsiste quelques semaines ou quelques mois .Dès l'assèchement de la cuvette, les sédiments fraîchement déposé sont emportés par le vent (phénomène de déflation) ou recouvert par une mince pellicule saline résultant de l'évaporation des eaux superficielles ou souterraines(Vila, 1977).

4.2.2. Cassures et flexures

Les cassures sont nombreuses dans le massif de l'Aurès et elles se répartissent très généralement suivant des directions voisines de NW-SE (les plus fréquents), E-W ou N 60° E (Fig.36).

– A la fin du Tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes Crétacé et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux.

– Possibilité de rentrer des accidents obliques perpendiculaires aux structures, quelques grandes cassures d'orientation NW-SE ayant notamment été reconnues par Laffite (1939) et Dubordieu (1956).

– Mise en place d'injection triasique, « diapirs ou dôme de sel », à différentes époques, Turonien supérieur, post-Lutétien (Lessard, 1957).

– L'anticlinal du Crétacé du Djebel Amrane, qui divise la plaine de Remila en deux synclinaux présente des pendages assez élevés ,atteignant 50°.Sa prolongation vers l'Est ,sous le recouvrement récent ,est très vraisemblable (Vila, 1977).

– Le synclinal de Khenchela qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologiques suivantes : le Crétacé inférieur, épaisse séries en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marno-calcaires et marno-calcaires-argileux. Toute cette région marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines

– du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'Oligocène une phase d'orogenèse extrêmement active qui a entraîné la surrection de l'Atlas saharien (Vila, 1977).

4.2.3. Les données Structurales

Les cartes morpho-structurales révèlent un réseau de fractures dense et diversifié. L'analyse permet de dégager plusieurs grandes familles.

Ce sont par ordre d'importance :

- La famille E-W

Cette famille est présente pratiquement partout avec une nette concentration au niveau du monoclinal de Bou Tokhma, Fedjidjet et Guern Ahmar (Fig.36) et la limite méridionale de Djebel Tafrennt). Si ces accidents appartenant à cette famille ont une grande dispersion, leurs étendues sont souvent importantes, supérieures à 5km.

Au niveau du monoclinal de Bou Tokhma,Fedjidjet et Guern Ahmar, on observe une série d'accidents E-W présentant une allure en échelon qui semble démembrer ce monoclinal selon une cinématique décrochante dextre très évidente grâce aux nombreuses déformations aux alentours des accidents tels que :

- Disparition brutale des niveaux géologiques ;
- Changement brutal du pendage ;

- Anomalies hydrographiques ;
- Affaissement et soulèvement de certaines zones.

Il apparaît que cette série d'accidents en échelon représente en fait un couloir décrochant E-W avec une limite septentrionale qui passerait au niveau de Mazoula au Nord de Guern Ahmar et qui limiterait Djebel Djazia et irait jusqu'au Djebel El Oust et Kef Gouriret où elle contribue avec d'autres accidents à l'ennoyage et au décalage de l'axe du Fedjoudj. Cette limite serait liée à la genèse de Gareat Et Tarf. La limite Sud de ce couloir participe à l'évolution ascendante de Djebel Tafrennt et provoque l'instabilité et la désorganisation de tout le versant Sud (Vila, 1977).

- La famille NW-SE

Cette famille est caractérisée par des accidents dont les tracés sont discontinus et en relais.Leur étendue est souvent moyennes (500 à 800m) mais parfois elle est importante, c'est -à-dire supérieure à 3km au niveau de Djebel Tafrennt. Dans la zone orientale de Khenchela (Fig.36), on observe un faisceau d'accidents NW-SE affectant les calcaires maastrichtiens de Djebel Chettaia ainsi que tout le Sud de Djebel Tarf.La continuité en relais d'une grande partie de ce faisceau touche les formations du Cénomanien supérieur, du Turonien et du Coniacien au NW de Douar Ouled Ensirha. Le massif Tafrennt se distingue par une grande concentration d'accidents NW-SE ; mais si la direction NW est évidente dans la partie Nord occidentale de Tafrennt la majorité de ces accidents voient leur direction changer dans sa partie méridionale pour devenir SSE à E-W. La plupart de ces accidents ont une cinématique décrochant dextre nette (Vila, 1977).

- La famille NE-SW

Les accidents appartenant à cette famille (Fig.36) semblent souvent limiter les grandes structures de la région telles que :

- Le flanc SW de Djebel El Krouma, tout le flanc NW du Djebel Chettaia,
- Les deux terminaisons NW et SE du Massif de Tafrennt et le versant oriental du
- Monoclinal de Bou Tokhma, Fedjidjet et Guern Ahmar.
- Le déchiffrement ainsi que la cinématique des mouvements de cette famille ne sont pas toujours évidents. En effet ces accidents traversent d'épaisses formations plio-quaternaires et argileuses, exception faite pour l'accident délimitant Djebel El Krouma où l'on a pu déterminer une cinématique senestre (Vila, 1977).

- La famille N-S (subméridienne)

L'orientation de cette famille est sensiblement N-S (NO°-N5°, N175 E °).Bien que l'étendue soit moyenne, les accidents appartenant à cette famille semblent jouer un grand rôle dans l'évolution géologique de la région. Ils ont une allure discontinue et souvent réunis en faisceaux tels ceux de Djebel Chettaia dans sa partie orientale, de Stah El Bir (Tafrennt), de Stah En Nadji-Ras Bel Kitane (Djebel Tafrennt), et enfin ceux de Bou Tokhma (Vila, 1977).

4.3. Unités hydrogéologiques

Le bassin versant, de Gareat El Tarf, repose sur trois unités hydrogéologiques. Vers l'Est l'unité de la plaine de Remila dans laquelle, l'aquifère le plus important et le plus exploité est l'aquifère du Mio-quaternaire. Vers l'Ouest c'est l'unité de la région d'Oum El Bouaghi-Ain El Beida qui s'appuie sur l'aquifère du Mæstrichtiens (SOFRECO, 2010). Vers le Sud-Est l'unité hydrogéologique de Meskiana, elle ne couvre qu'une zone très limité du bassin mais reste importante pour l'alimentation en eau de la région de Meskiana.

4.3.2. Etudes géophysiques

Après quelques années de l'indépendance, le bassin a fait l'objet de deux principales études géophysiques réalisées par la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G).Il s'agit de :

- En 1996-1970 une étude géophysique par sondages électriques, 600 S.E ont été réalisés dans la plaine de Remila avec une longueur d'émission AB variant de 600 à 400 m, dont l'objet était de :

a- Déterminer la profondeur des calcaires Aptiens en bordure Sud de Djebel Fedjoudj.

b- Déterminer la profondeur et l'extension des grés/graviers Burdigaliens dans la partie Sud de la plaine.

c- Reconnaissance des zones de meilleure transmissivité dans le remplissage Quaternaire.

L'étude géophysique n'a pu établir la carte en isobathes du substratum Crétacé. De même le toit des « gés Miocènes » n'a pas pu être déterminé par contre le remplissage grossier du bassin a bien été étudié, il s'agit de conglomérats et graviers d'épaisseurs variables**.**

A la suite de l'étude géophysique et au vu des résultats obtenus, L'A.N.R.H. a réalisé 19 forages de reconnaissances de profondeurs variant de 70 à 279 m au niveau du coté est de la plaine qui ont apportés de nouvelles informations dont les plus important sont :

a- L'existence de plusieurs nappes profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique.

b- Les aquifères sont constitués de graviers et graviers sableux, Le conglomérats n'apparaissent pas sur ce côté de la plaine.

- En 1975, Différentes zones du territoire de la wilaya d'Oum El Bouaghi, ont fait l'objet d'une étude géophysique par la C.G.G, Cette dernière a effectué une compagne de prospection par la méthode électrique (sondages électriques). La plaine de F'kirina est nommée zone H dans cette étude géophysique Sur l'ensemble de la plaine 378 sondages ont été réalisés avec une longueur de ligne AB=3000 m et 525 sondages avec AB 400 m, dont l'objet était de :

  - détermination de la profondeur des calcaires Crétacés sous le remplissage.
  - détermination des zones de meilleure perméabilité dans le remplissage Quaternaire.
  - identification des accidents tectoniques affectant les calcaires.

À partir des corrélations établies entre les logs stratigraphiques des différents forages et sondages électriques réalisés, il en ressort que :

a- les calcaires du Crétacés sous le remplissage ont une allure ondulée et ils se trouvent à une profondeur d'environ 400 m.

b- au-dessus de ce substratum existe un ensemble de couches correspondent à des argiles et des graviers.

c- Les parties Nord et Sud de cette zone paraissent très accidentées. Les accidents sont d'une direction NE-SW et quelques-uns de direction NNW-ESE.

4.3.3. Lithologie et âge des formations aquifères

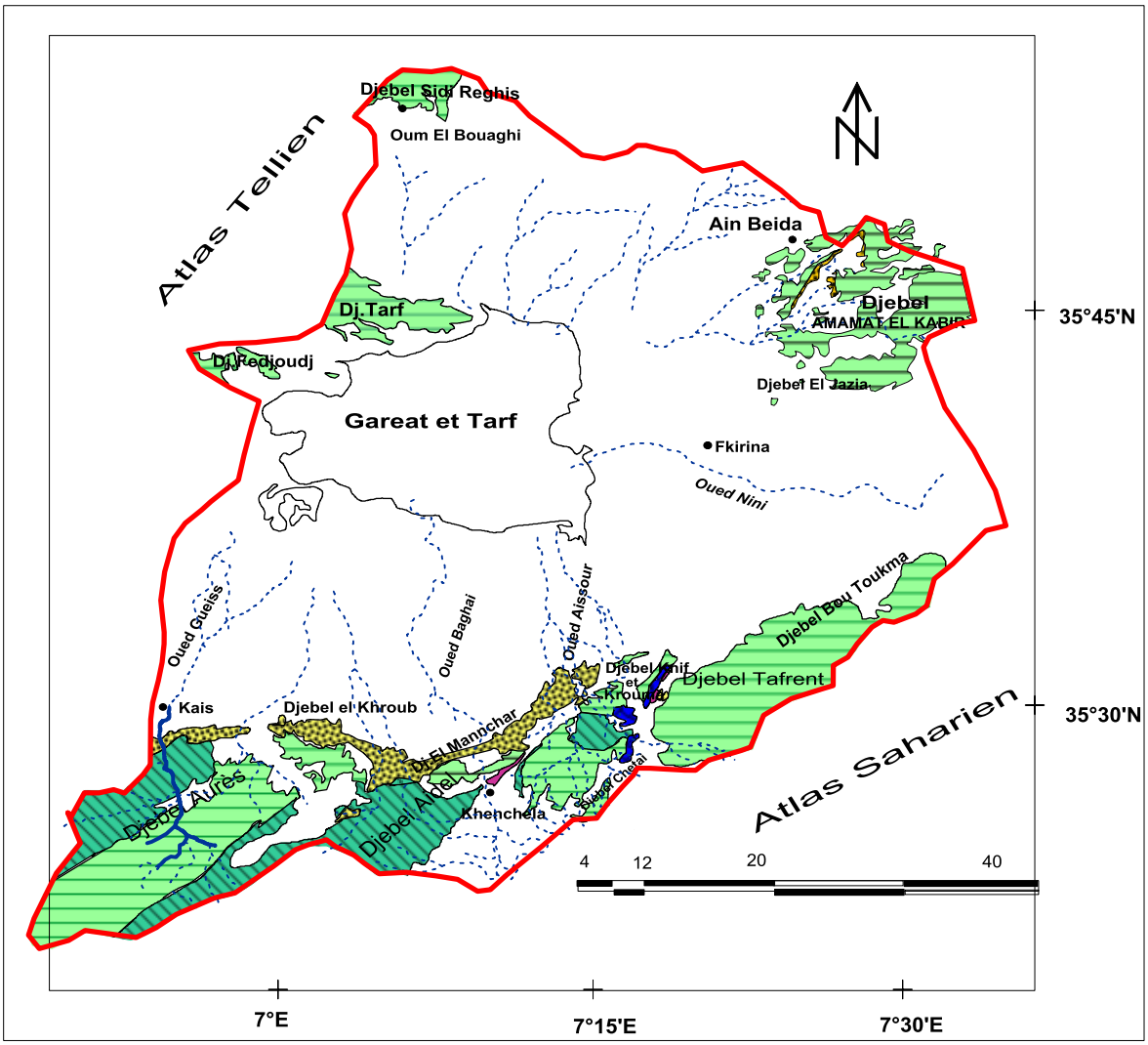
Les études géologiques et géophysiques ont permis une bonne reconnaissance des différentes formations susceptibles d'être le siège d'un écoulement souterrain. L'alternance dans les séries stratigraphique de niveau imperméable (marnes, argiles) et de couches poreuses ou fracturées (grés, conglomérats, calcaires) permet de présumer à priori la présence d'un certain nombre d'aquifères souterrains. Ce sont notamment, des formations Crétacé et des

formations Mio-Quaternaire des différentes plaines. D'après les coupes géologique que nous avons analysées le Pliocène n'apparait qu'à Ras Ed Drah (Fig.37).

- **Aquifère du Quaternaire :** cet aquifère possède des propriétés hydrauliques et hydrodynamiques qui diffèrent d'un secteur à un autre. La puissance des sédiments quaternaires accumulés et reconnus dans le bassin de Gareat El Tarf, laisse présager que ce dernier aurait fonctionné comme une cuvette d'effondrement, et que les couches sous-jacentes ont une position synclinale (Durozoy, 1948).

L'alimentation de cette aquifère peut se faire soit latérale à partir des massifs bordiers, par drainance des eaux de la nappe des calcaires maestrichtiens et aussi par un approvisionnement direct venant des eaux de pluie récoltées sur tout l'impluvium**.**

- **Aquifère de Pliocène :** à l'inverse du précèdent aquifère ce dernier est localisé dans la partie Nord du bassin versant, il s'agit essentiellement d'un remplissage sableux conglomératique d'une épaisseur
- **Aquifère du Miocène :** Il s'allonge le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement Quaternaire Son extension limitée au Nord et se termine en biseau. (C.G.G 1970). Il est constitué essentiellement de bancs gréseux avec des intercalations argilo-marneuse peu épaisses, constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable. De ce fait, Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer et ne présente qu'un intérêt local. L'aquifère le plus important et l'aquifère Mio-quaternaire : constitué de gravier plus au moins hétérogène et du gravier sableux.
- **Aquifère du Crétacé :** le maestrichtien supérieur d'une puissance de l'ordre de 150 m est constitué de calcaire blanc, fissuré, Ces calcaires sont visible aux Djebels Tafrent, Boutoukhma,et Fedjidjet.



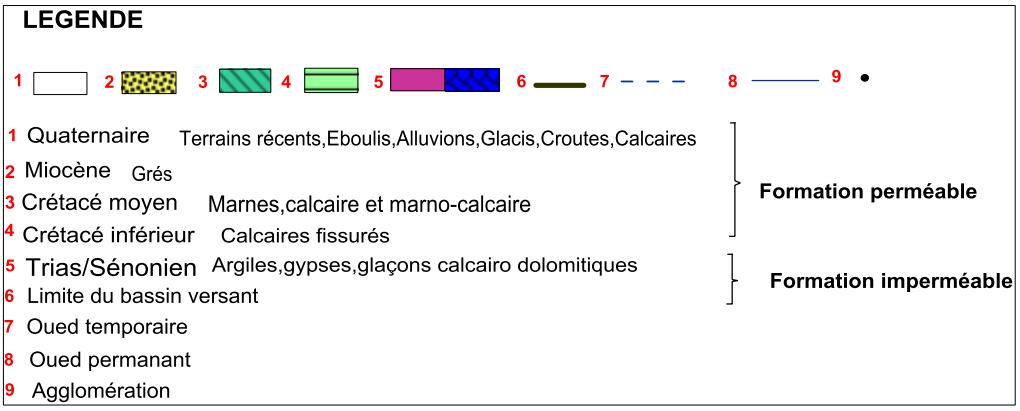


Figure 39.Lithologie du bassin versant de Gareat El Tarf, à partir de Vila (1977).

Ere	Système et sous système		Etage et sous étage	Lithologie	Epaisseur (m)	lithologie	Hydrogéologie	type de réservoir
Quaternaire	Quaternaire		récent	limons et graviers	2-30		Perméable	Réservoir du Mio- quaternaire
			ancien	Galets, graviers et sable	20-50		Perméable	
Tertiaire	Miocène	sup	Tortonien sup	Argile et grés	150		Perméable	
			Tortonien inf	Grès grossier	300		Perméable	
		inf	Langhien-Serravalien	Marne	36		Perméable	
			Aquitano-Burdigalien	Argile siliteuse	60 à 80		Imperméable	Substratum
	Eocène		Thanétien à Yprésien	Marne à la base et carbonate au sommet	85		Imperméable	
	Montien			Marnes	70		Imperméable	
Secondaire	Crétacé	sup	Maestrichtien sup	Calcaire à cassure	95		Perméable	Réservoir du Maestrichtien sup
			Maestrichtien inf	Marne	40		Imperméable	Substratum
			Campanien	Marne et calcaire	92		Semi-perméable	Réservoir du Campanien
			Santonien	Marne	250		Imperméable	Substratum
			Coniacien	Marne et calcaire	150		Semi-perméable	Réservoir du Coniacien
			Turonien moy et sup	Marne et calcaire	50		Imperméable	Substratum
			Turonien basal	Marno-calcaire à cassure	200		Perméable	
		moy	Cénomanien inf	Calcaire marneux	500-600		Imperméable	Substratum
			Albien	Marne gypseuse et calcaire	>50		Semi-perméable	Réservoir de l'Albien
		inf	Aptien supérieur	Calcaire à Orbitoline	50		Imperméable	Substratum
			Aptien inf	Marne	100		Imperméable	
	Trias			Dolomie, gypse, marne	30		Imperméable	

Figure 40.Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Tarf.

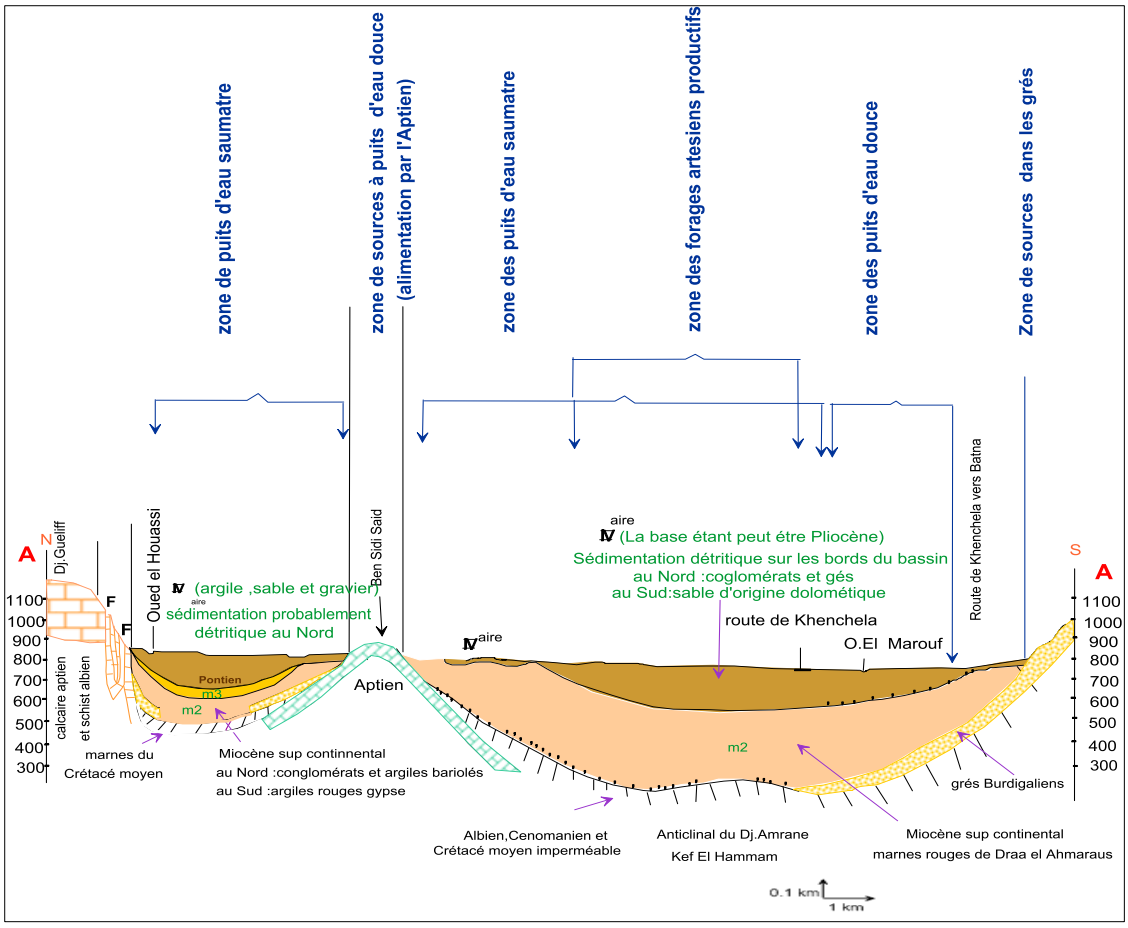
4.3.4 .Mise en évidence des nappes aquifère

- La nappe superficielle du Mio-Quaternaire

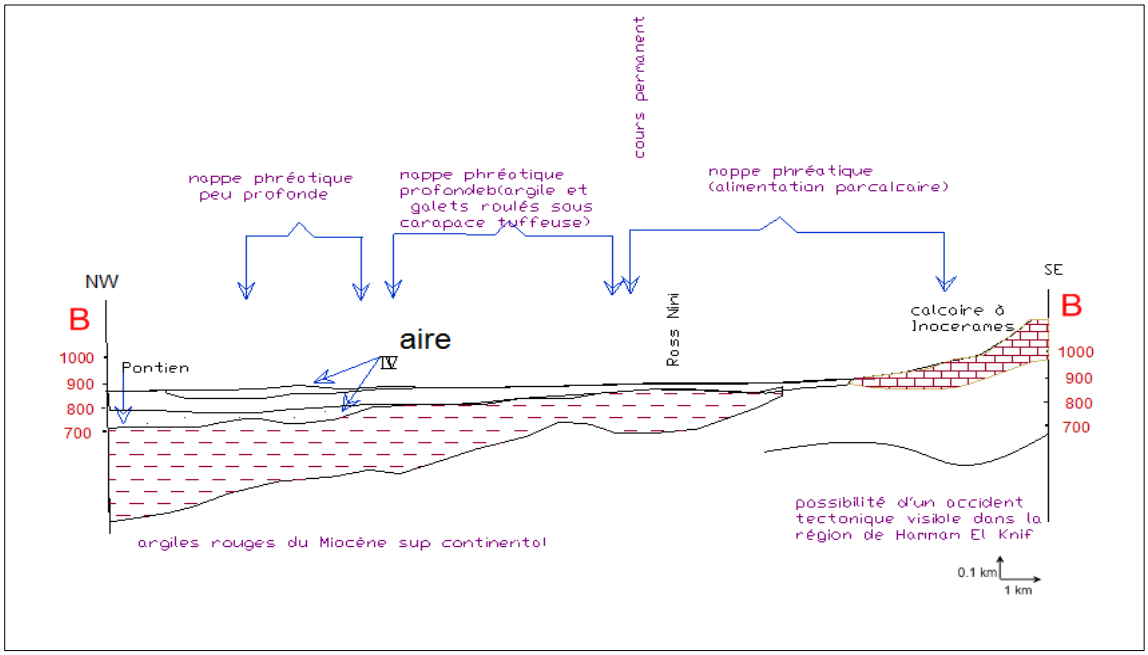
La nappe superficielle du Mio-quaternaire est importante en raison de son extension en long et en large dans toute la plaine de Gareat El Tarf. Il s'agit d'un aquifère de remplissage Mio-quaternaire (alluviale et gréseux).Largement capté par de nombreux puits paysans dont la profondeur varie de 5 à 30 m. La puissance de la nappe varie de 10 à 100 m (Durozoiy, 1948). Selon la profondeur du substratum marneux et l'importance du remplissage Mio-Quaternaire dans la dépression ou les zones érodées (Fig.41 a,b).

- La nappe profonde du Maestrichtien supérieur

Cette nappe se situe dans les calcaires du Maestrichtien supérieur, constituant ainsi un aquifère important dont l'épaisseur est de l'ordre de 200 m (Durozoiy ,1948).Cet aquifère a été reconnu par certain nombre de forage qui le captent. L'importance hydraulique des calcaires Maestrichtiens sont à l'origine de nombreuses sources dont les points d'exsurgences se situent sur des failles ou au contact des marnes sous-jacentes sur les versant de Djebel Boutokhma, Djebel Tafrent et Fedjijet (Durozioy, 1948) et Djebel El Krouma (Vila 1991). Les calcaires Maestrichtien s'étendent du SSW au NNE, selon un massif bordier alimentant ainsi toute la plaine de Gareat El Tarf. Cette nappe est actuellement exploitée par des forages destinés à l'AEP des villes comme Khenchela, Ain El Beida et à l'irrigation des plaines de F'kirina et M'toussa, elle constitue le château d'eau de la région.



a)



b)

Figure 41. Coupes schématiques dans le bassin de Gareat El Tarf a) Sédimentologie du bassin b) Profil hydrogéologique du bassin (Reproduite depuis Durozoy (1948).

4.3.5. Carte piézométrique et battement de la nappe

La reconnaissance de la surface piézométrique de la nappe, a été obtenue par l'inventaire de 35 forages et 9 puits captant la nappe du Plio-quaternaire (Fig.42). Deux compagnes sont effectuées. La première en Mai 2014 (hautes eaux), la seconde en Septembre 2014 (basses eaux), c'est deux compagne ont permis de tracer une carte du niveau piézométrique, de déterminer la variabilité de la nappe dans le temps (Fig.43 a et b).

Comme en témoigne l'agencement des lignes de courant et la disposition des axes d'écoulement des deux cartes piézométriques : la direction principale de l'écoulement se fait globalement des affleurements calcaires vers la Sebkha qui constitue un exutoire naturel. Selon trois directions NE-SW, SE-NW, N-S et S-N.

– L'alimentation par Djebel Fedjoudj au Nord est considérablement plus réduite à cause du pendage des couches géologiques.

– Les eaux souterraines s'écoulent de façon uniforme vers la Sebkha. à l'Ouest les lignes de courants prennent une direction Sud -Nord avant de rejoindre la dépression salée drainée par Oued Boulfreiss suivant un axe d'écoulement ouest-est.

– Au centre, les eaux convergent vers chott mellah drainé par Oued Gueiss. Dans la partie Est de la carte les eaux souterraines s'écoulent vers la Gareat avec une direction Est-ouest.

– Oued Gueiss alimente la nappe d'eau souterraine durant toute l'année, ce qui laisse apparaître une ligne de partage des eaux pendant les deux période, alors que Oued Baghai alimente la nappe uniquement pendant les périodes des basses eaux.

La mise en place d'une zone de dépression dans la partie Nord-Est. Qui apparaît dans les deux périodes : hautes et basses eaux c'est une zone de champ de captage d'eau destinée à l'alimentation en eau potable pour la commune de F'kirina.

L'amplitude entre les niveaux les plus bas et les plus hauts, aussi appelé « battement de la nappe » (Fig. 44). Le battement de la nappe au niveau de ce bassin endoreique est très variable. Il fluctue entre moins de -1.5 m à plus de 6.5 m. Les battements faible traduits une bonne transmissivité et/ou une exploitation modérée de la nappe d'eau souterraine. Le retour à des niveaux normaux après l'épisode de hautes eaux est rapide.

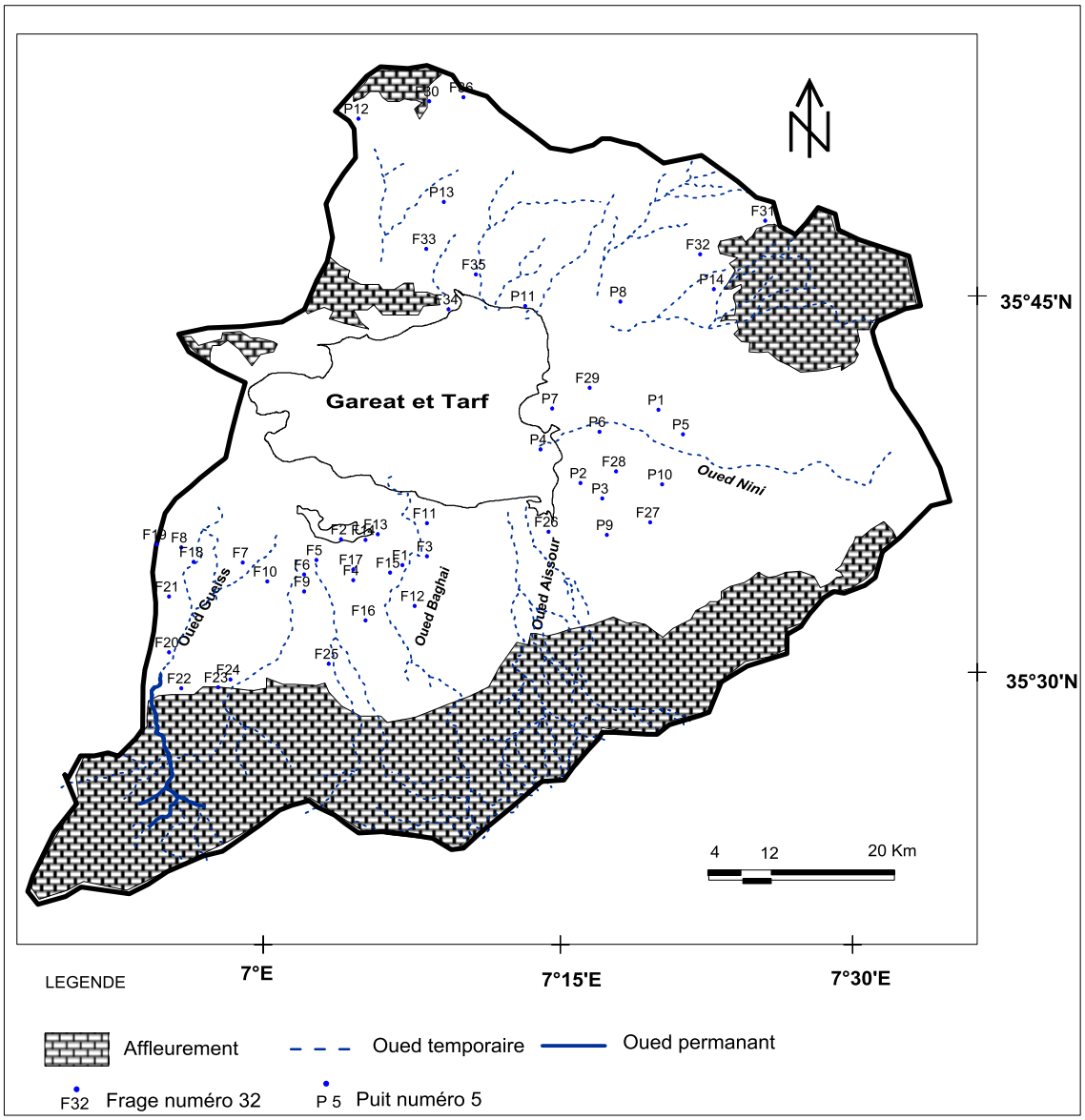


Figure 42. Carte d'inventaire des points d'eau au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, (compagnes de mai et septembre 2014).

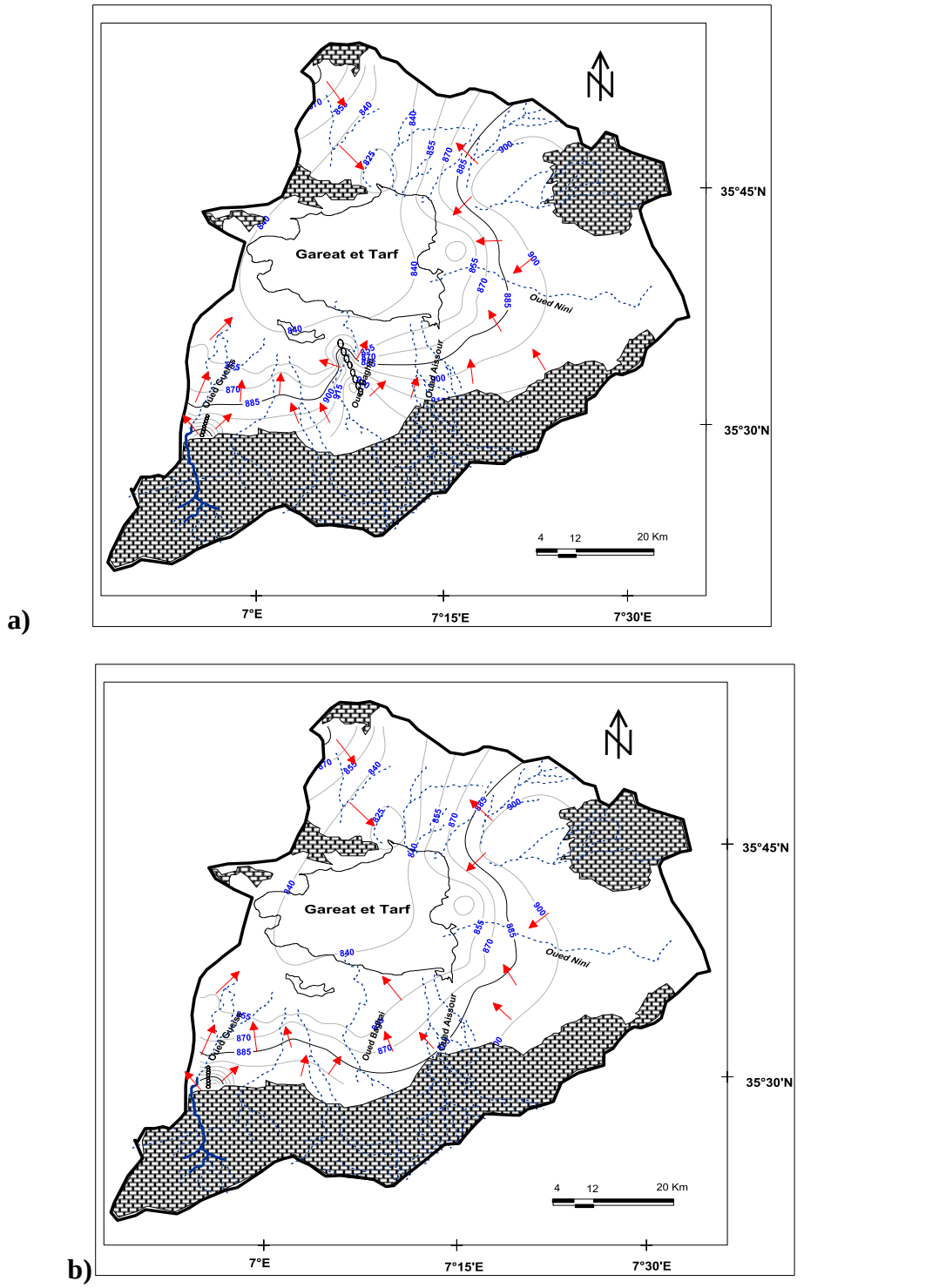


Figure 43. .Cartes piézométriques du bassin versant de Gareat El Tarf a) basses eaux (septembre 2014), b) Hautes eaux (mai 2014).

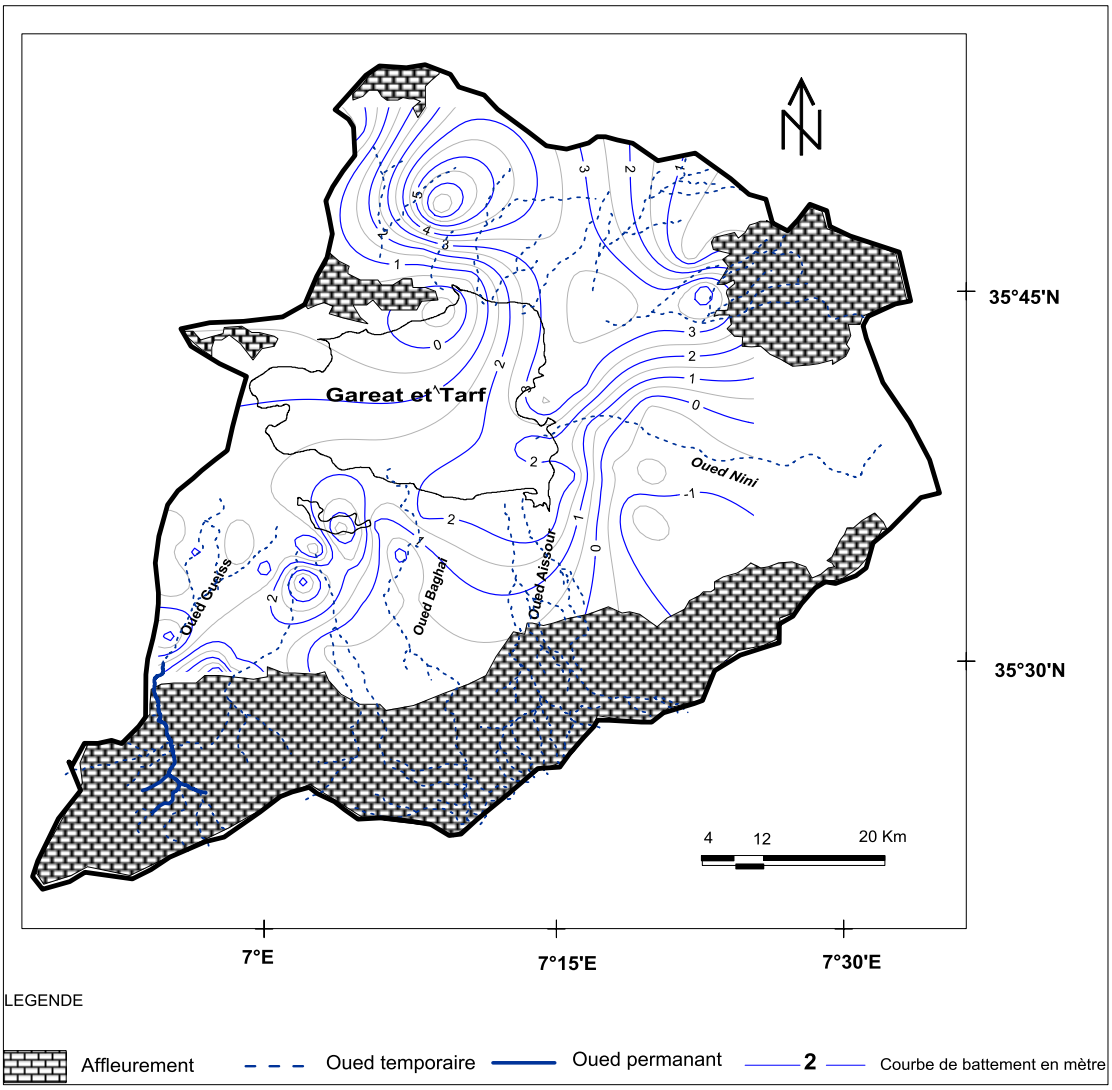


Figure 44. Carte du battement de la nappe au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (Battement estimé entre le niveau piézométrique du mois de mai et du mois de septembre 2014).

4.3.6.Caractéristiques hydrodynamiques

Pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères du bassin versant de Gareat El Tarf on a eu recours aux différents essais de pompage réalisés par les services de la DHW d' Oum El Bouaghi et Khenchela. Ces caractéristiques hydrodynamiques correspondent essentiellement à la transmissivité (T) et la perméabilité (K) ; cela en se basant sur la formule de Jacob simplifié :

$$s = 0.183\ Q/T.\log 2,25\ Tt/r^2\ S$$

s : rabattement observé au temps t en (m) ;

Q : Débit de pompage en m^3/s ;

T : Transmissivité en (m^2/s) ;

S : Coefficient d'emmagasinement ;

t : Temps de pompage en seconde ;

r : Distance du puits d'observation à l'axe du puits de pompage en (m).

La formule de Jacob peut être mise sous forme d'Y = a (log x + b), ainsi à partir de cette équation on peut déterminer T.

T = 0,183 Q /C avec C : Pente de la droite pour un module logarithmique.

On a utilisé les essais de pompages effectués sur 3 forages qui testent les différents réservoirs dans la plaine de Gareat El Tarf.

– Le forage H47 atteint le réservoir du Mio-quaternaire
– Le forage I 33 atteint le réservoir calcaire du Maestrichtien.
– Le forage Kais I 08 est implanté dans les formations du Campanien.

Les valeurs des rabattements observés dans les trois forages furent reportées en fonction du temps sur un papier semi –log.

A partir des courbes caractéristiques, nous avons essayé d'estimer les caractéristiques hydrodynamiques (Tabl.8).

Les coupes lithologiques des trois forages (Annexe 3) facilitent leurs interprétations

Tableau 8.Caractéristiques hydrodynamiques des forages I33, H47 et I08 au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

Forage	X (m)	Y (m)	Z (m)	Q (l/s)	T (m^2/s)	K (m/s)
I 33	915.200	280.720	870	21	$6,12 . 10^{-3}$	$1,53. 10^{-4}$
H 47	921.650	268.275	870	40	$3,18. 10^{-3}$	$5,3. 10^{-5}$
I 08	883.900	253.500	900	5	$4,4. 10^{-5}$	$5.5. 10^{-7}$

(Source : DHW d'Oum El Bouaghi et DHW Khenchela, 2007)

- Pour le forage H 47 : La perméabilité est très faible, cela est dû à l'hétérogénéité de la nappe verticalement (présence d'argile avec les graviers et calcaires).
- Pour le forage I 33 : A ce niveau la perméabilité est bonne, et cela est dû à la présence des couches des graviers et galets.
- Pour le forage I 08 : La perméabilité est très faible, cela est dû à la présence de marne.

On distingue trois zones de perméabilité différentes : Au centre et au Nord de la plaine, les perméabilités sont de 2.10^{-4} m/s, à l'Est, elle est de 10^{-5} m/s et près de la sebkha elle est estimée à 10^{-7} m/s.

4.3.7. Ressources en eau souterraines potentielles

Il faut distinguer entre la ressource exploitable et la ressource potentielle**.** D'après Margat (1987) la distinction entre ces deux notions se relie à cette dichotomie de contraintes :

- La ressource potentielle est l'offre d'eau souterraine aux utilisateurs sous condition du respect des contraintes externes, qui au plan hydrodynamique se traduisent par les contrainte de niveau de nappe en certains secteurs (donc de limitation des rabattements permis).
- La ressource exploitable est l'offre d'eau souterraine aux utilisateurs sous les seules contraintes internes, donc évaluée, les changements possibles, les relativités à leurs objectifs et à leurs marges de choix. L'exploitation peut s'étendre à la possibilité de solliciter l'eau souterraine en aval des usages sans affaiblir la ressource offerte en amont (en quantité comme en qualité).

L'estimation des ressources en eau potentielle, des nappes d'eaux souterraine, du bassin versant a fait l'objet d'études de simulation gérées par l' A.N.R.H. Les études concernent les trois unités hydrogéologiques : la plaine de Remila, la région d'Oum El Boughi –Ain El Beida et la plaine de Meskiana (Fig.45). La méthode utilisée pour les deux premières unités est la modélisation par le modèle MODFLOW, tandis que pour la troisième c'est la méthode du bilan hydrologique.

La méthode hydrologique, est une méthode simple qui permet une approche de la recharge annuelle. Cette méthode permet certes une approche de la recharge annuelle, mais les résultats sont entachés d'une incertitude liée au choix du coefficient d'infiltration. Pour lever cette incertitude, il a été proposé de déterminer l'infiltration à partir de l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit :

Pluie (P) = I (infiltration) + R (ruissellement) + ETR (évapotranspiration réelle)

Les paramètres P, R, et ETR sont déterminés par :

- Les cartes RASTER de la pluie moyenne mensuelle sur 43 ans.
- Cartes des écoulements moyens mensuels produites pour le calcul des apports aux barrages (maille de 1 km de coté).
- Les évapotranspirations réelles, selon la formule de TURC :

ETR = P/(0,9 + P2/L2)1/2

L = 300 + 25T + 0,05T3

Avec :

T : température moyenne de l'air en degré Celsius.

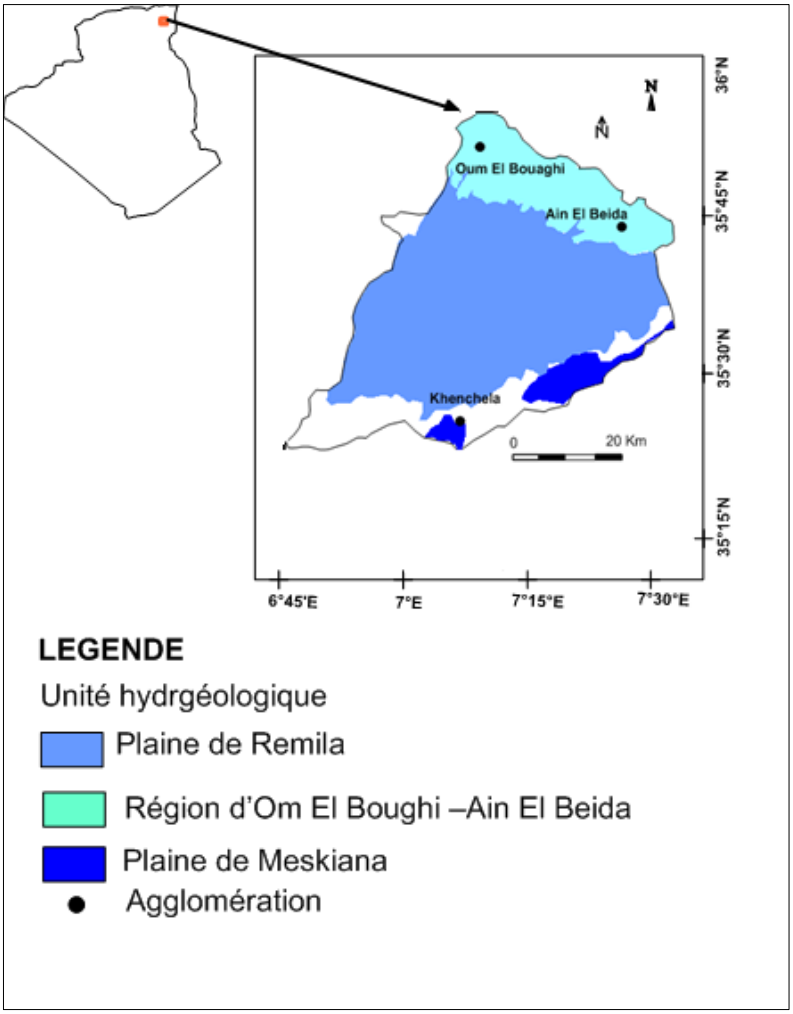


Figure 45. Carte des unités hydrogéologiques au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (reproduite depuis SOFRECO, 2010).

Les ressources en eau souterraines renouvelables au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf sont estimées à 40 hm^3, pour une année moyenne alors que pour une année sèche elles sont descendues à environ la moitié (Tabl.9).

Tableau 9.Caractéristique des unités hydrogéologique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

Unité hydrogéologique Répartie d'après l'ANRH	Superficie (Km^2)	Ressources en eau renouvelable (hm^3/an)		Méthode de simulation
		Année moyenne	Année sèche	
Région d'Om El Boughi –Ain El Beida	950	17.7	11	MODFLOW
Plaine de Remila-Khenchela	1340	17.5	7	MODFLOW
Plaine de Meskiana	272	4.80	1.5	Bilan hydrologique

(Source : SOFRECO ,2010)

4.4. RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES

Les eaux de surface comprennent les eaux stagnantes ou les plans d'eau comme les lacs, retenues de barrage, ou des étangs… et les eaux courantes comme les cours d'eau : rivières, oueds, canaux.

4.4.1. Barrages

On recense en matière d'infrastructure de mobilisation des eaux de surface des infrastructures qui se situent à l'intérieur et à l'extérieur du bassin versant de Gareat El Tarf. A l'intérieur il s'agit d'un barrage entièrement envasé, à l'extérieur du bassin c'est un transfert provenant du grand système hydraulique de Beni Haroun à travers le barrage de Koudiat Medouar ainsi qu'un autre transfert provenant du Barrage de Dalia.

- Barrage de Foum El Gueiss

Le barrage de Foum El Gueiss est situé à 19 Km à l'Ouest de la ville de Khenchela, sur oued Gueiss, mis en service en 1939.c'est un ouvrage destiné uniquement à l'irrigation de la plaine de Remila. La capacité initiale du barrage est de 3.4 Hm^3. Le barrage est mis à l'arrêt en 2015 à cause de son envasement (Fig.46), Le projet de dragage de la vase du barrage de Foum El Gueiss, a été abandonné par l'entreprise italienne qui a pris en charge les travaux depuis le début de l'année 2017.

Les parcelles agricoles habituellement irriguées à partir du barrage de Foum El Gueiss (entre 5000 et 6000 hectares), sont prise en charge par le barrage de Koudiat Medouar. L'intérêt se tourne aussi vers le nouveau barrage de Taghrist.

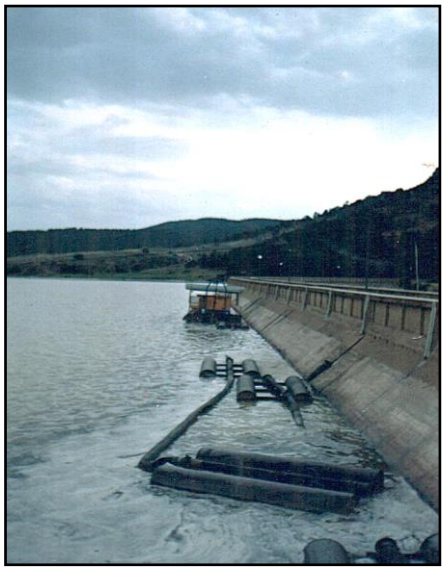


Figure 46.Envasement du Barrage de Foum El Gueiss, photo prise en 2006.

- Barrage de Koudiat Medouar

Il est situé sur l'oued Réboua à 35 kilomètres du chef-lieu de Batna. Il fait partie du système du complexe de Béni-Haroun. Il est destiné à :

- L'alimentation en eau potable de Batna Aris Khenchela Barika ;
- L'alimentation en eau industrielle de Batna ;
- L'irrigation de la plaine de Chemora, Batna et Taoufana.

- Barrage Ain Dalia

Il est situé à 10 km en amont de Souk Ahras, Cet ouvrage régularise 84% de ses apports essentiellement destiné à l'AEP de Souk Ahras, Mechrouha, M'Daourouch, Oued Kebrit, Sedrata, El Aouinet, El Ouenza, Berriche, Ain Beida, Oum El Bouaghi, Ain Babouche.

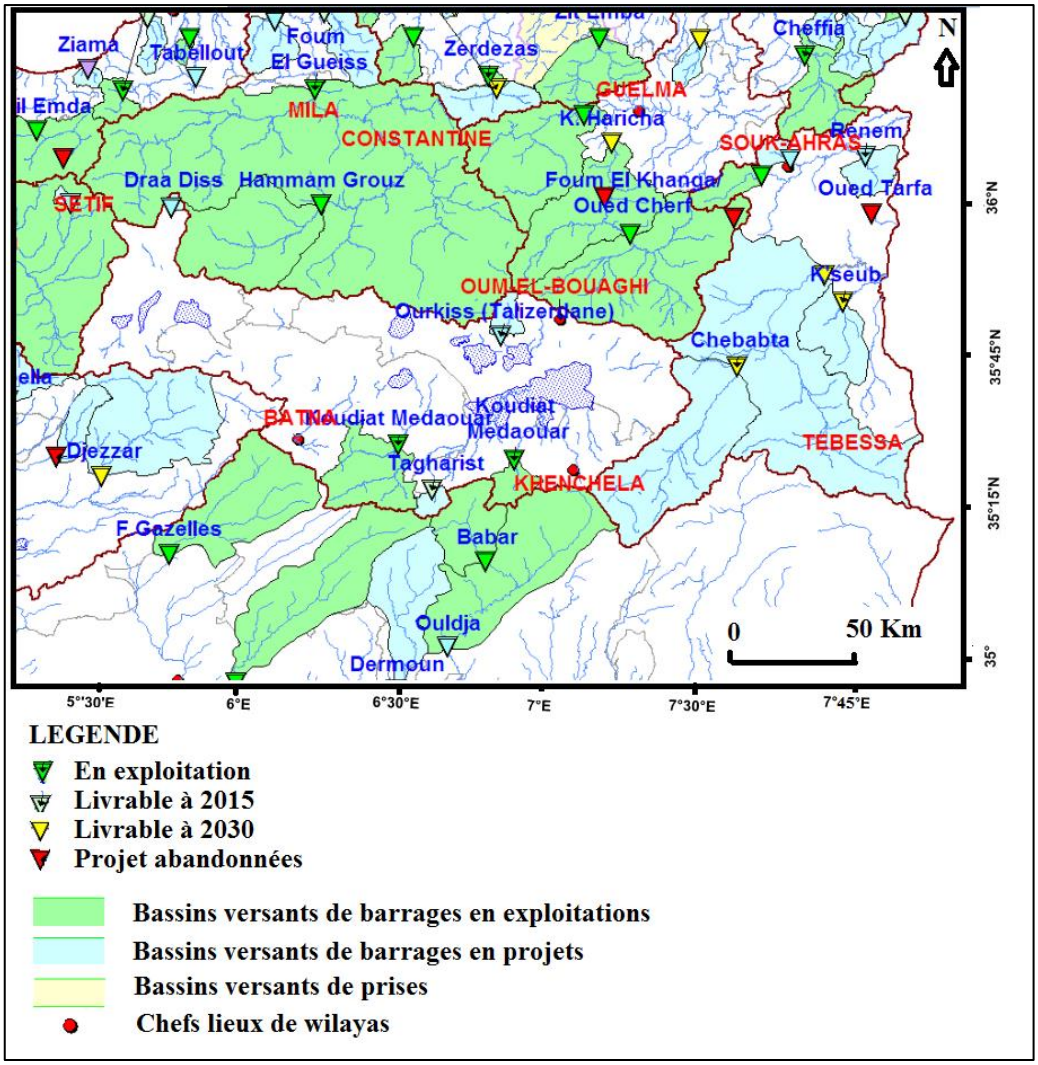


Figure 46.Barrages et bassins versants des barrages au niveau du bassin des hauts plateaux constantinois (SOFRECO, 2010).

- Barrage Ourkiss

La capacité utile prévue de cet ouvrage de 76.7 Hm^3, qui correspond à 48 fois les apports du bassin (1.6 Hm^3), est surdimensionnée en vue de stocker et régulariser les transferts en provenance de Beni Haroun via le réservoir d'Oued Athmania (Fig.47). Destiné à l'AEP des villes d'Oum bouaghi, Ain Beida, AinFakroun, Ain Kercha et Ain Ml'ila (SOFRECO, 2010).

- Barrage de Beni Haroun

D'après SOFRECO (2010) c'est la pièce maîtresse du développement hydro agricole de la région constantinoise, situé à 40 km au Nord de Constantine. C'est le plus grand barrage d'Algérie. Le système Béni Haroun est constitué d'un ensemble d'adductions et de retenues assurant un transfert Nord-Hauts Plateaux de la ressource (Fig.48), et qui comprend principalement.

- Une station de refoulement de la retenue de Beni Haroun vers le bassin de Ain Tinn.
- La retenue d'Oued Athmania.
- Les stations de pompage d'Ain Kercha et Chemorah
- Les retenues de Koudiat Medaouar et Ourkis

Avec un volume utile de 960 Mm^3 et des apports moyens annuels 673 Hm^3, le barrage de Beni Haroun régularisera entre 332 et 408 Hm^3/an selon les usages (irrigation ou AEP). Cet ouvrage doit également recevoir les apports en provenance du barrage de Boussiaba à hauteur de 69 Hm^3/an.

Es destination des eaux du système de Beni Haroun sont :

- L'alimentation en eau potable de la ville de Constantine avec 50 Hm^3
- L'alimentation en eau potable de la ville de Batna,Barika et Khenchela avec 80 Hm^3
- L'alimentation en eau potable de la ville d'Oum El Bouaghi, Ain Beida, Ain M'lila, Ain Fakroun et Ain Kercha, pour une population estimée à 530 000 habitants, à l'horizon 2030 avec 21 Hm^3/an.
- L'irrigation de 41 000 ha au niveau de Teleghma, Chemmora et Ain Touta avec 300 Hm^3.

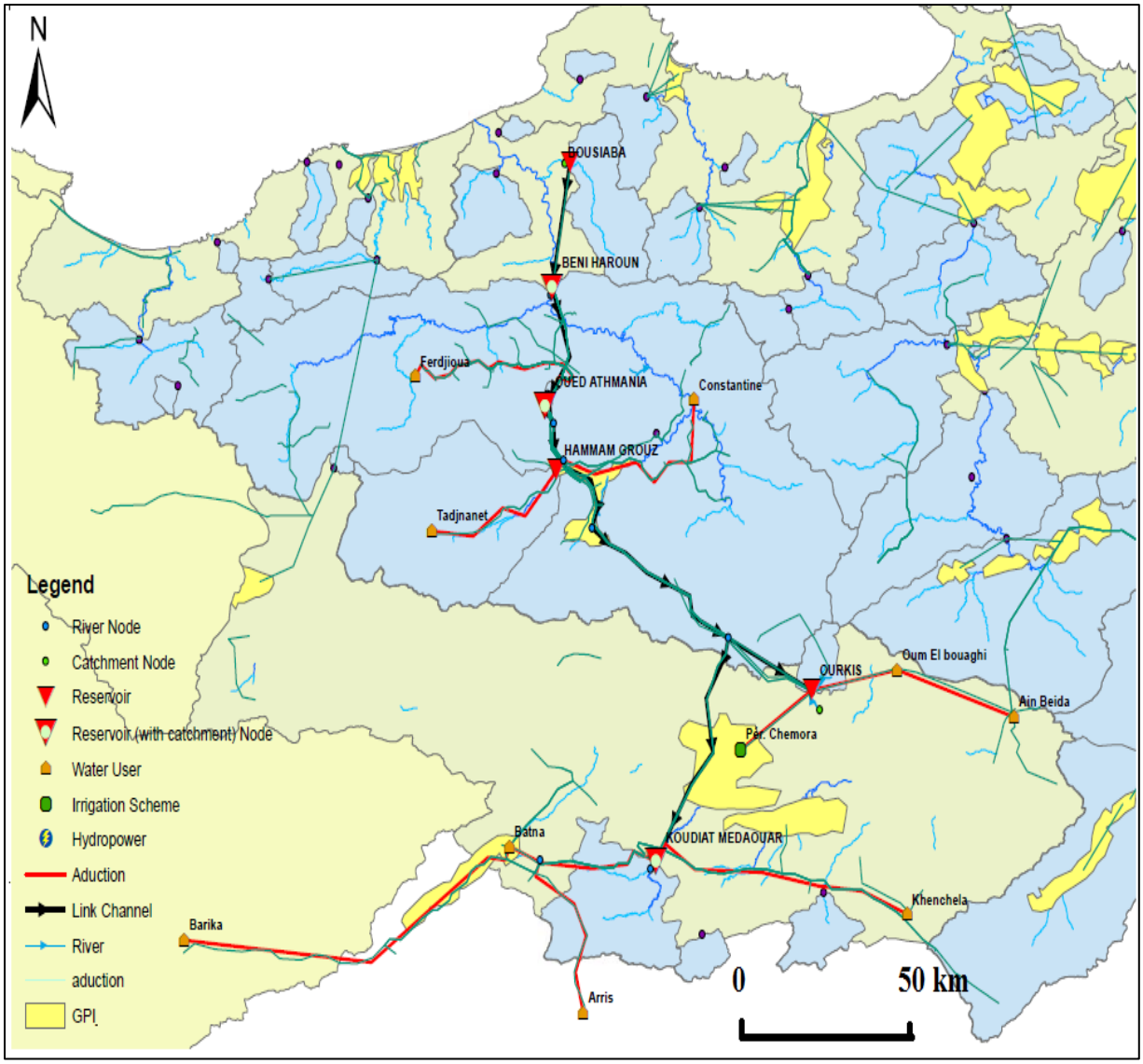


Figure 47. Système de transfert d'eau de Beni Haroun (SOFRECO, 2010).

4.4.2. Ecoulement superficiel

D'après Sircoulon (1992), en zones aride et semi-aride, l'écoulement est un phénomène ni régulier ni permanent ; il est caractérisé par :

- son intermittence (due à des pluies concentrées sur quelques semaines ou sur quelques mois) ;
- sa forte hétérogénéité spatio-temporelle (provoquée par le caractère, lui-même très hétérogène, des précipitations et des conditions très diversifiées de perméabilité des sols).

Au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf qui est un bassin à climat semi-aride, l'unique oued permanent est celui de Gueiss, C'est un oued qui ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss, il va se jeter dans la Gareat El Tarf sous le nom d'Oued Marouf. Les rivières qu'il reçoit dans l'Aurès sont nombreuses. Il draine une superficie de 144 km^2.Pour étudier la relation entre les précipitations est les débits de l'oued, Nous allons procéder à une modélisation pluie-débit dans le chapitre qui suit.

4.5. RESSOURCES EN EAU NON CONVENTIONNELLES

La réutilisation des eaux usées épurées est encore au stade expérimental en Algérie. Le retard que connait la promulgation de textes législatif qui organisent cette activité entrave en partie son développement (SOFRECO, 2010). D'après l'Arreté.131 de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 : on entend par ressources en eaux non conventionnelles :

- Les eaux saumâtres et les eaux de mer ayant fait l'objet d'une déminéralisation partielle ou totale en vue de leur utilisation,
- Les eaux usées ayant fait l'objet d'un traitement d'épuration permettant leur réutilisation.

Le bassin de Gareat El Tarf est équipé de trois stations de traitement des eaux usées (Tabl.10), deux au niveau de la wilaya de Khenchela et la troisième au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi. Le volume total épuré par ces trois stations est de 47062 m^3/j. Ces eaux sont destinées l'irrigation d'environ 490 hectares de terre agricoles.

Tableau 10.Les stations d'épuration des eaux usées au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

Wilaya	Commune	Désignation	Capacité m^3/j	Volume épuré (m^3/j)	Superficie agricole à proximité (Hectare)
Khenchela	Baghai	STEP Khenchela	84 570	23062	120
Khenchela	Kais	STEP Kais	7 500	7200	70
Oum Bouaghi	Ain El Beida	STEP Ain El Beida	28 000	16800	300

(Source : SOFRECO, 2010)

4.6. CONCLUSION

Les ressources en eau souterraines renouvelables sur lesquelles s'appuie le bassin versant de Gareat El Tarf sont estimées à 40 hm^3 pour une année moyenne alors que pour une année sèche elles sont descendues à la moitié. Elles sont réparties sur trois unités hydrogéologiques et qui sont : l'unité relative à la plaine de Remila, la région d'Oum El Bouaghi-Ain El Beida et celle de la plaine de Meskiana. Les eaux non conventionnelles des stations de traitement des eaux commencent à prendre leurs places parmi les ressources en eau au niveau du bassin avec une capacité journalière globale de 47062 m^3/j. Les ressources en eau superficielles au niveau du bassin sont d'une moindre importance, il s'agit d'un barrage envasé, et d'un unique oued à faible débit. Pour subvenir à couvrir la demande croissante en eau pendant la dernière décennie, des transferts d'eau sont réalisés, il s'agit du transfert provenant du barrage de Beni Haroun et de celui de Dalia.

CHAPITRE 5 : MODELISATION PLUIE-DEBIT

5.1. INTRODUCTION

On peut définir l'hydrologie moderne comme l'étude de la partie continentale du cycle de l'eau, d'un point de vue essentiellement quantitatif. Cela ne restreint que très partiellement le terrain de jeu des hydrologues, puisque ce cycle recouvre encore des phénomènes météorologiques, des écoulements à surface libre, en milieu poreux, des transferts de masse et d'énergie dans la biosphère, etc. (Le Moine ,2008).La connaissance des écoulements de surface est très indispensable pour la gestion de la ressource en eau. Or L'irrégularité qui caractérise le régime hydrologique des régions semi-arides le manque de série de mesure des paramètres climatique et hydrométrique longue et complète ainsi que le manque voir la rareté des stations de jaugeage, rend difficile la mission de l'évaluation quantitative de ce cycle et notamment les risques qui y peuvent être liées. Pour cela, le recours à une modélisation hydrologique est fortement nécessaire. C'est l'une des solutions qui peut résoudre cette problématique à travers une simulation de la pluie en débit.

5.2. MODELE HYDROLOGIQUE

Un modèle est une représentation simplifiée d'un système (Payraudeau, 2002). Le modélisateur opère des choix de représentation du système en ne retenant que les aspects qui lui semblent les plus pertinents, pour tendre vers une solution la moins inexacte possible (Perrin, 2000).

La modélisation du comportement hydrologique des bassins versant et incontournable dès lors que l'on s'intéresse à des problématique relatives à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, ou à l'une des différentes facettes du risque hydrologique (Gnouma, 2006).

5.2.1. Classification des modèles hydrologiques

Plusieurs auteurs ont proposé une classification des modèles hydrologiques, et comme on dit qu'il 'y'a tant de modèle que d'hydrologue la même chose s'applique sur la classification de ces modèles. D'après Refsgaard et Storm (1996) , les modèles hydrologiques peuvent être classés selon la description des processus physiques en tant que conceptuels ou physiques et selon la description spatiale des processus au niveau du bassin versant en tant que distribués ou globaux .

a) Modèles conceptuels

Le modèle conceptuel considère le bassin versant comme un assemblage de réservoirs d'humidité, interconnectés et qui sont censés de représenter plusieurs niveaux de stockages, suivant une dimension verticale. Ce modèle est basé sur la connaissance des phénomènes physiques qui agissent sur les entrées pour obtenir les sorties.

Les modèles conceptuels suivent une démarche opposée : ils ne cherchent pas à décrire le fonctionnement des constituants du système, mais le système dans son ensemble. Cependant, ces modèles peuvent être considérés comme distribués dans une certaine mesure si le bassin est subdivisé en sous-bassins et un modèle est appliqué à chaque unité.

b) Modèle physique

Contrairement aux modèles précédents qui mettent l'accent sur la représentation du comportement hydrologique final (à l'exutoire), les modèles fondés sur la physique tentent d'utiliser des explications physiques à ce comportement. Ils utilisent le cadre théorique des équations de la physique (Perrin, 2000).

c) Modèles distribués

Le modèle distribué (Distributed model), prend explicitement en compte la variabilité spatiale des processus et/ou des variables d'entrées et/ou des conditions aux limites et/ou des caractéristiques du bassin versant. Ces modèles spatialisés sont mis en œuvre à partir d'une unité élémentaire discrétisée (Boudhar, 2009).

d) Modèles globaux

Dans un modèle global le bassin est considéré comme une entité géographique unique. Des relations empiriques (issues de l'expérience) relient les entrées et les sorties. Les équations sont souvent des équations différentielles ordinaires (ODE, Ordinary differential equation) qui ne prennent pas en compte la variabilité spatiale des processus, des entrées, des conditions aux limites et les caractéristiques géométriques du (Boudhar, 2009).

Les modèles globaux sont très pertinents pour la simulation de débits à l'exutoire du bassin. Leur structure est simple, au niveau technique et au niveau conceptuel, il est donc plus facile de travailler avec eux, en particulier pour des applications opérationnelles. Leur nombre réduit de paramètres facilite la calibration et la validation. Leur simplicité, permet aussi d'appliquer des méthodes sophistiquées de calibration (Segui, 2008).

e) Modèle hydrologique pluie-Débit

Un modèle pluie-débit essaie de trouver un lien entre les débits et les phénomènes qui en sont la cause directe, les pluies (Fig.49). D'après les travaux de Michel (1989) Refsgaard et al.(1996), et Perrin (2000) nous pouvons répertorier les problématiques résolues par la modélisation pluie-débit comme suit (Fig.50) :

- simulation de débits, pour le comblement de lacunes dans des 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 : on désire savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. On se place ici dans une démarche d'analyse fréquentielle. Cette connaissance peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau ;
- prévision des crues et des étiages : il s'agit d'évaluer par avance (avec un délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages-réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie halieutique. On s'inscrit ici dans une démarche d'analyse en continu du bassin ; Influence d'aménagements 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.

Il existe aujourd'hui un grand nombre de modèles pluie-débit, dont fait partie les modèle de Génie rurale (GR).

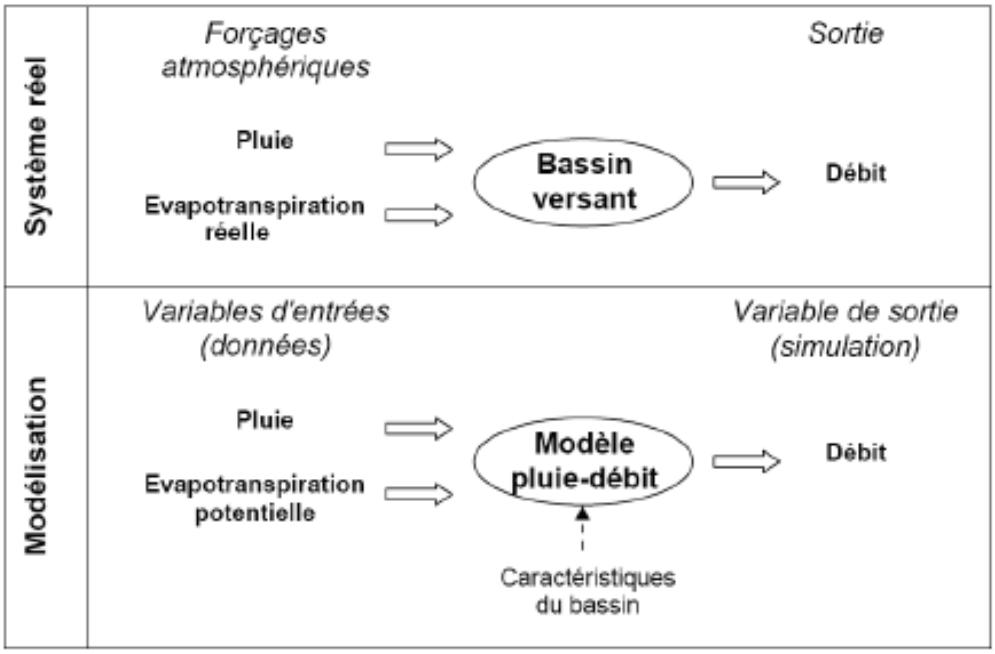


Figure 48. Représentation schématique de la modélisation pluie-débit (Refsgaard et al.1996)

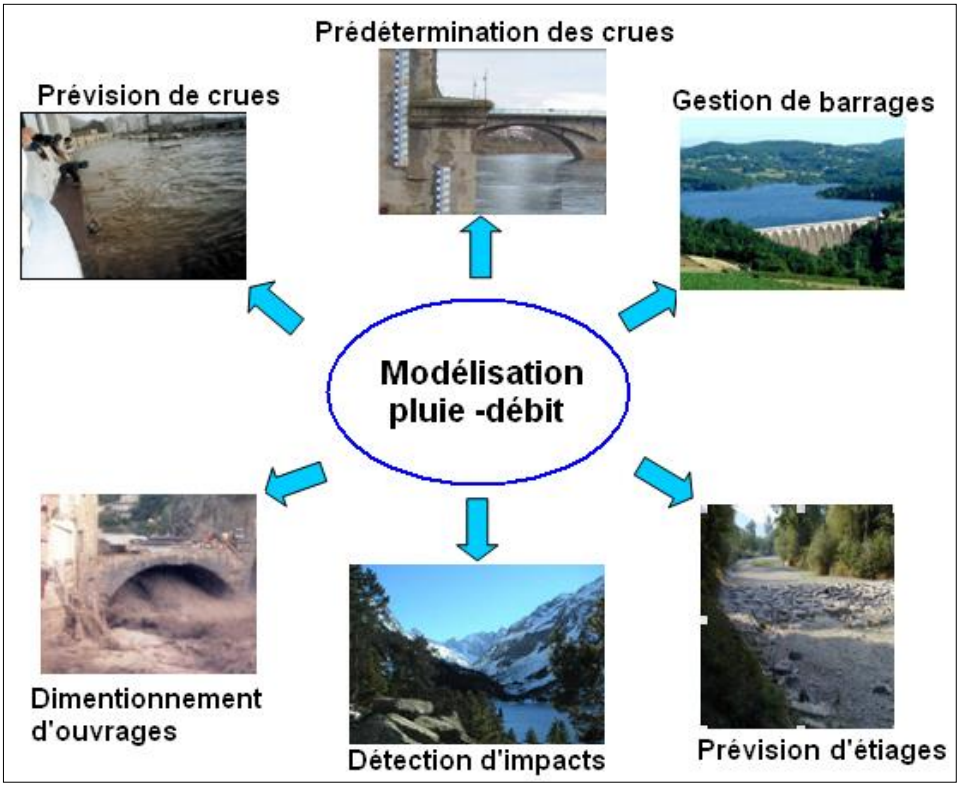


Figure 49. Intérêt d'un modèle pluie-débit (Perrin, 2000).

5.3. CHOIX DU MODELE PLUIE-DEBIT GR

Comme le cas de la plupart des hydrologues qui sont confrontés aux l'ambiguïté du manque de longues séries d'observation et la rareté voir le non existences des stations de jaugeage, nous partageant ici le même objectif comme la déjà écrit Edijatno et al. (1999)''Notre ambition est d'arriver à une simulation pas trop décevante en utilisant une représentation la plus simple possible du processus pluie-débit, dépendante d'un très faible nombre de paramètres, qu'il restera à caler pour s'adapter à la rivière que l'on veut étudier''.

Dans ce but notre choix c'est porté sur le modèle pluie-débit GR (génie rural) IRSTEA (ex-Cemagref) qui est un modèle à réservoir. Cette famille de modèle fait référence dans ce domaine en termes de simplicité de mise en œuvre, d'adaptabilité et de robustesse.

D'après Perrin et al. (2007) les modèles GR opèrent un triple globalisation (triple considération de moyenne) du système bassin versant :

- au niveau des processus : les modèles GR proposent des relations comportementales simples à l'échelle du bassin, mises au point empiriquement et sans liens directs avec la physique des processus à petite échelle et pouvant représenter une moyenne de plusieurs processus ;
- au niveau de l'espace : les modèles GR sont globaux, c'est-à-dire que, tout en reconnaissant l'extraordinaire hétérogénéité de tout bassin versant, ils considèrent le bassin versant comme un tout. Les tentatives de distribution progressive n'ont, jusqu'à présent, pas abouti à des résultats intéressants.

C'est le comportement de la moyenne spatiale qui est étudié en priorité ; au niveau du temps : les modèles GR ont été développés pour des pas de temps de fonctionnement spécifiques : annuel, mensuel, journalier et horaire.

5.3.1. Environnement du modèle GR

Le modèle GR est développé sous plusieurs environnements :

- airGR qui est un package incorpore dans le logiciel R les outils de modélisation hydrologique utilisés à Irstea-HBAN (France), incluant des modèles GR comme GR2M, GR1A. Chaque cœur des modèles est codé en FORTRAN afin de permettre des exécutions rapides. Les autres fonctions du package (i.e. principalement l'algorithme de calage et les critères d'efficacité) sont codées en R (, Coron et al., 2017 ; Coron et al, en préparation).

- La version GR sur Excel disponible dans le site de l'IRSTEA (ex-Cemagref)

5.3.2. Optimisation du modèle

La validation du modèle est vérifiée par une comparaison des débits calculés et observés à travers un critère de qualité. Le critère le plus connu et le plus utilisé pour les modèles conceptuels est le critère de Nash et Sutcliff (1970) qui s'exprime par l'équation ci-dessous.

$$Nash(Q) - Sutcliffe = \left[1 - \frac{\sum_{t=1}^{n} \left(Q_{obs} - Q*_{calc,i} \right)^2}{\sum_{t=1}^{n} \left(Q_{obs},_{i} - \overline{Q_{obs}} \right)^2} \right]$$

Avec :

Qobs,i est le débit observé au pas de temps i,

Qcalc,i est le débit simulé au pas de temps i , est le débit moyen observé, n est le nombre total de pas de temps de la période de simulation.

Nous utilisons aussi les critères graphiques en comparant les hydrogrammes observés avec ceux simulés par le modèle.

Remarque : le critère de Nash-Sutcliffe est calculé aussi sur les débits, les racines des débits et les logarithmes des débits .Un calage cherchant à maximiser Nash-Sutcliffe (VQ) ou Nash-Sutcliffe (ln(Q)) permet de diminuer l'influence des forts débits et d'obtenir ainsi un meilleur calage des faibles débits. Les estimations faites sur les forts débits (hors étiage) sont alors moins précises.

En pratique, on estime que la simulation est de mauvaise qualité lorsque le critère de Nash est faible (<70 %) elle est acceptable lorsqu'il est supérieur à 70%, parfaite lorsqu'il est égal à 100 %.

5.3.3. Calage

Le calage d'un modèle consiste à rechercher les paramètres qui permettront de reproduire au mieux le fonctionnement d'une variable mesurée. Des indices tels que le critère de Nash-Sutcliffe permettent de déterminer mathématiquement les paramètres pour lesquels les séries de données mesurées et simulées sont les plus proches.

Un bon calage consiste à l'obtention d'un critère de Nash-Sutcliffe optimum supérieur ou égale à 70% et un coefficient de corrélation entre les débits simulés et les débits observés significatif proche de 1, et une bonne superposition des courbes des débits observés et simulés.

5.3.4. Les données d'entrées

L'utilisation de la station hydrométrique de Foum El Guiess qui contrôle le bassin versant d'oued El Gueiss, et dû au fait que c'est l'unique station qui se trouve actuellement au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. Les caractéristiques physique du bassin son apportées dans le tableau 11.

L'application des modèles GR choisies pour cette étude a été effectuée sur les données moyennes mensuelles (GR2M) ou annuelles (GR1A) : en utilisant à l'entrée des valeurs des pluies observées en mm, des débits (exprimées en lames d'eau écoulées) en mm à la station hydrométrique de Foum El Guiess, des ETP calculées par la méthode de Thornthwaite en mm en utilisant les températures observés au niveau de même station. La période choisie pour cette étude est celle allant de 1990 à 2000 car c'est la série la plus complète.

Tableau 11. Caractéristiques du bassin versant d'Oued El Gueiss.

Superficie du bassin en Km²	144
Longueur du rectangle équivalent en Km	12
Longueur du thalweg principale en Km	19
Densité de drainage Km/Km²	2.7
Indice de compacité	1.12
Indice de pente de Roche	0.28
Pente de l'oued	0.0075
Altitude moyenne en m	1305
Altitude max en m	2173

5.4. MODELE DU GENIE RURAL A 2 PARAMETRES MENSUEL GR2M

5.4.1. Description du modèle pluie-débit mensuel GR2M

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 à l'IRSTEA (ex-Cemagref) à la fin des années 1980, avec des objectifs d'applications dans le domaine des ressources en eau et des étiages (Perrin et al, 2007).

Le modèle GR2M proposé successivement par (Kabouya, 1990 ; Kabouya et Michel, 1991 ; Makhlouf, 1994 ; Makhlouf et Michel, 1994 ; Mouelhi, 2003 ;Mouelhi et al., 2006). La version utilisée dans cette étude et celle proposée par ce dernier.

C'est un modèle à deux réservoirs : un réservoir sol (réservoir de production) et un réservoir de routage de capacité fixée à 60 mm (Fig. 51). Les paramètres de réglages sont la capacité maximale du réservoir sol (paramètre libre) ainsi que le paramètre d'échange souterrain représentant une autre perte ou apport que l'évapotranspiration ou la pluie.

Le modèle a deux paramètres optimisables :

X1 : capacité du réservoir de production (mm)

X2 : coefficient d'échanges souterrains (-), il traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique et relié par le réservoir de routage.

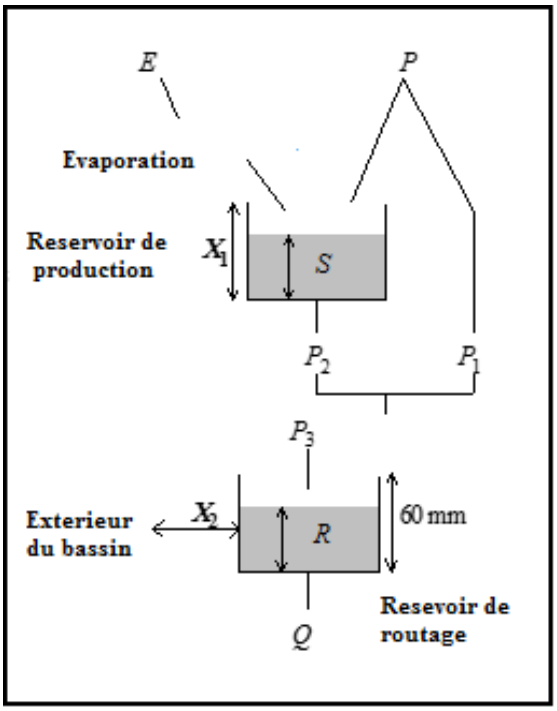


Figure 50. Schéma de la structure du modèle GR2M (Mouelhi et al. 2006).

5.4.2. Calage et validation du modèle hydrologique GR2M

La détermination des deux paramètres du modèle, en un point donné, permet finalement de fixer la relation au pas de temps mensuel entre l'aléa climatique (pluie et évaporation) et la réponse hydrologique.

La procédure de calage a consisté à déterminer les paramètres optimisés à partir des différents critères de qualité en augmentant la longueur des phases de calage et de validation. Les paramètres obtenus ainsi que les critères correspondants ont été représentés en fonction de la longueur de la phase de calage. Nous avons retenu les paramètres pour lesquels les critères de qualités sont optimaux.

Nous avons reporté dans le tableau 12, les paramètres obtenus pour les différentes longueurs des périodes de calage.

Pour le GR2M, les paramètres X1 et X2 sont stables, Les critères de qualités annoncent une simulation acceptable proche ou supérieur à 70, la fonction racine carré apporte les meilleur critères de validations.

Tableau 12.Résultats du calage et de la validation du modèle GR2M, pour la période (1990-1996), sur la station de Foum El Gueiss.

Phase de calage	Phase de validation	Paramètres		Critères de validation			
		X1 (mm)	X2 (mm)	Nash-Sutcliffe (Q)	Nash-Sutcliffe ($\sqrt{Q}$)	Nash-Sutcliffe (ln Q)	Bilan
1990-1992	1993-2000	4,90	0,53	73	76	70	97 %
1990-1994	1995-2000	4,78	0,55	82	88	84	99 %
1990-1996	1997-2000	4,73	0,53	81	81	83	98 %

L'interprétation des hydrogrammes simulés et observés (Fig. 52) montre la bonne qualité du modèle GR2M à reproduire le comportement du bassin versant de Gareat El Tarf. La corrélation linéaire entre les débits mesurés et simulé (Fig. 53) ; Révèle un coefficient de corrélation de 0.70 vient confirmer la fiabilité du calage effectué.

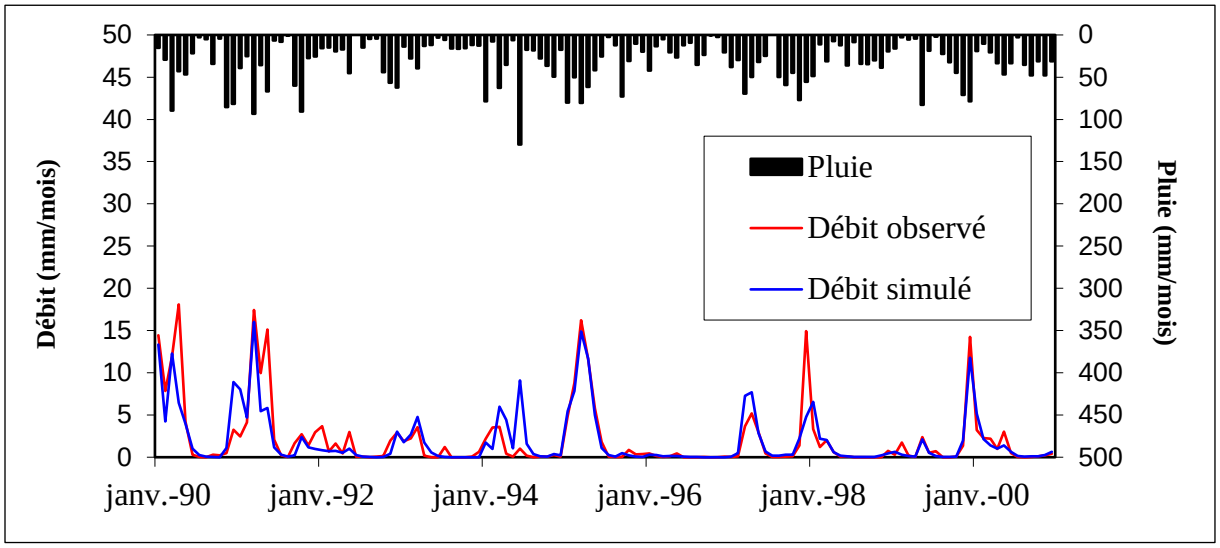


Figure 51. Hydrogrammes observés et simulés par le modèle GR2M sur la période 1990-2000, sur la station de Foum El Gueiss.

La dynamique des écoulements est bien respectée. En général, les débits de pointe sont bien reproduits. Les faibles débits ne sont pas simules correctement par le modèle. Ceci peut être explique par le fait que les faibles pluies enregistrées dans la partie amont ne génèrent pas de débits qui peuvent atteindre l'exutoire du bassin.

Les figures 54 donnent une idée sur la répartition des masses d'eau opérées par le modèle. Elles représentent le niveau S du réservoir de production par GR2M au niveau du bassin versant de Foum El Gueiss. Le stockage de l'eau au niveau du bassin fluctue entre un maximum au cours du mois de janvier et un épuisement au cours de mois les plus chauds de l'année. Le stockage de l'eau atteint son maximum janvier 2000 avec plus de 78 mm.

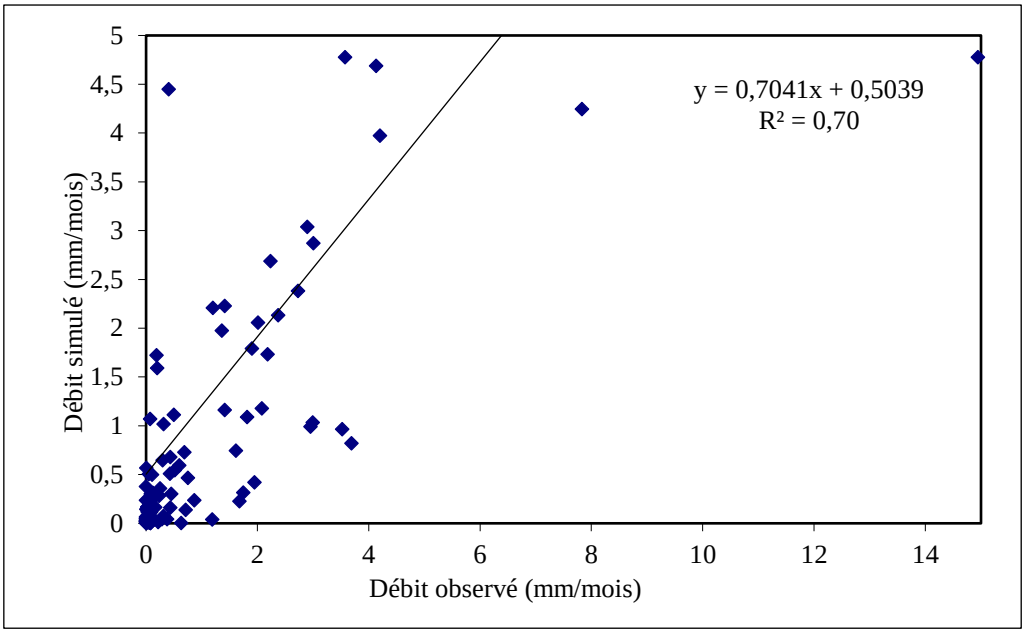


Figure 52. Résultat de la validation par corrélation graphique entre débits observés et débits simulés par le modèle GR2M sur les données mensuelles

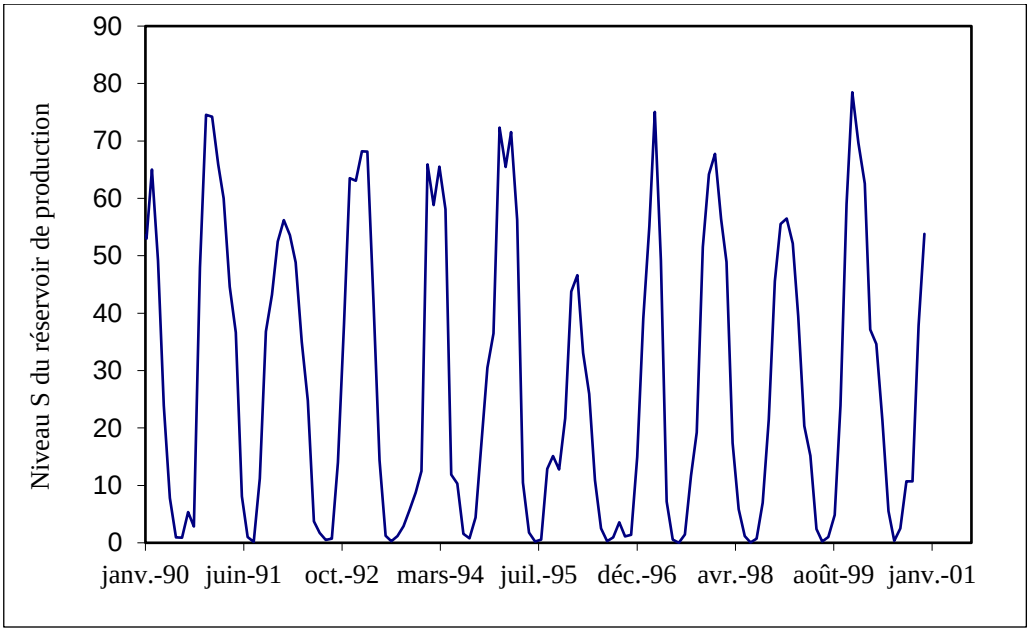


Figure 53.Niveau S du réservoir de production simulé par GR2M sur la période 1990-2000, sur la station de Foum El Gueiss.

5.5. MODELE DU GENIE RURAL A 1 PARAMETRE ANNUEL GR1A

5.5.1. Description du modèle pluie-débit annuel GR1A

Le modèle GR1A (Modèle du Génie Rural à 1 paramètre Annuel) est un modèle pluie-débit global à un seul paramètre. Son développement a été initié au Cemagref à la fin des années 1990, avec pour objectif de mettre au point un modèle de simulation pluie-débit robuste et fiable en vue d'utilisations pour des applications d'évaluation et de gestion de la ressource en eau (Perrin et al, 2007).

La capacité maximale du réservoir «sol », A, est l'unique paramètre à caler (Mouelhi, 2003). La structure du modèle est très simple puisqu'elle se résume à une simple équation, le débit Q_k de l'année k étant proportionnelle à la pluie P_k de la même année, avec un coefficient d'écoulement dépendant de Pk, de la pluie P_{k-1} de l'année k-1 et de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne E. Le modèle s'écrit :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

Où X est l'unique paramètre du modèle.

Cette formule dérive de la formule de Turc (1955), qui donne l'écoulement moyen interannuel. Une recherche systématique de la meilleure manière de prendre en compte l'état antérieur du système a montré que l'on devait se limiter à prendre en compte la pluie de l'année précédant l'année en cours. Le paramètre X traduit l'influence d'une ouverture du bassin sur l'extérieur non atmosphérique (par exemple échange avec des nappes profondes ou avec des bassins adjacents dans le cas d'une non-superposition des limites topographiques et géologiques) : si X est supérieur à 1, le système perd de l'eau et si X est plus petit que 1, le système en gagne, le tout exprimé en fraction de l'ETP (Bouanani, 2010).

5.2. Calage et validation du modèle hydrologique GR1A

Le calage du modèle a été effectué avec la série allant de 1990 à 1995. Les Lames d'eau écoulées calculées et mesurées indiquent que le modèle GR1A appliquée aux données de la station de Foum El Gueiss est bien calé

Nous avons retenu les paramètres pour lesquels les critères de qualité sont optimaux. Les résultats du calage obtenus sont comme suit :

- Nash –Sutcliffe supérieur à 70 % (Tabl. 13), la simulation est acceptable.
- Une bonne superposition des courbes des débits observés et simulés (Fig. 55).
- X = 1.22, X est supérieur à 1, le système perd de l'eau.

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données qui n'ont pas été utilisées lors du calage. Nous avons utilisé donc la série allant du 1996 à 2000. Pour la validation, le calcul est lancé en prenant pour le paramètre X la valeur trouvée lors du calage qui est de 1.14. Les valeurs trouvées des débits sont alors comparées aux valeurs observées par corrélation linéaire simple (Fig.56). La validation du modèle GR1A donne la valeur de coefficient de corrélation (R2) égale à 0.85, cela traduit la validation du modèle d'une part, et d'autre part la bonne performance du modèle appliquée à la station de Foum El Gueiss.

Tableau 13. Résultats du calage du modèle GR1A, pour la période (1990-1995), sur la station de Foum El Gueiss.

Type de critères d'efficacité	Taux d'efficacité (%)
Nash(Q)	78
Nash (VQ)	71
Nash (ln(Q))	57
Bilan	105

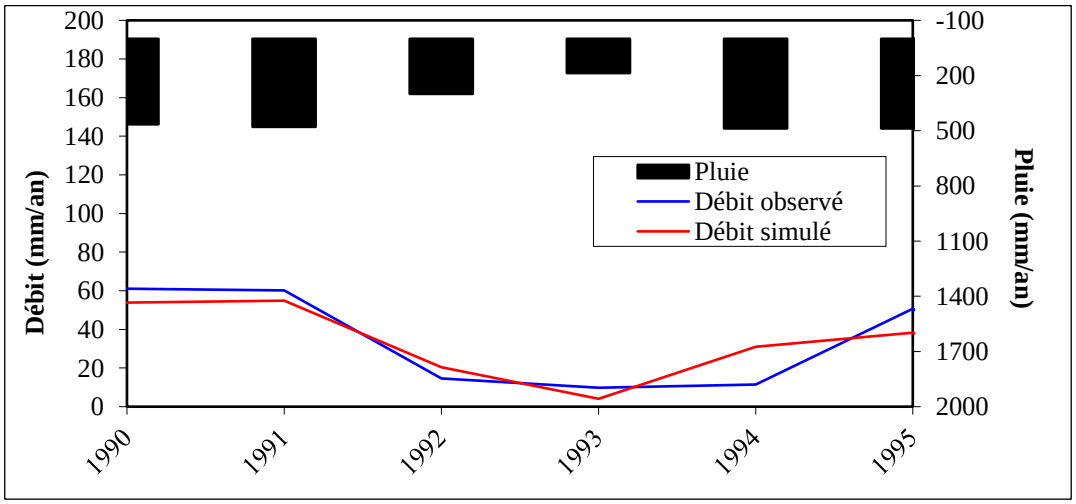


Figure 54. Hydrogrammes observés et simulés par le modèle GR1A sur la période 1990-1995, sur la station de Foum El Gueiss.

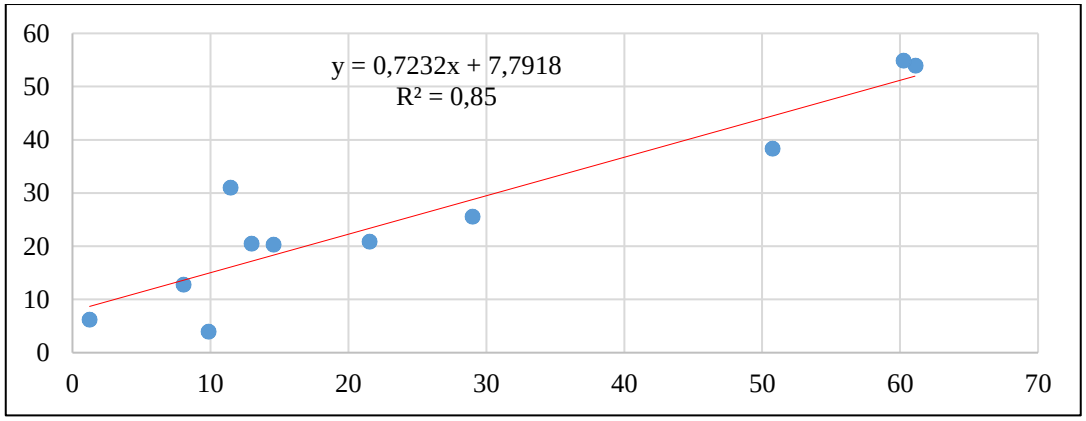


Figure 55. Corrélation graphique entre débits observés et débits simulés par le modèle GR1A, sur la station de Foum El Gueiss, pour la période (1990-1995).

5.6. CONCLUSION

L'identification des tendances dans la relation pluie-débit au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf est effectué à partir d'une modélisation conceptuelle mensuelle à deux paramètres GR2M et annuelle à un paramètre GR1A.

L'optimisation des paramètres du chaque modèle a été obtenue pour des valeurs élevées de critères de qualité. La phase de validation a donné de très bons résultats, confirmant le bon calage du modèle sur le bassin et l'excellente performance.

Nous pouvons conclue de cette analyse que les modifications des conditions climatiques et physiques de l'écoulement ont eu pour conséquences une modification de la réponse hydrologique du bassin versant. Et que les modèles GR2M et GR1A peuvent être performant en termes de prévision des débits des cours d'eau non jaugé au niveau du bassin versant objet d'étude.

PARTIE III : GESTION DURABLE DES RISQUES NATURELS LIES A L'EAU ET DES RESSOURCES EN EAU

CHAPITRE 6 : POLITIQUE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU NIVEAU DU BASSIN DE GAREAT EL TARF

6.1. INTRODUCTION

Le bassin versant de Gareat El Tarf, subit une pression démographique et agricole assez pesante devant des ressources en eau limitées en raison de son climat semi-aride. Dans le cadre du SNAT (Schéma national de l'aménagement des territoires à l'horizon 2030 et 2050), le développement du bassin de Gareat El Tarf s'oriente principalement vers le secteur agricole. Pour répondre à cette ambition économique le PNE à l'horizon 2030 envisage dans son programme de multiples projets de mobilisations des ressources en eau. Dans ce chapitre, un aperçu sur la politique nationale de la gestion des ressources en eau au niveau national et local.

6.2. STRATEGIE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle, cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Elle fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. Les principales réformes apportées par la loi de l'eau sont :

- mise en place d'un ministère dédié au secteur de l'eau en vue d'assurer une gestion efficiente.
- création d'établissements publics à caractère commercial et industriel afin de garantir l'unicité de la gestion du cycle de l'eau.
- transfert des activités des entreprises communales et des wilayas des services des eaux vers l'Algérienne des eaux et l'Office national de l'assainissement.
- Création des agences de bassins hydrographiques pour une gestion intégrée, par région, des ressources en eau nationales.
- Promulgation de la Loi relative à l'Eau afin d'asseoir un cadre juridique de gestion de l'eau adapté.
- Élaboration du Plan national de l'eau pour doter le secteur d'un outil de planification à l'horizon 2030 (Mozas et al., 2013).

Les objectifs assignés à l'utilisation, à la gestion et au développement durable des ressources en eau visent à assurer :

- l'approvisionnement en eau à travers la mobilisation et la distribution d'eau en quantité suffisante et en qualité requise, pour satisfaire en priorité les besoins de la population et de l'abreuvement du cheptel et pour couvrir la demande de l'agriculture, de l'industrie et des autres activités économiques et sociales utilisatrices d'eau ;
- la préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les risques de pollution à travers la collecte et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des eaux pluviales et de ruissellement dans les zones urbaines ;
- la recherche et l'évaluation des ressources en eau superficielles et souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif et qualitatif ;
- la valorisation des eaux non conventionnelles de toutes les natures pour accroître les potentialités hydriques ;
- la maîtrise des crues par des actions de régulation des écoulements d'eaux superficielles pour atténuer les effets nuisibles des inondations et protéger les personnes et les biens dans les zones urbaines et autres zones inondables.

6.3. LES ACTEURS DE L'EAU EN ALGERIE

La gouvernance de l'eau implique un grand nombre d'acteurs. La représentation proposée ci-dessous est bien sûr très simplifiée mais permet de situer chaque groupe d'acteurs les uns par rapport aux autres et de préciser leurs responsabilités respectives.

6.3.1. Les acteurs de l'eau à compétence national et régionale

a) L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) est un établissement public à caractère administratif, à vocation scientifique et technique. Elle a pour missions **:**

- La prospection et l'évaluation des ressources en Eau et en Sol du Pays
- La collecte, le traitement et la mise à jour des informations relatives aux ressources en Eau et en Sol
- Le suivi de la ressource au plan quantitatif et qualitatif
- La préservation, la protection et la sauvegarde de la ressource contre toute forme de dégradation.

L'A.N.R.H est organisée en six départements centraux et sept directions régionales (antennes) auxquelles sont rattachés 29 secteurs, répartis sur l'ensemble du territoire national.

b) L'Agence nationale des barrages et transferts (A.N.B.T) a été créés le 11 Juin 1985 par décret n° 85-163 avec un statut d'Etablissement Public à caractère Administratif.
L'agence, sous tutelle du Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement, est chargée, dans le cadre de la maîtrise d'ouvrage déléguée, de la mise en œuvre des plans et programmes nationaux d'études, de réalisation et de l'exploitation des infrastructures de mobilisation et de transferts des eaux superficielles.

c) Les Agences de bassins hydrographiques (ABH) ont été créées par décret exécutif n°96-100 du 06 mars 1996 portant définition du bassin hydrographique et fixant le statut-type des établissements publics de gestion, 5 agences de bassin hydrographique ont été créées en Algérie le 26 août 1996 (Fig. 57).
L'agence de bassin hydrographique est chargée de réaliser toutes actions visant à assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau à l'échelle d'une unité hydrographique naturelle. Elle est chargée notamment 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 ;
- 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 ;
- Collecter les redevances instituées par la législation et la réglementation en vigueur ;
- Emettre un avis technique sur les demandes de concessions et l'autorisation d'utilisation des ressources en eau.

La relative faiblesse des moyens financiers a jusqu'à présent constitué une contrainte pour l'exercice plein et entier des missions des A.B.H. Néanmoins, avec la création en 2011 de l'Agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau (A.G.I.R.E), les A.B.H deviennent des démembrements de la dite agence avec les mêmes prérogatives et la possibilité de mutualiser les moyens financiers générés par les recettes des redevances d'économie et de protection des ressources en eau ainsi que de l'expertise en matière de gestion intégrée des ressources en eau

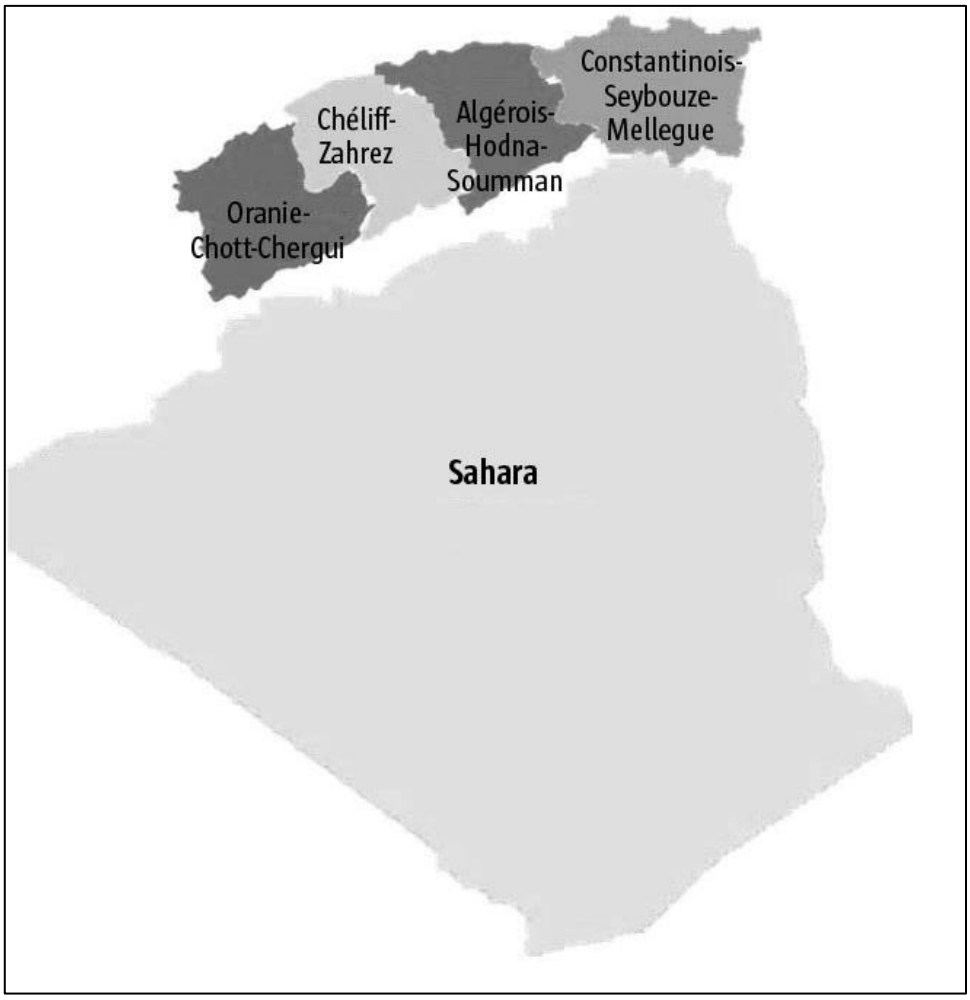


Figure 56. Cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (ABH, 2017)

d) Office national de l'irrigation et du drainage (O.N.I.D) est issu du réaménagement du statut de l'A.G.I.D et du rattachement des 5 Offices des Périmètres d'Irrigation (O.P.I) nationaux en 2008, l'O.N.I.D a pour missions : La gestion, l'exploitation et la maintenance des GPI, la maîtrise d'ouvrage déléguée pour le compte de l'Etat, ainsi que les missions de sujétion de service public. I'O.N.I.D est subdivisé en 5 directions régionales selon le découpage hydrographique adopté par le secteur des Ressources en Eau (ONID, 2017).

e) Office national de l'assainissement (ONA) est placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement, l'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national à caractère industriel et commercial (E.P.I.C), créé par décret exécutif n° : 01-102 du 21 Avril 2001.L'ONA st chargé sur le territoire national, de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction des ouvrages et des infrastructures d'assainissement (ONA, 2017). Ainsi, il assure :

- La protection et la sauvegarde des ressources et environnement hydrique.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.

f) L'algérienne des eaux (ADE) est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 27 Moharem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau.

L'établissement est chargé d'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielles ainsi que le renouvellement et le développement des infrastructures s'y rapportant (ADE, 2017).

6.3.2.Les acteurs de l'eau à compétence locales

a) Direction de l'hydraulique de wilaya (DHW) intervient en matière de gestion et des ouvrages mobilisables.

b) Direction des Services Agricoles de wilaya (DSA) est sous la tutelle du ministère de l'agriculture et développement rural Au nombre de 48 elles sont implantées dans chaque chef-lieu de wilaya. Elle a pour tâches essentielles, la mise en œuvre des prérogatives du Ministère au niveau de la Wilaya, notamment en ce qui concerne la mission de puissance publique, et celle relative au développement de l'activité agricole en particulier dans le sens de l'augmentation et l'amélioration des potentialités existantes.

c) Les Conservations des Forêts (CF) est sous la tutelle du ministère de l'agriculture et développement rural .Au nombre de quarante-huit (48), elles sont implantées dans chaque chef-lieu de wilaya.

Elles ont pour mission essentielle le développement, la valorisation, la protection, et la gestion du patrimoine forestier, et alfatier, dans le cadre de la politique forestière nationale. Les conservations des forêts sont subdivisées en circonscriptions avec compétence territoriale d'une Daïra administrative, et en districts forestiers pour une compétence territoriale d'une commune.

d) L'Agence nationale pour la protection de la nature (ANN) : sous la tutelle du ministère de l'agriculture et développement rural Elle est chargée de la gestion administrative des espaces naturels.

e) L'inspection de l'environnement de la wilaya est sous la tutelle du ministère de l'environnement C'est l'organe principal de l'Etat en matière de contrôle de l'application des lois et règlements relatifs à la protection de l'environnement ou qui y ont trait.

6.4. SYSTEME DE PLANIFICATION DE L'EAU EN ALGERIE

En Algérie il 'y' a deux systèmes de planification (Fig.58), il s'agit du :

- plan national de l'eau d définit les objectifs et les priorités nationales en matière de mobilisation, de gestion intégrée de transfert et d'affectation des ressources en eau.
- plan directeur d'aménagement des ressources en eau est d'aménagement il est élaboré pour chaque région hydrographique. Il définit les choix stratégique de mobilisation, et d'affectation et d'utilisation des ressources en eau.

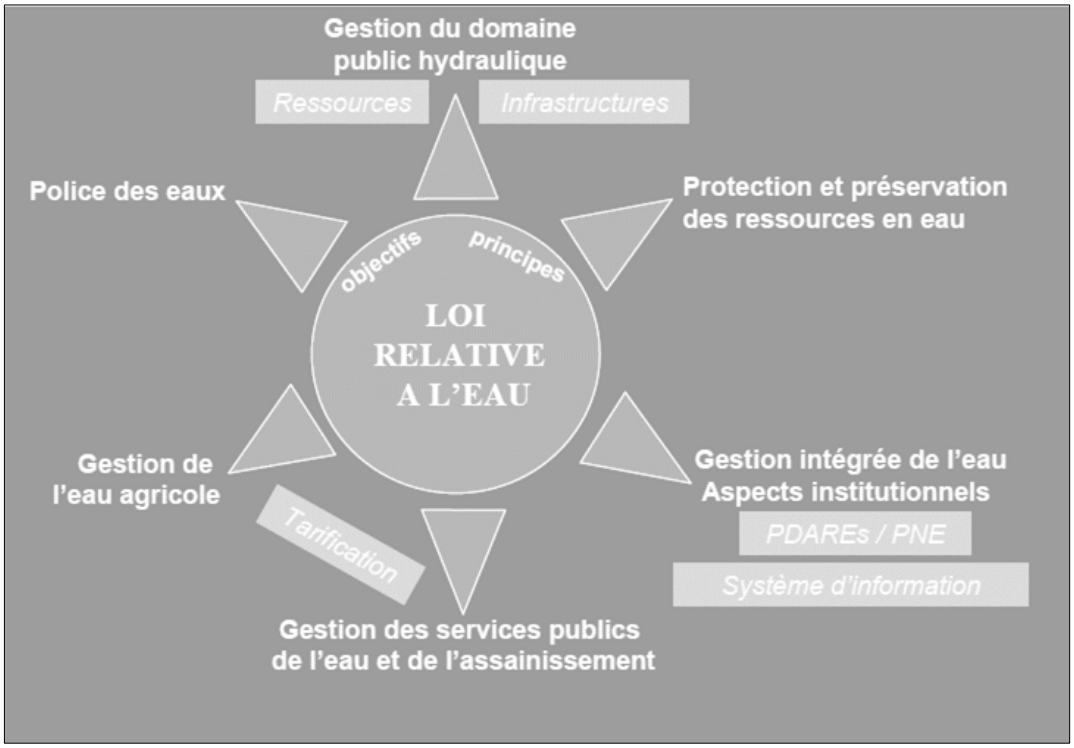


Figure 57.Schéma du cadre juridique et lois relatives à l'eau en Algérie

6.4.1. Le plan national de l'eau (PNE)

La stratégie de développement du secteur de l'eau à l'horizon 2030 est tracée par le Plan National de l'Eau actualisé en 2010. Il identifie un ensemble de projets et programmes structurants à réaliser par périodes quinquennales (SOFRECO, 2010).

Prolongeant la politique de mobilisation de l'eau à travers la construction de barrages, de transferts et d'aménagements en aval des usines de dessalement, le PNE met en exergue l'exigence d'économie et de valorisation de l'eau et ce, à travers la réhabilitation des systèmes d'AEP, d'assainissement et d'irrigation ainsi que l'amélioration des performances des services publics de l'eau (SOFRECO, 2010).

Afin de s'assurer les ressources en eau nécessaires, le secteur de l'eau envisage de transférer une partie des eaux de barrages de la zone côtière vers la zone de l'Atlas Tellien, dont l'excédent sera alors à son tour transféré vers les Hauts Plateaux. Le déficit de la zone côtière devrait alors être compensé par le dessalement de l'eau de mer et l'économie de l'eau. Le déficit restant de la zone des Hauts Plateaux sera compensé également par un éventuel transfert des eaux du Sahara (nappe de l'Albien). De même, il est envisagé une large réutilisation des eaux usées épurées au bénéfice de l'irrigation et de l'industrie (PNUD, 2009).

D'après le journal officiel du 6 janvier 2010, le plan national de l'eau (2010) comporte :

- Un diagnostic du secteur de l'eau portant respectivement sur les ressources mobilisées et leur consommation par type d'usage, sur l'état quantitatif et qualitatif des infrastructures hydrauliques existantes et sur les aspects institutionnels et organisationnels ;
- la fixation des objectifs de développement sectoriel à long terme en prenant en compte l'état des lieux dans le secteur de l'eau ainsi que les orientations d'aménagement du territoire, de protection de l'environnement et des autres schémas directeurs sectoriels ;

- la détermination des projets et programmes structurants sur la base de leur identification par les plans directeurs d'aménagement des ressources en eau ainsi que des projets de transfert d'eau entre les unités hydrographiques naturelles ;

- la détermination des projets et programmes structurants de portée nationale visant à assurer une gestion durable des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques ;
- la répartition temporelle de l'ensemble des projets et programmes structurants ainsi que le cadrage financier « établi sur la base de l'estimation des couts d'investissements dans les différents plans directeurs d'aménagement des ressources en eau ;
- la répartition des différents projets et programmes structurants à l'échelle des wilayas.

6.4.2. Le plan directeur d'aménagement des ressources en eau (PDARE)

Le Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE) constitue l'instrument principal de la planification à long terme, au niveau des régions hydrographiques et un élément clé de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau en Algérie. Il s'inscrit dans un cycle de planification sectorielle intégrée.

D'après le journal officiel du 6 janvier 2010, le plan directeur d'aménagement des ressources en eau est établi pour une période de vingt (20) ans. Il est évalué tous les cinq (5) ans par l'administration chargée des ressources en eau. Cette évaluation consiste à :

- établir l'état de mise en œuvre des projets et programmes structurants et ceci, à travers les bilans physiques et financiers des différents programmes d'investissements annuels et pluriannuels ;
- procéder à des enquêtes et diagnostics sur le niveau de couverture des besoins en eau et à actualiser leur évolution à court, moyen et long terme. L'évaluation du plan directeur d'aménagement des ressources en eau fait l'objet d'une communication au gouvernement.

Pour chaque unité hydrographique naturelle, le P.D.A.R.E définit les choix stratégiques de mobilisation, d'affectation et d'utilisation des ressources en eau, y compris les eaux non conventionnelles, en vue d'assurer :

- La satisfaction des besoins en eau,
- La protection quantitative et qualitative des eaux,
- La prévention et la gestion des risques liés aux phénomènes naturels exceptionnels, tels que les inondations. Dans ce cadre, le P.D.A.R.E détermine les objectifs de développement des aménagements de mobilisation et de transfert d'eaux, en tenant compte des paramètres économiques.

Le P.D.A.R.E définit les objectifs en matière d'utilisation des ressources en eau, les mesures liées aux exigences d'économie, de valorisation et de protection de la qualité de l'eau.

6.5. LA VOLONTE DE FAVORISER L'ACCES ET LE PARTAGE EQUILIBRE DES RESSOURCES EN EAU

La répartition équitable des ressources en eau entre les différentes régions du territoire algérien constitue un autre axe de la politique mise en place par le gouvernement. Afin de pallier aux disparités géographiques, un programme de transferts régionaux qui vise à assurer

une meilleure équité entre les territoires pour l'accès à l'eau a été progressivement mis en œuvre (Tabl.14). C'est principalement au cours de la dernière décennie que des opérations importantes ont été entreprises, certaines étant en cours de réalisation actuellement par l'ANBT. Ces transferts d'eau répondent également aux objectifs de la stratégie de sécurité alimentaire du pays qui vise à soutenir des régions à fort potentiel agricole. Ainsi, à titre d'exemple, en aménageant de grands transferts vers les wilayas de Sétif et de Djelfa, le gouvernement entend faire de ces deux wilayas des zones productrices de céréales, appelées à produire d'ici 2014, 20% des besoins du pays dans ce domaine.

Ces initiatives ambitionnent de connecter les ressources en eau des différents systèmes régionaux autour des grands centres urbains tout en desservant les villes alentours par l'intermédiaire d'infrastructures de moindre envergure (Fig.59). :

- Constantine, avec le barrage de Béni Haroun à Mila (997 millions de m^3) ; dans le Sétifois les barrages hydroélectriques situés dans le massif du Tell ont délaissé la production d'électricité et alimentent désormais le sud de la région ; à Alger.
- les barrages de Taksebt et de Koudiat Acerdoun vont s'intégrer dans le réseau de transferts d'eau et alimenter les environs jusqu'à Tizi Ouzou, Médéa et M'sila ; concernant la région d'Oran, c'est le système MAO (Mostaganem-Arzew-Oran) qui dessert le Nord-Ouest du pays (Mozas et al., 2013).
- Le grand projet d'envergure du Sud du pays est le transfert d'eau de la nappe albienne d'Aïn-Salah (Nord de la wilaya de Tamanrasset) à la ville de Tamanrasset, soit un transfert sur une distance de plus de 750 km. Ce projet, inauguré en avril 2011, est l'une des plus importantes réalisations du secteur de l'hydraulique des dix dernières années en Algérie, tout comme le système Beni Haroun et celui de MAO (Mozas et al., 2013). Si le transfert Aïn Salah-Tamanrasset devrait permettre de transférer dans un premier temps 50000 m^3 /jour, la conduite pourrait atteindre jusqu'à 100 000 m^3 /jour. Ce méga-transfert, dont le coût est évalué à trois milliards de dollars selon le ministère des Ressources en eau, est composé dans son ensemble de quarante-huit forages, deux conduites parallèles, six stations de pompage, deux grands réservoirs de 50000 m^3 chacun et une station de déminéralisation, d'une capacité finale de 100000 m^3, et a également un coût en matière d'énergie. Si des retombées économiques sont attendues, l'impact environnemental du transfert soulève la question de sa durabilité à long terme, tout en précisant que des simulations d'exploitation de ces eaux fossiles ont été étudiées à l'horizon 2040. Ces politiques

demandent des investissements lourds mais ont été pensées comme un défi à relever visant à transférer et à interconnecter les ressources en eau du pays (Mozas et al., 2013).

Tableau 14. Transferts d'eau en Algérie

Désignation	Lieux d'affectations
Transferts Nord-Nord et Nord-Hauts Plateaux	
Béni Haroun	Wilayas de Mila, Constantine, Khenchela, Oum El Bouagui et Batna (504 hm^3/an)
Taksbet	Wilayas de Tizi Ouzou, Boumerdes et Alger (180 hm^3/an)
Koudiat Acerdoune	Wilayas Bouira, Tizi Ouzou, M'sila et Medéa (178 hm^3/an)
Mostaganem – Arzew-Oran (MAO)	Wilayas de Mostaganem et Oran (155 hm^3/an)
Barrages Erraguène, Tabellout et Draa Diss	Wilaya de Sétif (191 hm^3/an)
Barrages Ighil Emda et Mahouane	Wilaya de Sétif (122 hm^3/an)
Transfert Sud-Sud	
Nappe Albienne In Salah	Tamanrasset (36 hm3/an)
Transfert Sud-Hauts Plateaux	
Nappe Albienne	Wilayas de Djelfa, Tiaret, M'sila, Biskra, Batna, Saïda, Tiaret et Médéa

(Source : Ministère des ressources en eau)

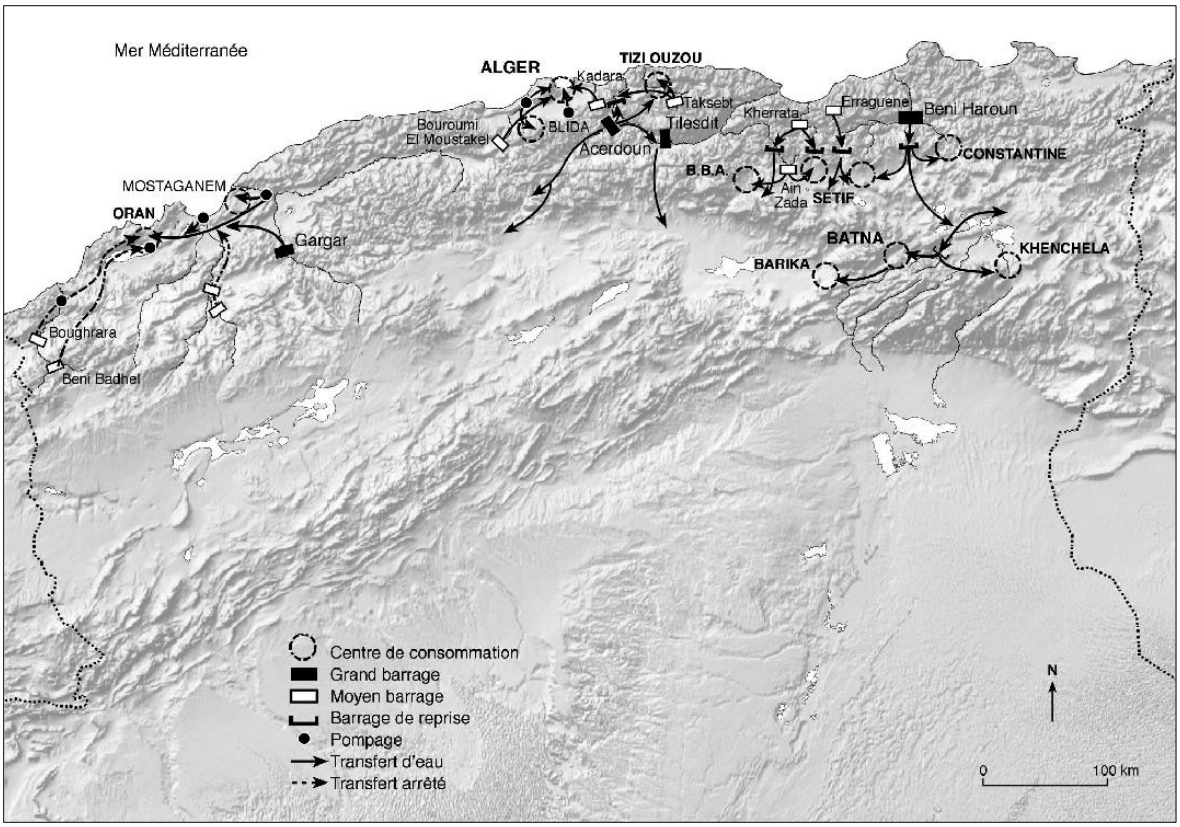


Figure 58.Barrages et transferts des ressources en eau en Algérie (source : Côte, 2011 ; conception P. Pentsch).

6.7. GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF

La stratégie adoptée pour subvenir à couvrir la demande en eau des différents secteurs (AEPI, IRR), au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, s'appuie au premier rang sur la mobilisation des eaux souterraines des nappes d'eau du bassin et en second rang sur les transferts d'eau provenant système interrégional de Beni Haroun à travers deux barrages qui sont :

- le barrage de Koudiat Medaouar qui se situe dans le territoire de la wilaya de Batna.
- barrages d'Ourkis et le barrage de Tagharist (4 Hm^3) mis en service en 2015. Le barrage Beni Haroun qui lui assurera sa fourniture principale à hauteur de 65 Mm^3 (le BV propre de ce barrage ne régule que 1 Hm^3).

Un autre transfert d'eau se fait à partir du barrage de Dalia dans la wilaya de Souk Ahras.

6.7.1. Demande en eau des différents secteurs

Par définition la demande en eau, c'est la quantité d'eau qu'il faut mobiliser au niveau de la ressource pour faire face aux besoins quantitatifs. Entre demande et besoins, s'intercalent les pertes de transferts et le gaspillage des utilisateurs.

Dans cette rubrique, Il sera indiqué pour chaque secteur (Domestique, industrie et irrigation).les paramètres nécessaire à l'évaluation de la demande actuelle et projection future.

A. Demande en eau domestique

La demande en eau domestique dépond du nombre d'habitants, du besoin en eau par habitant et du gaspillage au niveau du réseau de distribution d'eau potable.

Le besoin en eau domestique reste une notion difficile à définir et à cerner, liée au contexte socio-économique. Ainsi le besoin en eau croit avec l'évolution du niveau de vie.

- Démographie

La démographie est la base de l'étude de l'alimentation en eau potable (AEP). Le nombre d'habitants par commune d'après RGPH 2008, est détaillé dans le chapitre (Analyse socioéconomique).

Dans le cadre de l'actualisation du plan national de l'eau en 2010, une analyse approfondie de l'évolution démographique en Algérie à l'horizon 2030 a été faite par l'ONS .Pour cela un travail important de mise en ordre des données a été nécessaire notamment l'évolution du nombre des agglomérations et des structures administratives de communes dans le cade du SNAT.

L'ensemble des hypothèses sont prises en compte dans la détermination des différents taux prévisionnels d'accroissement moyen annuel et traduits sous formes de tables de paramètres (SOFRECO, 2010) :

- En fonction du dynamisme sociodémographique de l'agglomération évalué sur la période 1987-2008.

- Les agglomérations dont les taux de croissances démographiques calculés entre 1987 et 2008 sont inférieures à 2% auront une croissance régulière jusqu'à l'horizon 2020 puis se stabiliseront sur la période 2020 - 2025 et s'atténueront jusqu'à l'horizon 2030.

- Les agglomérations dont les taux de croissances démographiques calculés entre 1987 et 2008 sont supérieures à 2% verront leurs taux de croissances démographiques s'atténuer graduellement jusqu'à l'horizon 2030.

  - Pour chaque horizon (2010, 2015, 2020, 2025, 2030) de la période d'actualisation du PNE).

  - Sur la période 2008 – 2010, les taux prévisionnels appliqués s'inscrivent dans la continuité des taux calculés sur la période 1987 – 2008, pour chaque agglomération. Seul pour les agglomérations dont les taux de croissances démographiques calculés entre 1987 et 2008 sont supérieurs à 3 %, il est procédé à un ajustement-réduction du taux appliqué qui sera limité entre 2 et 3 % sur la période 2008 – 2010 en fonction de la taille de l'agglomération.

  - Pour chaque horizon de projection, l'évolution des taux est fonction de la strate de population de l'agglomération mais également lié, en fonction de la période.

  Le tableau15, représente le taux de croissance démographiques pour chaque commune à différents horizons, au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf. Il résulte du croisement de tous les paramètres cités en haut.

- Dotation unitaire domestique

D'après L'office mondial de santé la quantité minimale pour une bonne hygiène de vie est fixée à 250 l/j/hab (OMS, 2016), D'après l'annuaire statistique des wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela. La dotation nette moyenne domestique et autres usages, pour le bassin versant de Gareat El Traf est égale à 106 l/hab/jour (Tabl.16).

Pour ce qui de l'évolution de cette dotation, l'atelier de travail du ministère des ressources en eau du 26 avril 2009 envisage un accroissement modéré mais régulier.

*La dotation nette "domestique et autres usages" correspond à la dotation moyenne journalière destinée à la consommation domestique et aux autres usages (calculée à partir des volumes facturés pour l'ensemble des catégories domestiques, administration, commerce, petite industrie / tourisme, selon la nomenclature de la facturation) et ramenées à l'habitant au robinet.

Tableau 15.Evolution du taux de croissance démographique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf

Agglomération	2008-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030
Khenchela	2.5	2.5	2	1.8	1.5
Kais	2.5	2.5	2.2	2	1.8
Remila	1.5	2	2.8	2.5	2.2
Tamza	2	2.5	2.8	2.5	2.2
El Hamma	2.5	3	2.8	2.5	2.1
Ensigha	2.5	3	2.8	2.5	2.2
Baghai	2	2.5	2.8	2.5	2.2
M'toussa	2	2.5	2.8	2.5	2.2
Ain Touila	2	2.5	2.8	2.5	2.1
O.E.Bouaghi	3	2.5	2	1.8	1.6
Oued Nini	2	2.5	2.8	2.5	2.2
El Djazia	2.5	3	3	2.5	2
F'kirina	2	2.5	2.8	2.5	2.1
Zorg	3.5	3.5	3	2.5	2
Ain Beida	2.5	2.5	2	1.8	1.5
Berriche	2	2.5	2.8	2.5	2.1
Ain Zitoun	1.5	2	2.8	2.5	2.2

(Source : SOFRECO, 2010)

Tableau 16. Dotation unitaire domestique au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf pour l'année 2010

COMMUNE	CATEGORIE	DOTATION (l/j)	(m^3/an)
Khenchela	Urbaine	118	43.07
Kais	Semi urbaine	113	41.24
Remila	Semi rurale	98	35.77
Tamza	Semi rurale	98	35.77
El Hamma	Semi urbaine	113	41.24
Ensigha	Semi rurale	98	35.77
Baghai	Semi rurale	98	35.77
M'toussa	Semi rurale	98	35.77
Ain Touila	Semi urbaine	113	41.24
O.E.Bouaghi	Urbaine	118	43.07
Oued Nini	Semi rurale	98	35.77
El Djazia	Semi rurale	98	35.77
F'kirina	Semi urbaine	113	41.24
Zorg	Semi rurale	98	35.77
Ain Beida	Urbaine	118	43.07
Berriche	Semi urbaine	113	41.24
Ain Zitoun	Semi rurale	98	35.77
Moyenne		106	38.66

- Rendement du réseau de distribution d'eau potable

L'efficience de l'eau potable correspond à la part de l'eau produite et distribuée et qui est payée par l'usager. L'indicateur mesure à la fois l'efficience physique des réseaux de distribution d'eau potable (taux de pertes ou rendement) et l'efficience économique, c'est- à-dire l'aptitude des gestionnaires de réseaux à recouvrir les coûts auprès de l'usager. (Thivet et *al*., 2007).

L'étude de tarification de l'eau à usage domestique et industriel, réalisée par le groupement SOGREAH/ICEA en 2002, a établi, une valeur moyenne du rendement de distribution de l'eau potable de 50 %. La même valeur est proposée dans le Plan National de l'eau de 2006,

tandis que dans l'actualisation du plan national de l'eau en 2010 le rendement moyen utilisé est de 55 %.

- Réseau d'assainissement

D'après RGPH 2008, au niveau national la valeur moyenne du taux de raccordement au réseau d'assainissement est estimée à 87%.
La production des eaux usées dépend de la consommation d'eau potable, du taux de retour à l'égout, ainsi que du taux de branchement au réseau d'égout.

$$Qm_{,EU} = T\,res \times T\,rac \times Qm_{AEP}$$

Avec :
$Qm_{,AEP}$: Consommation moyenne d'eau potable ;
T res **:** Le taux de retour à l'égout, par convention, est égal à 0.8 ;
T rac **:** taux de branchement au réseau d'égout.

A. Demande en eau d'irrigation

L'estimation de la demande en eau agricole et son évolution à l'échelle d'un territoire intéressent différents acteurs principalement les gestionnaires et les agriculteurs(Fig.60).

- Superficie irriguée

La superficie agricole totale au niveau du bassin est de 276 192 ha dont 14627 ha irrigués sous forme de Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) gérées directement par les agriculteurs, la part des Grands Périmètres Irrigués (GPI) au niveau du bassin est nulle. L'eau utilisée pour l'irrigation est à plus 85% d'origine souterraine (Annexe 2).
La PMH individuelle représente une large majorité de la PMH, avec 80 % des surfaces physiques irriguées tandis que l'irrigation collective, ne représente que 20 % des irrigations en PMH. La demande normative en eau d'irrigation déponde du besoin normatif et de l'efficience du système d'irrigation.

- Efficience des systèmes d'irrigation

Il est indispensable de connaitre avec beaucoup d'exactitudes, l'importance des pertes et gaspillages d'eau enregistrés dans les districts d'irrigation.

Par définition l'efficience est le rapport des volumes d'eu effectivement utilisé par les plantes aux volumes d'eau délivrés en tête de réseau, la notion d'efficience d'un réseau d'irrigation exprime la qualité de la gestion de ressources hydrique. Des pertes en eau peuvent en effet se produire tant au niveau de la distribution à la parcelle que dans le réseau d'amenée (Soutter et al., 2007).

Chaque technique d'irrigation peut être caractérisé par un jeu de coefficients d'efficience (ou de pertes) depuis la mobilisation, en passant par l'adduction, le stockage éventuel, la distribution et le mode d'arrosage à la parcelle. En terme d'alimentation d'un aménagement agricole, certains systèmes d'irrigation sont réputés plus efficients que d'autres. C'est la cas de l'aspersion et du goutte à goutte qui sont plus efficients que l'irrigation gravitaire.

D'une manière générale l'on considère efficience moyenne théorique estimée entre 40% et 60%, pour l'irrigation gravitaire, entre 70% et 80% pour l'aspersion, entre 80 et 90% pour l'irrigation localisée (Thivet et al., 2007).

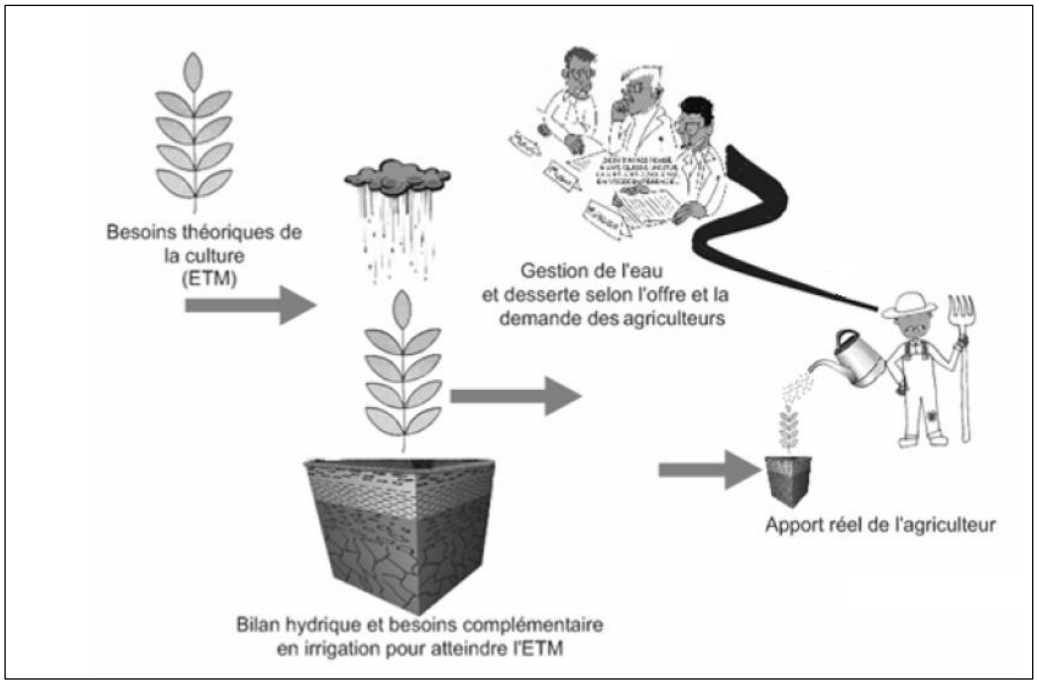


Figure 59. Anticipation de la demande en eau selon les besoins des cultures et les acteurs (Imache , 2008)

- Besoins et demande en eau Théoriques d'irrigation

L'évaluation des besoins en eau théoriques a été faite sur la base de la méthode classique préconisée par la FAO (Fig.61).Par définition, le besoin en eau d'une culture est équivalent à l'ETM, calculée de la façon suivante :

$$ETM = ETP. Kc$$

Avec :

- ETP : l'évapotranspiration potentielle ;
- Kc : coefficient cultural : Le coefficient Kc varie de 0 à 1,2 selon le stade de la culture.

Une série de valeurs Kc permet l'évaluation des besoins hydriques des céréales en fonction des différents stades évolutifs.

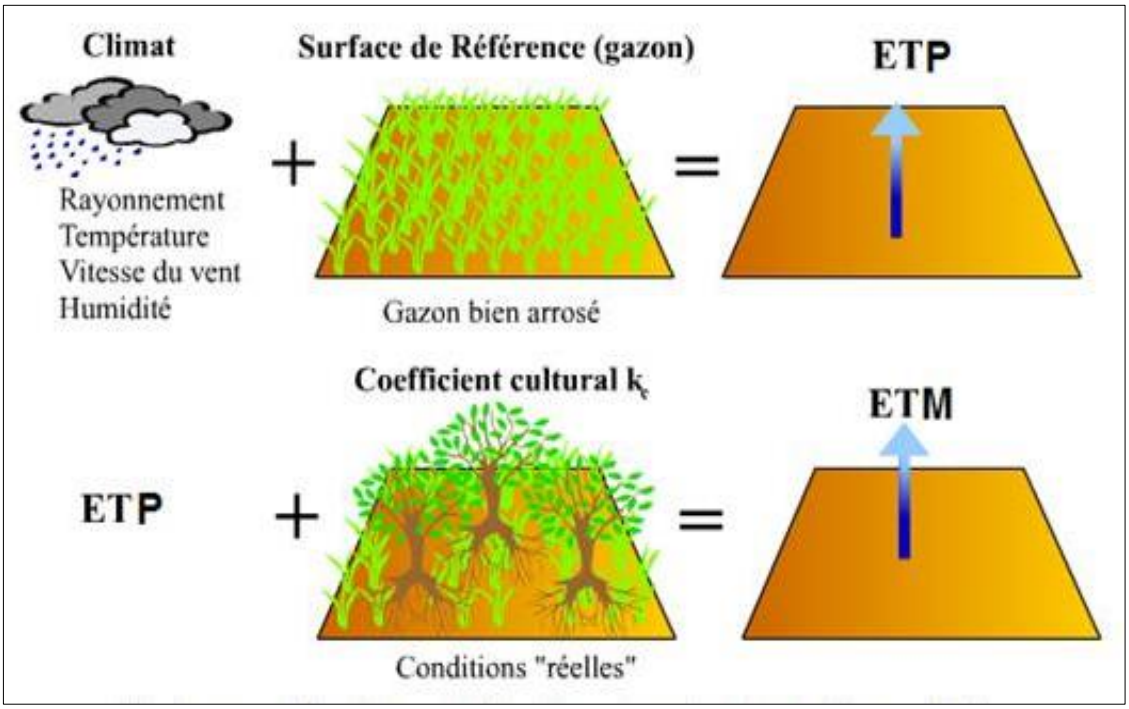


Figure 60.Besoin en eau des cultures (ETM) et évapotranspiration de référence (ETP) (ALLEN, 1998)

Par définition, le coefficient cultural (kc) est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ETc) et l'évapotranspiration potentielle (ET0), il intègre les effets des 4 caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont : la

hauteur de la culture, la résistance de surface sol - végétation, l'albédo, (Fig.61) l'évaporation de sol (Allen et al, 1998).

A titre d'exemple Les valeurs de Kc pour chacun des stades phonologiques du blé dur et orge en rapport avec la dénomination des stades (SYS et al., 1993 in Zouaoui, 2008) au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, sont les suivantes :

- Kc = 0,3 (stade initial = couverture végétale <10%)
- Kc = 0,7 (stade de développement = couverture végétale de 70% à 80%)
- Kc = 1,05 (stade mi-saison)
- Kc = 0,65 (phase de saison ou de maturité)

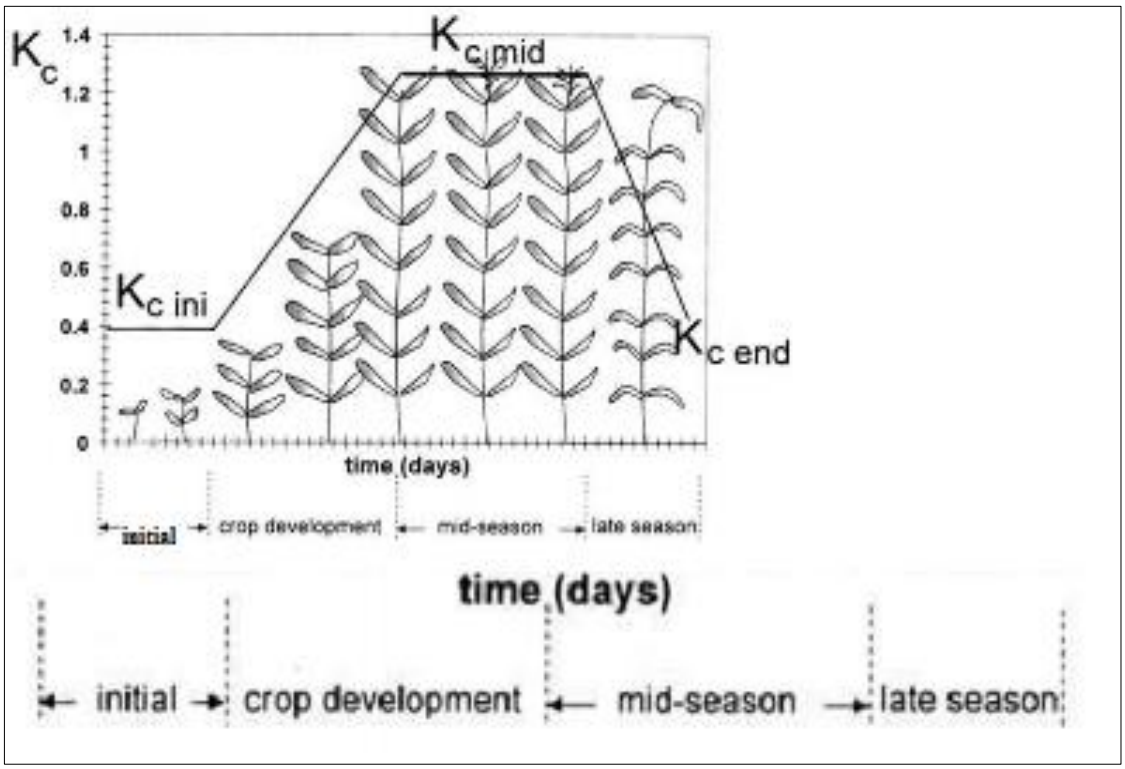


Figure 61. Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Doorenbos et Pruitt, 1977)

La fixation des besoins normatifs pratiques d'irrigation de la PMH pour l'année 2010, au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, a été faite à partir des calculs de l'inventaire PMH-SOGREAH 2010, qui a calculé les besoins théoriques des assolements moyens à partir de la méthode classique FAO Penman révisée.

La demande normative des PMH au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf dépond du besoin normatif et de l'efficience du système d'irrigation à l'amont de la parcelle et à la parcelle. Elle est fixée à 5100 m3/ha.

B. Demande en eau industrielle

La demande en eau industrielle, dépend d'une part de la capacité de production ou d'absorption et d'autre part du prix de l'eau ou de l'effort à fournir. Nous disposons des données de certaines industries situées dans le bassin, mais il n'y a pas d'unités industrielles importantes, la demande totale en eau a été trouvée autour de 851 700 hm^3. L'origine de l'eau et soit les forages privés soit le réseau public (Tabl.17).
Selon les caractéristiques propres à chaque branche, des taux de croissance variant entre 0.5 % et 3% par période quinquennale.

Tableau 17.Besoin en eau des principales unités industrielle au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf

WILAYA	COMMUNE	CARACTERISTIQUES		BESOINS EN EAU (M^3/AN)	ORIGINE DE L'EAU	TAUX DE CROISSANCE ANNUEL (%) (SNAT)
		Non	Nature/type			
KHENCHELA	Khenchela	DRAPEST	Tissage, finissage, laine et mélange	60 000	Réseau public	0.5
	Khenchela	PANOB	Fabrication de panneaux de bois	60 000	Réseau public	0.5
	Tamza	ENOF-SOMIBAR	Production du ciment baryté	691 200	Forage privé	1
	Ain Touila	DOMELEC	Appareillage électriques	4 000	Réseau public	0.5
OUM EL BOUAGHI	O.E. Bouaghi	Laiterie Kahina	Lait et dérivés	36 500	Forage privé	0.6

CHAPITRE 7 : MODELISATION DES INONDATIONS PAR RUISSELLMENT SUR iRIP@

7.1. INTRODUCTION

En Algérie, le terme inondation est souvent associé à un débordement de cours d'eau (Mokhtari 2016 ; Skhakhfa 2016), une inondation marine ou une rupture de barrage (Bouchehed 2017). Les inondations provoquées par un ruissellement intense sont rarement prises en compte et souffrent aujourd'hui d'un manque de connaissance et de maîtrise du phénomène. Dans le cadre de cette étude, il est étudié les inondations par ruissellement en dehors du réseau hydrographique. Ce choix s'explique par le fait que la zone d'étude qui est le bassin versant de Gareat El Tarf, présente des caractéristiques topographiques, pédologiques et d'occupation du sol qui favorisent le ruissellement diffus. S'ajoute à cela que les principales agglomérations du bassin versant (Khenchela, Oum El Bouaghi, Ain El Beida) se situent aux pieds des montagnes qui limitent le bassin versant, ce qui les expose au risque d'inondation par ruissellement. Une meilleure gestion d'un risque naturel passe par la bonne connaissance de celui-ci et l'identification des lieux où les actions de prévention seraient les plus efficaces. Pour cerner au mieux ce phénomène et ses conséquences nous allons procédés à :

- la cartographie de l'aléa et du risque d'inondation par ruissellement au niveau du bassin versant du Gareat El Tarf à l'aide du logiciel iRIP@ issu de la méthode « Indicateur du Ruissellement Intense Pluvial Irip ».
- mettre un focus sur la ville de Khenchela en matière de la gestion du risque d'inondation par ruissellement.

7.2. QUELQUES DEFINITIONS

7.2.1. Inondation

D'après la Directive cadre du parlement européen (DCE Parlement Européen 2007), une inondation est une ≪ submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts ≫.

Il existe plusieurs mécanismes d'inondation : Les inondations par débordement de cours d'eau, les inondations par intrusion marine, les inondations par ruissellement d'eaux

pluviales ou encore les inondations par rupture d'ouvrages de retenue d'eau. Ces différents mécanismes peuvent cohabiter lors d'une inondation et il est difficile d'identifier les mécanismes en jeux lors d'une inondation.

7.2.2Ruissellement

Pour les hydrologues, il s'agit de « La partie de la précipitation qui coule vers une rivière sur la surface du sol (ruissellement de surface) ou dans le sol (écoulement hypodermique ou hypodermique) » (WMO, 1992).

Le ruissellement se définit dans le cadre de la méthode Irip comme « une circulation d'eau à la surface du sol, qui prend un aspect diffus sur des terrains ayant une topographie homogène et qui se concentre lorsqu'elle rencontre des dépressions topographiques » (Jaillet et al., 2012).

Les inondations par ruissellement intense ont reçu peu d'attention de la part des hydrologues parce que les processus connexes sont les pertes de sol, les coulées de boue, les glissements de terrain, l'érosion et les dépôts de matériaux terrestres ou d'infrastructures humaines. Ces conséquences concernent principalement les services de géotechnique et de gestion des terres cultivées lorsqu'ils sont récurrents et intégrés dans une stratégie de gestion des risques. Cependant de très fortes précipitations peuvent augmenter les effets locaux habituels et causer des dommages à la population humaine comme cela s'est produit en Colombie (Mokoa, avril 2017) avec plus de 300 morts ou en janvier 2018 en Californie (ville de Montecito) avec 13 morts. Dans ces cas, la question n'est plus de savoir où les effets locaux peuvent se produire mais où ils se propageraient probablement en aval en cas de fortes pluies exceptionnelles. Dans la plupart des cas, il est noté que les conséquences catastrophiques sont liées aux quantités de pluie qui dépassent 100 mm en quelques heures.

7.3. LA METHODE IRIP

La méthode Irip (Indicateur du Ruissellement Intense Pluvial) a été développée par IRSTEA (Dehotin et al. 2011ab ; Bonnet 2012 ; 2015a,b ; Lagadec et al. 2016a,b) C'est une méthode géomatique qui a pour but la cartographie de l'aptitude au ruissellement, elle repose sur l'analyse spatiale de facteurs favorisant ou non le ruissellement.

Suite à un partenariat, le logiciel iRIP@ (Fig.63) (Fig. 64) est une logiciel SIG (système d'information géographique) qui a été conçu en 2012 par la SNCF (Société nationale des chemins de fer français).

Dans ce contexte, le ruissellement est défini comme « une circulation d'eau à la surface du sol, qui prend un aspect diffus sur des terrains ayant une topographie homogène et qui se concentre lorsqu'elle rencontre des dépressions topographiques (Jaillet et al.2012)

La méthode Irip est basée sur une analyse de la dynamique des écoulements à partir de différentes couches d'informations géographiques. Elle est qualitative, indépendamment des événements météorologiques et permet de détecter et de cartographier le potentiel d'un territoire à générer les différentes dynamiques hydrauliques du ruissellement (Fig. 65).

- Des zones de production (zones contributives) où les conditions au sol permettent la formation d'une lame d'eau en surface ;
- Des axes de transfert naturels ou artificiels qui favorisent l'écoulement du ruissellement vers l'aval ;
- Des zones d'accumulation des eaux de ruissellement, soit derrière un obstacle, soit par ralentissement quand la pente est moins forte ou encore par stockage dans une dépression (Dehotin et al. 2015a).

La méthode Irip propose un diagnostic de l'aléa ruissellement intense pluvial, à base géomatique, à partir de l'identification de zones de production, d'accumulation et de transfert naturels ou artificiels. Cette méthode a été développée pour un diagnostic multi-échelle. Elle peut donc être utilisée pour des études locales ou régionales en fonction des données d'entrées utilisées (Dehotin et al 2015a).

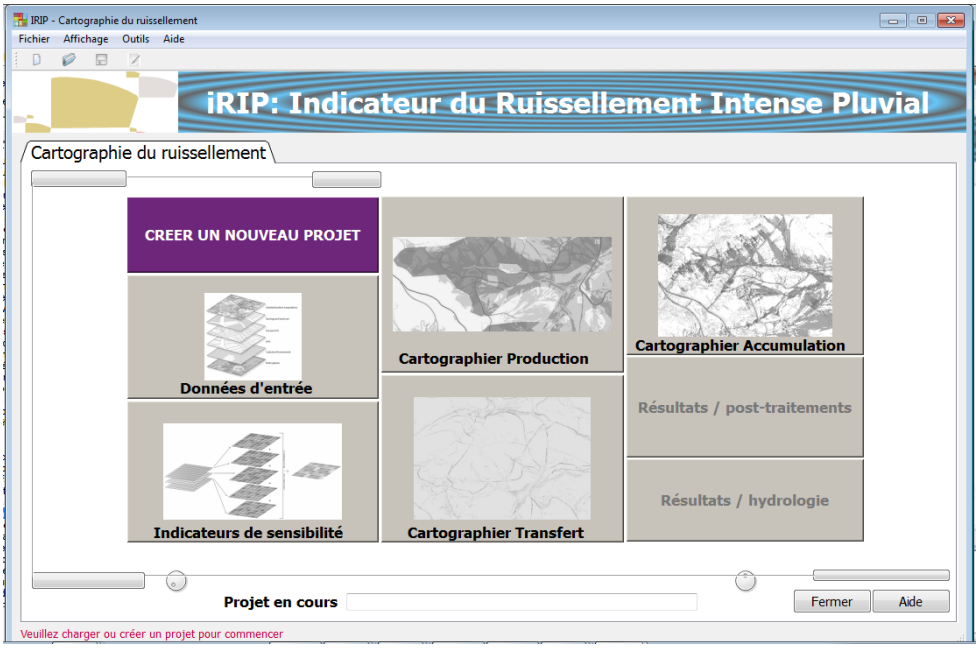


Figure 62. Fenêtre d'accueil du logiciel iRIP@ (capture d'écran).

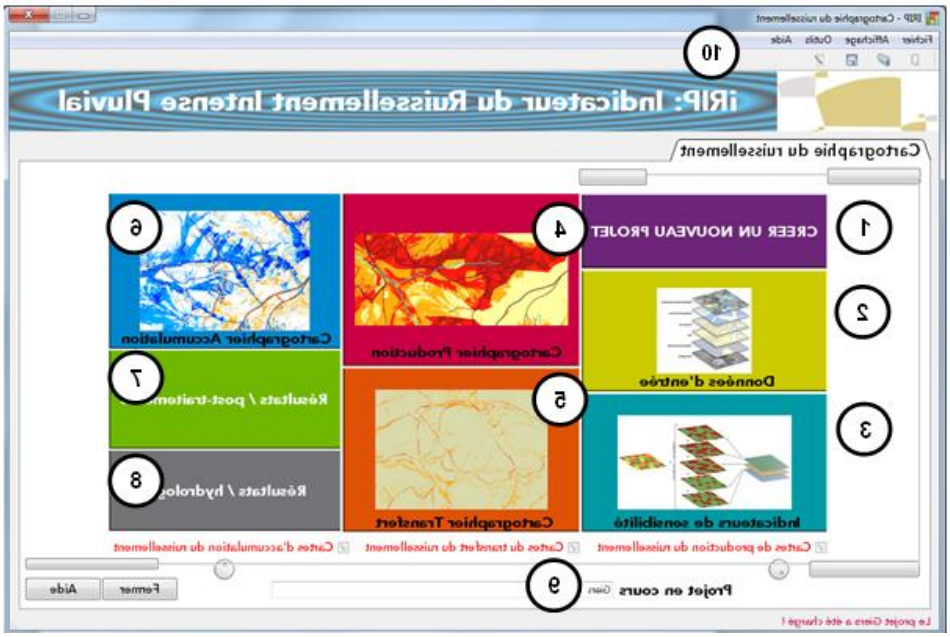


Figure 63. Le logiciel iRIP@ avec tous les modules activés. Les numéros montrent les différentes zones de l'interface (capture d'écran).

Chaque dynamique hydraulique est caractérisée par 5 facteurs. Ceux-ci sont traités selon un principe de scores binaires (favorable : 1 / défavorable : 0) qui cumulés, produisent une carte avec 6 niveaux (de 0 à 5) de potentiel à générer chacun des 3 processus.

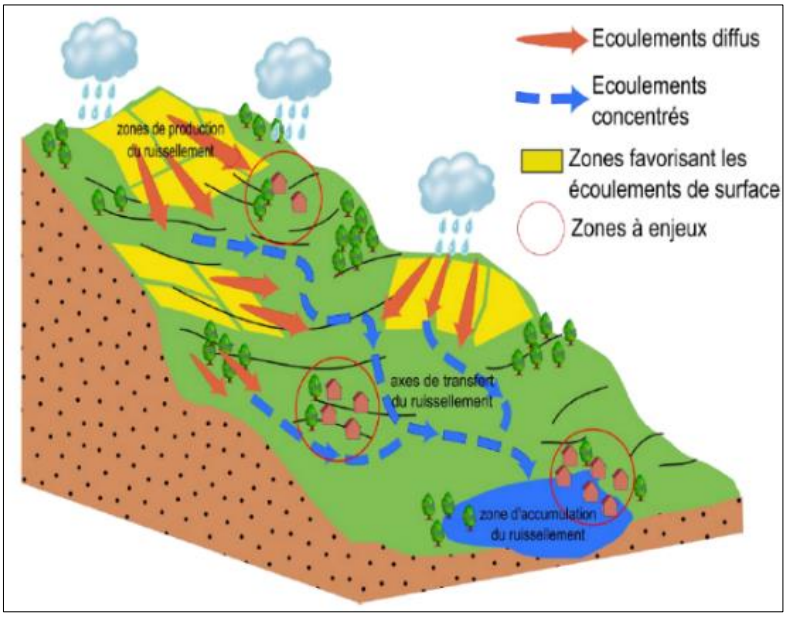


Figure 64. Illustration des zones de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement à l'échelle d'un bassin versant (Bonnet et al.2013).

7.4. LES DONNEES D'ENTREES SUR iRIP@

Afin de délimiter notre bassin versant nous avant effectués le traçage du bassin versant sur ARCGIS 10.1 à partir modèle numérique de terrain (MNT) fournit par le « United States Geological Survey » issu de la mission Shuttle Radar Topography (SRTM) (United states geological survey 2016) (Fig.66 a). En plus de ce contour, les données d'entrée requises pour l'obtention des cartes iRIP@ sont les trois couches d'information suivantes :

- La topographie à partir du MNT d'une résolution de maille carrée de 30 m de côté, Nous avons utilisés cette carte à défaut de modèle plus précis car les MNT réalisés par l'office national de cartographie ne sont pas commercialisés ni fournis gratuitement aux laboratoires de recherches. Des données plus précises donnent forcément des résultats meilleurs.

La variable topographique agit, en fonction de ses caractéristiques locales aussi bien sur la production que sur le transfert ou l'accumulation du ruissellement. Au facteur de pente, il est aussi important d'ajouter la forme des aires drainées (indice de compacité de Gravelius). L'indice de compacité va jouer sur la rapidité de réponse des versants. Plus la forme du

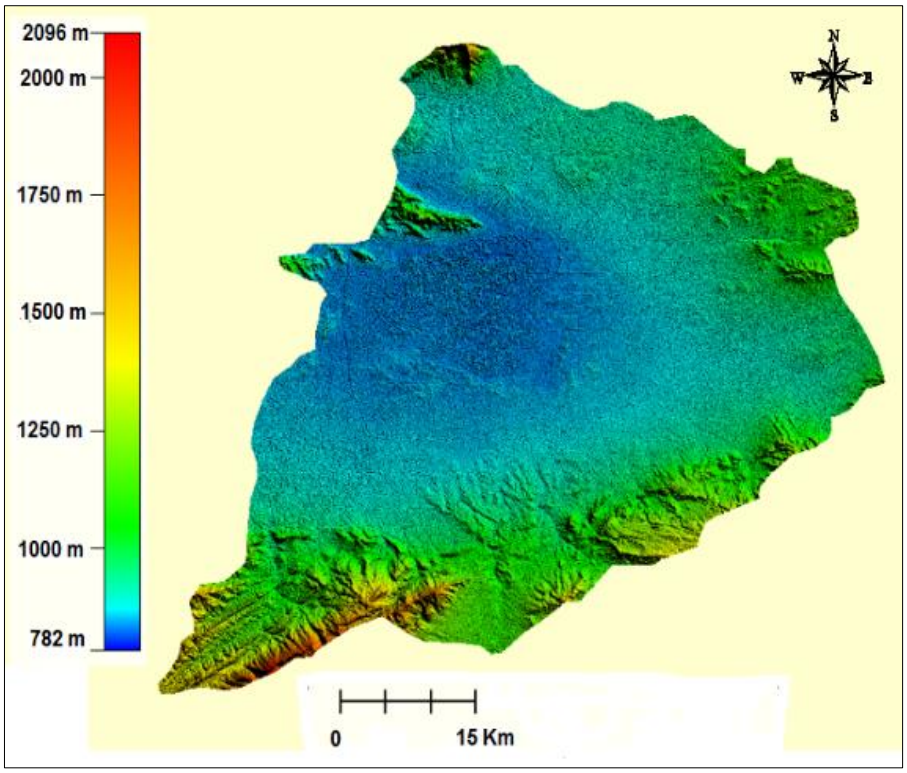
versant est ramassé plus le ruissellement va se concentrer rapidement, en opposition aux formes allongées (Bendjoudi et al. 2002).

- L'occupation des sols (Fig.66 b) : l'intégration d'une carte d'occupation des sols est prise en compte par la méthode Irip. La carte utilisée est la version vectorielle de la carte de l'occupation du sol de l'Algérie réalisée par l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2016). Chaque code correspond à une occupation du sol (Tabl.18).

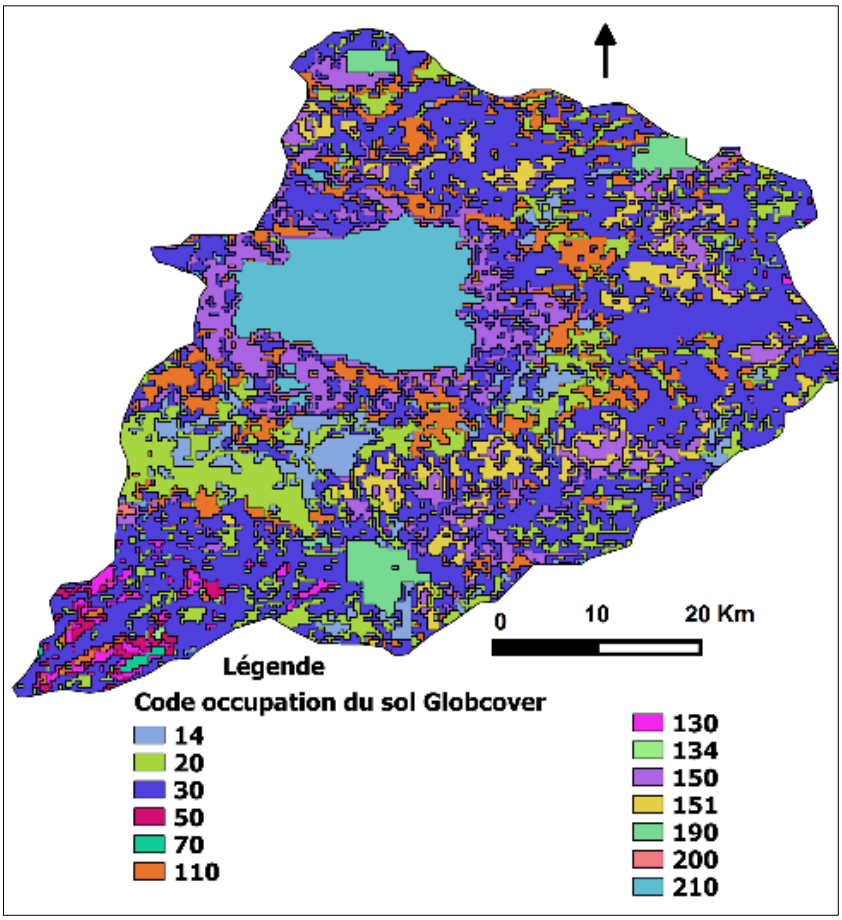
En plus de cette carte nous avons créé un fichier texte (.txt), qui permet au logiciel de bien différencier les zones urbaines des autres types d'occupation des sols et de définir pour chaque code existant sa potentialité à favoriser ou non le ruissellement .Nous attribuons 1 pour une occupation des sols favorisant le ruissellement et 0 si elle ne le favorise pas le ruissellement.

- La pédologie : Une grande partie des sols par lesquelles se délimite le bassin versant des hauts plateaux constantinois a fait l'objet d'une étude pédologique par Zouaoui (2008), L'étude porte sur l'analyse de l'aptitude culturale des sols du bassin des hauts plateaux constantinois. Pour cette raison seuls les sols agricoles ont été étudiés (Fig.66 c).

a)


2096 m
2000 m
1750 m
1500 m
1250 m
1000 m
782 m
N
W
E
S
0
15 Km

b)


0
10
20 Km
Légende
Code occupation du sol Globcover
14
20
30
50
70
110
130
134
150
151
190
200
210

c)

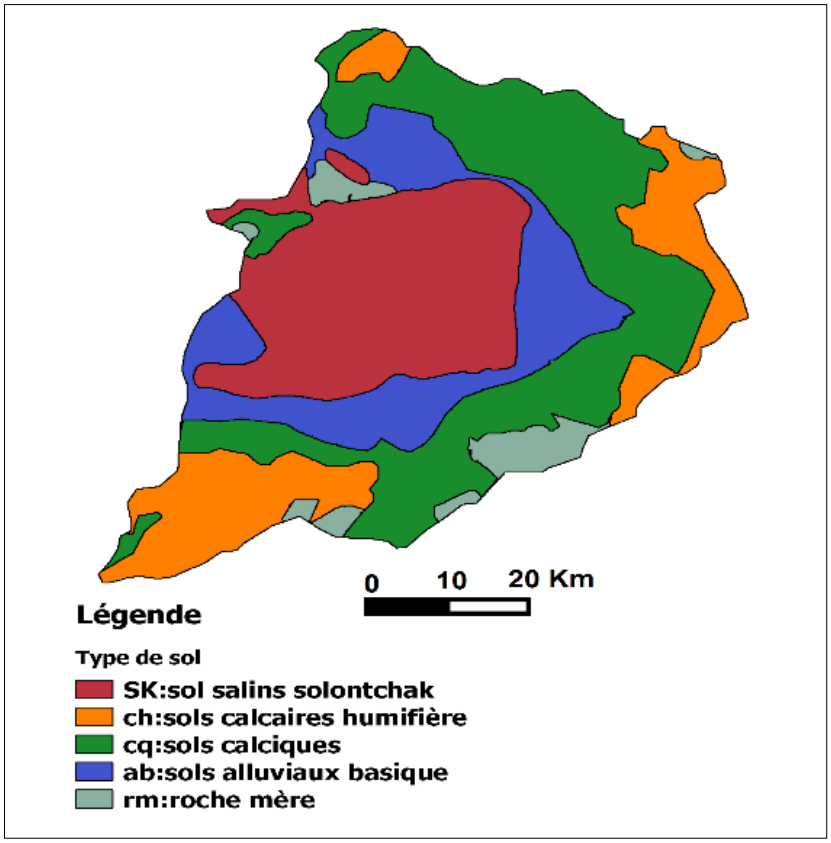


Figure 65. Cartes d'entrer sur iRIP@ pour le bassin versant de Gareat El Tarf, a) MNT(NASA), b) occupation du sol (FAO, 2016), c) pédologie.

Les sols ont été classées selon les méthodes françaises ; C.P.C.S. (1967) .Le bassin est dominé par des sols calcimagnésiques réparties sur une large bonde bordant le bassin versant, les sols hydromorphes se localisent au centre du bassin entourés des sols halomorphes, ils sont réparties comme suit :

a) Sols Halomorphes

Ces sols dominent au centre de la zone d'étude se sont des sols profonds (> 100 cm). La texture est argileuse alors que leur structure est moyennement dégradée à dégradée. Le phénomène de salinisation est très important le long et en surface des terres, caractérisé par des cristaux salins en profondeur (au-delà de 50cm) et des efflorescences salines sur l'étendue quasi-générale des unités de sols.

Tableau 18.Légendes des codes d'occupation des sols et des facteurs iRIP@ pour chaque type d'occupation du sol au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

Code Globcover	Définition	Facteur iRIP@	
		Aptitude au ruissellement	Zone urbaine
14	Terres pluviales	1	0
20	Mosaïque terres cultivées (50-70%) / végétation (prairies / arbustes / forêt) (20-50%)	1	0
30	mosaïque de végétation (prairie / arbustes / forêt) (50-70%) / terres cultivées (20-50%)	1	0
50	Fermé (> 40%) une large forêt de feuillus à feuilles (> 5m)	0	0
70	Fermé (> 40%) aiguille à feuilles persistantes forêt (> 5m)	0	0
110	mosaïque de forêts et maquis (50-70%) / prairies (20-50%)	1	0
130	Fermée à ouvert (> 15%) (à feuillage persistant ou feuillu, à feuillage persistant ou à feuilles caduques) <5 m)	0	0
134	Fermée à ouvert (> 15%) broussaille à feuilles caduques (<5m)	0	0
150	Faible végétation (<15%)	0	0
151	Faible (<15%) prairie	0	0
190	Surfaces artificielles et surfaces associées (Zones urbaines> 50%)	1	1
200	Zones nues	1	0
210	Les plans d'eau	1	0

b) Sols Hydromorphes

Ces unités sont situées dans des dépressions inondées par des eaux salées.

c) Sols Calcimagnésiques

Ces sols sont caractéristiques des zones semi-arides et s'étendent sur une importante superficie estimée à environ 51,3 %. Leur matériau parental calcaire est caractérisé par une croûte compacte ou par des encroûtements d'épaisseur variable (10-30cm) ou des nodules calcaires. Ces dépôts calcaires sont rencontrés dans différents endroits et à de différentes profondeurs, particulièrement au Nord-Est (Nord de Khenchela, Ain Beida, Oum et Bouaghi. Ils sont très profonds dans les dépressions (> 100 cm). Les horizons sont carbonatés à calcique La structure est grumeleuse, grenue au polyédrique alors que la

texture est limono-argileuse.

d) Sols complexes et juxtaposés

Ce sont des sols ou dominent les sols halomorphes / hydromorphes / calcimagnésiques et les sols vertiques / calcimagnesiques.

Pour réaliser la carte sol du bassin objet de l'étude en format Shape file (Fig.66 c) nous avons croisé :

- La carte utilisée pour tracer les limites des unités du sol est la carte sol de Tébessa réalisée par le service géographique de l'armé en 1924 et mise à jour en 1948 (Annexe 4). Elle est réalisée d'après la classification de M.J.H. DURAND.
- La carte pédologique et les profils pédologiques et culturaux (Tabl.19), effectués par Zouaoui (2008) sont utilisés pour la description des unités du sol, dont l'épaisseur (cm), la matière organique %, cailloux et la porosité de la partie supérieure du sol.

Vu que les deux cartes utilises des classifications différentes nous procédant à la conversion des appellations des unités du sol entre la classification de Durand et la classification Française C.P.C.S. (1967) se fait comme suit :

- sols salins solontchak (sols de sebkha) : correspond aux sols halomorphes et hydromorphes.
- Sols calcaires humifère sols calciques et les sols alluviaux basiques : correspondent aux sols calcimagnésiens.

Pour le fonctionnement d'iRIP@ il faut définir avec pour chaque code existant sa potentialité à favoriser ou non le ruissellement avec 1 pour favorable et 0 pour défavorable, en fonction de :

- La perméabilité : un sol imperméable favorise le ruissellement et inversement
- L'épaisseur du sol : un sol épais favorise l'infiltration et donc diminue la lame d'eau ruisselante en surface. Vu le manque de cette donnée, nous avons remplacé cette donnée par la moyenne de la profondeur de la nappe d'eau souterraine entre la période de basses eaux et hautes eaux réalisées dans les chapitre précédents.

Tableau 19. Caractéristiques des profils pédologiques effectués au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf

Profil	Unité du sol	Matière organique (%)	Cailloux (%)	Erosion	Localisation	Epaisseur (cm)	Porosité
PD	Halomorphes	1.4	Absence	Nulle	Centre de la plaine de Remila	100	Bonne
15	Calcimagnésiques	Non renseigné	Absence	Nulle	Nord de Khenchela	80	Bonne
19	Calcimagnésiques	Non renseigné	Absence	Nulle	Sud-Ouest de Ras Fkirina	80	Faible à moyenne
20	Juxtaposés et complexes	Non renseigné	Absence	Nulle	Nord-Ouest de Fkirina	120	Bonne
16	Calcimagnésiques	Non renseigné	Absence	Nulle	Plaine de marir	80	Bonne

(Source : Zouaoui 2008)

- L'érodibilité K, est un indice sol, c'est un facteur sans dimension, mesure la plus au moins grande résistance relative d'un sol à l'érosion (Wischmeier et al.1971). Un sol très érodible favorise la production des coulées de boues et du ruissellement. Les extractions des informations sur l'érodibilité, et la perméabilité des sols résultent d'assimilation faite avec la légende réalisée lors de la création de la méthode Irip et à partir d'une synthèse bibliographique des sols Algériens.La gamme des différents sols en fonction de la classification française de l'étude des sols est la suivante :

- $K \leq 0.05$ sol très peu érodible ;
- $0.05 < K \leq 0.1$ sol faiblement érodible ;
- $0.1 < K \leq 0.2$ sol moyennement érodible ;
- $0.2 < K \leq 0.4$ sol moyennement érodible ;
- $0.4 < K \leq 0.6$ sol très fortement érodible.

Sur la base de la relation entre érodibilité des sols et leurs caractéristiques selon la classification française (Dumas 1965) .Nous classons les sols comme suit : Sols calcaires humifère, les sols calciques et les sols alluviaux basiques de moyenne à forte érodibilité (Tabl.20).

Pour les sols salins sonontchak (Sebkha) : Les travaux montrent en général que la concentration saline contribue à améliorer la structure par floculation des argiles, alors que le sodium échangeable contribue à sa dégradation par dispersion des argiles (Ben-Hur et al., 1985; Sumner, 1993; Oster et al.2001) cité par Douaoui (2006). Donc on classe les sols salins comme étant des sols moyennement érodible.

Tableau 20.Classification des sols du bassin de Gareat El Tarf selon leurs érodibilité

Type de sol	Classe d'érodibilité
Sols salins solontchak	Moyenne
Sols calcaires humifère	très forte
Sols calciques	très forte
Sols alluviaux basiques	Moyenne

(Source : Dumas 1965, Douaoui .2006)

Pour chaque type de sol il est affecté soit un 1 si la perméabilité, l'érodibilité ou bien la profondeur de la nappe d'eau souterraine, est favorable au ruissellement ou bien 0 si au contraire il est défavorable (Tabl.21).

Tableau 21.Récapitulatif des facteurs @ pour chaque UCS sur le bassin versant de Gareat El Tarf

		Facteur iRIP@		
UCS*	**Type de sol**	**Erodibilité**	**Perméabilité**	**Profondeur de la nappe d'eau souterraine**
10	Sols salins solontchak	**1**	1	1
20	Sols calcaires humifère	**1**	1	0
30	Sols calciques	**1**	1	0
40	Sols alluviaux basiques	**1**	0	0
50	Roche mère	**0**	1	0

***UCS : Unités Cartographiques de Sols**

7.5. LES CARTES CALCULÈES PAR iRIP@

iRIP@ produit trois cartes principales qui sont : la carte de la sensibilité de production au transfert et à l'accumulation de ruissellement. La carte de production entre dans le calcul des deux autres cartes (Fig.67). Ces trois cartes résultent d'autres cartes intermédiaires qui sont les cartes des facteurs de ruissellement utilisés pour le calcul des cartes principales. Il s'agit de :

- Une seule carte des données d'occupation des sols : Une carte de prédisposition liée à l'occupation des sols avec comme hypothèse que seules les zones forestières ne favorisent pas le ruissellement (Cerdan et al. 2006 ; Gonzalez-Sosa et al., 2010 ; Dehotin et al., 2011). Et donc que les zones urbanisées et agricoles ont un score positif dans la transcription de la méthode.

- Trois cartes pour les données pédologiques **:** Une carte de prédisposition liée à l'épaisseur des sols, une carte de prédisposition liée à la perméabilité des sols et une carte de prédisposition liée à l'érodibilité des sols.
- Cinq cartes pour les données issues du MNT : Une carte de prédisposition liée à la pente, une carte de prédisposition liée à l'indice d'engorgement, une liée aux axes de transferts, une liée aux ruptures de pentes et une carte de prédisposition liée à la surface et à la forme des aires drainées.

Ces cinq cartes vont être différentes pour chaque carte d'aptitude au ruissellement. En effet, cela peut s'expliquer par le fait que la topographie va jouer un rôle différent et pourra favoriser ou non un type de ruissellement. Par exemple, une rupture de pente faible favorisera la production mais une rupture de pente forte favorisera l'accumulation du ruissellement.

La méthode Irip va intégrer les différentes données citées ci-dessus pour les transcrire en cartes d'indicateur de production, transfert et accumulation du ruissellement à travers une méthodologie de score. A chaque facteur favorable, la méthode attribuera un score de 1 (en jaune sur les cartes ci-dessous), et à l'inverse pour un facteur non favorable un facteur 0 (en rouge sur les cartes ci-dessous).

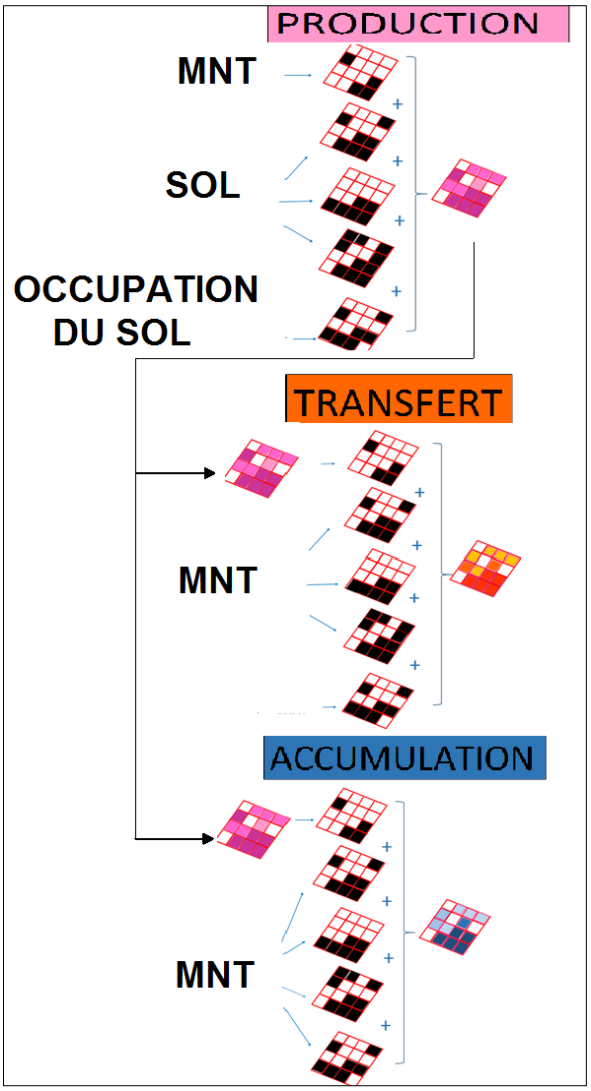
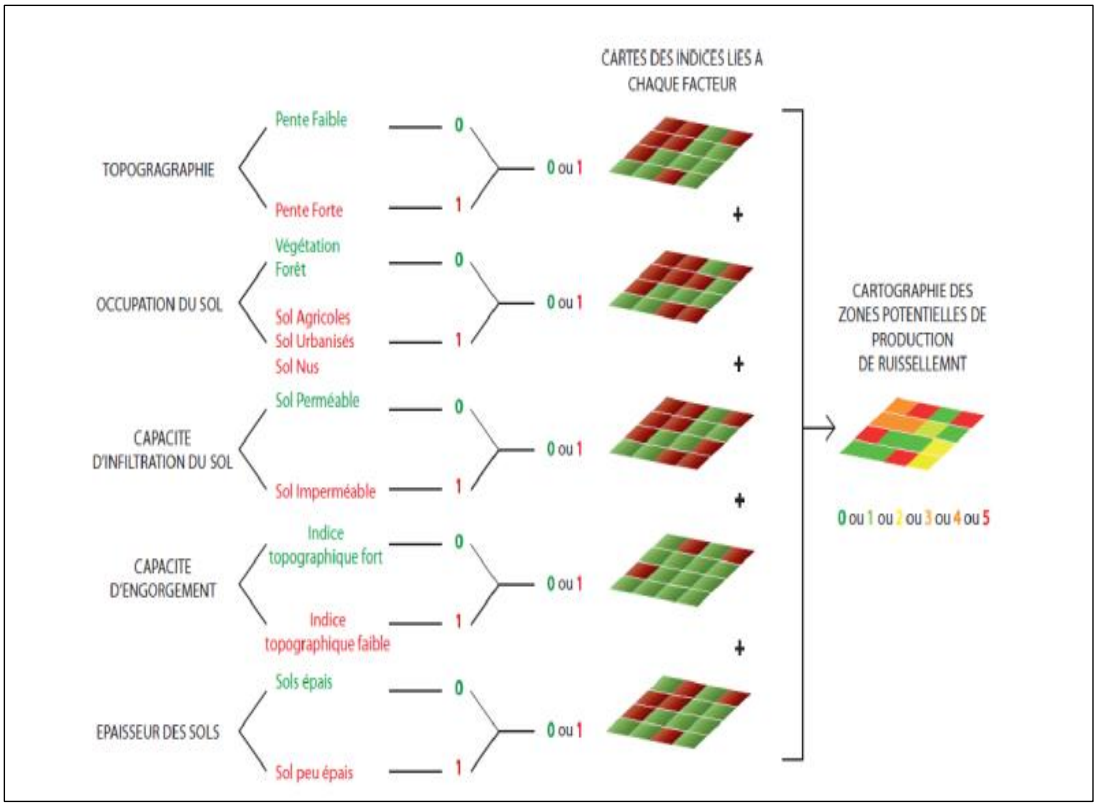


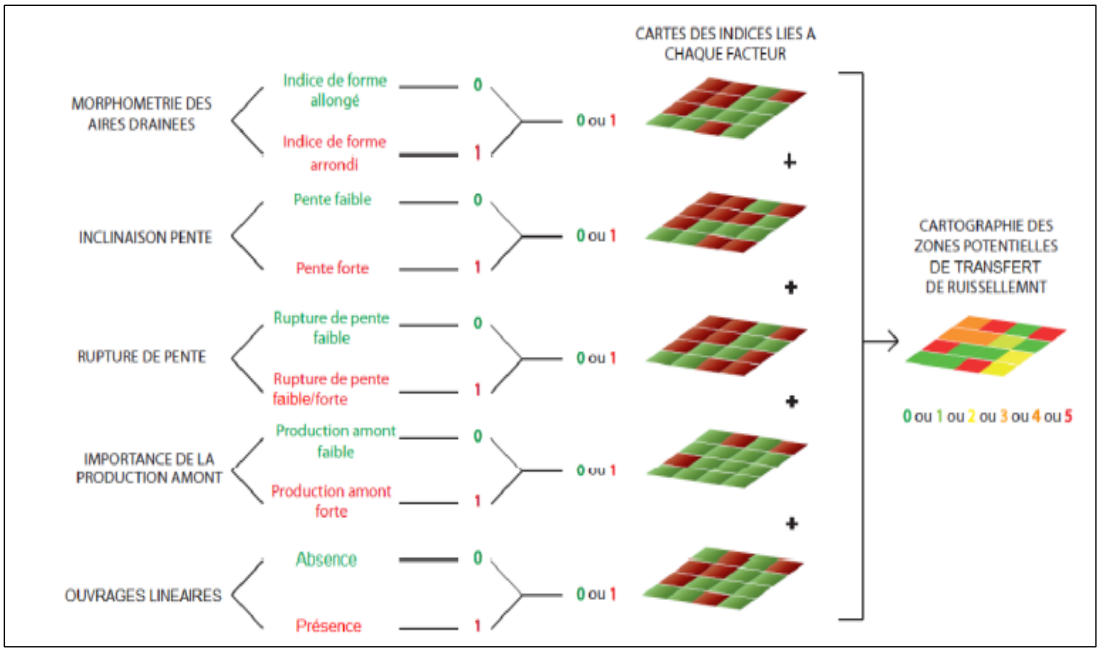
Figure 66.Schéma de la méthode Irip illustrant la combinaison des données d'entrée pour produire les cartes de la production, du transfert et de l'accumulation du ruissellement de surface (Lagadec et al. 2016a).

7.5.1. Les cartes d'aptitude au ruissellement

Les niveaux de susceptibilité à la production, au transfert et à accumulation du ruissellement vont de 0 à 5 avec 0 pour pas d'effet à 5 pour un effet maximum. En effet, chaque carte résulte de la somme des cinq cartes de facteur qui la constituent (Fig.68). Chaque carte de facteur est codée en 0 et 1 pour indiquer que le facteur est actif ou non dans une maille de la carte.


CARTES DES INDICES LIES A CHAQUE FACTEUR
TOPOGRAGRAPHIE
Pente Faible
Pente Forte
OCCUPATION DU SOL
Végétation Forêt
Sol Agricoles
Sol Urbanisés
Sol Nus
CAPACITE D'INFILTRATION DU SOL
Sol Perméable
Sol Imperméable
CAPACITE D'ENGORGEMENT
Indice topographique fort
Indice topographique faible
EPAISSEUR DES SOLS
Sols épais
Sol peu épais
0
1
0 ou 1
+
CARTOGRAPHIE DES ZONES POTENTIELLES DE PRODUCTION DE RUISSELLEMNT
0 ou 1 ou 2 ou 3 ou 4 ou 5

a)


CARTES DES INDICES LIES A CHAQUE FACTEUR
MORPHOMETRIE DES AIRES DRAINEES
Indice de forme allongé
Indice de forme arrondi
INCLINAISON PENTE
Pente faible
Pente forte
RUPTURE DE PENTE
Rupture de pente faible
Rupture de pente faible/forte
IMPORTANCE DE LA PRODUCTION AMONT
Production amont faible
Production amont forte
OUVRAGES LINEAIRES
Absence
Présence
0
1
0 ou 1
+
CARTOGRAPHIE DES ZONES POTENTIELLES DE TRANSFERT DE RUISSELLEMNT
0 ou 1 ou 2 ou 3 ou 4 ou 5

b)

c)

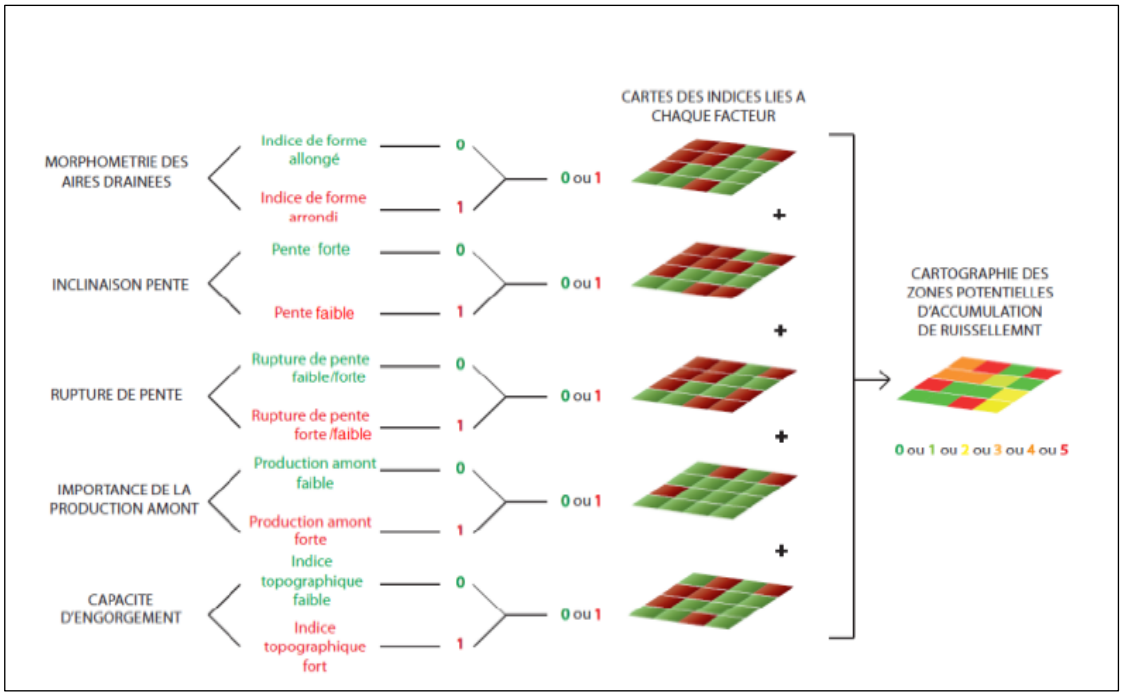


Figure 67. Schéma des facteurs et indicateurs de la méthode Irip, a) production, b) transfert, c) accumulation (Lagadec et al., 2016a).

7.5.2. Carte d'aléa et du risque d'inondation par ruissellement

Un post traitement effectué à l'aide du logiciel SIG QGIS, permet de générer la carte des aléas comme l'inondation, l'érosion des sols, les coulées boueuses et les dépôts de matériaux qui sont liés au ruissellement. Elle correspond aux niveaux de sensibilité fort et très fort (s > 3) des cartes de transfert et (ou) d'accumulation. Le risque lié aux aléas du ruissellement correspond à un lieu où un aléa fort peut impacter des enjeux qui peuvent êtres humains, économiques ou environnementaux.

Les enjeux et la vulnérabilité sont liés à la présence humaine (personnes, habitations, activités économiques, infrastructure, …) et sont difficiles à définir (Laverne 2013).

7.6. RESULTATS ET DSCUSSIONS

7.6.1. Carte de production du ruissellement

La carte de la Figure 69 représente les niveaux de sensibilité des différentes parties du bassin à produire du ruissellement. On distingue des nuances de couleurs dans les versants avec les

très fortes sensibilités sur la bordure montagneuse du bassin ainsi qu'au niveau de la dépression qui occupe le centre du bassin. Dans une optique de gestion du risque d'inondation, il est important de bien cerner ces zones car certaines actions faites à ce niveau peuvent aider à limiter l'intensité de l'aléa lié au ruissellement) :

- Augmentation l'infiltration et rétention des sols ; Si l'infiltration s'avère impossible, l'eau de pluie peut être stockée provisoirement et évacuée plus lentement par des ouvrages hydrauliques ;
- Aménager un système tampon d'eau consiste à retenir le plus possible d'eau de pluie. Les zones humides sont des zones tampon susceptibles à la fois de ralentir le ruissellement, d'augmenter l'infiltration, de recharger des nappes, d'accroître la biodiversité et les services de l'écosystème naturel, comme l'autoépuration des fertilisants et pesticides agricoles. Les zones humides peuvent aussi produire de la biomasse animale et végétale.

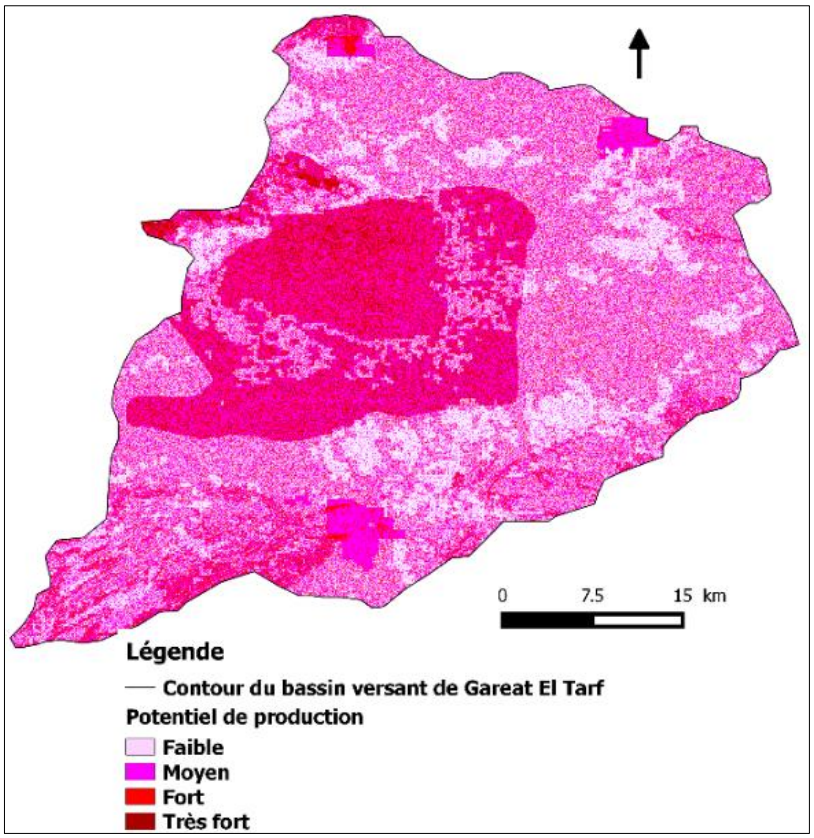


Figure 68. Carte des niveaux du potentiel de production du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf.

7.6.2. La carte de transfert du ruissellement

La carte de la Figure 70 identifie les axes de transfert. Les zones à forte sensibilité de transfert correspondent :

- Aux zones de production situées en bordure du bassin.
- La dépression occupée par le lac salé au centre du bassin, cela s'explique par le fait que le fond de cette dernière n'est pas totalement plat, ce qui ne correspond pas à la définition conventionnelle des sebkhas.

Les axes de transfert qui correspondent aux routes n'ont pas été représentés car la résolution du modèle numérique de terrain utilisé pour l'étude (30 m) n'est pas suffisante pour les identifier précisément.

Les axes de transfert peuvent êtres problématiques, se sont aussi des axes érosifs responsable des coulées boueuse qui accompagnent les inondations par ruissellement. Le fait que les axes de transfert soient alimentés de fortes productions indique un aléa fort de coulées boueuses. Le mode de gestion préventif au niveau de ces axes, doit agir sur le ralentissement de la vitesse du ruissellement. Comme par exemple les cultures en terrasse ou en escalier. C'est une technique peut coûteuse, bénéfique pour les agriculteurs, conservatrice du sol, s'adapte bien aux régions montagneuses et freine efficacement le ruissellement dans les versants en pente prononcée.

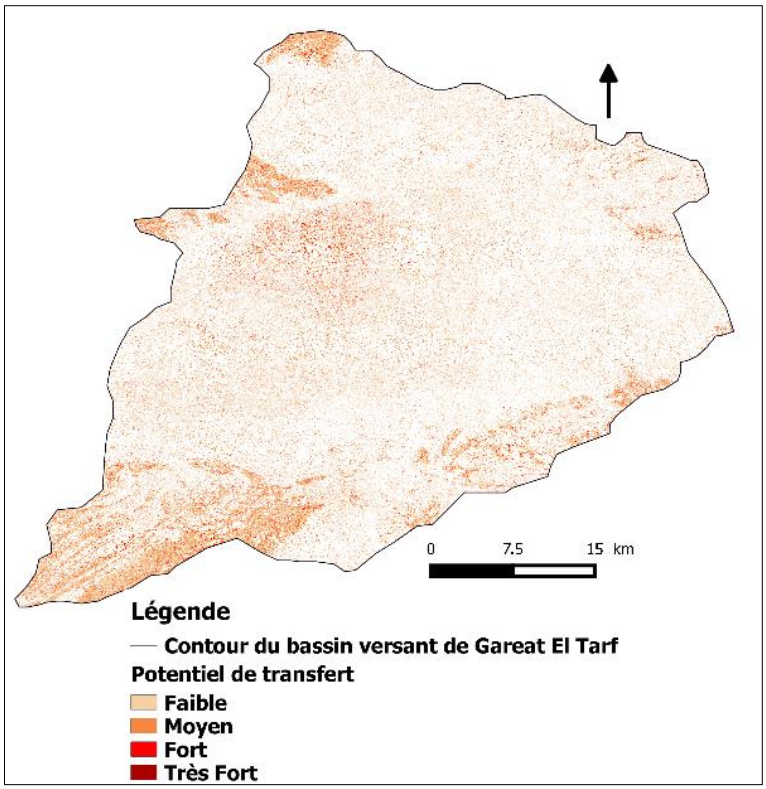


Figure 69. Carte des niveaux du potentiel de transfert du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf

7.6.3. La carte d'accumulation du ruissellement

Cette carte va permettre aussi l'identification des zones critiques d'accumulation. Les zones de ruptures concaves des pentes situées en bordure des zones topographiques horizontales délimiteront les zones d'accumulation d'écoulement.

La carte de susceptibilité de l'accumulation des eaux de ruissellement (Fig. 71) montre que le d'une manière générale le bassin est sensible à l'accumulation des eaux de ruissellement, sauf pour les zones montagneuses contrairement à la carte de transfert.

La sebkha se distingue bien du reste du bassin, d'ailleurs c'est la zone de rejet de tous les écoulements superficiels du bassin.

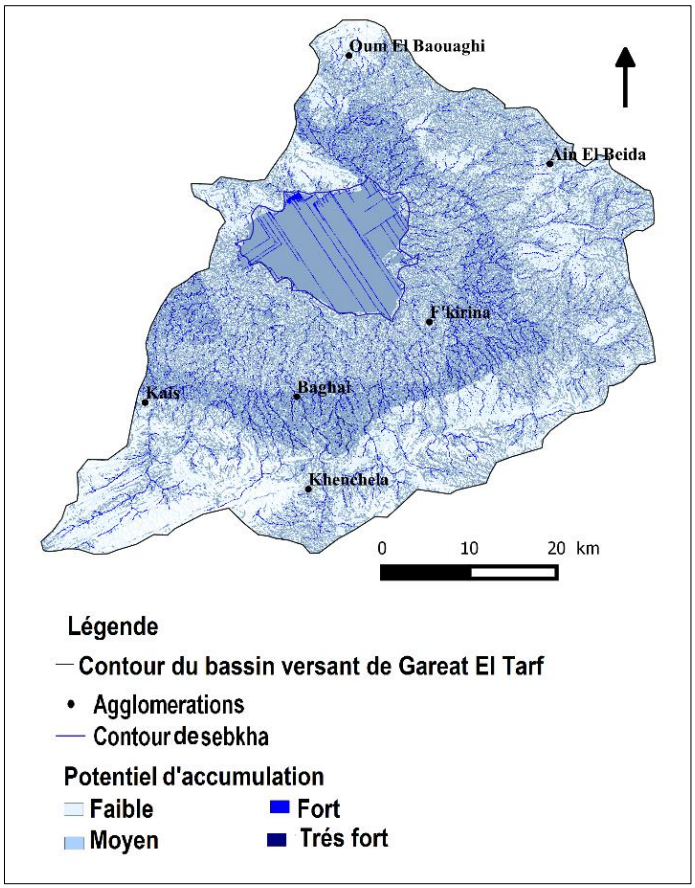


Figure 70. Carte des niveaux du potentiel d'accumulation du ruissellement sur le bassin versant de Gareat El Tarf.

Les forts niveaux de sensibilité dans cette carte vont permettre de retracer le réseau hydrographique temporaire. Ainsi que les thalwegs sec et temporaire sur les versants à l'amont du bassin versant.

7.6.4. Inondation et risque d'inondation par ruissellement

La carte d'inondation par ruissellement (Fig.72) indique que de vastes zones sur le bassin présentent une aptitude à être inondée et (ou) à subir des coulées boueuses. La dépression qui jalonne le centre du bassin est marquée par une forte accumulation des pixels de l'aléa d'inondation.

Les secteurs qui peuvent être problématiques ou à risque sont ceux où l'aléa de ruissellement croise des zones à enjeux notamment les zones urbaines.

Une Simulation visuelle sur la carte de risque d'inondation permet de dire que Khenchela et Ain El Beida sont plus exposées au risque d'inondation qu'Oum El Bouaghi.

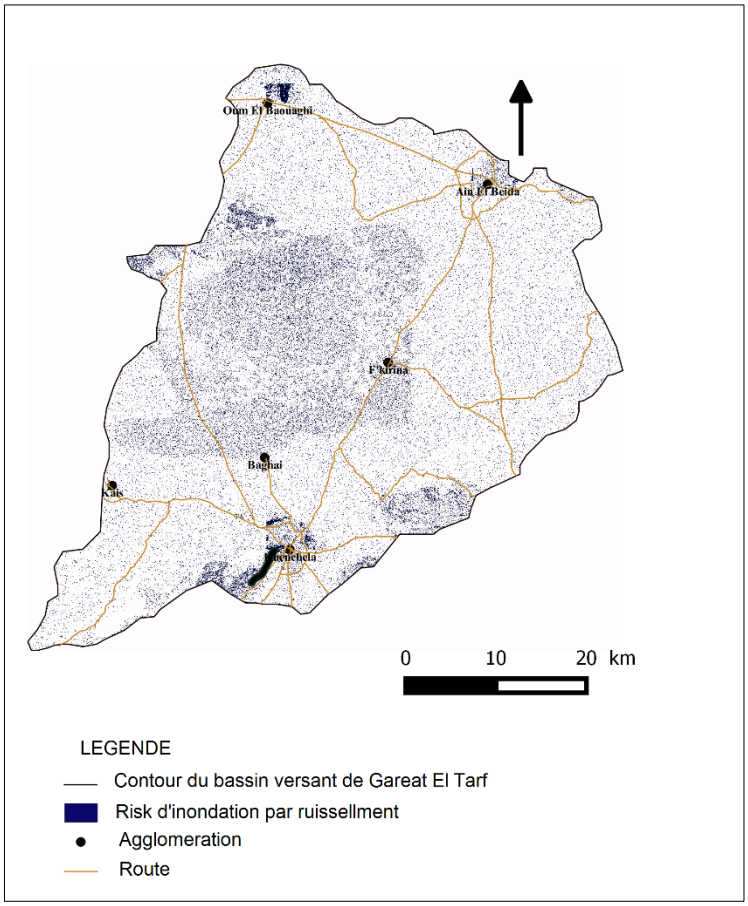


Figure 71.Carte d'inondation par ruissellement au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

7.7. VALIDATION DE LA CARTE iRIP@ DES RISQUES D'INONDATION

Il n'y a pas d'études publiées sur les inondations au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, toutes les études réalisées concernent des documents internes. Un projet visant à protéger la ville de Khenchela contre les inondations est en cours de réalisation ; c'est un canal ouvert pour la collecte des eaux de ruissellement provenant des massifs qui bordent la ville.

Une focalisation sur la ville de Khenchela avec une superposition de cartes obtenue par l'iRIP@ et le canal prévu permettra d'analyser et de comparer les résultats de notre cartographie avec l'emplacement de cette chaîne.

L'agglomération de Khenchela est située au sud du bassin Gareat El Tarf aux contreforts du massif du Ras Serdoun et fait l'objet d'un important projet de protection contre les inondations

Le projet consiste à construire un chenal ouvert sur les contreforts du massif du Ras Serdoune pour évacuer l'eau qui l'achemine vers Oued Frenguel qui traverse la partie sud de la ville et rejoint Oued Baghai en bordure de ce dernier côté Est (Fig.73).

Nous avons analysé l'efficacité de ce projet comme une méthode de gestion des risques d'inondation au niveau de la ville de Khenchela comme suit :

- Repositionner le canal sur la carte de risque d'inondation superposée avec la carte de production de ruissellement en coupant toute la zone en un bassin versant.
- Les cartes des zones inondables et des zones de ruissellement peuvent servir de support à la mise en place d'un autre chenal au pied du flanc nord du massif du Ras Serdoun; ou choisir les zones productives sur lesquelles il est possible d'agir en vue de changer les pratiques agricoles ou de travailler sur la partie montagneuse pour freiner le ruissellement.

De cela il en ressort que :

- Le canal ouvert pourra agir efficacement pour diminuer le risque d'inondation par ruissellement sur la partie Sud de la ville de Khenchela car il fait obstacle aux eaux ruisselées provenant de la tête du bassin versant qui couvre cette dernière ; Mais une large zone productrice de ruissellement se situe entre le canal et la ville de Khenchela.
- La partie Nord de la ville, ne sera pas protégée par le canal d'évacuation puisque elle est sous un autre bassin versant.

Des questions se posent sur la durabilité de ce dispositif hydraulique, et de son entretien face du taux d'érosion que connais cette région.

Vue la vocation agricole du bassin une gestion durable des inondations doit nécessairement passer par l'adoption de pratique agricole qui soutient la lutte contre l'inondation.

Exemples de pratiques agricoles à promouvoir (liste non limitative) :

- maximiser la couverture du sol sur la durée de la rotation (couverture en interculture, interculture courte en été),
- construire la rotation avec 2/3 de cultures d'hiver au sein des bassins versants agricoles les plus à risques,

- répartir de manière spatiale et temporelle les cultures sensibles au ruissellement au sein des bassins versants agricoles à risques

- limiter la longueur de parcelle par l'alternance avec des dispositifs enherbés ou des bandes de froment d'hiver,

- implanter une bande enherbée permanente autour des parcelles destinées à recevoir des cultures de printemps (il est actuellement obligatoire d'en installer une pendant l'année de la culture),

- limiter le tassement des terres par l'adoption de pneumatiques à basse pression sur les engins de récolte lourds, par un travail du sol adapté, en évitant de circuler sur les parcelles dans des conditions d'humidité du sol excessive.

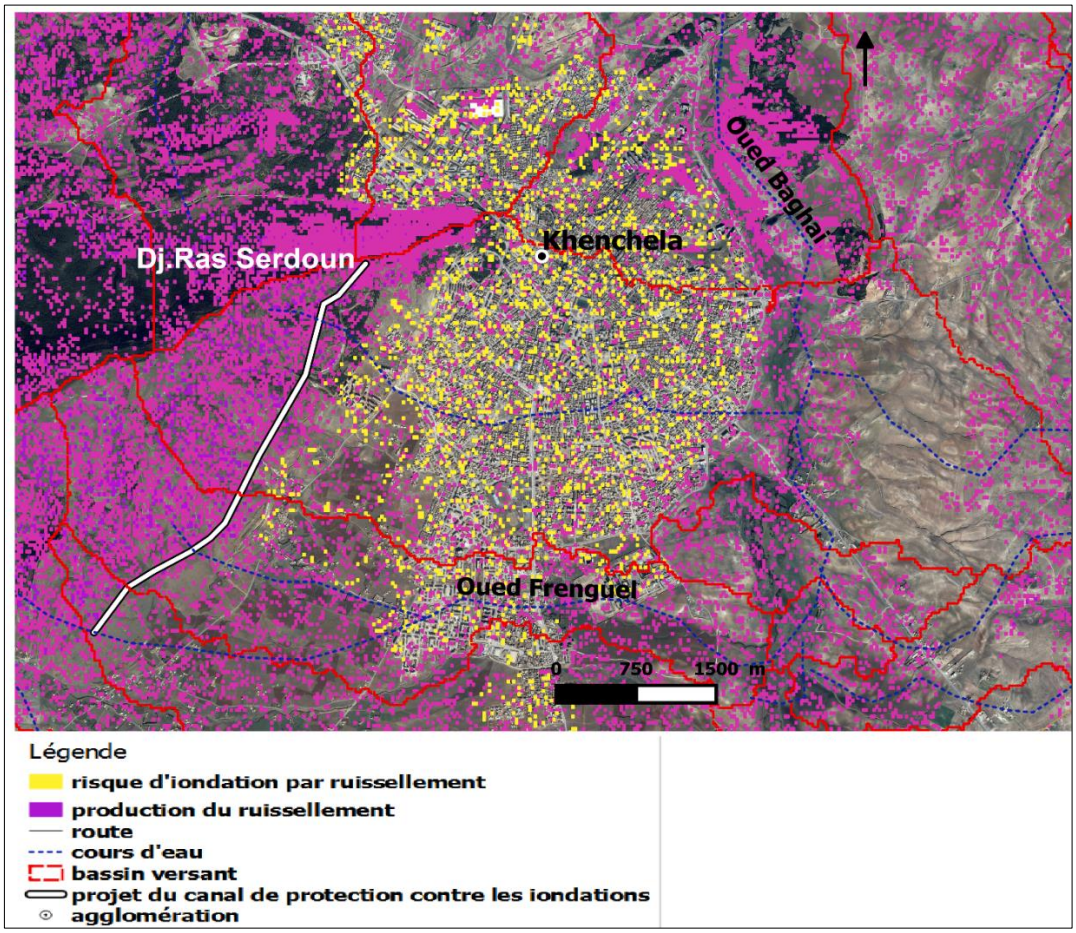


Figure 72. Risque d'inondation par ruissellement au niveau de l'agglomération de Khenchela.

7.8. CONCLUSION

La cartographie des aléas et des risques d'inondation par ruissellement par IRIP@, sur le bassin versant de Gareat El Tarf, permet une vision plus globale des zones de production, du transfert et de l'accumulation, ce qui rend les solutions proposées pour la gestion du risque d'inondation par ruissellement, plus efficaces et durables.

Les agglomérations situées au pied des montagnes ou à proximité de la sabka sont exposées au risque d'inondation par ruissellement. Le canal ouvert réalisé aux bordures du massif du Ras Serdoune pour projeter la ville de Khenchela contre les inondations, peut réduire partiellement le risque d'inondation sur la ville de Khenchela. Cependant, une grande zone de production de ruissellement est située entre le canal et la ville de Khenchela donc le chenal d'évacuation ne protégera pas cette zone.

La partie nord de la ville reçoit les eaux provenant de la tête d'un autre sous bassin versant donc reste toujours exposée à ce risque.

Pour agir durablement contre le risque d'inondation par ruissellement, il faut agir sur les zones de production. Compte tenu de la vocation agricole du bassin de Gareat El Tarf, il faut encourager les agriculteurs à introduire des pratiques favorables à la réduction du risque de ruissellement et d'érosion.

CHAPITRE 8 : MODELISATION DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU SUR WEAP

8.1. NTRODUCTION

Dans la présente partie nous allons étudier l'équilibre entre la disponibilité et la demande en eau à long terme, à l'aide du programme WEAP «Évaluation et planification de l'eau». Nous allons prendre en compte les facteurs économiques et climatiques, dans le but de :

- évaluer la performance de la politique nationale de la gestion des ressources en eau, représentée par le Plan National de l'eau, déjà détaillée dans la partie précédente, face à la demande croissante de l'eau. Nous allons aussi évaluer la capacité d'une politique de gestion e la demande ;
- appliquer le concept de la gestion de la demande comme étant une solution durable pour maintenir l'équilibre offre/demande d'eau.
- étudier de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques ;

8.2. PRESENTATION DE WEAP

WEAP (Système d'Evaluation et de Planification des Eaux) est un outil convivial qui adopte une approche intégrée dans la planification des ressources en eau.

WEAP était créé en 1988 par l' 'Institut de l'Environnement de Stockholm (SEI), dans l'objectif d'être un outil de planification flexible, intégré et transparent pour l'évaluation de la durabilité de la modulation de la demande et de la distribution actuelles et pour explorer les scénarios alternatifs à long terme (SEI, 2017).

La première majeure application de WEAP était dans l'Asie centrale (mer d'Aral), en 1989 (Raskin et al. 1991). Cette application a été suivie par plusieurs applications dans divers régions, comme la Chine (Ojekunle et al., 2006, Gao et al., 2017); Les Etats Unis (Rayej , 2012) ; Algérie (Bouklia-Hassanea et al., 2014; Mansouri et al.,2017 ; Kiniouar et al.,2017; Berredjem, 2017), Liban (Schuler, 2013),Turquie et Kenya (Loon et al. , 2006, 2007) , le bassin du Nil (SEI, 2007); Afrique du Sud (Motlatsi et al.,2017); l'Inde (Bharati et al.,2007), et bien d'autres payés.

Dans ce chapitre, WEAP sera utilisé pour modéliser le bassin de Gareat El Tarf. C'est un modèle flexible avec lequel les utilisateurs peuvent définir leur région (Strzepek et al., 1999), il a la capacité d'intégrer la demande et l'offre et la comptabilité de l'eau avec les stratégies de gestion (SEI, 2007).

WEAP a été l'objet de plusieurs applications en zones arides et semi-arides (Demertzi et al.,2014;Walker et al.,2015 ; Gopal et al.,2015;Bakken et al.,2016; Jingjing et al.,2017; Kiniouar et al.,, 2017; Souza et al., 2017).

8.3. APPROCHE DE WEAP

WEAP, fonctionne sur le principe de base de l'équilibre de l'eau et peut être appliqué aux systèmes municipaux et agricoles, à une simple source d'eau ou à un système complexe de bassin versant transfrontalier. WEAP peut simuler une gamme large de composantes naturelles et d'ingénieries de ces systèmes, y compris le ruissellement d'eau de pluie, le flux de base, et la recharge de la nappe phréatique à partir de la précipitation; les analyses de demande sectorielle, la conservation de l'eau; les droits à l'eau et l'allocation des priorités, les opérations du réservoir; la production hydorénergénique; le traçage de la pollution et la qualité de l'eau; l'évaluation de la vulnérabilité et les conditions de l'écosystème. Le module d'analyse financière permet aussi à l'utilisateur d'explorer les comparaisons coût-bénéfices des projets (SEI, 2007).

La structure des données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour répondre aux exigences d'une analyse particulière et pour refléter les limites imposées lorsque les données sont limitées.

WEAP21 peut décrire l'infrastructure liée à l'eau et les arrangements institutionnels d'une région dans un environnement de planification complet, neutre et axé sur les résultats, qui peut éclairer les stratégies et aider à évaluer les services écosystémiques d'eau douce (YATES et al.2005).

8.4. FONCTIONNEMENT DE WEAP

- Création de la zone d'étude : Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG).
- Création d'un compte courant : Le but de la création de ce compte, consiste à calibrer le modèle pour reproduire la situation hydrique du bassin en une année donnée.
- Création de scénario : L'analyse de scénario est un élément central de WEAP (SEI, 2007). Il s'agit de :

- Scénario de référence : prend les données du compte courant dans la période de projet spécifiée, et l'utilisé comme point de comparaison pour d'autres scénarios. Un scénario de référence est établi pour simuler la même évolution du système sans intervention humaine ni changements climatiques.
- Scénarios alternatifs : dans lesquels des changements des données du système peuvent être réalisées. Ils servent à évaluer l'impact du développement et de la gestion divers options qui vise à maximiser l'eau fournie à des sites de demandes, selon un ensemble d'utilisateurs (MCCARTNEY *et al*. 2009). Ou bien d'évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies.

- Présenter les résultats : Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau.

8.5. APPLICATION DE WEAP DANS LE BASSIN VERSANT DE GAREAT EL TARF

8.5.1. Création de la zone d'étude

Comme couche fond nous avons inséré la carte du découpage administratif de l'Algérie en commune sous forme de Shape file et dessus on a ajouté la limite du bassin versant de Gareat El Tarf ainsi que le réseau hydrographique, sous format Shape file. La carte du nouveau projet nommé « Bassin versant de Gareat El Tarf » est créée (Fig.72).

8.5.2. Création du compte courant

Dans cette étude nous prenons comme année de compte courant l'année 2010, parce que c'est l'année de base prise par le ministère des ressources en eau pour l'actualisation du plan national de l'eau à l'horizon 2030 (SOFRECO, 2010), et à cette occasion le ministre a effectué une collecte massive des données autour du secteur d'eau sur le territoire national. Ce choix nous permettra d'utiliser les données les plus fiables possibles et aussi d'effectuer un scénario qui correspond à ce plan national.

8.5.3. Numérisation des données nécessaires du compte courant

La formulation et l'application des modèles dépendent d'un élément important qui est la disponibilité de données.

Pour la création de ce compte, On numérise les rivières, les barrages, ressources en eau souterraines, les sites de demande (Fig.78), et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés.

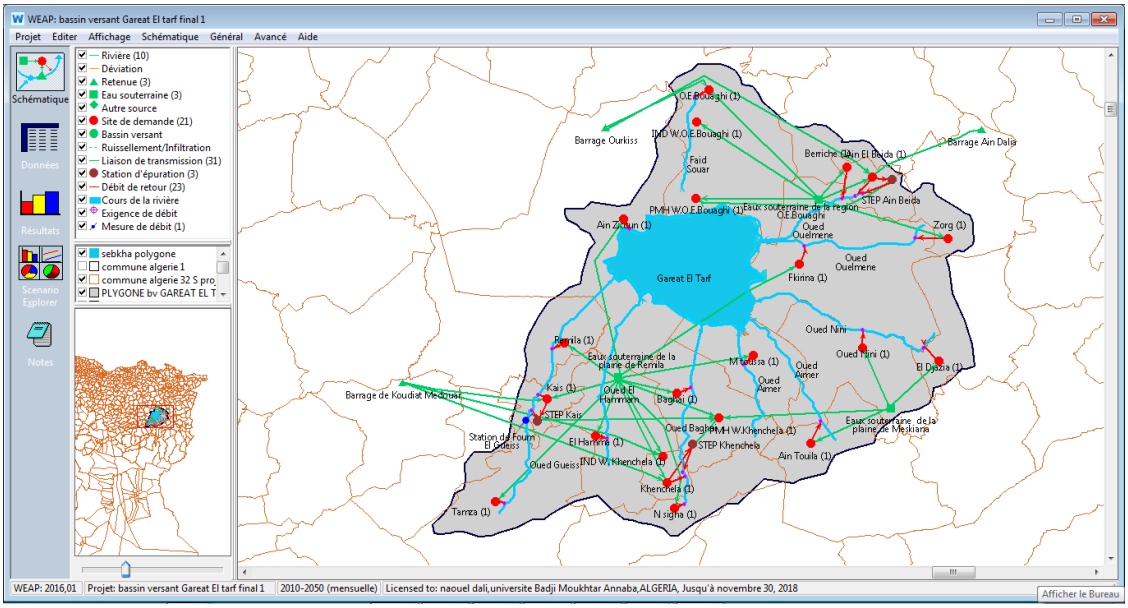


Figure 78. Modèle conceptuel du système de gestion des eaux du bassin versant de Gareat El Tarf sous WEAP (Capture d'écran).

Les données utilisées sont recueillies à partir du rapport de l'actualisation du PNE (SOFRECO, 2010), et de plusieurs administrations, telles que l' A.B.H, A.N.R.H, O.N.M, O.N.S, O.N.I.D, A.D.E et des directions des services agricoles.

Les données collectées et portées sur WEAP pour la création du compte actuel sont :

- sites de demandes avec leur emplacement : urbains (ville), zone de culture zone industrielle ;
- la distribution et ressources : eaux souterraines exploitées, barrages, tracés de rivières, lieux de captage (site de l'offre) ;
- les données hydrologiques concernent le type de l'année hydrologique : très sec, sec, normale, humide ou très humide

a) Sites de demande

Les données nécessaires pour cette rubrique sont récapitulées dans l'Annexe 5, ça concerne :

- le niveau d'activité annuelle qui détermine la demande tel que la surface agricole, le nombre d'usagers de l'eau pour des motifs domestiques ou industriels. Le niveau d'activité en 2010 est calculé à partir générateur d'expression GrowthFrom (taux de croissance démographique %; 2008 ; nombre d'habitant en 2008).

- la consommation annuelle ou le niveau de consommation d'eau par unité d'activités ;
- la variation mensuelle ou la part mensuelle de la demande annuelle ;
- le taux de consommation ou le pourcentage du débit d'entrée consommé ;
- taux de perte inclut les pertes de distribution dans un site à la demande et par ailleurs non comptabilisé pour les demandes ;
- la gestion de la demande : concerne la stratégie de gestion de la demande pour réduire la demande.

b) Ressources en eaux et distribution

Les ressources en eau sont constituées par les eaux souterraines, l'eau de surface, l'évapotranspiration et l'eau de pluie.

- Rivières

Au niveau du bassin versant objet d'étude, il existe un seul oued permanent c'est celui de Gueiss. Les informations nécessaires pour sa modélisation sur WEAP concernent le débit moyen mensuel (Tabl.22).Vue le manque de données de débit mesuré pour l'année 2010.Le débit mensuel annuel amont de l'oued est simulé par le modèle GR2M déjà détaillé dans le chapitre :Modélisation pluie-débit. Ces données sont saisies sur WEAP.

Tableau 22. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation d'Oued El Gueiss sur le compte actuel.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Débit *(m^3/s)	0,12	0,20	0,51	0,19	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

* Débits simulés par le modèle GR2M

- Ressources en eau souterraines

Les unités hydrogéologiques exploitées sont : la plaine de Remila-Khenchela ; la région d'Oum El Bouaghi–Ain Beida et la plaine de Meskiana.

Les données des ressources en eau souterraines nécessaires au fonctionnement de WEAP sont représentées sur le tableau 23 et concernent donc :

- la capacité de stockage qui indique la capacité maximale théorique de l'aquifère, vue que nous ne disposons pas de cette donnée, WEAP nous suggère de ne pas l'introduire ;
- le stockage initial correspond la quantité d'eau stockée dans l'aquifère au début de la simulation ; vue que nous ne disposons pas de cette donnée, WEAP nous suggère de ne pas l'introduire ;
- la recharge naturelle de la nappe : au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf elle se fait pendant 7 mois par an (à partir du mois de novembre jusqu'au mois de mai).
- le prélèvement maximal : dans cette étude que le prélèvement maximal correspond à la recharge naturelle de la nappe

Tableau 23. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation des ressources en eau souterraine sur le compte actuel

Unité hydrogéologique	Capacité de stockage	Stockage initial	Recharge naturelle (Mm^3/mois)	Prélèvement maximal (Mm^3/mois)	Méthode
Région d'Om El Boughi –Ain El Beida	/	/	2.52	2.52	Specify GW-SW (interaction eaux souterraines – eaux de surfaces)
Plaine de Remila-Khenchela	/	/	2,5	2,5	
Plaine de Meskiana	/	/	0.14	0.14	

- Barrages

Les deux barrages qui sont fonctionnel en l'an 2010 sont celui de Koudiat Medouar , et celui de de Dalia (Tabl.24). Les données qu'il faut fournir à WEAP pour la modélisation des barrages sont :

- le débit entrant ;
- la capacité de stockage ou la capacité totale du barrage ;
- stockage initial ;
- évaporation nette moyenne mensuelle.

Tableau 24. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation des barrages sur le compte actuel.

Barrage	Date de mise en service	Débit entrant (m^3/s)	Capacité de stockage (Mm^3/an)	Stockage initial (Mm^3/an)
Barrage de Koudiat Medouar	2003	0.11	74.3	22
Barrage d'Ain Dalia	1987	0.097	73	45

L'évaporation nette elle est égale à l'E (évaporation) - P (précipitation) à la surface de la retenue (Tabl.25).

- Pour le barrage d'Ain Dalia nous allons calculer l'évaporation nette à partir des données de précipitation et d'évaporation potentille mesurée au niveau de la station climatologique du barrage d'Ain Dalia.
- Pour le barrage de Koudiat Medouar, nous ne disposons pas des données climatologiques du barrage, donc nous allons utiliser les données du barrage de Foum El Gueiss vus que la distance entre ces deux barrages n'est pas importante.

Tableau 25. Evaporation nette au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf pour l'année 2010.

Mois	Station hydro-climatologique du barrage d'Ain Dalia			Station hydro-climatologique du barrage de Foum El Gueiss		
	Précipitation moy mensuelle (mm)	ETP moy mensuelle (mm)	Evaporation nette (mm)	Précipitation moy mensuelle (mm)	ETP moyenne mensuelle (mm)	Evaporation nette (mm)
Jan	99,8	13,5	-86,3	23	11,57	-11,43
Fév.	75,6	15,5	-60,1	7,7	15,29	7,59
Mars	61,2	29,2	-32	24,8	26,6	1,8
Avr.	67	43,1	-23,9	14,5	57,41	42,91
Mai	57,7	81,3	23,6	102,7	94,98	-7,72
Juin	23,3	118,1	94,8	5,6	127,2	121,6
Juil.	8,5	156,9	148,4	26,8	187,75	160,95
Août	28,1	154,1	126	57,8	157,16	99,36
Sept.	35,1	103,7	68,6	93,7	100,27	6,57
Oct.	35,8	68,9	33,1	96,2	58,26	-37,94
Nov.	64,3	33,1	-31,2	15,2	19,98	4,78
Déc.	97,4	17,5	-79,9	48,5	8,67	-39,83

8.5.4. Assimilation des politiques de gestion sur WEAP

Nous avons choisi d'analyser 3 scénarios de gestion des ressources en eau sur WEAP, pour simuler les conséquences des différentes politiques de gestion sur l'équilibre offre/demande d'eau, il s'agit de :

- Scénario 1 : Référence (R)
- Scénario 2 : Plan National de l'Eau (PNE)
- Scénario 3 : Gestion de la demande (GD)

a) Scénario 1 : Référence (R)

La période de référence du modèle de gestion utilisée est comprise entre 2010 et 2050, avec un pas de temps mensuel en prenant l'année 2010 comme année de base. C'est un scénario de simulation de l'évolution du système déjà crée dans le compte courant sans intervention humaine ni changement climatique, nous préservons les paramètres des structure déjà existant en 2010 .Pour l'évolution de la taille de la population s'inscrivent dans la continuité des taux calculés sur la période 1998 – 2008.

b) Scénario 2 : Plan National de l'Eau (PNE)

Dans le scénario PNE, nous allons introduire les variables issus du rapport de l'actualisation du PNE à l'horizon 2030 (déjà détaillé dans la première partie de ce chapitre).Donc les données saisis serons identique aux données utilisées pour l'actualisation du plan national de l'eau en 2010 (SOFRECO, 2010), elles sont comme suit :

- évolution de la taille de la population selon le taux de croissance horizon 2030 et donc de la consommation unitaire (Annexe 6).

Ces taux prennent en compte l'influence des projets économiques et sociaux du SNAT sur le bassin objet d'étude après 2030 en suppose la stabilité de la croissance de la population ;

- évolution de la surface agricole irriguée avec un taux annuel de 2 % ;
- les structures envisagées dans le programme du PNE horizon 2030 (barrages, station de traitement des eaux usée ...).Dans ce cadre le bassin versant objet d'étude sera équipé de :

- barrage d'Ourkiss au niveau de la wilaya d'Oum El Bouaghi, commune d'Ain Fakroun (Tabl.26).
- une station de traitement des usées est mise en service en 2010, deux stations sont mises en service en 2017, l'une à Kais et l'autre à Ain El Beida (Tabl.27).

Tableau 26.Les informations nécessaires pour la modélisation du barrage d'Ourkiss sur WEAP

Barrage	Date de mise en service	Débit entrant m3/s	Capacité de stockage (Mm^3/an)	Stockage initial (Mm^3/an)
Barrage d'Ourkiss	2015	10.05	67.7	22

Tableau 27.Les informations nécessaires pour la modélisation des STEP sur WEAP

STEP	Année de mise en service	Capacité de traitement (Mm3/j)	Consommation (%)
Kais	2015	7500	80
Ain El Beida	2015	28 000	80
Khencheal	2010	84570	80

STEP : station d'épuration des eaux usées

c) Scénario 3 : Gestion de la demande (GD)

Ce scénario consiste à maintenir l'offre de l'eau telle qu'elle est dans le scénario de référence et de changer la demande en eau des différents secteurs par :

- Une baisse au niveau des pertes aux réseaux de distribution des eaux potables de 45% à 20% en 2050.
- une baisse de la perte d'eau à la parcelle à 10 % en 2050 au lieu de 45% à 2010, par la mise en œuvre des techniques d'irrigation plus efficace (technique de goutte à goutte ou technique du pivot avec une distribution basse au niveau des racines végétales).

8.5.5. Résultats et discussions des scénarios des politiques de gestion

Les résultats de l'application du modèle WEAP dans le bassin versant de Gareat El Tarf sont présentés sous formes cartographique et graphes, en considérant trois scénarios avec un horizon de projection futur considéré est 2050.

a) Besoin et demande en eau

Sur WEAP, le besoin en eau est considéré comme étant la demande en eau sans pertes, sans recyclage et sans gestion de la demande, la demande en eau c'est l'exigence de distribution

avec ces apports. Face à la croissance de la population, des surfaces agricoles irriguées (PMH), et du secteur industriel au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf.

L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau dans le bassin versant Gareat El Tarf. En 2010, elle représente 84% de la demande en eau provient de l'irrigation de petits et moyens systèmes hydrauliques, alors que l'approvisionnement en eau potable ne nécessite que 15% de la demande totale en eau, le reste (1%) provient de l'industrie (Fig. 79).

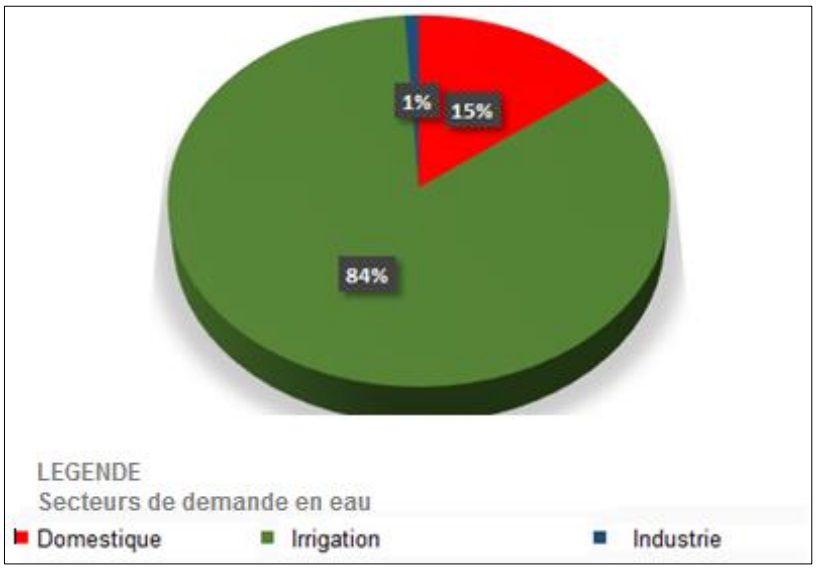


Figure 79.Part de la demande en eau par secteur au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf (2010).

Pour les trois scénarios Référence (1), PNE (2) et Gestion des ressources en eau(3) les besoins en eau augmentent régulièrement entre 2010 et 2050.

- En 2010 le besoin en eau au niveau du bassin objet d'étude est estimé à 95 Mm^3, alors que la demande pour la même année est estimée à 260 Mm^3.
- Pour le scénario (R), le besoins en eau atteint en 2050 un volume de plus de 200 Mm^3 (Fig.80 a).., il sera légèrement supérieure pour scénario (GD) avec 280 Mm^3 (Fig.80 c), alors que pour le scénario (PNE), il sera presque doublé (environ 400 Mm^3) (Fig.80 b).
- La demande en eau ou bien l'exigence de distribution en eau à l'horizon 2050 est supérieure au besoin en eau pour le premier et le deuxième scénario (360 Mm^3 et 700 Mm^3) alors que pour le scénario 3, elle est égale au besoin 200 Mm^3 (Fig.81), cela s'explique par le taux de recyclage des eaux au niveau même des sites de demandes domestiques et industrielles et qui augmente progressivement jusqu'à atteindre les 35%.

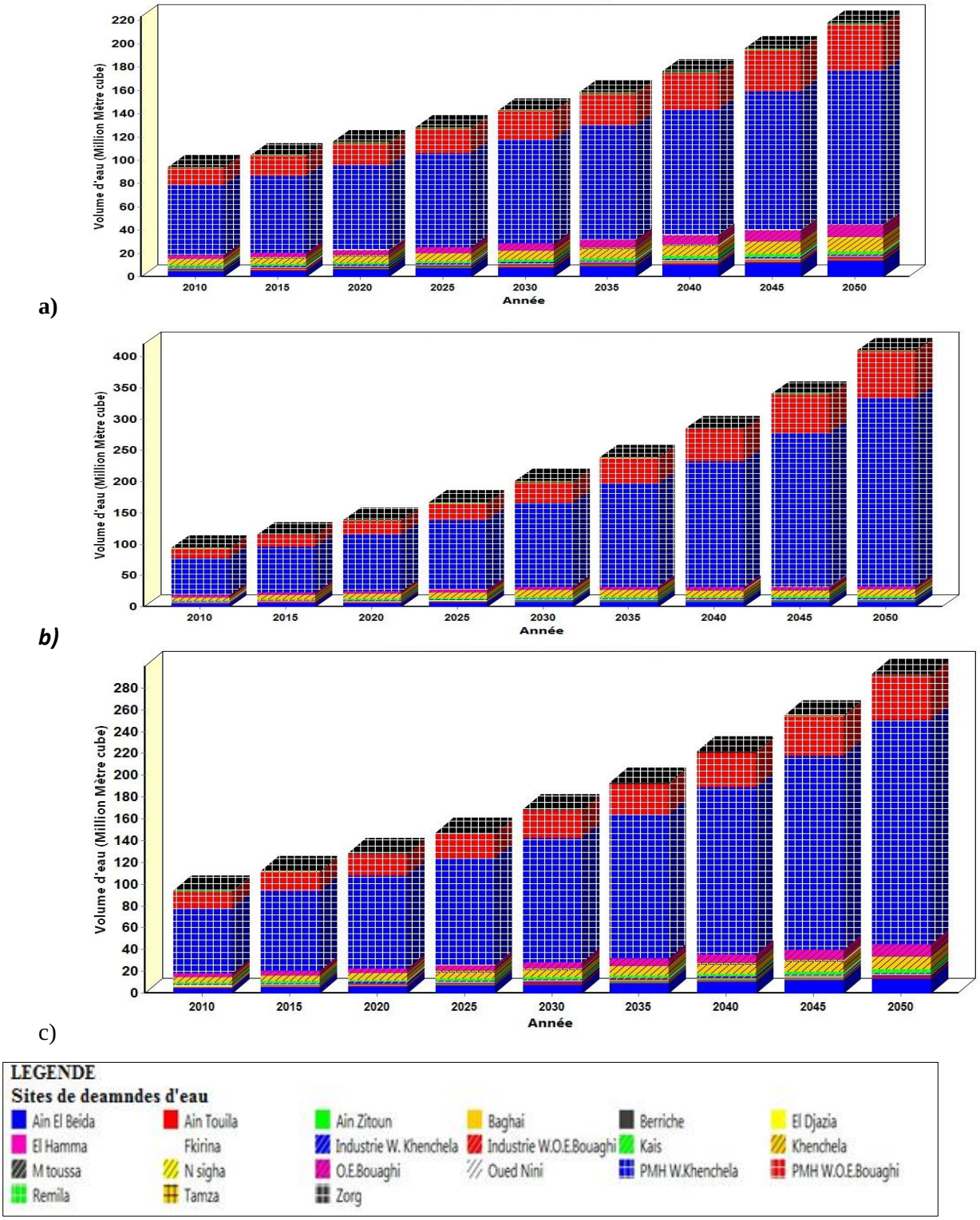
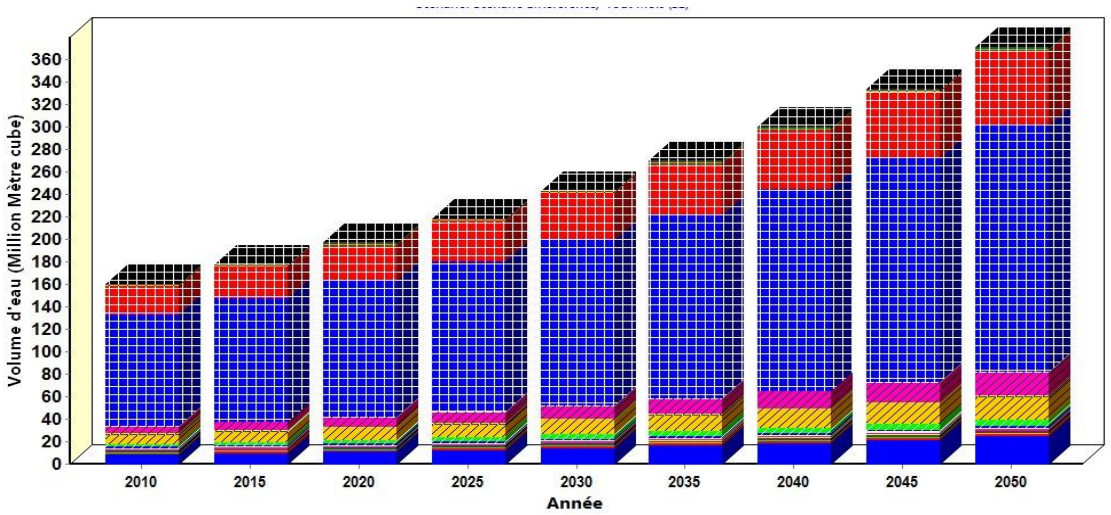
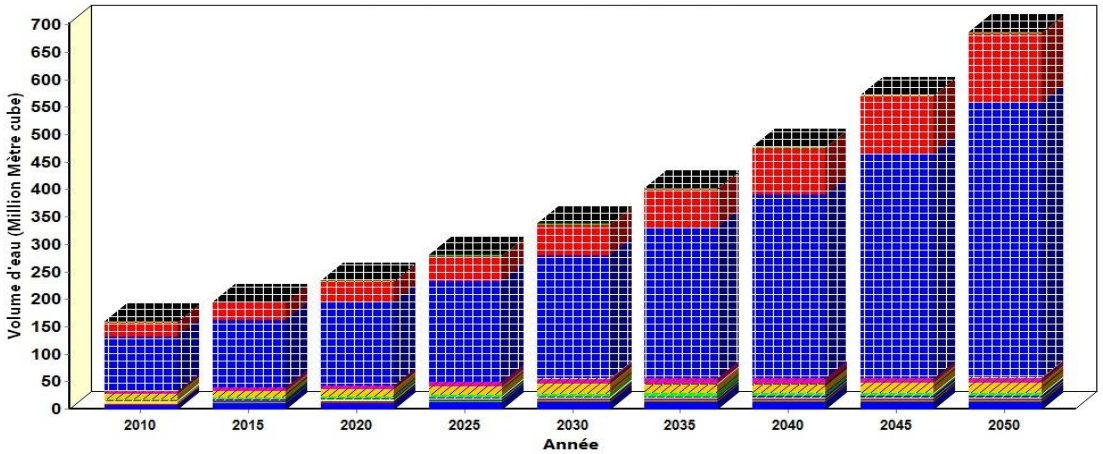


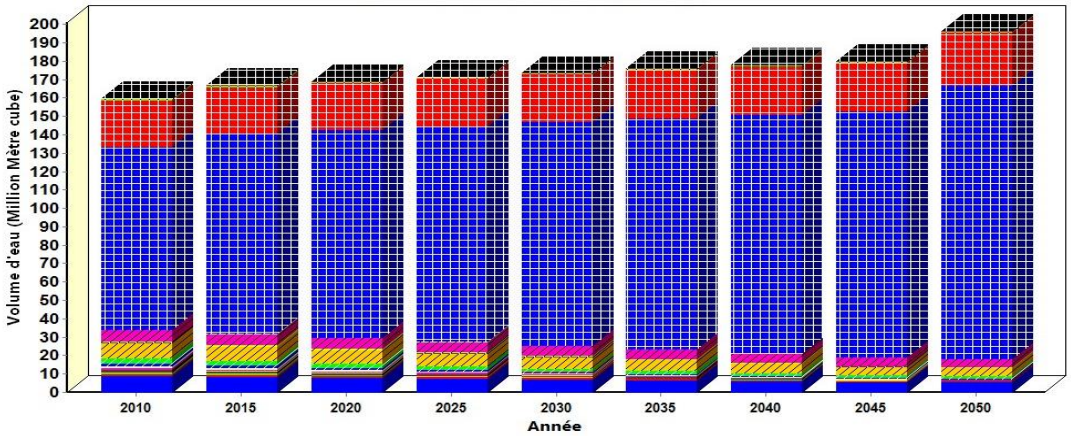
Figure 80. Besoin en eau à chaque site de demande : a) Scénario 1 : Référence ; b) Scénario 2 : Plan national de l'eau ; c) Scénario 3 : Gestion de la demande.



a)



b)



c)

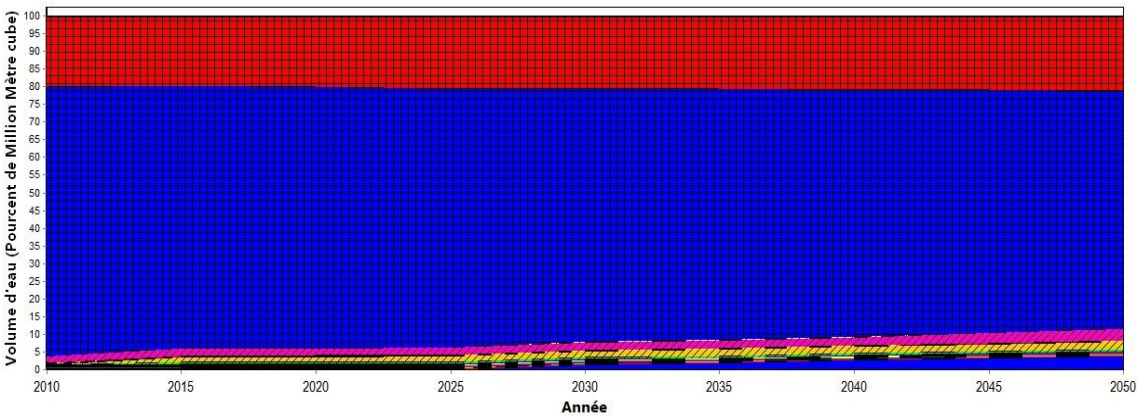
Figure 81. Exigence de distribution de l'eau à chaque site de demande : a) Scénario 1 : Référence ; b) Scénario 2 : Plan national de l'eau ; c) Scénario 3 : Gestion de la demande.

b) Déficit ou demande en eau non satisfaite par scénario

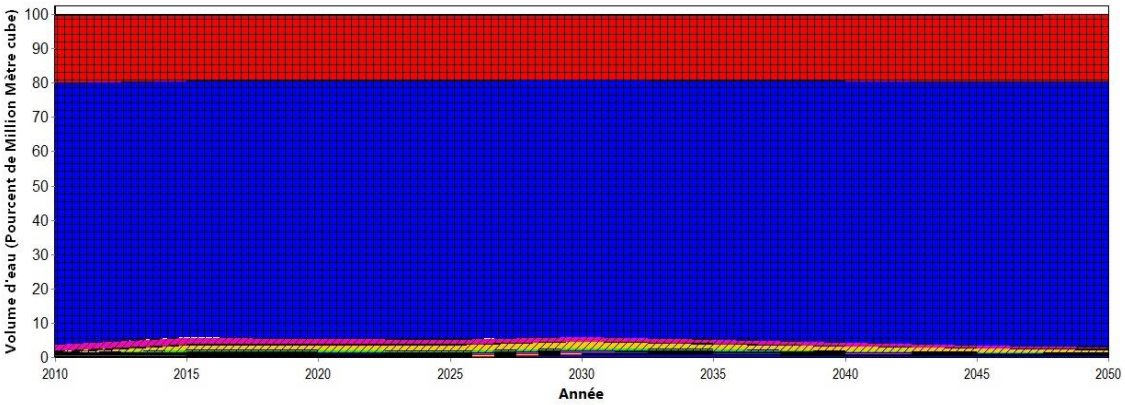
- En 2010 la demande en eau annuel, non satisfaite est estimée à 127 Mm^3. En 2050, le bassin sera confronté à un déficit en eau de plus de 300 Mm^3/an, pour le scénario Référence, et plus de 600 Mm^3 /an pour le scénario PNE. Alors que si on adopte une politique de gestion des ressources en eau (recyclage et diminution des pertes des eaux au niveau des sites de demande), ce déficit sera considérablement plus faible (environ 200 Mm^3/an), bien que ce volume reste important en termes de déficit.

Pour une meilleure analyse de ce déficit d'eau pour les trois scénarios assimilés, nous avons séparé le secteur d'alimentation en eau potable du secteur d'irrigation. Pour les 3 scénarios environ 90 % du déficit en eau provient du secteur agricole (Fig.83).

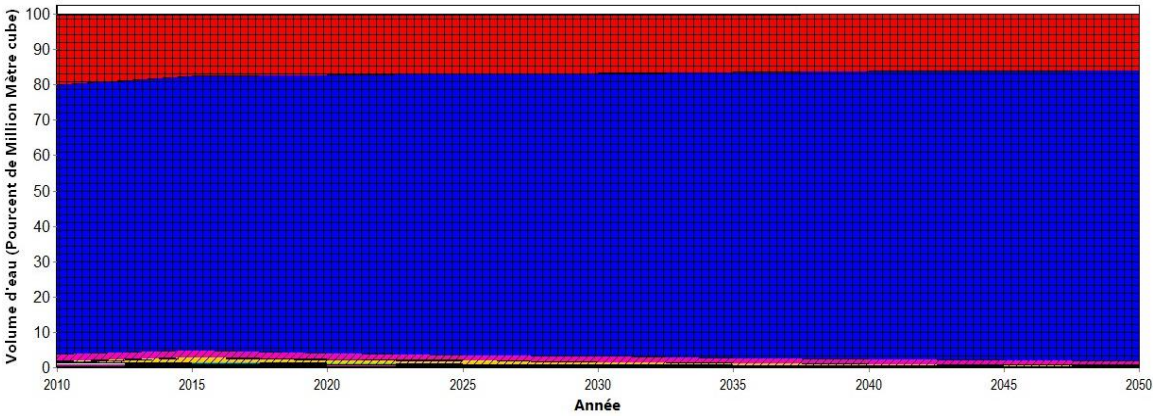
- Le déficit en eau annuel pour les sites de demandes en eau domestiques et industrielles (Fig.84) passe progressivement de près de 6 Mm^3 pour l'année de base pour tous les scénarios (2010), à environ 40 Mm^3 pour le scénario de Référence alors que pour le scénario PNE cette augmentation du déficit d'eau se stabilise en 2030 avec environ 20 Mm^3. Ceci est expliqué par la stabilité du taux de croissance démographique. Pour le scénario de Gestion des ressources en eau ce déficit prend toute une autre forme. Il augmente légèrement jusqu'à 2015 est après il commence à baisser jusqu'à 2050 où il atteint une valeur dix fois moins que pour le scénario de Référence.
- La figure 85, représente le déficit en eau mensuel. Pour les trois scénarios il est en hausse au cours du troisième et quatrième semestre, alors que pour le reste de l'année il est presque nul. Le scénario PNE reste le plus déficitaire avec des taux qui atteint le 100% en mois de juillet.



a)



b)



c)

Figure 83. Taux de la demande en eau non satisfaite : a) Scénario 1 : Référence ; b) Scénario 2 : Plan national de l'eau ; c) Scénario 3 : Gestion de la demande.

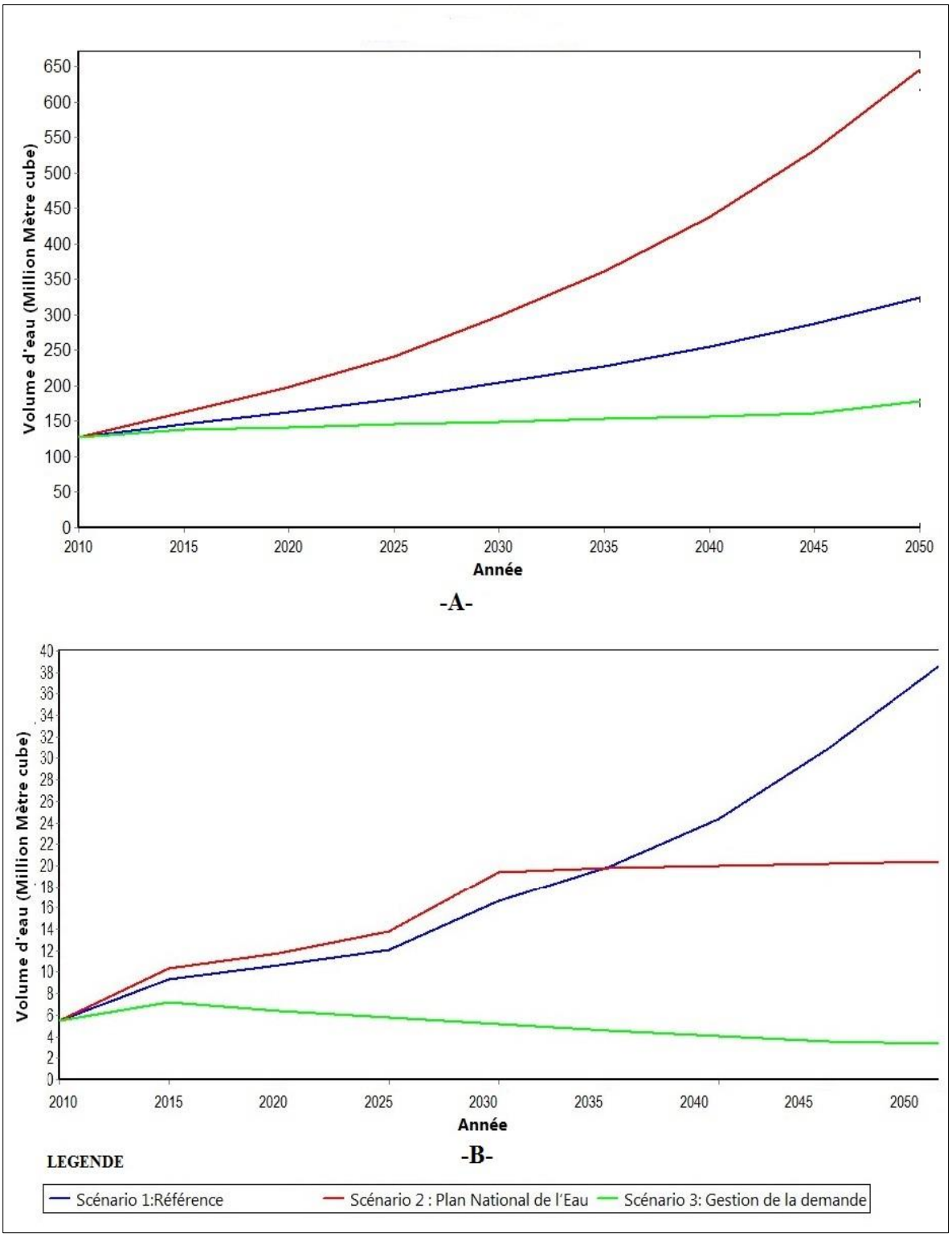


Figure 84. Demande en eau moyenne annuelle domestique et industrielles non satisfaite (2010-2050), par scénario : Scénario 1 : Référence ; Scénario 2 : Plan national de l'eau ; Scénario 3 : Gestion de la demande.

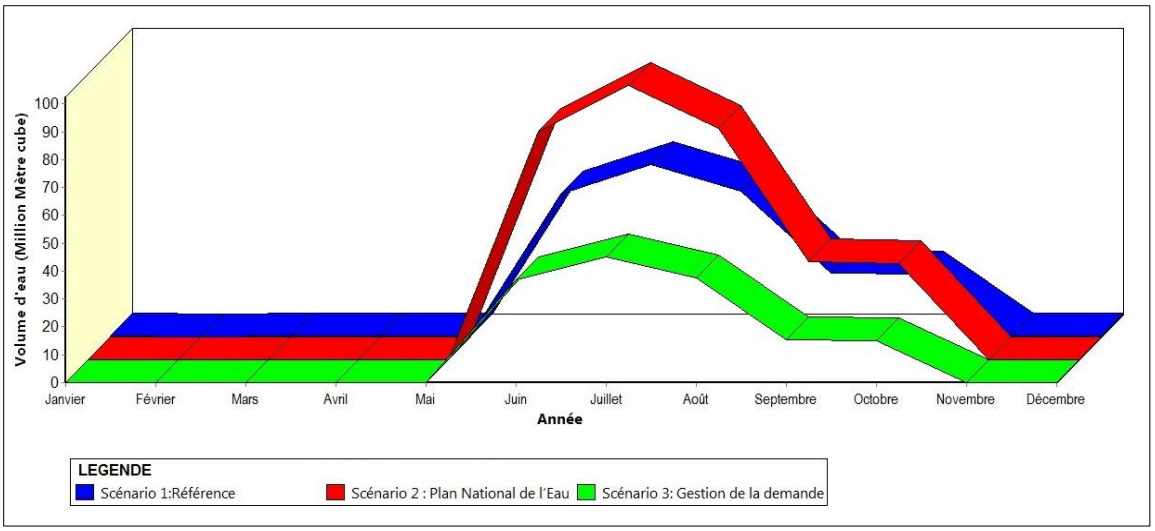


Figure 85. Déficit mensuelle interannuelle (2010-2050) d'alimentation en eau : scénario1 : Référence ; scénario 2 : Plan national de l'eau ; scénario 3 : Gestion de la demande.

8.5.6. Vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique

Nous allons utiliser WEAP, pour établir une simulation de la vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique. A noter que dans le logiciel, il existe déjà un modèle nommé « Méthode de l'année hydrologique » qui permet de faire une simulation de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau.

D'après la seconde communication nationale sur le changement climatique à la CCNUCC[1] (MATE, 2010), des projections climatiques saisonnières effectuées par le modelé UKHI (United Kingdom Meteorological Office High Resolution), en adoptant le scénario «IS92a[2]» du GIEC[3] avec les deux hypothèses haut et bas, prévoient des modifications climatiques qui se manifesteront par une augmentation de la température saisonnière de 0,8 à 2,2 °C et une baisse de la pluviométrie saisonnière de 6 à 22%. Les changements dans les précipitations annuelles moyennes, ainsi que dans leur distribution spatiale et temporelle, influencent le bilan de l'eau dans son ensemble, y compris la recharge des nappes, ses effets seront ressentis

[1] Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

[2] Le scénario IS92a caractérise les émissions des gaz à effet de serre sur la période 1990-2100 et qui est basé sur une évolution moyenne de ces émissions. Il faut rappeler que ce scénario est basé sur la croissance démographique et le développement économique dont essentiellement la croissance de la consommation énergétique du monde (MATE, 2001)

[3] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Le GIEC a pour mission d'évaluer les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui sont nécessaires pour mieux comprendre les risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation. (source site du GIEC : www.ipcc.ch)

par les êtres humains principalement par ses incidences sur les ressources mondiales en eau, y compris les eaux souterraines (Green et al, 2011 ; Taylor, 2012).

- Scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique (MAH), qui a une fonction de référence ;
- Scénario 5 : Changement climatique (CC) « Séquence de climat sec sévère » pour assimiler le changement climatique.

a) Scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique (MHA)

Ce scénario utilise la méthode de l'année hydrologique pour reproduire la variation observée de l'hydrologie à partir de l'enregistrement historique.

Dans WEAP, il existe un modèle nommé « *Méthode de l'année hydrologique* » qui permet de faire une simulation de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau. C'est un moyen simple pour représenter les variations des données climatiques, comme les Débits de rivière, la pluviométrie et la recharge de la nappe (SEI, 2008). Ce nouveau scénario sera hérité du scénario « Reference ».

La méthode consiste à :

- Définir les régimes climatiques (Très sec, sec, normal, humide, très humide) en comparaison à une année normale à qui il est attribué la valeur 1. Les années sèches ont une valeur inférieure à 1, les années très humides ont une valeur supérieure à 1.

D'après l'indice de pluviosité (chapitre, paragraphe , page), L'année 2010 est considérée comme étant une année humide et pour laquelle nous attribuons une valeur de 1.3.

La séquence climatique pour le scénario de l'année future, est donnée à partir des données climatiques historiques enregistrées au niveau de la station climatique de Foum El Gueiss pendant 20 ans (1995- 2015). La répartition des types d'années pour cette période et comme suit : 1995-1999 sec / 2000-2002 très sec /2003-2010 humide /2011-2015 très humide.

La séquence climatique pour la période de 2016 à 2050 est rapportée dans le tableau 28.

b) Scénario 5 : Changement climatique (CC) « Séquence de climat sec sévère »

Pour le scénario de changement climatique nous allons faire simple, sous la lumière des données du changement climatique au Nord Algérien on constate que se réchauffement se traduit par une sécheresse donc le cycle climatique dans le futur sera plus chaud et plus sec que le cycle précèdent. Ce qui donnera des séquences de climat sec sévère.

Tableau 28. .Répartition des types de climat pour le bassin versant de Gareat El Tarf (2016-2050).

Année	Type d'année hydrologique
2016-2019	sec
2020-2022	très sec
2023-2030	humide
2031-2035	très humide
2036-2040	sec
2041-2043	très sec
2044-2050	humide

Le tableau 29 illustre la répartition des eaux souterraines et superficielles distribuées au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf à l'horizon 2050, ce volume sera de 1505 Mm^3, pour le scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique, alors que pour le scénario 5 : Changement climatique, il sera de 1291 Mm^3. Donc si le bassin sera confronté à des séquences sèches sévères provoqué par un éventuel changement climatique, dans les 40 ans à venir, il perdra environ 200 Mm^3 de sa capacité à fournir de l'eau aux différents usagers.

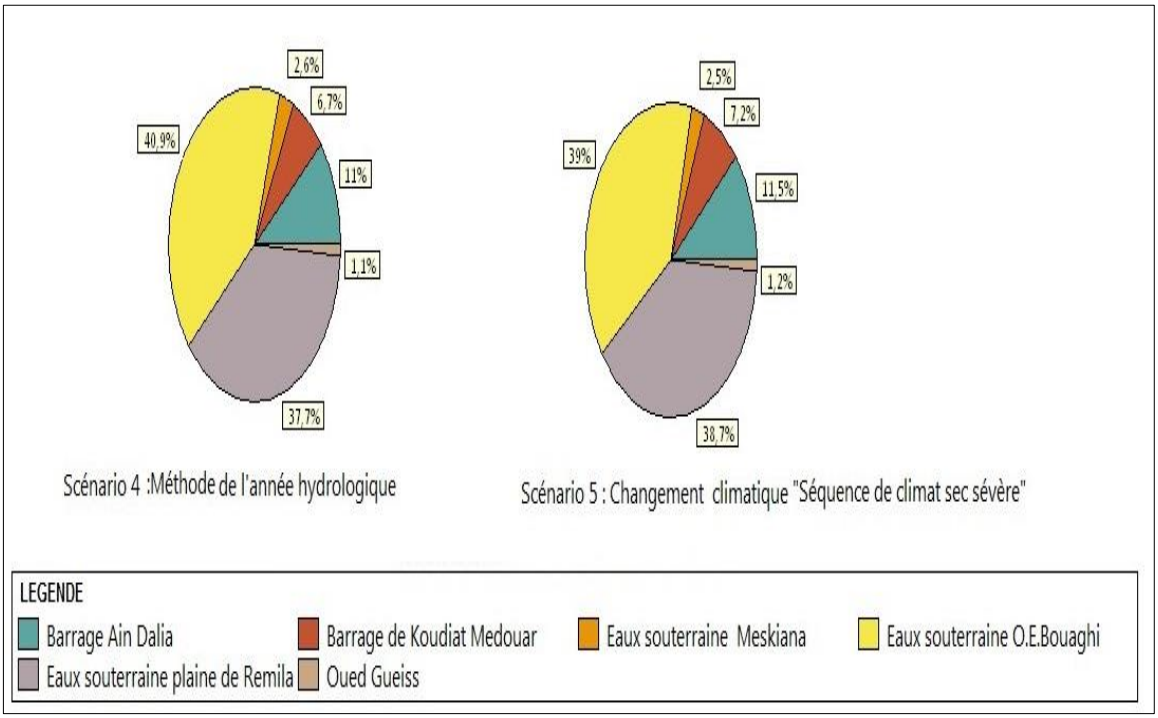


Figure 73. Répartition des eaux distribuées au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, par sources et par scénarios (2010 à 2050), en pourcent (%).

Tableau 29. Répartition des eaux distribuées par sources et par scénarios.

	Volume d'eau distribué (Mm^3) de 2010 à 2050						
	Barrages		**Unité hydrogéologiques**			**Oued Gueiss**	**Total**
	Ain Dalia	**Koudiat Medouar**	**Plaine de Meskiana**	**Plaine O.E.Bouaghi-Ain El Beida**	**Plaine de Remila-Khenchela**		
Scénario 4 : MAH	165	100	40	616	567	17	1505
Scénario 5 : CC	148	93	32	503	499	15	1291

MAH : Méthode de l'année hydrologique
CC : Changement climatique

Dans la partie qui va suivre nous allons étudier la vulnérabilité quantitative de chaque source de distribution des eaux au changement climatique, à savoir les eaux souterraines et les eaux superficielles.

a) Eaux souterraines et vulnérabilité

Stockage d'eau souterraine

Au niveau du bassin versant de Gareat El Tarf, environ 80% des eaux distribuée aux différents usagers proviennent des eaux souterraines (Fig.86). L'analyse du scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique et le scénario 5 relatif au Changement climatique va nous permettre d'évaluer la répercussion du changement climatique sur l'aspect quantitative de ces eaux. Les courbes sur la figure 87 représentent l'évolution des stockages d'eau dans les trois unités hydrogéologique dans le bassin (Plaine de Remila, La plaine de Meskiana, La région de Oum El Bouagui–Ain Beid), jusqu'à l'horizon 2050 pour les deux scénarios. Cette évolution se fait comme suit :

- Pour l'année 2010 qui est l'année du compte courant le stockage d'eau souterraine, pour les deux scénarios est de 48 Mm^3
- De Mai 2011 à décembre 2015 : les deux courbes ont une allure ascendante qui traduit une augmentation du stockage des eaux souterraines, elle atteint 148.6 Mm^3 pour le scénario Année hydrologique et 118.1 Mm^3 pour le scénario Changement climatique.

Il s'agit d'une séquence d'année humide à très humide pour les deux scénarios.

- De novembre 2015 à janvier 2023 qui est une séquence d'années sèches à très sèches pour les deux scénarios, les deux courbes prennent une allure descendante qui traduit une

baisse du stockage de l'eau ,le stockage pour le scénario Changement climatique reste plus faible à celui du scénario Année hydrologique.

- De février 2023 à Décembre 2050 : Le stockage continu à baisser pour le scénario Changement climatique jusqu'à épuisement en janvier 2041, avec une faible augmentation entre novembre 2031 et octobre 2035 qui coïncide avec une courte séquence humide. Alors que pour le scénario Méthode de l'année hydrologique le stockage reprend l'augmentation pour atteindre en mars 2036, le volume de 216.2 Mm^3, après il va baisser jusqu'à atteindre sa plus faible valeur (102.8 Mm^3) en décembre 2044.

Le stockage des eaux souterraines pour les deux scénarios est fortement influencé par la nature de l'année hydrologique ; une séquence sèche entraine une baisse du stockage alors qu'une séquence humide entraine une augmentation des stocks. Vu que le changement climatique entrainera des séquences de climat sec sévère le stockage des eaux souterraines sera très sensible à ce changement et risque de s'épuisé rapidement.

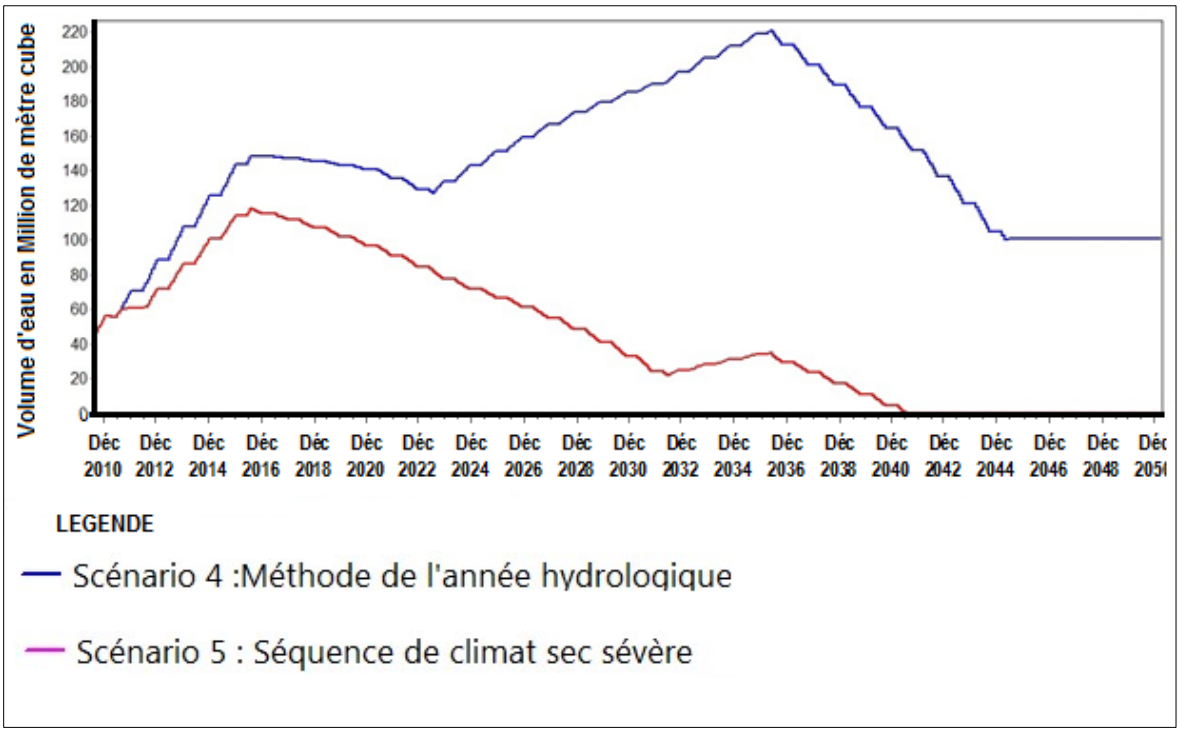


Figure 74. Evolution des stockages d'eaux souterraines (2010-2050) pour le scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique et scénario 5 : Séquence de climat sec sévère.

Débit de la nappe d'eau souterraine

Les tableaux 30 et 31, représentent la variation mensuelle du débit des la nappes d'eau souterraines, fournie par WEAP pour les deux scénarios (MAH et CC) :

- la recharge naturelle mensuelle, pour le scénario MAH, et de 4.453 Mm^3, alors que pour le scénario (CC) elle est de 3.456 Mm^3.
- l'augmentation et la baisse des stocks qui s'estime par le principe suivant : Si la recharge naturelle de la nappe est superieure aux débits sortant il y aura une augmentation des stocks des eaux souterraines,dans le cas contraire il y aura une baisse de ces stocks. L'augmentation des stocks pour le scénarion (MAH) est comprise entre 0.837 et 0.121 Mm^3 alors que pour le scénario (CC), elle beauplus faible et comprise entre 0.365 et 0.09 Mm^3.
- Les débit sortants pour le scénario (MAH) sont supérieurs à ceux relatifs au scénario (CC) car ils dépondent du volume d'eau dispoible dans les stocks, on trouve que pendant l'année humide les stocks presentent plus de capacité à offrir de l'eau et à couvrir la demande.
- la baisse des stocks se fait au cours de toute l'année mais elle est plus importante pendant les mois chauds (juin, juillet, aout, septembre et octobre), alors que leure augmentation est assurée pendant le reste de l'année.

Tableau30. Débits entrants et sortants, en mille mètre cube, au niveau des nappes d'eau souterraines du bassin versant de Gareat El Tarf estimés par WEAP pour le scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Baisse des stocks (mille m^3)	14	3	5	2382	1485	767	698	527	1	1	14	3
Débit sortant mille m^3)	3818	3753	3808	2382	1485	767	698	527	3752	3805	3818	3753
Augmentation des stocks mille m^3)	-650	-703	-650	0	0	0	0	0	-703	-650	-650	-703
Recharge naturelle mille m^3)	4453	4453	4453	0	0	0	0	0	4453	4453	4453	4453

Tableau 30. Débits entrants et sortants au niveau des nappes d'eau souterraines du bassin versant de Gareat El Tarf estimés par WEAP pour le scénario 5 : Changement climatique « Séquence de climat sec sevère ».

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Baisse des stocks (mille m^3)	33	8	16	13	16	1064	785	681	329	265	1	1
Débit sortant mille m^3)	3195	3091	3178	3152	3178	1064	785	681	329	265	3140	3164
Augmentation Des stocks mille m^3)	284	363	284	308	284	0	0	0	0	0	308	284
Recharge naturelle mille m^3)	3446	3446	3446	3446	3446	0	0	0	0	0	3446	3446

Les digrammes sur la figure 87 représentent l'effet du changement climatique sur la variation annuelle du stockage des eaux souterraines qui dépond des recharges naturelles et des vidanges. Dans ces types de diagrammes, les débits sortants sont représentés par des valeurs négatives et les débits entrants prennent des valeurs positives.

- Pour le scénario (MAH), l'augmentation de stockage varie de – 0.37 Mm^3 à – 19.78 Mm3, par contre celui du scénario (CC), passe de – 0.37 Mm^3 à – 15.55 Mm^3. Ce qui indique que le minimum restera toujours le même (-0,37 Mm3) car il dépend de la formation géologique constituant l'aquifère invariable aux changements climatiques.
- Pour la recharge naturelle des nappes d'eau souterraines du bassin elles varient de 19.82 Mm^3 à 41.06 Mm^3 pour le scénario (MAH) et de 19.82 Mm^3 à 36.82 Mm3 pour le scénario (CC).
- Pour la baisse de stockage des eaux souterraines elle s'étale sur les années sèches et très sèches. Pour le scénario (MAH), on a une baisse de stockage sur 16 ans (de l'année 2016 à 2022 et de 2036 à 2044) ; alors que pour le scénario (CC) elle s'étale sur 20 ans (sur l'année 2011, de 2016 à 2031 et de 2036 à 2038).

b) Eaux superficielles et vulnérabilité

Les courbes sur la figure 88 montrent l'effet du changement climatique sur le débit d'Oued Gueiss. Nous avons d'eux courbes : la première représente l'évolution du débit de l'Oued sous climat normal représenté par le scénario 4 : Méthode de m'année hydrologique et la seconde concerne l'évolution du débit de l'oued sous un changement climatique assimilé par le scénario 5 : Changement climatique « séquence de climat sec sévère »

L'analyse des résultats obtenus à partir de ces deux scénarios, nous montrent que :

- Les 2 courbes commencent à se différencier dès l'année 2011, ce qui est évident à cause du changement climatique de l'année futur, avec toujours la courbe du scénario 4 en dessus de celle du scénario 5.donc s'il y a changement climatique le débit de Oued Gueiss va baisser.
- Le débit maximum atteint au cours de ces 40 années pour le scénario 4 est de 6.7 Mm^3 alors que s'il y a changement climatique il ne dépassera pas 6.4 Mm^3.
- L'écart entre le débit de l'oued pour le scénario 4 et 5 et variable il atteint 1.4 Mm^3 en 2023.

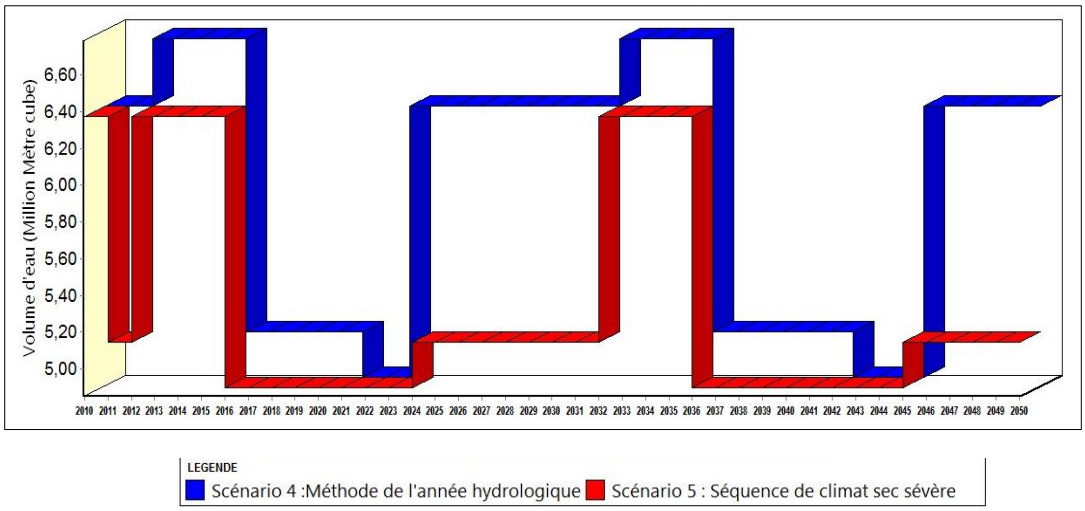
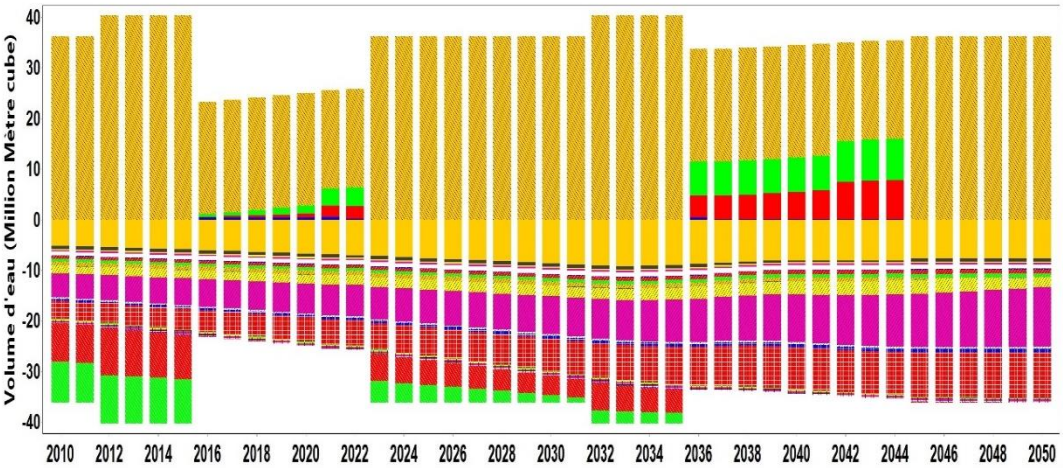
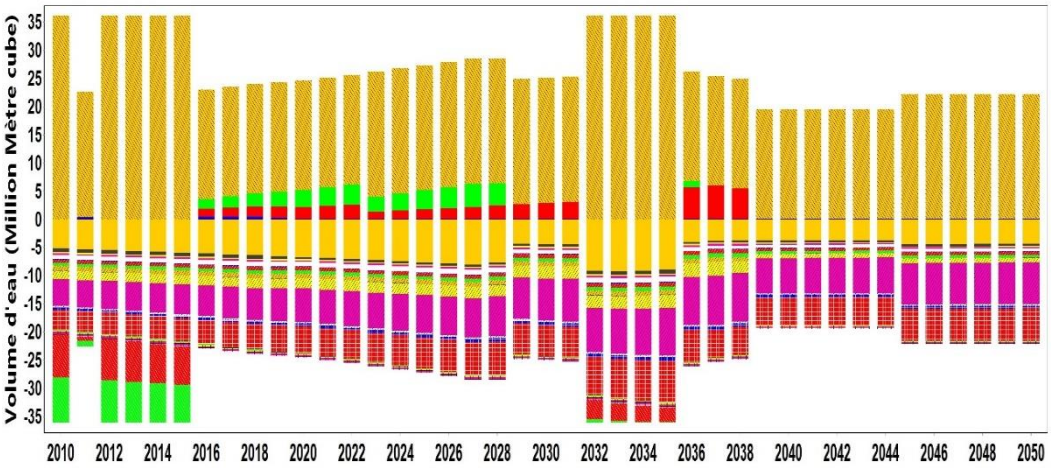


Figure 88. Evolution du débit d'Oued Gueiss pour le scénario 4 : Méthode de l'année hydrologique et scénario 5 : Changement climatique « séquence de climat sec sévère ».

- L'évolution du volume d'eau stocké au niveau du barrage de Koudiat Medouar et celui d'Ain Dalia, peut s'observer dans la figure 90. Elle varie selon la saison et l'exploitation, ce qui explique l'allure des graphes en forme de dent de scie. En janvier 2010 le volume d'eau totale stocké dans les deux barrages est estimé à 70 Mm^3, il commence à baisser à partir de l'année 2011 pour les deux scénarios. Toutefois le scénario du changement climatique provoque une baisse plus importante des stocks jusqu'à un total épuisement en 2024.



a)



b)

LEGENDE

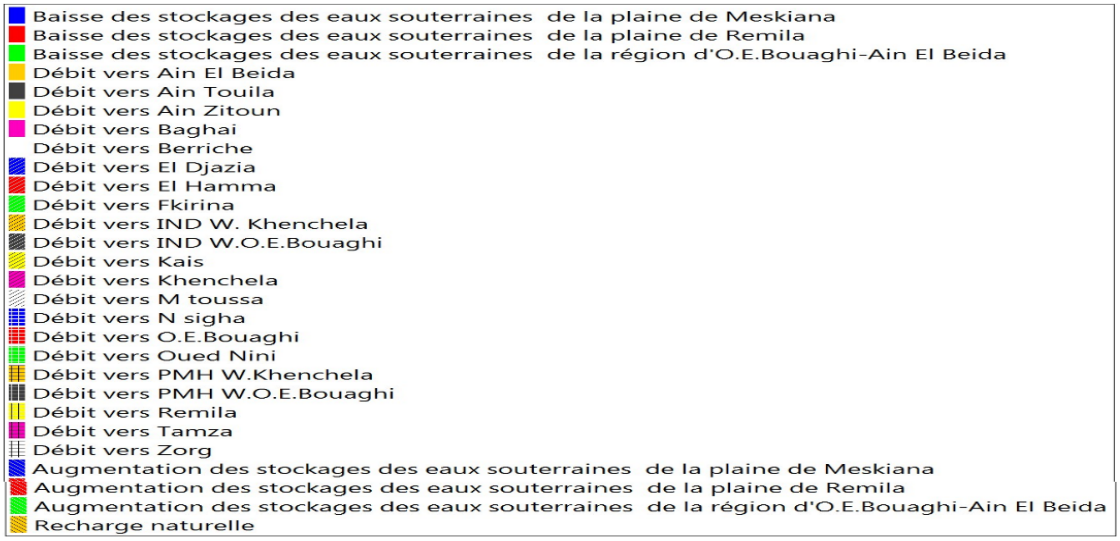


Figure 75. Débit annuel des nappes d'eau souterraines du bassin versant de Gareat El Tarf :a) scénario 4 : Année hydrologique ,b) scénario 5 : Changment climatique « séquence climatique sec sevère ».

La baisse des stocks des eaux souterraine et superficielles sous l'effet d'un changement climatique a fait que e recouvrement mensuelle interannuel (2010-2050), de la demande des différents secteurs pour le scénario MAH et meilleur que celui du scénario CC.la différence et d'environ 10% (Fig.91).

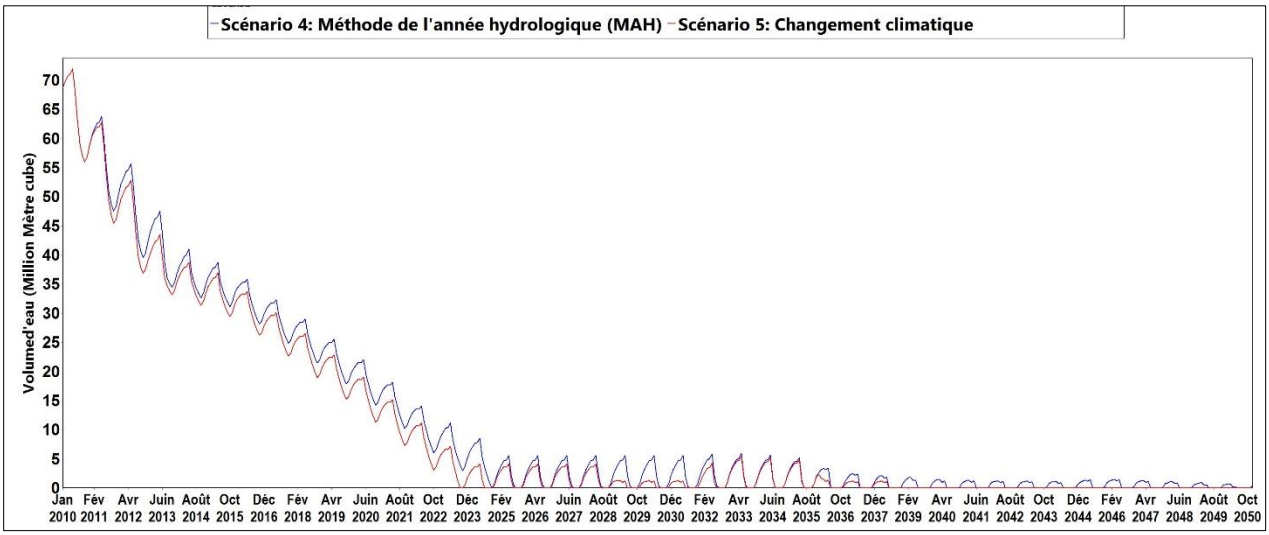


Figure 76. Evolution du volume d'eau stockée dans le barrage de Koudiat Medouar et Ain Dalia (2010-2050) pour le scénario 4 : Année hydrologique et le scénario 5 : Changement climatique.

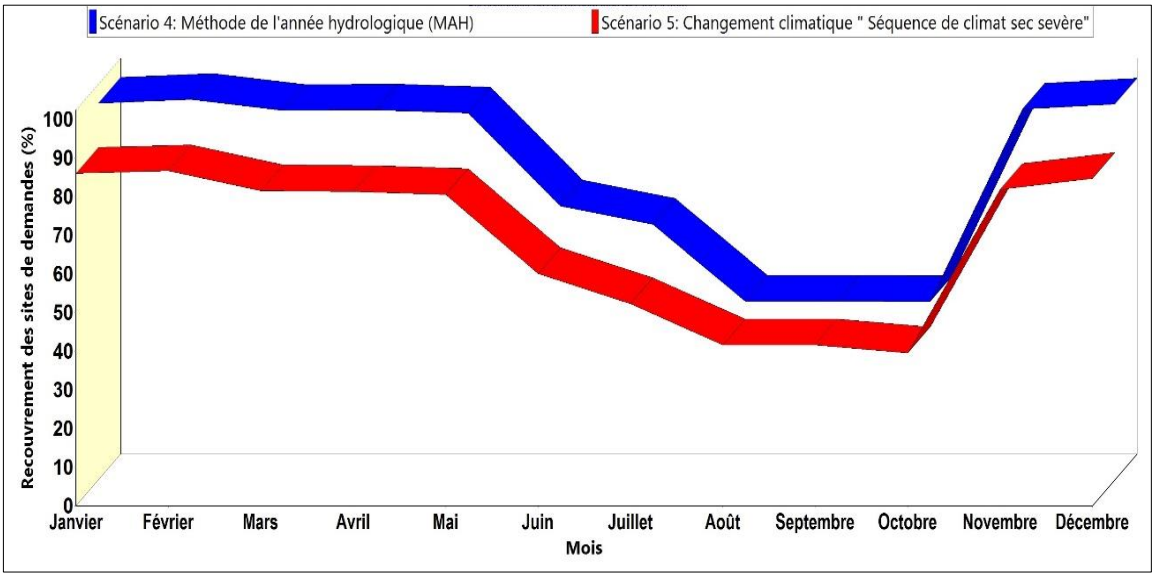


Figure 77. Recouvrement mensuel des sites de demande (domestiques,irrigation et industrie) pour le scénario 4 :Méthode de l'année hydrologique et scénario 5 : changement climatique « séquence de climat sec sévère » (2010 et 2050).

8.6.CONCLUSION

L'utilisation du logiciel WEAP pour simuler le système de gestion des ressource en eau dans la zone d'étude à long terme (2010-2050), sous la vision du PNE et sous une vision d'économie d'eau traduite par une gestion de la demande en eau ; a révélé que la faible efficience du système d'irrigation gravitaire et qui est le système le plus utilisé ça fait du secteur agricole non seulement le plus grand consommateur mais aussi le plus grand gaspilleur d'eau. C'est un secteur qui sera sensiblement touché par la moindre pénurie d'eau. Les efforts considérables de mobilisation des ressources en eau au niveau du bassin atteindront à court terme leurs limites physiques et économiques. Pour assurer une gestion durable des ressources en eau, l'orientation doit se faire vers une gestion des ressources en eau basée sur la mobilisation des eaux superficielles à partir des transferts d'eau, soutenu par une gestion de la demande.

Les débits des oueds et le stockage de barrage et les eaux des nappes souterraines sont vulnérables au changement climatique, la situation est ainsi alarmante.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail mené constitue une première contribution à la gestion durable des ressources en eau sur le bassin versant de Gareat El Tarf, à partir d'une modélisation hydrologique. Nous avons aboutis aux constatations suivantes :

- Le bassin de Gareat El Tarf ; se situe à l'extrême Est des hautes plaines constantinoises, couvre une superficie de 2432 km^2. Le bassin est caractérisé par un relief très faible. Les pentes fortes marquent surtout la bordure du bassin ainsi que la sebkha. C'est un bassin à vocation agricole, à cheval entre la wilaya de Khenchela et Oum El Bouaghi. Il englobe environ 455 000 habitants répartis sur 16 communes, avec un taux de croissance démographique annuel moyen de 1.25%**.** Dans le cadre du Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT) à l'horizon 2030, la politique nationale fait du développement du domaine agricole notamment l'agriculture irriguée l'une de ses première priorités au niveau du bassin.
- Le climat du bassin est de type semi-aride, avec une saison sèche, qui s'étale sur six mois (mai à octobre). Son bilan hydrique pour la période (1996-2015), révèle que le baasin versant reçoit une lame d'eau précipité comprise entre 483 et 413 mm,une part comprise entre 427et 365 mm retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur les reserve utile capte entre 21 et 36 mm par an tandis que le reste (48 à 56 mm), donne lieu à un apport d'eau à l'hydro- système continental. C'est un système déficitaire de plus de 450 mm/an.
- Les ressources en eau souterraines renouvelables sur lesquelles s'appuie le bassin versant, sont estimées à 40 $Mm^{3,}$ pour une année moyenne alors que pour une année sèche elles descendent à la moitié. Les eaux non conventionnelles des stations de traitement des eaux usées, commencent à prendre leurs places parmi les ressources en eau au niveau du bassin avec une capacité journalière globale de 47062 m^3/j. Les ressources en eau superficielles sont d'une moindre importance, il s'agit d'un barrage envasé, et d'un unique oued à faible débit. Pour subvenir à couvrir la demande croissante en eau, des transferts d'eau provenant des barrages qui se situes à l'extérieur du bassin, il s'agit du barrage de Beni Haroun et de celui de Dalia sont réalisés pendant les dernières années.
- La connaissance des écoulements de surface est difficile devant la rareté des stations de jaugeage et le manque de longue série de mesure c'est une ambiguïté qui peut causer une vrai problématique dans la bonne connaissance des ressources en eau et donc à leurs gestion. La simulation de la pluie en débit par le modèle hydrologique GR2M et GR1A

peut être performante en termes de prévision des débits des cours d'eau non jaugés au niveau du bassin versant objet d'étude.

- Une contribution à la gestion des inondations par ruissellement au niveau du bassin objet d'étude est effectuée à partir d'une cartographie réalisée par @iRIP,

Cette cartographie indique que de vastes zones sur le bassin présentent une aptitude à être inonder et (ou) à subir des coulées boueuses. Les secteurs qui peuvent être problématiques ou à risque sont ceux où l'aléa de ruissellement croise des zones à enjeux notamment les zones urbaines. Le canal ouvert réalisé aux bordures du massif du Ras Serdoune, pour protéger la ville de Khenchela contre le risque d'inondation par les eaux de ruissellement, provenant de la tête du sous bassin versant, pourra agir en retenant une partie d'eau ruisselée sur le secteur sud de la ville de Khenchela ; par contre la partie nord reste toujours exposée à ce risque.

Pour lutter durablement contre le risque d'inondation, il faut encourager les agriculteurs à introduire des pratiques favorables à la réduction du risque de ruissellement et d'érosion.

- La stratégie de développement du secteur de l'eau à l'horizon 2030 est tracée par le Plan National de l'eau. WEAP (Système d'Evaluation et de Planification des Eaux) autant qu'outil de planification flexible est utilisé dans notre étude. le principe du fonctionnement logiciel est de proposer différents scénarios de gestion des ressources en eau ou de conditions climatiques, et de les comparer les uns aux autres.

L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau dans le bassin versant Gareat El Tarf. En 2010, elle représente 84% de la demande totale en eau.

La demande en eau au niveau du bassin de Gareat El Tarf à l'horizon 2050 est de 700 Mm^3 pour le scénario (PNE), alors que grâce à une politique de gestion de la demande elle est de 200 Mm^3.

Le bassin sera confronté à un déficit en eau, et qui malgré son grand écart entre la politique du PNE (600 Mm^3) et celle de gestion de la demande (200 Mm^3).reste important est représenté un véritable frein à la prospérité de l'agriculture qui porte toute l'ambition du développement économique de la région. L'orientation doit se faire vers une gestion des ressources en eau basée sur la mobilisation des eaux superficielles à partir des transferts d'eau, soutenu par une gestion de la demande.

La simulation d'un scénario de changement climatique, traduit par des séquences climatiques sèches prolongées, sur WEAP, révèle que les débits des oueds, le stockage de

barrage et les eaux des nappes souterraines sont vulnérables au changement climatique, la situation est ainsi alarmante.

ANNEXES

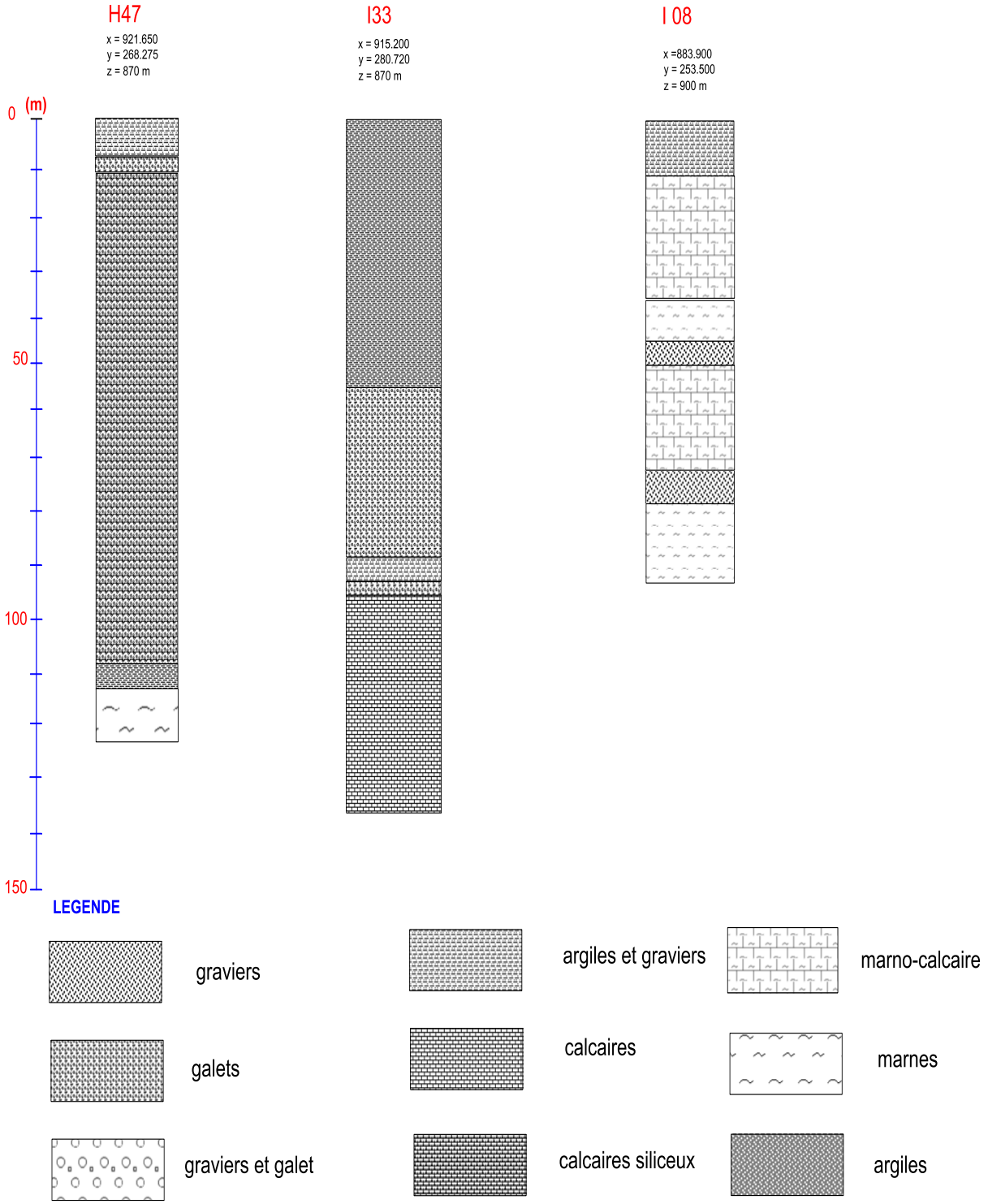
Annexe 1.Surfaces agricoles et surfaces irriguées au niveau de la wilaya de Khenchela et la wilaya d'Oum El Bouaghi.

Nom de la Commune	SAU Totale (ha)	Nb. exploit irrig	Zone géographique dirrigation (PMH)		Sup moy irrig phys par exploit ha	Zones d'irrigation individuelles		Périmètres Collectifs		SAU physique en GPI (ha)	Superficie physique irriguée à partir des		Principales cultures en irrigué (ha)					Total SAU Développée (ha)	Coef-ficient d'inten-sification calcué	Taux d'occu-pation du sol cult mar	Mode d'irrigation 2008 (ha)			
			Nbre	SAU physique (ha)		Nbre	SAU physique (ha)	Nbre	SAU physique (ha)		Eaux souter. (ha)	Eaux de surface (ha)	Céréales & fourrages	Maraîchage	Arbo & viticulture	Palmiers	Divers				Aspersion	Goutte à Goutte	Gravitaire	Citernage
Oum El Bouaghi	26 832	56	5	195	3,48	5	195	0	0	0	195	0	120	22	60	0	0	202	1,04	1,47	80	5	110	0
Ain Beida	4 854	22	2	39	1,77	2	39	0	0	0	39	0	34	4	3	0	0	41	1,05	2,00	9	0	30	0
Ainmlila	10 028	448	3	650	1,45	3	650	0	0	0	650	0	320	246	25	0	95	686	1,06	1,12	390	18	242	0
Ain Babouche	9 631	44	2	119	2,70	2	119	0	0	0	119	0	89	25	13	0	0	127	1,07	1,47	52	5	62	0
Berriche	21 262	83	4	155	1,87	4	155	0	0	0	155	0	55	34	80	0	0	169	1,09	1,70	15	5	135	0
Ouled Hamla	11 132	197	2	427	2,17	2	427	0	0	0	427	0	84	317	28	0	45	474	1,11	1,15	84	15	328	0
Hanchir Toumghani	7 133	300	1	1 462	4,87	1	1 462	0	0	0	1 462	0	1 159	298	47	0	0	1 504	1,03	1,16	800	47	615	0
Souk Naamane	9 174	451	3	1 672	3,71	3	1 672	0	0	0	1 672	0	640	350	82	0	600	1 672	1,00	1,00	30	12	1 630	0
Zorg	7 617	25	1	60	2,40	1	60	0	0	0	58	2	20	0	40	0	0	60	1,00		0	5	49	6
Bir Chouhada	10 726	138	4	756	5,48	4	756	0	0	0	756	0	400	350	56	0	10	816	1,08	1,20	250	26	480	0
Ksar Sbahi	10 468	38	1	106	2,79	1	106	0	0	0	36	70	44	20	46	0	0	110	1,04	1,25	40	4	62	0
Ain Fekroune	14 794	17	0	30	1,76	0	30	0	0	0	30	0	23	0	7	0	0	30	1,00		19	7	4	0
Ouled Gacem	6 053	215	3	534	2,48	3	534	0	0	0	534	0	79	481	4	0	2	566	1,06	1,07	379	5	150	0
El Djazia	18 536	52	1	215	4,13	1	215	0	0	0	215	0	166	52	14	0	0	232	1,08	1,49	30	4	181	0
Fkirina	26 653	167	5	712	4,26	5	712	0	0	0	712	0	362	380	130	0	0	872	1,22	1,73	264	2	446	0
El Fedjoudj Boughrar	11 209	17	2	70	4,12	2	70	0	0	0	70	0	54	16	6	0	0	76	1,09	1,60	50	3	17	0
Ouled Zouai	5 299	120	2	406	3,38	2	406	0	0	0	406	0	360	30	25	0	6	421	1,04	1,71	175	10	221	0
Oued Nini	18 051	124	3	617	4,98	3	617	0	0	0	605	12	339	414	5	0	3	761	1,23	1,53	35	1	580	1
Ain Zitoun	69 132	63	2	610	9,68	2	610	0	0	0	610	0	514	34	62	0	0	610	1,00	1,00	31	19	560	0
El Harmilia	7 156	203	2	777	3,83	2	777	0	0	0	777	0	650	224	25	0	2	901	1,16	2,22	400	18	359	0
Khenchela	336	21	1	360	17,14	1	360	0	0	0	100	260	356	0	4	0	0	360	1,00		0	0	360	0
Mtoussa	9 062	413	7	1 079	2,61	5	579	2	500	0	606	473	220	181	678	0	0	1 079	1,00	1,00	70	79	930	0
Kais	3 021	220	4	373	1,70	4	373	0	0	0	140	233	220	3	150	0	0	373	1,00	1,00	16	39	315	3
Baghai	12 690	400	2	1 160	2,90	1	1 040	1	120	0	1 060	100	450	134	576	0	0	1 160	1,00	1,00	170	100	890	0
El Hamma	9 188	260	10	943	3,63	10	943	0	0	0	808	135	120	74	749	0	0	943	1,00	1,00	90	130	723	0
Ain Touila	13 407	203	12	1 020	5,02	12	1 020	0	0	0	1 020	0	200	22	798	0	0	1 020	1,00	1,00	10	122	870	18
Taouzianat	8 088	185	6	735	3,97	6	735	0	0	0	420	315	100	75	560	0	0	735	1,00	1,00	1	37	697	0
Remila	18 404	445	17	3 805	8,55	11	3 500	6	305	0	3 805	0	2 688	374	930	0	0	3 992	1,05	2,00	30	113	3 522	140
Ensigha	7 856	230	6	1 191	5,18	4	549	2	642	0	765	426	157	87	967	0	0	1 211	1,02	1,30	9	114	1 068	0
Ouled Rechache	15 041	132	6	890	6,74	6	890	0	0	0	890	0	0	80	810	0	0	890	1,00	1,00	0	20	870	0
El Mahmal	27 559	422	5	2 260	5,36	5	2 260	0	0	0	2 260	0	258	400	1 602	0	0	2 260	1,00	1,00	48	160	2 052	0
Tamza	9 261	418	5	1 545	3,70	2	435	3	1 110	0	1 157	388	0	90	1 455	0	0	1 545	1,00	1,00	4	160	1 381	0

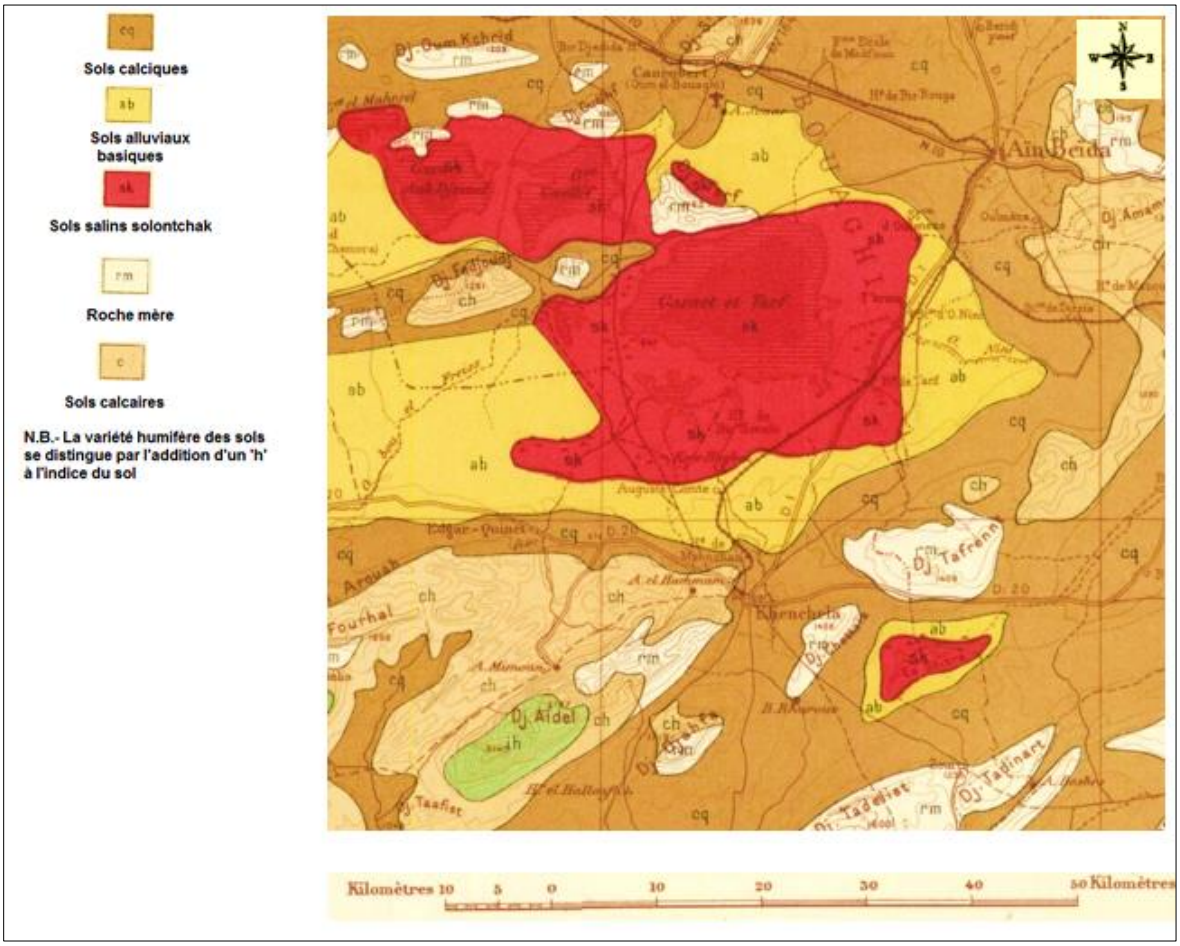
Annexe 2.Les lignes directrices du Programme d'Action Territoriale « PAT ».

Lignes directrices	Programmes d'Action Territoriale «PAT»
1 : Vers un territoire durable	• PAT 1 : la durabilité de la ressource en eau
	• PAT 2 : la conservation des sols et la lutte contre la désertification
	• PAT 3 : les écosystèmes
	• PAT 4 : les risques majeurs
	• PAT 5 : le patrimoine culturel
2 : Créer les dynamiques du rééquilibrage territorial	• PAT 6 : le freinage de la littoralisation et l'équilibrage du littoral
	• PAT 7 : l'Option Hauts Plateaux
	• PAT 8 : l'Option développement du Sud
	• PAT 9 : la délocalisation des activités et la déconcentration administrative
	• PAT 10 : un système urbain hiérarchisé et articulé
3 : Créer les conditions de l'attractivité et de la compétitivité des territoires	• PAT 11 : la modernisation et le maillage des infrastructures des travaux publics, de transport, de logistique et de technologies de l'information et de la communication
	• PAT 12 : la mise à niveau et la modernisation des 04 grandes villes : Alger, Oran, Constantine, Annaba
	• PAT 13 : les Pôles d'Attractivité (PA) et les Zones Intégrées de Développement Industriel (ZIDI)
	• PAT 14 : les espaces de programmation territoriale
	• PAT 15 : le développement local
	• PAT 16 : l'ouverture à l'international
	• PAT 17 : le Maghreb
4 : Réaliser l'équité territoriale	• PAT 18 : le renouvellement urbain et la politique de la ville
	• PAT 19 : le renouveau rural
	• PAT 20 : le rattrapage et la mise à niveau des zones à handicaps

Annexe 3.Coupe lithologiques du forage H47, I33 et I08.



Annexe 4 .Extrait de la carte du sol de Tébessa (Durand, 1948).



Annexe 5. Les données utilisées par WEAP pour la modélisation des sites de demande sur le compte actuel.

Sites de demandes	Niveau d'activité annuelle		Consom m-ation Annuelle	Variation Mensuelle	Taux de Consomm ation	Le taux de perte	Gestion de la demand e
COMMUNE	**NOMB RE D'HABI -TANTS**	**TAUX DE CROISSANC E DEMOGRAP H-IQUE**					
Khenchela							
Kais	108580						
Remila	34383						
Tamza	5606	2.3					
El Hamma	8617	1.8					
Ensigha	12051	-0.2					
Baghai	9257	0	39.42 (m^3 /an/per)*	Proportionn el au nombre de jours dans un mois	0.02	45%	0%
M'toussa	6676	1.2					
Ain Touila	5981	1.6					
O.E.Bouaghi	16845	0.4					
Oued Nini	80359	0.8					
El Djazia	5119	1.3					
F'kirina	3878	3					
Zorg	12318	0.5					
Ain Beida	2281	1.6					
Berriche	118662	0.8					
Ain Zitoun	17609	2.8					
	5948	2.6					
		0.8					
		-0.1					
SITE AGRICULTURE				Nov. - Mai 0%			
PMH Khenchela		2944	5100 m^3/hectare s	Juin 25%	96%		
PMH O.E.Bouaghi		11683		Juill. 30%			
				Aout 25			
				Sep. 10%			
				Oct. 10%			
ZONE INDUSTRIELLE **				Proportionn el au nombre de jours dans un mois	/		
ZI. Khenchela		1	815200 (m^3/an)				
Z.I. d'O.E.Bouaghi		1	36500 (m^3/an)				

**La consommation annuelle affectée aux habitants concerne la dotation nette moyenne domestique et autres usages (domestique, commerce, éducation, santé).*

Annexe 6 .Evolution de la consommation unitaire en eau pour l'usage domestique pour le scénario2 : Plan National de l'Eau (PNE).

Commune	Consommation unitaire (m^3/an/personne)				
	2010	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**
Khenchela	43.07	45,625	48,18	53,655	59,13
Kais	41.24	41,245	43,8	46,72	51,83
Remila	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
Tamza	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
El Hamma	41.24	41,245	43,8	46,72	51,83
Ensigha	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
Baghai	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
M'toussa	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
Ain Touila	41.24	41,245	43,8	46,72	51,83
O.E.Bouaghi	43.07	45,625	48,18	53,655	59,13
Oued Nini	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
El Djazia	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
F'kirina	41.24	41,245	43,8	46,72	51,83
Zorg	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815
Ain Beida	43.07	45,625	48,18	53,655	59,13
Berriche	41.24	41,245	43,8	46,72	51,83
Ain Zitoun	35.77	38,325	40,88	43,07	47,815

BIBLIOGRAPHIE

1) AGENCE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES,2002. Les cahiers de l'agence, Le N° 7 bassin de la Seybouse.Algérie.32p.

2) AGENCE NATIONAL DES RESSOURCES HYDRIQUES, 1993. [Document cartographique]. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000.Ministère de l'Equipement, éd. I.N.C., Alger.

3) AGENCE NATIONALE D'INTERMEDIATION ET DE REGULATION FONCIERE, 2011.Monographie de la wilaya d'Oum El Bouaghi. Algérie. 6p.

4) AGENCE NATIONALE D'INTERMEDIATION ET DE REGULATION FONCIERE, 2013. Monographie de la wilaya de Khenchela. Algérie. 8p.

5) ALLEN R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper Rome, Italy No. 56.300 pp.

6) ASSAF H., SAADEH M., 2006.Development of an Integrated Decision Support System for Water Quality Control in the Upper Litani Basin, Lebanon," presented at the International Environmental Modeling and Software Society, Burlington, VT, USA.

7) BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 88: 193-239

8) BAKKEN T. H., ALMESTAD C., RUGELBAK J M., ESCOBAR M., MICKO S., ALFREDSEN K.,2016.Climate Change and Increased Irrigation Demands: What Is Left for Hydropower Generation? Results from Two Semi-Arid Basins," Energies, Vol. 9, No. 3.

9) BENABBAS C., 2006. Evolution Mio-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie Nord orientale : apport de la photogeologie et analyse morphostructurale. Thèse Doc.Univ.constantine.253p.

10) BENDJOUDI H., HUBERT P., 2002.Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants. Hydrological sciences, 47 : 921-930.

11) BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I. & MORIN, J., 1987. Variability of infiltration in a field with surface-sealed soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1299-1302.

12) BERREDJEM A.F., HANI A., 2017. Modelling current and future supply and water demand in the northern region of the Seybouse Valley. Journal of Water and Land Development. No. 33 p. 31–38. DOI: 10.1515/jwld-2017-0016.

13) BHARATI L., ANAND B.K., SMAKHTIN V., 2007. Analysis of the Inter-basin Water Transfer Scheme in India : A Case Study of the Godavari–Krishna Link," in Strategic Analyses of the National River Linking Project (NRLP) of India, Series 2, Proceedings of the Workshop on Analyses of Hydrological, Social and Ecological Issues of the NRLP, pp. 63-78, Colombo, Sri Lanka

14) BHATTI G. H., PATEL H. M., 2015.Irrigation Scheduling Strategies for Cotton Crop in Semi-Arid Climate using WEAP Model," Journal of Indian Water Resources Society, Vol. 35, No. 1, pp. 7-15.

15) BONNET S., 2012. Cartographie des zones potentielles de production ou d'accumulation du ruissellement de surface en région cévenole. IRSTEA Lyon, France.

16) BONNET, S., POULARD C., BREIL P., 2013. Cartographie de l'aléa ruissellement - Inventaire des éléments de validation. IRSTEA Lyon.

17) BOUDHAR A., 2009. Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des oueds du haut atlas de Marrakech. Thèse de doctorat de l'université de l'universite Cadi Ayyad, faculté des sciences et techniques- Marrakech, Maroc : 215p.

18) BOUKLIA-HASSANE R., YEBDRIA D., EL-BARI A., 2014. Prospects for a Larger Integration of the Water Resources System Using WEAP Model: A case study of Oran province, Desalination and Water Treatment,
19) Doi:10.1080/19443994.2014.984341.

20) CERDAN, O., SOUCHÈRE, V., LECOMTE, V., COUTURIER, A., LE BISSONNAIS, Y., 2002. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model: sealing and transfer by runoff and erosion related to agricultural management. Catena 46, 189–205.

21) CHAUMONT, M., PAQUIN C., 1971. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500 000e, 4 feuilles + notice. Soc. Hist Nat. Afrique du Nord, Alger, 25 p.

22) COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE, 1969. Prospection Géophysique de la plaine de Remila (Khenchela). Coupes transversales. Compagne 432 Générale de Géologie. Direction Département des Travaux Publique de Batna. 35p.

23) CORON L., PERRIN C., MICHEL C., 2017. airGR: Suite of GR Hydrological Models for Precipitation-Runoff.Modelling. R package version 2017. http://webgr.irstea.fr/modeles/?lang=en

24) CORON L., PERRIN C., DELAIGUE O., ANDR´EASSIAN V., THIREL G., airGR: a suite of lumped hydrological models in an R-package, Environmental Modelling and Software, in preparation.

25) CÔTE M., 1988. L'Algérie ou l'espace retourné. Volume 17. Paris. Flammarion. 20-82128-01-6.3 pp.311.

26) CÔTE M., *2011.* L'Algérie, mondialisation et nouvelles territorialités, Méditerranée, 116 | 2011, 77-84.

27) C.P.C.S., 1967. Classification des sols. Laboratoire de pédologie de l'E.N.S.A. Paris- Grignon, 87p.

28) DALI N., 2009. Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat El Tarf (W. KHENCHELA. Magister memory. univ. Annaba, Algeria. 174p.

29) DAUM J.R., DESPATS J.F., 1996. Précipitations efficace moyennes annuelles en France (1965-1994).Rapport BRGM R 38 975, pp.17, 4 annexes.

30) DEHOTIN J., BREIL P., 2011a. Technical report of the IRIP project: mapping the flooding by runoff (Technical report). IRSTEA Hydrology-Hydraulic Research Unit. IRSTEA Lyon, France.

31) DEHOTIN, J., BREIL, P., 2011b. IRIP project: Research bibliographic report on surface runoff mapping (Literature review). IRSTEA Hydrology-Hydraulic Research Unit, Lyon, France.

32) DEHOTIN J., BREIL P., I. BRAUD, A. DE LAVENNE, M. LAGOUY, SARRAZIN B., 2015a. Detecting surface runoff location in a small catchment using distributed and simple observation method, Journal of Hydrolgy, 525: 113–129.

33) DEHOTIN J., CHAZELLE B., LAVERNE G., HASNAOUI A., LAMBERT L.,BREIL P., ET BRAUD I., 2015b.Applying runoff mapping method IRIP for flooding risk analysis on railway infrastructure, Houille Blanche, 6: 56–64.

34) DE MARTONNE E., 1926. Aréisme et indice d'aridité. Compt. Rend. de l'Acad. Sci, Paris n. 182, p. 1396-1398.

35)

36) DEMERTZI K.A., PAPAMICHAIL D.M., GEORGIOU P.E., KARAMOUZIS D.N., ASCHONITIS V.G., 2014. Assessment of Rural and Highly Seasonal Tourist Activity Plus Drought Effects on Reservoir Operation in a Semi-Arid Region of Greece using the WEAP Model," Water International, Vol. 39, No. 1, pp. 23-24, doi:10.1080/02508060.2013.848315,

37) DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome, Italie.

38) DOUAOUI E. K, NICOLASB H., WALTER C., 2006. *Detecting Salinity Hazards within* a *Semiarid Context*by *Means* of *Combining Soil* and *Remote-Sensing Data*," Geoderma, Vol. 134, No. 1-2, pp. 217-230.

39) DUMAS J., 1965. Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers ORSTOM.Série Pédologie, 3 (4), p. 307-333. ISSN 0029-7259

40) DUROZOY G., 1948. Etude hydrogéologique des Garaa Guellif et Tarf (Alimentation en eau d'Ain Beida-Forage éventuels de reconnaissance-Implantation de puits pour le S.A.R. du Kef Gouriret-Ressources en eau de la plaine de Nini.Arch.S.C.H. Rapport du 22 Novembre 1948.

41) FORT M., BETARD F., ARNAUD-FASSETTA G., 2015. Le bassin versant, un cadre privilégié pour l'étude de l'érosion. Dans Géomorphologie dynamique et environnement. . Paris. Armand Colin p. 53-90

42) GAO J, CHRISTENSEN P., LI W., 2017. Application of the WEAP model in strategic environmental assessment: Experiences from a case study in an arid/semi-arid area in China. Journal of environmental management, Vol. 198, No. 1, p. 363.

43) GNOUMA R., 2006. Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron. Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de .Lyon, France : 412p.

44) GONZALEZ S. E., BRAUD I., DEHOTIN J., LASSABATERE L., ANGULO R., JARAMILL O., 2010. Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment. Hydrological Processes, Wiley, 24 (17), p. 2382 - p. 2399.

45) GRAVELIUS H.,1914. Grundrifi der gesamten Gewâsserkunde, Volume 1: Rivers. Berlin, Germany. Goschen.

46) GREEN, T. R., 2011. Beneath the surface of global change, Impacts of climate change on groundwater. J. Hydrol. 405,532-560.

47) GUIRAUD, R., 1973. Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Doc. Ès. Sci. Univ. Nice, 270 p.

48) HERMASSI T., OUSSAIFI D., HABAIEB H., 2013. Influence du changement climatique et des aménagements CES sur l'hydrologie du bassin versant du barrage Nebhana. IV Meeting International sur la « Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Oasiennes: Perspectives pour un Développement Durable des Zones Arides. Djerba, Tunisie, 17-19.

49) HORTON R.A., 1945. Erosional development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophisical approach to Quantitative Morphology. Geo. Soc. America Bull. Vol. 56 p. 275-370.

50) IMACHE, A., 2008. Construction de la demande en eau agricole au niveau régional en intégrant le comportement des agriculteurs : application aux exploitations agricoles collectives de la Mitidjaouest (Algérie). Thèse de doctorat, AgroParisTech, Paris.

51) JAILLET C., POULARD C., BREIL P., 2012. .Synthèse des méthodes de cartographie des inondations par ruissellement en France (au sens de la Directive Inondation) - Convention "prévention des inondations." IRSTEA Lyon.

52) KINIOUAR H., HANI A,, KAPELAN A.,2017. Water Demand Assessment of the Upper Semi-arid Sub-catchment of a Mediterranean Basin, Energy Procedia, Vol. 119, pp. 870-882.

53) LAFFITTE, R., 1939. Etude géologique de l'Aurès. Thèse ès. Sciences. Univ. Paris. Bull. Sve Carte Géol., Algérie, 484p.

54) LAGADEC L., BREIL P., CHAZELLE C., BRAUD I., MOULIN L., 2016a.Use of post-event surveys of impacts on railways for the evaluation of the IRIP method for surface runoff mapping.3rd European Conference on Flood Risk Management.

55) LAGADEC L.-R, PATRICE P., CHAZELLE B., BRAUD I., DEHOTIN J., HAUCHARD E., BREIL P., 2016. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method, Journal of Hydrolgy, 541:495-509.

56) LAMBERT R., 1996. Géographie du cycle de l'eau. Presses Univ. Du Mirail, Toulouse, 439 p.

57) LAVERNE G., 2013. Comment utiliser la méthode de cartographie du ruissellement IRIP pour améliorer la prise en compte du ruissellement dans l'analyse des risques ferroviaires ? . SNCF Projets Systèmes Ingénierie. IRSTEA Hydrology-Hydraulic Research Unit, Lyon,France.

58) LE MOINE N., 2008.Le bassin versant de surface vu par le souterrain : une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ? Thèse de doctorat, CEMAGREF (UR HBAN, Antony), France : 324 p.

59) LOON V., DROOGERS P., 2006.Water Evaluation and Planning System, Kitui Basin - Kenya," Project WatManSup: Integrated Water Management Support Methodologies for Turkey and Kenya, Report no 2.

60) LOON V., MATHIJSSEN H., DROOGERS P., 2007. Water Evaluation and Planning System, Gediz Basin - Turkey," Project WatManSup: Integrated Water Management Support Methodologies for Turkey and Kenya, Report no 5.

61) MALIEHE M., MULUNGU D., 2017. Assessment of water availability for competing uses using SWAT and WEAP in South Phuthiatsana catchment, Lesotho. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.

62) MANSOURI S., OUERDACHI L., REMAOUN M.,2017. Inter-region planning and analysis of water resources by using WEAP model Seybouse (Annaba) and Coastal East of Constantine (El-Taref), Journal of Water and Land Development, Vol. 33, No. 1, pp. 115-122, doi:10.1515/jwld-2017-0026

63) MARDHEL V., MACHARD DE GRAMONT H., VINCHON C., 2002.Relation entre le réseau hydrographique de surface et les eaux souterraines dans le secteur du bassin d'Orchies : implication de son aménagement sur la vulnérabilité des nappes phréatiques. Edition : Orléans : BRGM (00PIR251).

64) MARGAT J., 1987. Les ressources en eau souterraines revisitée.Doc, BRGM,87 SGN 524 EAU. Orléans, France. 32 p.

65) MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT., 2001. Projet ALG/98/G31 : Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Mars, 155 p.

66) MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TOURISME., 2008. La mise en œuvre du schéma national d'aménagement du territoire (SNAT) 2025. Document de Synthèse.Algérie.110p.

67) MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, GEF/PNUD., 2010 : Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC, 211p.

68) MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU. 2006. Etude D'inventaire Et De Développement De La PMH. Volume 1 De 2 – Rapport Principal.

69) MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU., 2007. Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national : mission 3 étude de faisabilité et mission 4 normes de réutilisation des eaux usées épurées/TECSULT- Alger : TECSULT International Limitée.- BA,04rapp,ill;30cm.

70) MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU., 2015. Politique Gouvernementale Dans Le Domaine Des Ressources En Eau.

71) MOTLATSI M., DEOGRATIAS M., 2017. Assessment of water availability for competing uses using SWAT and WEAP in South Phuthiatsana catchment, Lesotho.,Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.

72) MOUELHI, S., 2003. 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, 323p.

73) MOUELHI S., MICHEL C., PERRIN, C. ET ANDREASSIAN V., 2006.Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. Journal of Hydrology n° 318(1-4), pp. 200-214.

74) MOUHOUCHE B., GUEMRAOUI M., 2005 Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. Ali Hammani, Marcel Kuper, Abdelhafid Debbarh. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 2004, Rabat, Maroc. IAV Hassan II, 13 p.

75) MOZAS M., GHOSN A., 2013 .Etat des lieux de l'eau en Algérie. IPEMED.27p.

76) MUSY A., HIGY C., REYNARD E., 2014. Hydrologie *1* - Une science de la nature, une gestio*n* sociétal.. Romandes : PPUR, ISBN 978-2-88074-798-5 pp. 489.

77) NASH J. E., SUTCLIFFE J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10, 282-290.

78) NAIAH C, RODRIGUES D. S, ANDREA S. F, LAFAYETTE D. L., CONCEIÇÃO S. M. P., 2017."Identification of the degree of impact of dams on the hydrologic regime of semi-arid rivers: an evaluation of the DHRAM method," RBRH, Vol. 22.

79) NASSOPOULOS H.2012. Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée. Economies et finances. Université Paris-Est. Français. ¡ NNT : 2012PEST1045.

80) OJEKUNLE Z., OLUSHEY I., 2006. Water Resources Planning And City Sustainable Development. A Case Study of Heng Shui City, Hebei Province, P. R. China. Master's thesis. Tianjin University, P.R.China.

81) ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. BUREAU REGIONAL DE L'AFRIQUE., 2016. Stratégie de Coopération de l'OMS avec l'Algérie 2016 – 2020 .document technique.44p.

82) OSTER J.D, SHAINBERG I., 2001.Soil responses to sodicity and salinity: Challenges and opportunities. Australian Journal of Soil Research 39(6):1219-1224. DOI. 10.1071/SR00051

83) PAKHMODE V., KULKARNI H., DEOLANKAR SB. 2003. Hydrological-drainage analysis in watershed-program planning: a case from the Deccan basalt, India. Hydrogeology Journal. Vol. 11, p. 595–604.

84) PAYRAUDEAU, S., 2002. Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants Méditerranéens. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt (ENGREF). Montpellier, France : 436 p.

85) PERRIN C., 2000.Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit. Hydrology. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG. France : 287p.

86) PERRIN C., MICHEL C., ANDREASSIANV., 2007. Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR). Cemagref. France : 16p.

87) PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT, 2009. Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie.

88) RASKIN P, STAVISKY D., ZHU Z. 1991. Strategies for the Aral Sea Region: A Systems Approach," in the Proceedings of Russian Academy of Sciences, Series of Geography, Moscow, Russian Federation.

89) RAYEJ M. 2012. California future water demand projections (WEAP Model): Implications on energy demand. Water– Energy Conference. Shenzhen, China. Peking University pp. 6.

90) REDDY, G.P.O., MAJI, A.K., GAJBHIYE, K.S., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India - a remote sensing and GIS approach. ITC journal.Vol 6, p.1–16.

91) REFSGAARD, J.C.ET STORM B., 1996. Chapitre 3: Construction, calibration and validation of hydrological models In: Distribution hydrological Modelling Kulwer Academic Publishers.Netherlands, pp 41-42.

92) RICHARD L. & TONNEL A., 1985. Contribution à l'étude bioclimatique de l'arc alpin. Documents de cartographie écologique. Univ. Grenoble, XXVIII, 33-64.

93) SCHULER P., MARGANE A., 2013. A Water Balance Model of the Jeita Groundwater Catchment using WEAP BGR & CDR German-Lebanese Technical Cooperation Project Protection of Jeita Spring, Technical Report No. 6.

94) SEGUI P Q., 2008 .Simulation hydrologique en région méditerranéenne avec SAFRAN-ISB-MODCOU. Amélioration de la physique et évaluation des risques dans le cadre du changement climatique. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, France : 205p.

95) SHREVE R.L. 1966. Statistical low of stream numbers. Journal of Geology. Vol 74 p. 17-37.

96) SIRCOULON J., 1992. Caractéristiques des ressources en eau de surface en zones arides de l'Afrique de l'Ouest. In : Le Floc'h E. (ed.), Grouzis Michel (ed.), Cornet Antoine (ed.), Bille Jean-Claude (ed.). L'aridité : une contrainte au développement : caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés. Paris : ORSTOM, 53-68. (Didactiques). ISBN 2-7099-1068-3

97) SOCIETE GRENOBLOISE D'APPLICATIONS HYDRAULIQUES ,2006.Etude D'inventaire Et De Développement De La PMH. Rapport N° 2 34 0074 R3.

98) SOFRECO-GRONTMIJ/CARL, 2010. Etude d'Actualisation du Plan National de l'Eau- tome 1 Hydrologie, Ministère des Ressources en Eau EuropeAid/126155/D/SER/DZ, Alger, rapport interne. 68 p

99) SOGREAH. 2010. Etude d'Inventaire et de Développement de la PMH Etude réalisée pour le MRE-Direction de l'Hydraulique Agricole.76p.

100) SOGREAH / ICEA. 2002. Etude nationale sur la tarification de l'eau à usage domestique et industriel Etude réalisée pour le MRE –Direction de l'Alimentation en Eau Potable.

101) SOUTTER M., MERMOUD A.2007. Mus Ingénierie des eaux et du sol : processus et aménagements PPUR presses polytechniques.294 p.

102) STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE, 2011. WEAP Water Evaluation And Planning System Tutorial a collection of stand-alone modules to aid in learning the WEAP software, Document de travail, Stockholm Environment Institute.

103) STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE .2007. WEAP: water evaluation and Planning System User Guide, Stockholm Environment Institute, Boston, MA.

104) STRAHLER A.N.1952. Dynamic basis of geomorphology. Bulletin of Geological Society of America. Vol 63, p.923–938.

105) STRZEPEK K. M., MAJOR D., ROSENZWEIG C., IGLESIAS A., YATES D. N., HOLT A., et. HILLEL D., 1999. New methods of modeling water availability for agriculture under climate change: the U.S. Cornbelt, Journal of the American Water Resources Association, 35 (6), 1639–1655.

106) SUMNER ME., 1993. Sodic soils - New perspectives. Soil Research 31, 683-750. https://doi.org/10.1071/SR9930683

107) TAYLOR R. G. 2012. Ground water and climate change. Nat. Clim. Change 3, 322-329.

108) THIVET G., BLINDA M. 2007.Améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau pour faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée Plan Bleu Centre d'Activités Régionales.13p.

109) THORNTHWAITE C.W. 1948. An approach toward arational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 55–94.

110) TOUAZI M., 2001. Évaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiales et temporelles en Algérie du Nord. Th. Doct. Univ. Nice, France, 310p.

111) TOUAZI M., BHIRY N., LABORDE J., ACHOUR F., 2011. Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord. Revue des sciences de l'eau 242 : 177–191.
DOI : 10.7202/1006110ar

112) TRICART J., CAILLEUX A., 1965. Traité de géomorphologie. 4, Le modelé des régions sèches. Paris. Volume 1.SEDES.322p.

113) VILA J.M., 1977. [Document cartographique]. Édition 3, 1 : 50 000, Cartes géologique, feuillet 148, SONATRACH, Alger.

114) VILA J.M., 1977. [Document cartographique]. Édition 3, 1 : 50 000, Cartes géologique, feuillet 149, SONATRACH, Alger.

115) VILA J.M., 1977. [Document cartographique]. Édition 3, 1 : 50 000, Cartes géologique, feuillet 175, SONATRACH, Alger.

116) VILA J.M., 1977. [Document cartographique]. Édition 3, 1 : 50 000, Cartes géologique, feuillet 203, SONATRACH, Alger.

117) VIL AJ.M., 1977. [Document cartographique]. Édition 3, 1 : 50 000, Cartes géologique, feuillet 204, SONATRACH, Alger.

118) VILAJ.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000, Ain El Beida (149), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.20p.

119) VILA J.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000,), Gareat El Tarf (175), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.22p.

120) VILA J.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000, F'kirina, (202), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.20p.

121) VIL AJ.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000, Khenchela (203), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.20p.

122) VILA J.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000, Delâa (204) service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.21p.

123) VILA J.M., 1977. Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000, Oum El Bouaghi (148), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH, Alger.23p.

124) WALKER E., HOGUE T., ANDERSON A., READ L.2015. Future Water Management in the South Platte River Basin: Impacts of Hydraulic Fracturing, Population, Agriculture, and Climate Change in a Semi-Arid Region," Fall Meeting, American Geophysical Union.

125) WMO, 1992. International Glossary of Hydrology – Glossaire International D'hydrologie. WMO (Series); no. 385. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; World Meteorological Organization, Paris, France, Geneve, Suisse.413p.

126) WISCHMEIER WH, JOHNSON CB, CROSS BV., 1971. A soil erodibility nomograph for farmaland and construction sites. J Soil Water Conserv ; 265 : 189-93.

127) YATES D., SIEBER J., PURKEY D., HUBERLEE A. 2005.WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference- Driven Water Planning Model: Part 1, Model Characteristics. International Water Resources Association Water International. Vol. 30. No. 4 p. 487–500.

128) ZOUAOUI A., 2008. Evaluation de l'aptitude culturale pour le blé dur (Triticum durum Desf.var MBB) et l'orge (Hordeum vulgare. L var. Saida) des terres des Hautes Plaines Constantinoises. Thèse de doctorat. Institute national d'agronomie, El Harrach Algérie.322p.